

3. ЛИТИЙ

Природный литий содержит два изотопа. Долгоживущих радиоактивных изотопов нет.

3.1. Литий-6

1. Общие характеристики [1]

- 1.1. $Z=3$ (заряд)
- 1.2. $A=6$ (атомный номер)
- 1.3. $A_w=5.963400$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Содержание в естественной смеси 7.59 ± 0.04 (атомарные проценты)
- 1.5. Спин основного состояния 1^+
- 1.6. Каналы реакций и уровни составной системы ${}^6\text{Li}+n$ [2] (Рис. 1) :

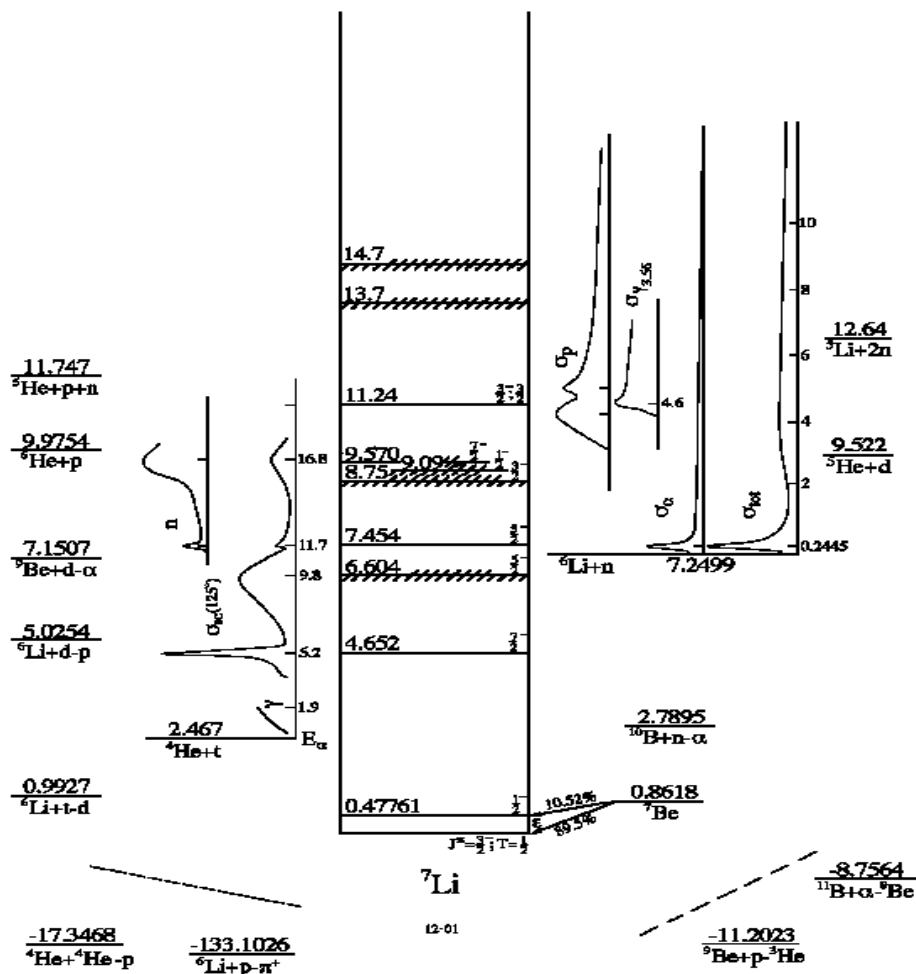


Рис.1. Каналы образования и распада составного ядра

1.7. Диаграмма уровней и каналы распада уровней неупругого рассеяния до энергии возбуждения ${}^6\text{Li}$ в 27 МэВ [2] (Рис. 2):

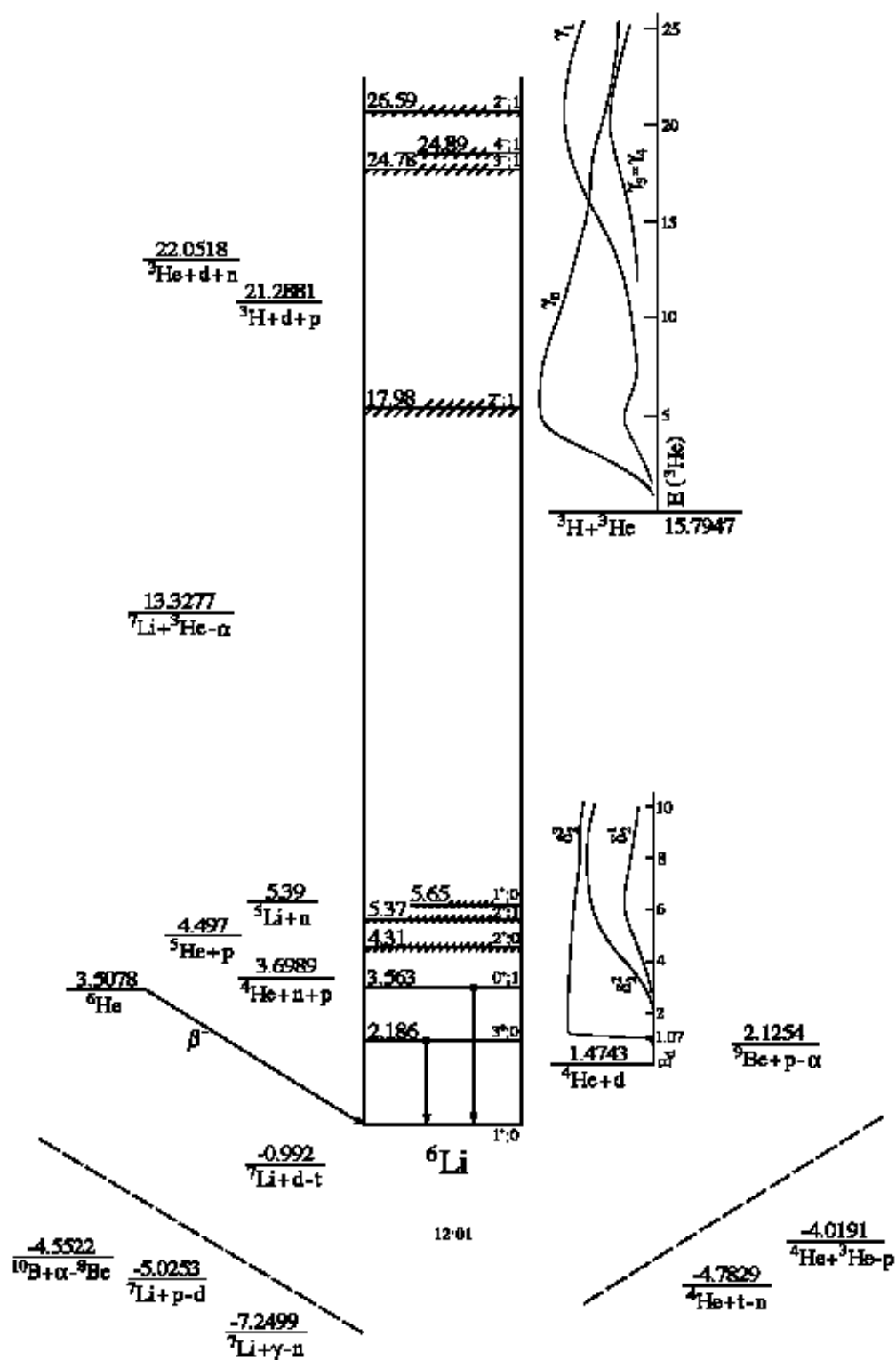


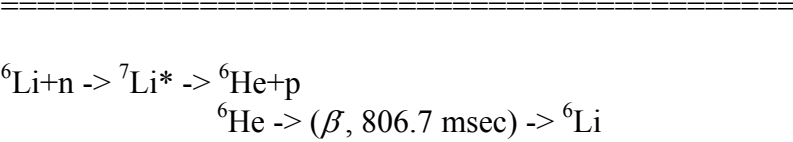
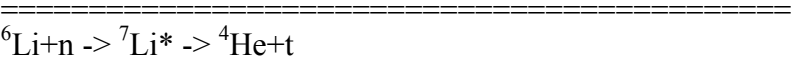
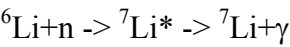
Рис.2. Диаграмма уровней ядра-мишени – Li-6

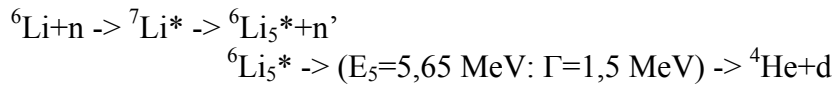
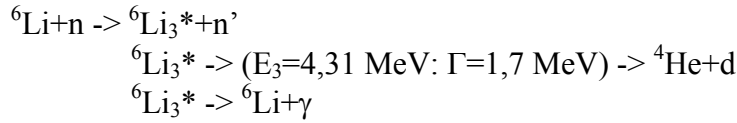
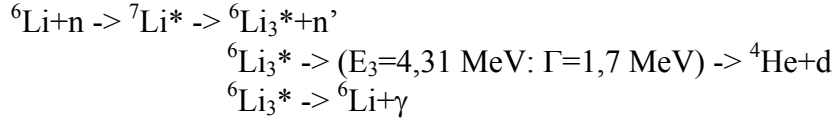
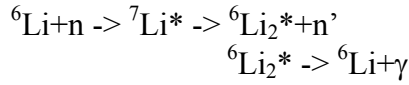
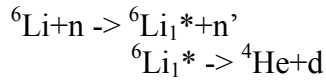
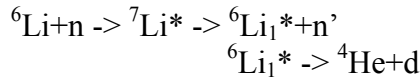
1.8. Характеристики уровней ${}^6\text{Li}$ [2] (Таблица 1):

Table 6.7: Energy levels of ${}^6\text{Li}$

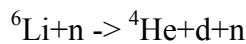
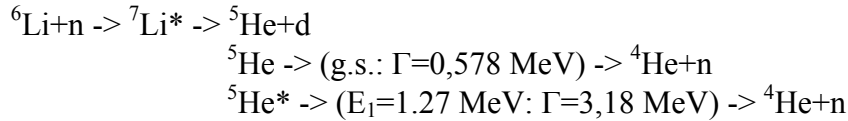
E_x (MeV \pm keV)	$J^\pi; T$	Γ_{exp} (MeV)	Decay
g.s.	$1^+; 0$		stable
2.186 ± 2	$3^+; 0$	0.024 ± 0.002	γ, d, α
3.56288 ± 0.10	$0^+; 1$	$(8.2 \pm 0.2) \times 10^{-8}$	γ
4.31 ± 22	$2^+; 0$	1.7 ± 0.2^a	γ, d, α
5.366 ± 15	$2^+; 1$	0.540 ± 0.020	γ, n, p, α
5.65 ± 50	$1^+; 0$	1.5 ± 0.2	d, α
17.985 ± 25^b	$2^-; 1$	3.012 ± 0.007	$\gamma, t, {}^3\text{He}$
24.779 ± 54^b	$3^-; 1$	6.754 ± 0.110	$\gamma, n, t, {}^3\text{He}$
24.890 ± 55^b	$4^-; 1$	5.316 ± 0.112	$\gamma, n, t, {}^3\text{He}$
26.590 ± 65^b	$2^-; 1$	8.684 ± 0.125	$\gamma, n, d, t, {}^3\text{He}$
^c			

1.9. Каналы и основные механизмы реакций ${}^6\text{Li}+n$ (механизм реакций с образованием ${}^7\text{Li}^*$ - механизм с образованием и распадом составного ядра) [1,2]:

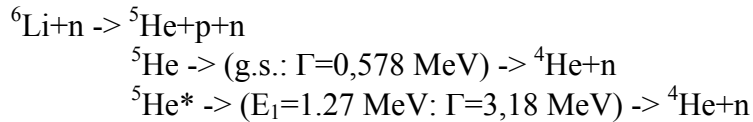




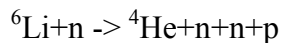
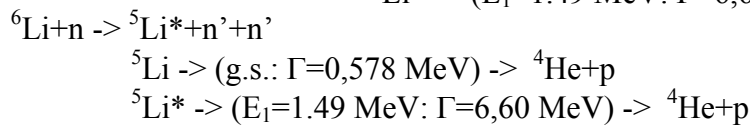
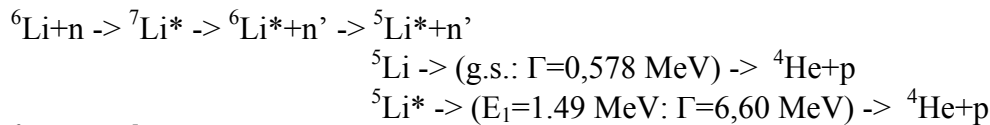
=====



=====



=====



=====

Комбинации частиц в выходных каналах при энергии падающих нейтронов ниже 20 MeV и частиц живущих $> 10^{-12}$ sec (все каналы, кроме упругого, могут включать гамма-кванты):

${}^7\text{Li}+\gamma$

${}^6\text{Li}+n$

${}^6\text{Li}+n'$

${}^6\text{He}+p$

${}^4\text{He}+t$

${}^4\text{He}+d+n$

${}^4\text{He}+p+n+n={}^4\text{He}+p+2n$

При оценке энерго-угловых распределении вторичных частиц представляемых в лабораторной системе координат необходимо учитывать механизмы последовательного распада, прямых реакций неупругого рассеяния, многочастичных одновременных развалов, а также их возможных комбинаций, то есть учитывать все процессы, отличающиеся кинематикой или динамикой.

2. Файлы оцененных данных

ENDF/B-6.8 – оценка 1989 года, выполненная Хэйлом и Янгом [3]. R-матричное описание интегральных сечений и угловых распределений упругого рассеяния до 3.0 МэВ ((n,t) сечение заменено на ENDF/B-6 стандарт до 1 МэВ). Выше 3 МэВ интегральные сечения оценивались проведением гладких кривых через имеющиеся экспериментальные данные. Сечения неупругого рассеяния на уровне ${}^6\text{Li}$, имеющие большие ширины распада для тяжелых частиц, представлялись псевдо-уровнями с энерго-угловыми распределениями в модели трехтельного развала ($n+d+{}^4\text{He}$) с континуальным энергетическим спектром вторичных частиц и без учета взаимодействия между этими частицами. Сечения уровней с малыми ширинами при энергии 2.185 МэВ и 3.56 МэВ оценивались на основе имеющихся экспериментальных данных. Сечение захвата содержит результаты оценки, выполненной для библиотеки ENDF/B-5.

Оценка JEFF-3.1 взята из ENDF/B-6 без изменений [3].

Предварительная оценка ENDF/B-7 взята из ENDF/B-6 без изменений [4].

JENDL-3.3 – оценка 1985 года выполненная Чибой и Шибатой и модифицированная Чибой для JENDL-3.2 в 1993 году [3]. R-матричное описание интегральных сечений и угловых распределений упругого рассеяния до 1.0 МэВ; выше 1 МэВ сечения проведены по экспериментальным данным. Введены псевдо-уровни для представления энергоугловых распределений в реакции неупругого рассеяния с возбуждением континуума уровней с последующим распадом возбужденного ${}^6\text{Li}^*$ на дейтрон и ${}^4\text{He}$. При оценке энергоугловых распределений использовалась модель трехтельного развала, изотропного в системе центра масс, но с учетом (при нужде) кулоновского взаимодействия продуктов реакции. Затем энергоугловые распределения вторичных нейтронов из (n,n') и (n,2n) реакций были подогнаны под экспериментальные данные по энергоугловым распределениям эмиссии нейтронов при энергии 14 и 18 МэВ. Для уровней ротационной полосы (0+,1+, 2+, 3+) вклад прямых процессов оценивался в расчетах методом сильной связи каналов. При оценке нейтронных спектров реакции (n,2n) использовалась испарительная модель.

CENDL-2 - оценка 1978 года выполненная Жоу Де Лин [3]. Описание методологии оценки в файле отсутствует. Нейтронные сечения с эмиссией нейтронов заданы через неупругое

рассеяние с последующим испусканием гамма квантов, реакции $(n,2n)$ и реакции $(n,n'd)$. Реакции (n,p) и (n,α) заданы как реакции с последующим вылетом гамма-квантов.

BROND-2 – оценка выполненная Николаевым в 1989 году [3], где файл, подготовленный Бондаренко в 1984 году, был взят за основу. Оценка интегральных сечений основана в основном на анализе имеющихся экспериментальных данных. Неупругое рассеяние с возбуждением первого и третьего уровня и континуума уровней используется для описания сечений и энергоугловых распределений в реакциях, ведущих к вылету $n+d+\alpha$. Реакция с вылетом $2n+p+\alpha$ задана как $MT=41$. Энергетические распределения нейтронов для $n+d+\alpha$ оценивались в предположении, что основной вклад в реакцию вносит компаундный механизм последовательного двухступенчатого распада $(n,d)^5\text{He}$, $^5\text{He} \rightarrow n+\alpha$. Энергоугловые распределения $2n+p+\alpha$ оценивались в модели многотельного распада. Энергоугловые распределения в реакциях (n,p) и (n,t) рассчитывались в 2-х частичной кинематике с изотропным угловым распределением в системе центра масс.

Вывод: ни одна из оценок не основана на полном и последовательном учете вкладов различных механизмов реакций в энергоугловые распределения вторичных частиц.

3. Нейтронные сечения

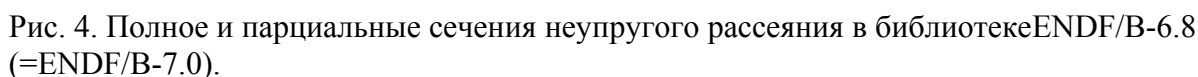
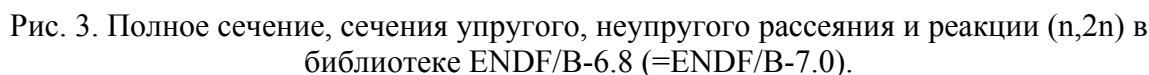
Общий вид интегральных нейтронных сечений из предварительной оценки для библиотеки ENDF/B-VII приведен на рисунке 3, а интегрального и парциальных сечений неупругого рассеяния – на рисунке 4. Сечение реакции $^6\text{Li}(n,t)^4\text{He}$, являющегося стандартом нейтронных сечений, показано отдельно на рисунке 15.

3.1. Сечения в тепловой точке (Таблица 2, барн):

Библиотека	Полное	Упругое	$(n,t)=(n,\alpha)$	Захват	RI захвата
ENDF/B-6.8	941,6929	0,67157	940,9828	0,0385	0,017345
JENDL-3.3	941,103	0,7345	940,33	0,0385	0,017467
CENDL-2	940,76	0,72124	940,039	0	0
BROND-2	940,789	0,75	940	0,0385	-0,356391*
Новая оценка	938,85	0,68878	938,13	0,0385	0,017354

* - ошибка в сечении захвата в файле BROND-2.2.

Результаты новой оценки выполненной в R-матричном подходе в рамках координированной исследовательской программы МАГАТЭ [5] показаны в таблице как новая оценка.



Реакция ${}^6\text{Li}(n,t)$ является стандартной реакцией в измерениях нейтронных сечений. Как стандарт она известна с хорошей точностью и результат оценки, выполненной в рамках координированной исследовательской программы МАГАТЭ[5], предлагается

использовать для ревизии оценки. Отличия от предыдущей оценки находятся в пределах 3% (Рис. 5). Так как оценка выполнена методом наименьших квадратов в модельном R-матричном подходе, учитывающем всю совокупность экспериментальных данных по сечениям прямых и обратных реакций, их угловых распределений и поляризаций, она по определению наилучшим образом описывает все имеющиеся экспериментальные данные. Результатом оценки стандартной реакции являются также полное сечение и сечение упругого рассеяния до 2.8 МэВ, а также угловые распределения вторичных частиц.

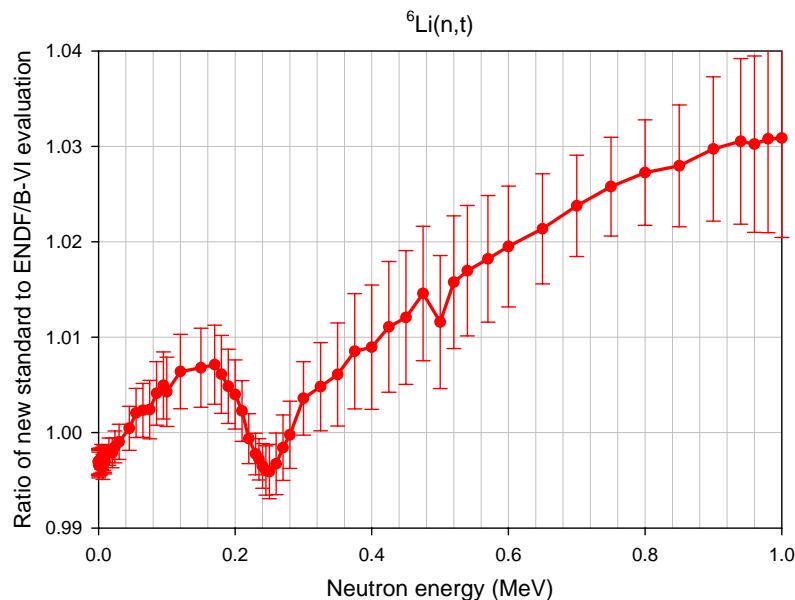


Рис. 5. Отношение новой оценки сечения стандарта ${}^6\text{Li}(n,t)$ к сечению из библиотеки ENDF/B-6.8. Оцененные погрешности нового стандарта показаны на рисунке.

3.3. Сечения в области энергий от 1 до 20 МэВ

Полное сечение и сечение упругого рассеяния для нейтронов с энергией от 1 до 20 МэВ показаны на рисунках 6 и 7 в сравнении с результатами последних измерений. Более детальный ход оцененного полного сечения в области энергий от 1 до 2.8 МэВ, где наблюдаются наибольшие расхождения с экспериментальными данными, показан на рисунке 8. Как видно, полное сечение в области энергий 1 – 2,8 МэВ на 3 - 5% ниже, что только частично может быть обусловлено трудностью эффективного учета канала многочастичного распада (реакции $(n,d+n+4\text{He})$, Q-реакции –1,4743 МэВ) в R –матричной теории. В тоже время, прецизионные данные Абфальтерера демонстрируют тенденцию на понижение сечения для энергии нейтронов выше 5 МэВ.

Необходимо заметить, что R-матричная оценка основывается на поиске параметров и описании методом наименьших квадратов в R-матричной модели ядра большого числа экспериментальных данных (сечений реакций проходящих через одно и тоже составное ядро, угловых распределений вторичных частиц в этих реакциях, их поляризаций) с построенными для них ковариационными матрицами ошибок, описания, при котором вклад полного сечения не является определяющим. Да и сами данные полученные в экспериментах с высоким разрешением (данные Харвея) являются не полностью обработанными данными (“raw” data). Ошибка приписанная этим данным как правило существенно недооценена. Например, в данных Книттера, также полученных с высоким разрешением, сечение в двух соседних точках 1.103 МэВ и 1.124 МэВ, где сечение практически не должно меняться из-за того что является гладким и, как следует из R-матричной модели почти постоянно, изменяется на 11% при полной ошибке приписанной

сечению в 1.5%. Учитывая, что для регистрации нейтронов использовался сцинтилляционный детектор, это различие объяснимо регистрацией посторонних гамма-линий, не удаляемых при отделении фона (например отделяемый фон берётся гладким, или присутствие образца изменяет фон). Поэтому для описания в R-матричном подходе данные тщательно отбирались, а ковариационная матрица погрешностей, строящаяся для этих данных, учитывала не только компоненты ошибок приписанные авторами, но и дополнительные систематические погрешности, которые могут быть получены только из анализа большого количества результатов измерений выполненных разными методами.

R-матричное описание в проекте МАГАТЭ оценки стандартов [5] было получено для всех сечений в диапазоне энергий нейтронов от тепловой области до 2.8 МэВ. Для этого использовались две независимые программы (EDA и RAC) а также ковариационные матрицы ошибок экспериментальных данных приготовленные различным образом. Параметры и сечения, оцененные этими двумя методами, отличались между собой. Это различие интерпретировалось как методическое и в качестве окончательной R-матричной оценки бралось среднее значение сечений полученное в двух описаниях а погрешность оценённых данных увеличивалась в соответствии с этим различием. Окончательная оценка была получена в обобщённом описании методом наименьших квадратов всех данных по реакциям являющихся стандартами или связанных различными отношениями включая R-матричную оценку для ${}^6\text{Li}$. По мнению автора данный подход к оценке сечений является наилучшим и её результаты рекомендуется включить в файл РОСФОНДА для ${}^6\text{Li}$.

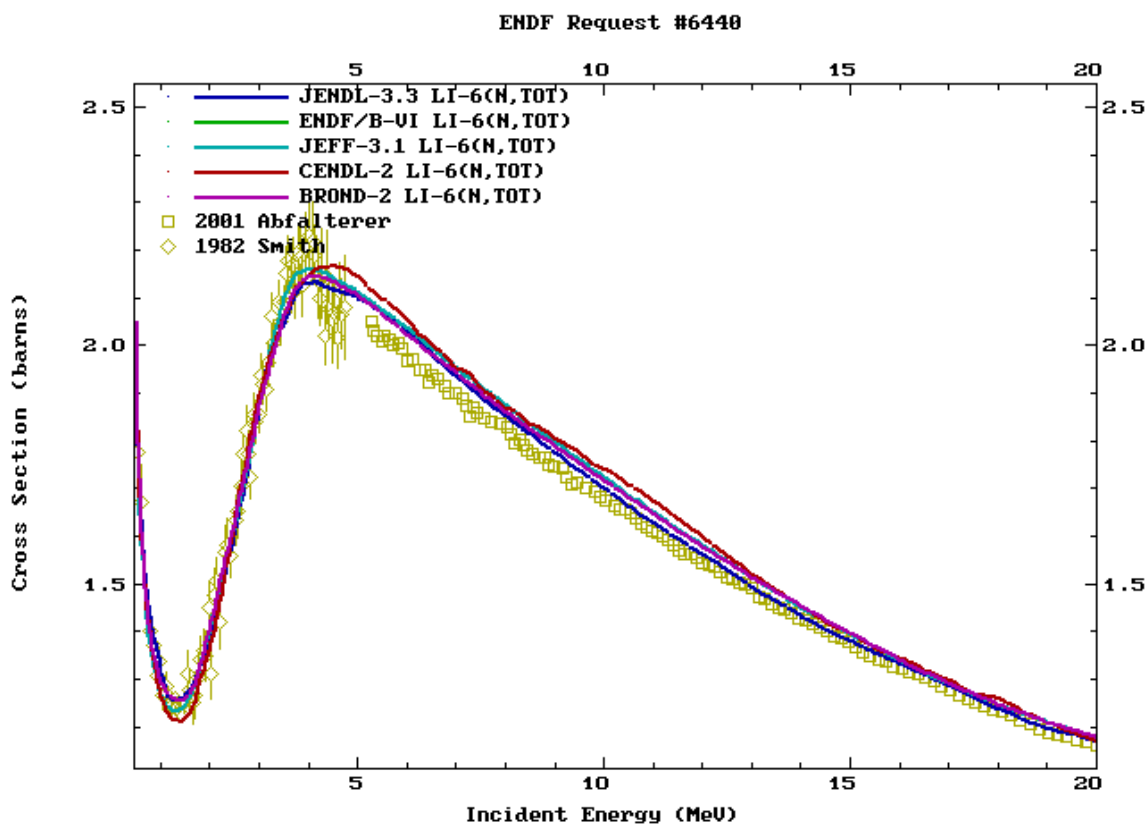


Рис. 6. Сечение ${}^6\text{Li}(n,\text{tot})$ из разных библиотек.

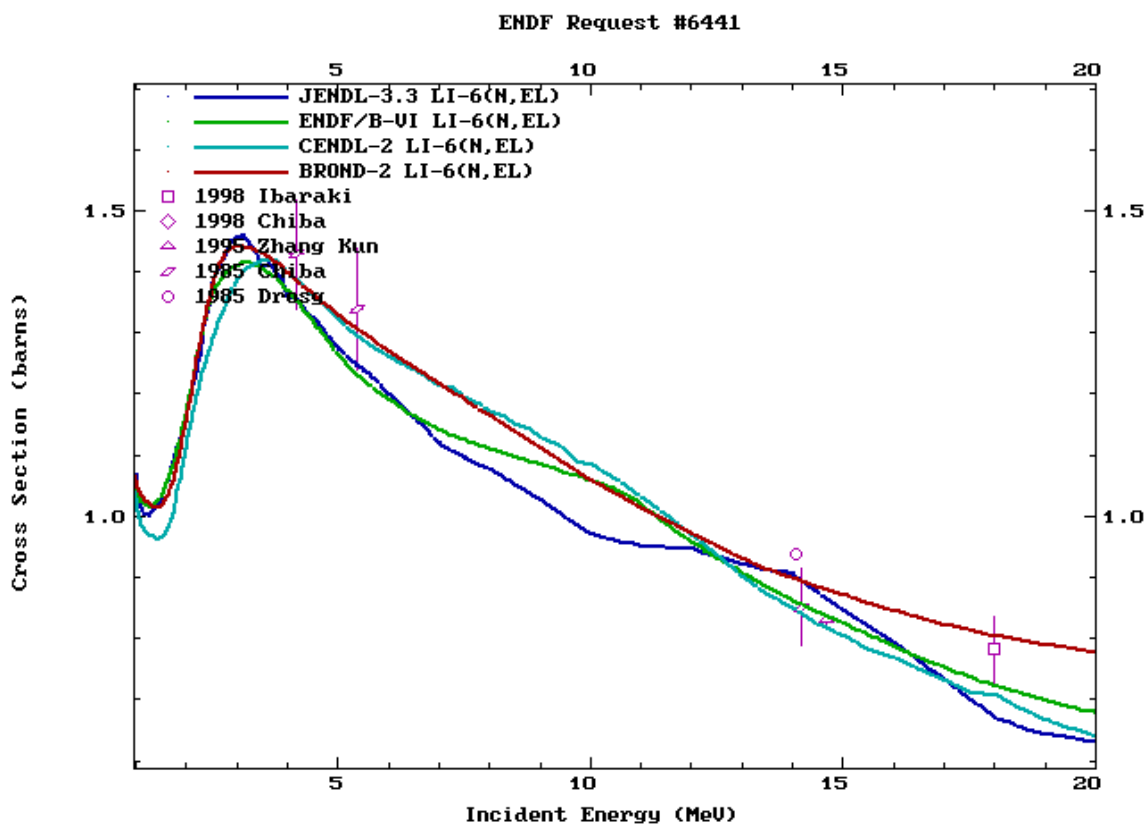


Рис. 7. Сечение ${}^6\text{Li}(n,el)$ из разных библиотек.

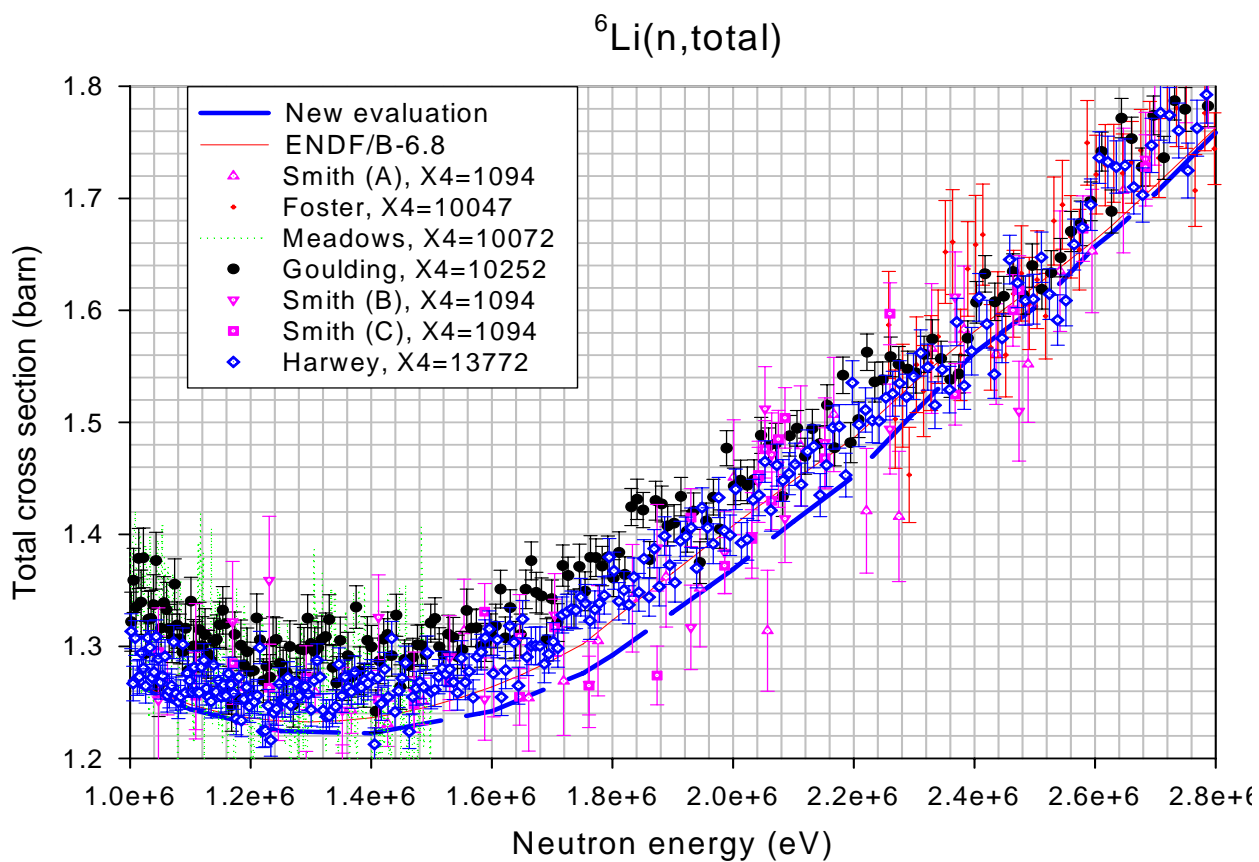


Рис. 8. Сравнение сечения ${}^6\text{Li}(n,tot)$ из библиотеки ENDF/B-6.8 с результатами новой оценки. Измерения выполнены Смитом в 1977 и 1982 годах, Фостером – в 1971, Мидоузом и Гоулдингом и Харвеем – в 1972 году.

Полное сечение неупругого рассеяния во всех библиотеках, кроме CENDL-2, задано как сумма всех парциальных неупругих процессов с последующим развалом ${}^6\text{Li}$ в возбужденном состоянии на дейтрон и альфа-частицу, или (как в случае единственного уровня при 3,563 МэВ) с гамма-переходом в основное состояние. В библиотеке CENDL-2 сечение полного неупругого рассеяния равно сечению рассеяния с возбуждением этого уровня, а **интегральное сечение ${}^6\text{Li}(n,n'd){}^4\text{He}$** задано в отдельной секции с MT=32. Сравнение сечений полного неупругого рассеяния показано на рисунке 9, а интегрального сечения (n,n'd) полученного суммированием вкладов от парциальных каналов неупругого рассеяния (ведущих к распаду остаточного ядра с вылетом дейтрона) для всех библиотек, кроме CENDL-2, где оно задано явно, - на рисунке 10. Так как сечение уровня с энергией возбуждения 3.563 МэВ мене 10 мбарн, то интегральное сечение неупругого рассеяния и реакции (n,n'd) отличаются незначительно. Сечение других реакций, таких как (n,2n) и (n,p) также мало, так что при хорошем знании полного сечения точность знания сечения реакции (n,n'd) может определяться точностью, с которой мы знаем сечение упругого рассеяния. Последние прецизионные измерения сечения реакции (n,n'd) Чибы (1985 год) хорошо согласуются с измерениями Хопкинса (1968 год) и существенно выше результатов остальных, более ранних экспериментов. Различие в описании сечения (n,n'd) в разных библиотеках вероятно лежит в пределах погрешности с которым оно в настоящее время известно, но учитывая качество описание упругого сечения (зависящего от описания сечения (n,n'd) при хорошо известном полном), можно рекомендовать для реакции (n,n'd) одну из трёх оценок: ENDF/B-VI.8, BROND-2 или CENDL-2.

ENDF Request #6442

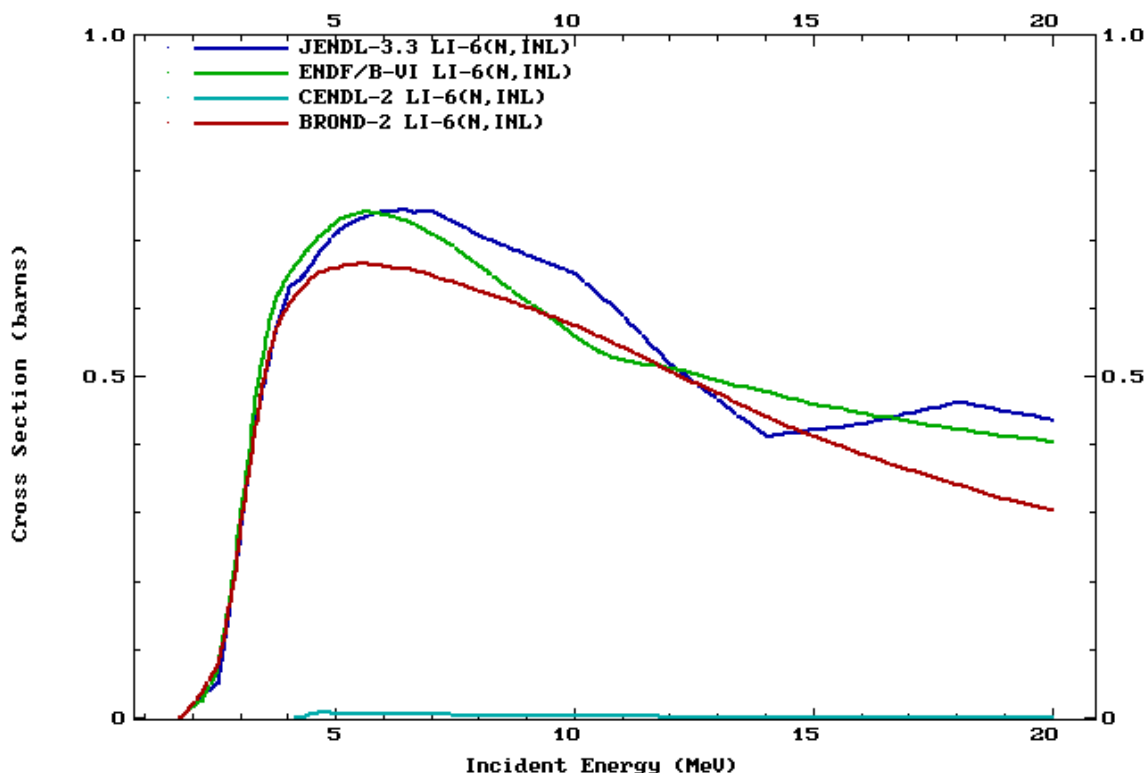


Рис. 9. Сравнение интегрального сечения ${}^6\text{Li}(n,inl)$ из разных библиотек.

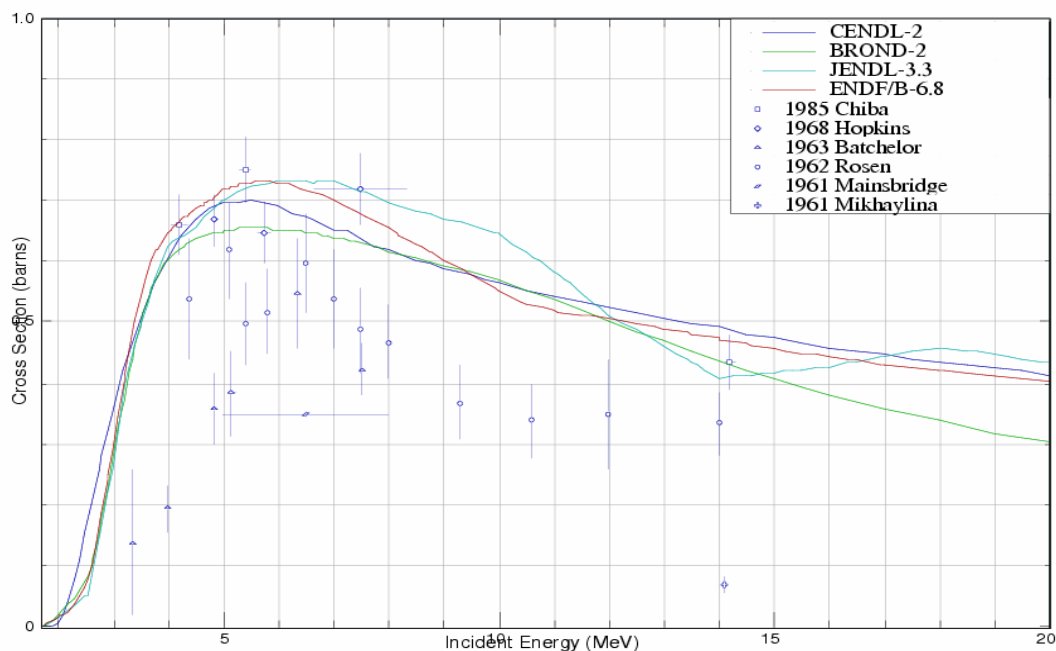


Рис. 10. Сравнение интегрального сечения ${}^6\text{Li}(n,n'd){}^4\text{He}$ из разных библиотек с имеющимися экспериментальными данными.

Неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней.

В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII.0 для представления энергоугловых распределений неупругого рассеяния нейтронов кроме двух реальных уровней (первого и второго, Таблица 1), имеющих малые ширины распада, используются псевдоуровни, начинающиеся с 1.5 МэВ ($Q=-1.4743$ МэВ для реакции трёхтельного развала ${}^6\text{Li}+n \rightarrow n+d+{}^4\text{He}$), для которых и приводятся сечения. Сечения для суммы двух псевдоуровней расположенных ниже энергии возбуждения первого уровня и вероятно представляющих вклад от процессов трёхтельного развала и уровней неупругого рассеяния обладающих большой шириной (Таблица 1) показаны на рисунке 11. Как видно из рисунка различия достаточно велики, что ведёт к отличиям в описании жёсткой части спектра неупругого рассеяния.

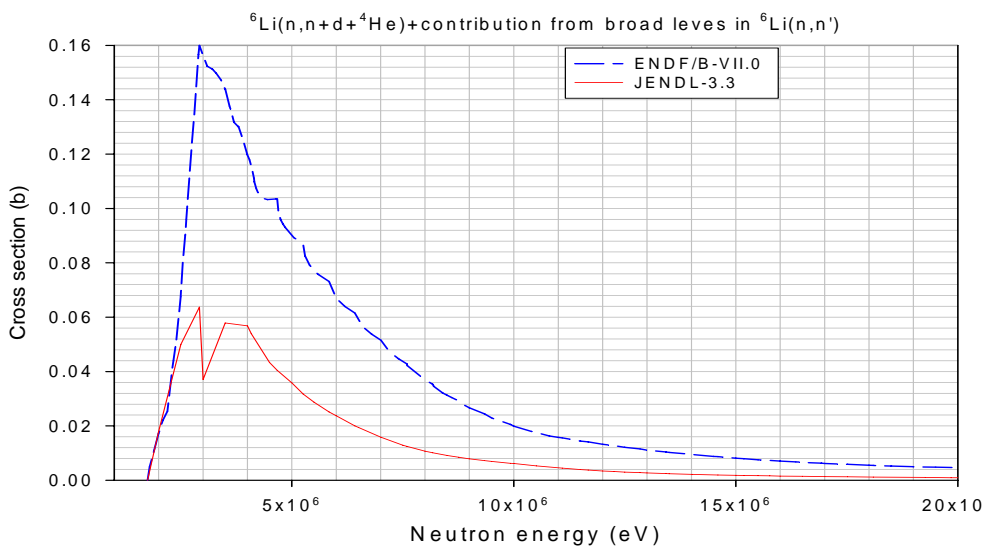


Рис. 11. Функция возбуждения первых двух псевдоуровней неупругого рассеяния

(с энергией ниже энергии первого уровня неупругого рассеяния в библиотеках JENDL-3.3 и ENDF/B-VII.0).

В библиотеке BROND-2 приведены функции возбуждения для 3-х реальных уровней; остальные уровни представлены континуумом (MT=91), также с порогом вблизи трехкратного развала.

Функция возбуждения первого уровня неупругого рассеяния, принятая в разных библиотеках, показана на рисунке 12. Наблюдается хорошее согласие между данными разных экспериментов. Оценка ENDF/B-VII.0 лучше всего согласуется с данными.

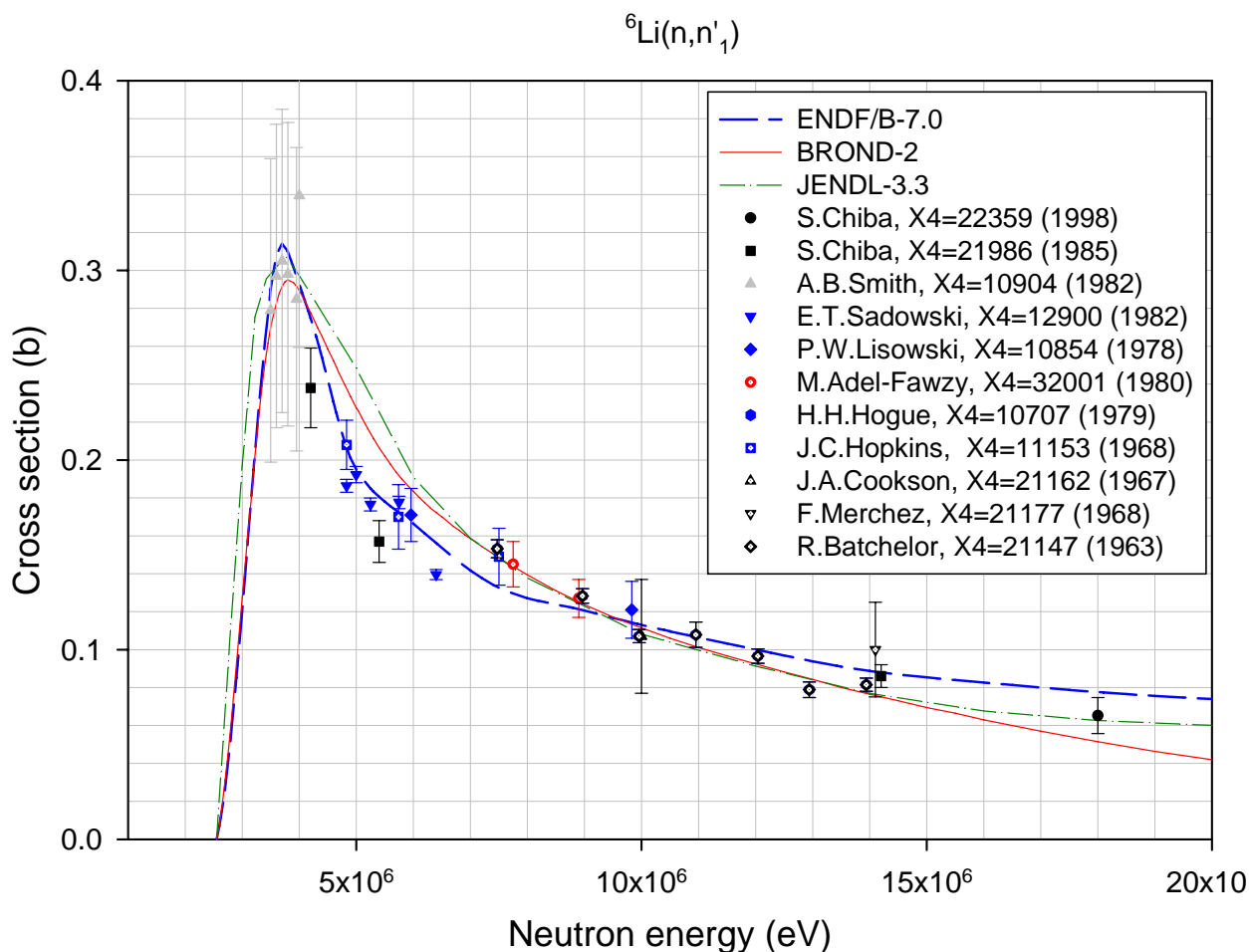


Рис. 12. Функция возбуждения первого уровня неупругого рассеяния в разных библиотеках.

В библиотеке CENDL-2 представлен единственный уровень неупругого рассеяния, а именно второй уровень, возбуждение которого снимается исключительно гамма-переходом в основное состояние. Сечение возбуждения этого уровня (Q-реакции равно -3.56199 МэВ) из разных библиотек приведено на рисунке 13. Оценки хорошо согласуются между собой.

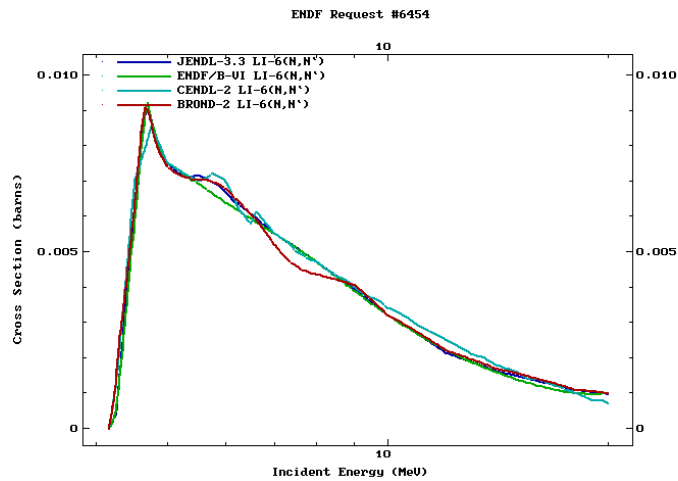


Рис. 13. Функция возбуждения уровня неупругого рассеяния с $QI = -3.56199$ МэВ в разных библиотеках.

Реакции, ведущие к распаду составной системы на два нейтрона с последующим развалом остаточного ядра ${}^5\text{Li}$ на протон и альфа частицу (т.е. реакции ${}^6\text{Li}(n,2n+p){}^4\text{He}$, $Q=3.698$ МэВ; ${}^6\text{Li}(n,2n){}^5\text{Li}^g \rightarrow {}^4\text{He}+p$, $Q=5.6629$ МэВ, и ${}^6\text{Li}(n,2n){}^5\text{Li}^m \rightarrow {}^4\text{He}+p$, $Q=7.153$ МэВ) определены либо как реакция $(n,2n\alpha)$ (MT=24 в ENDF/B-6.8) или реакция $(n,2np)$ (MT=41 в BROND-2), либо как реакция $(n,2n)$ (MT=16 в CENDL-2 и JENDL-3.3). Последнее означает пренебрежение каналом четырехтельного развала, имеющим более низкий порог. При энергиях выше порога реакции ${}^6\text{Li}(n,2n){}^5\text{Li}^g$ это пренебрежение имеет основание, поскольку канал четырехтельного развала, повидимому, дает небольшой вклад в суммарное сечение. Однако канал этот не закрыт и реакция может осуществляться начиная с энергии 4.318 МэВ. С другой стороны, в ENDF/B-VII роль этого канала явно переоценена и суммарное сечение реакции вблизи порога нарастает неоправданно быстро (см. рис.14). На рисунке 15 проводится сравнение оценок CENDL-2 и JENDL-3.3 с имеющимися экспериментальными данными. Как видно из предыдущего рисунка при 14 МэВ все сравниваемые оценки согласуются с измерением Мазера. При 10 МэВ все оценки, кроме ENDF/B-VII, согласуются и с данными Эшби. Оценки BROND-2 и CENDL-2 являются наилучшими хотя сечения малы и выбор оценки практически не важен для приложений.

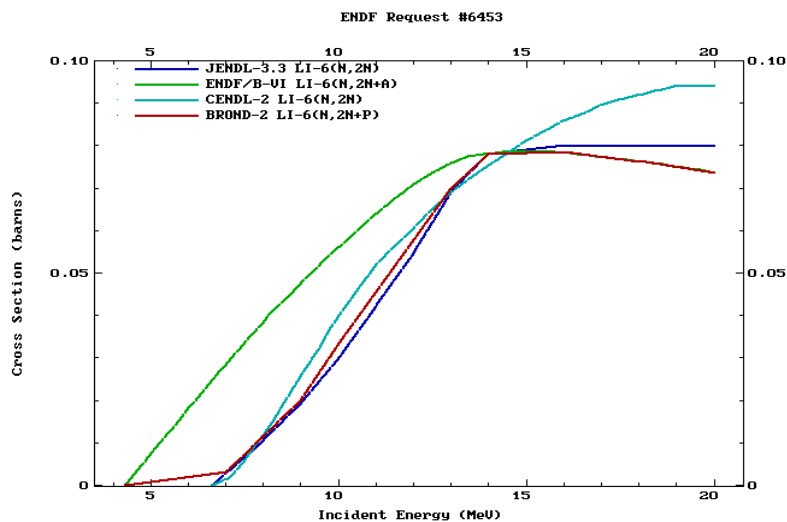


Рис. 14. Сравнение интегрального сечения ${}^6\text{Li}(n,2n+p){}^4\text{He}$ взятых или восстановленных из разных библиотек.

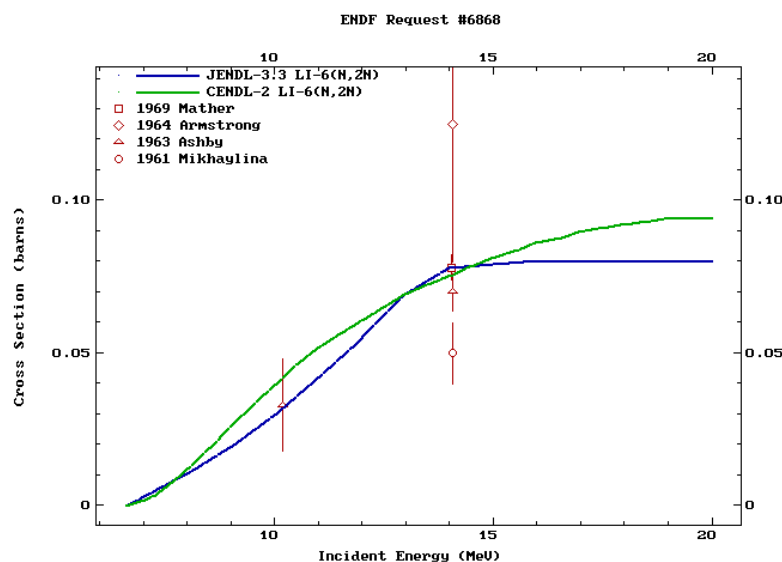


Рис. 15. Сравнение интегрального сечения ${}^6\text{Li}(n,2n){}^5\text{Li}$ из разных библиотек с имеющимися экспериментальными данными.

Значения сечения захвата из разных библиотек в области ниже 100 кэВ одинаковы (Рис. 16), и, учитывая, что BROND-2 содержит ошибку, а в CENDL-2 данные по захвату отсутствуют, проблема выбора оценки снимается.

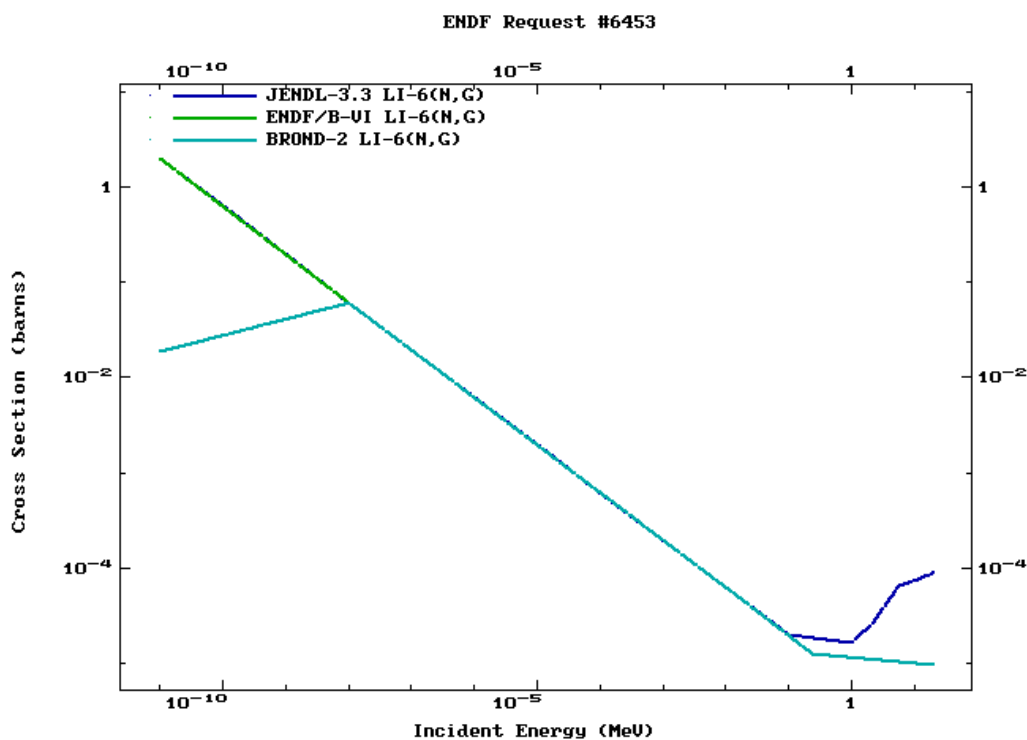


Рис. 16. Сравнение сечения ${}^6\text{Li}(n,\gamma)$ из разных библиотек.

Сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,p){}^6\text{He}$, ${}^6\text{He} \rightarrow (\beta, 806.7 \text{ msec}) \rightarrow {}^6\text{Li}$ показано на рисунке 17. Качество описания экспериментальных данных в различных библиотеках приблизительно одинаковое.

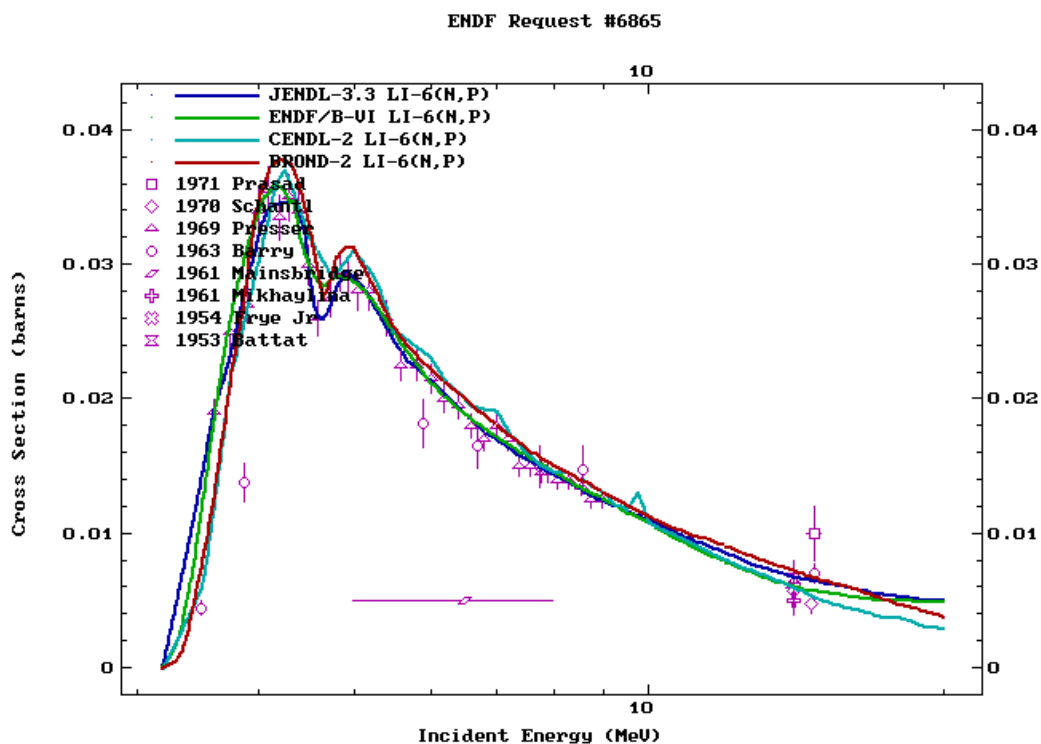


Рис. 17. Сравнение сечения ${}^6\text{Li}(n,p)$ из разных библиотек с экспериментальными данными.

Общий вид сечения реакции ${}^6\text{Li}(n,t)={}_6^6\text{Li}(n,\alpha)$ являющейся стандартом до энергии нейтронов в 1 МэВ показано на рисунке 18, а в интервале 0.5 – 20 МэВ – на рисунке 19. Новая оценка стандарта включает, как уже отмечалось, R - матричное описание сечений в нейтронном канале до 2,8 МэВ а также данные по реакциям с заряженными частицами и поляризации и наилучшим образом (с минимальным χ^2 значением) проходит через всю совокупность экспериментальных данных. Поэтому приводить рисунок, сравнивающий оценку с большим количеством экспериментальных данных по реакции (n,t) для энергии ниже 2,8 МэВ лишено смысла в силу его полной неинформативности. На рисунке 20 показано отношение сечения (n,t) полученного в рамках R - матричного описания до энергии 2,8 МэВ к оценке ENDF/B-6.8. Выше энергии 2,8 МэВ все оценки достаточно хорошо согласуются.

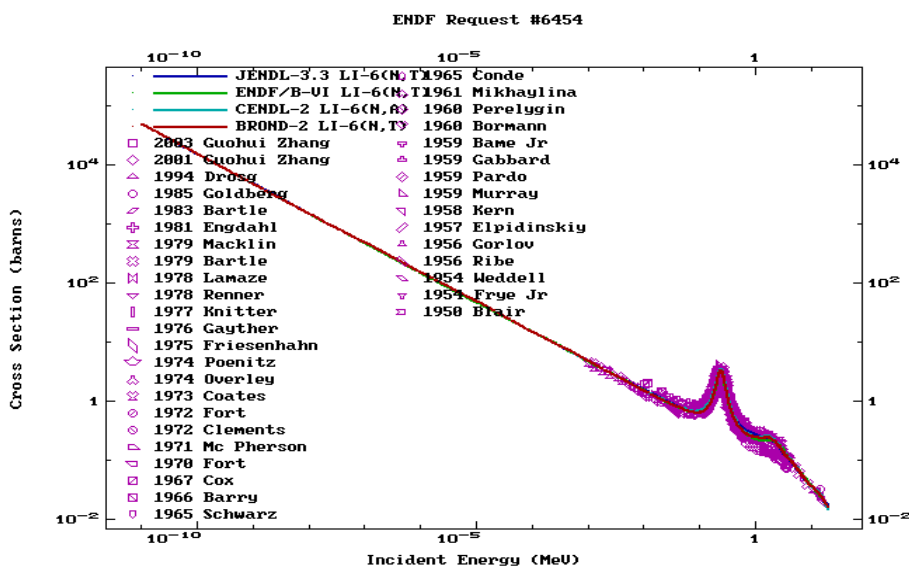


Рис. 18. Вид сечения ${}^6\text{Li}(n,t)$ являющегося стандартом до энергии 1 МэВ.

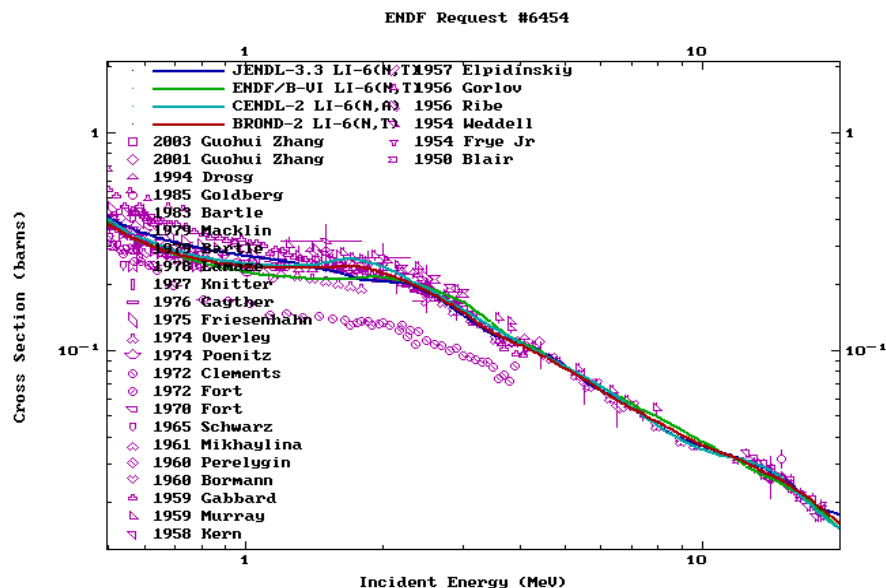


Рис. 19. Вид сечения ${}^6\text{Li}(n,t)$ для энергии выше 0,5 МэВ.

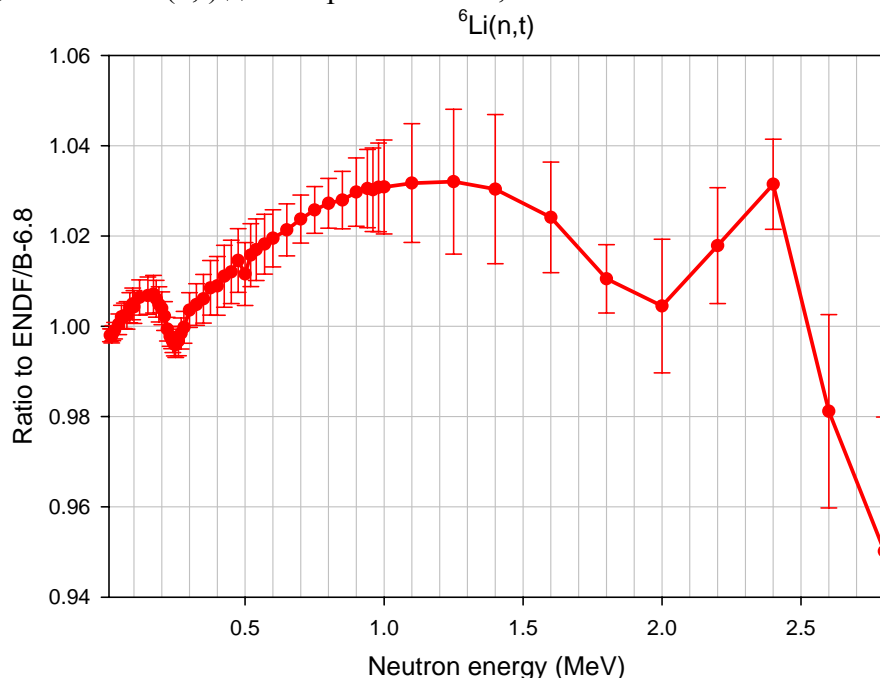


Рис. 20. Отношение новой оценки ${}^6\text{Li}(n,t)$ к сечению в ENDF/B-6.8 для энергии нейтронов до 2,8 МэВ.

4. Угловые распределения вторичных частиц.

4.1. Анизотропия упругого рассеяния сильно коррелирует с сечением и поэтому в современных оценках рассчитана в R – матричном подходе и детально задана в библиотеке ENDF/B-6.8 до 4 МэВ, а в JENDL-3.3 – до 0,5 МэВ. Для более высоких энергий угловые распределения упругого рассеяния оценивались на основе имеющихся экспериментальных данных и оптической модели. Энергетическая зависимость для первых двух коэффициентов разложения по полиномам Лежандра оцененная в ENDF/B-6.8 показана на рисунке 21. В библиотеке CENDL-2 они заданы с помощью 2-х полиномов до 3,356 МэВ и имеют более сложный вид для более высоких энергий. Оценка BROND-2 угловых распределений полностью основана на экспериментальных данных.

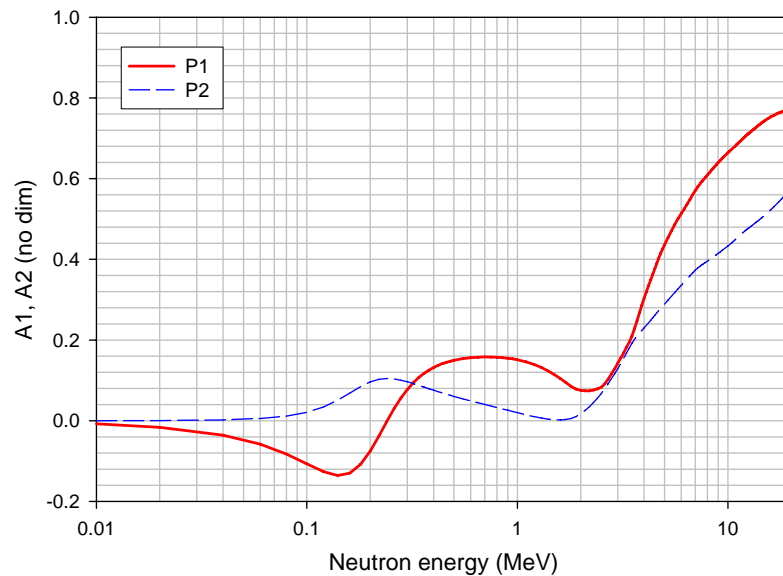


Рис. 21. Энергетическая зависимость для первых двух коэффициентов разложения по полиномам Лежандра (P1 и P2), оцененная в ENDF/B-6.8.

Из рис. 21 видно, что второй угловой момент в ниже 0.1 МэВ и в окрестности 1.5 МэВ весьма мал. Это существенно сказывается на характере угловых распределений при этих энергиях и в интервале между ними или при энергиях выше 2 МэВ.

На рисунках с 22 по 26 проводится сравнение оцененных угловых распределений упругого рассеяния при энергиях нейтронов в 0,1, 0,24, 1, 5 и 20 МэВ. Используемые сокращения для обозначения библиотек: B68 – ENDF/B-6.8; J33 – JENDL-3.3; C2 – CENDL-2; BR2 – BROND-2.2.

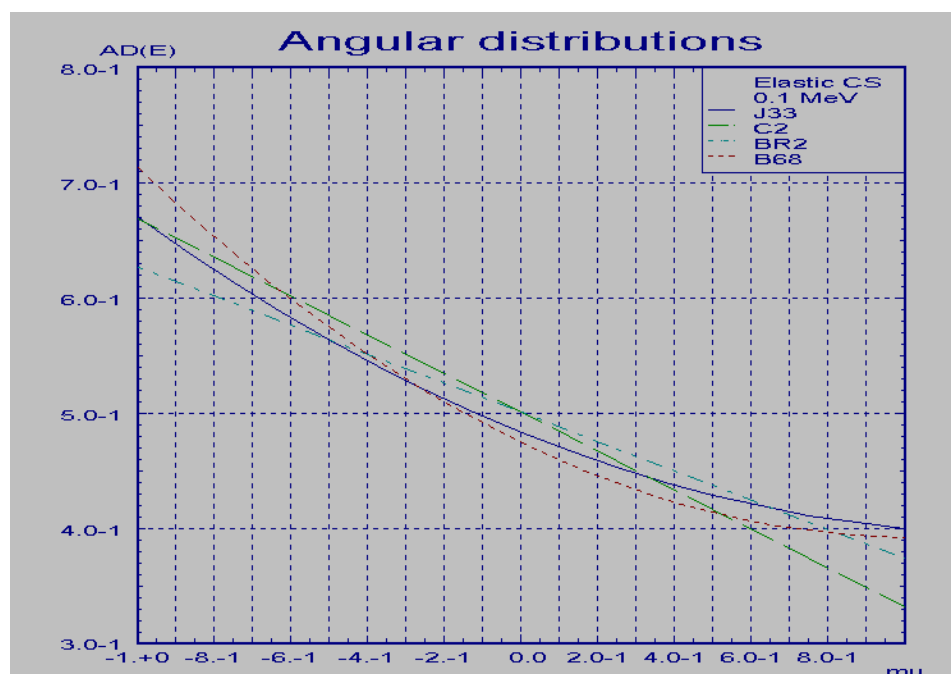


Рис. 22. Нормированные угловые распределения упругого рассеяния нейтронов при энергии 0.1 МэВ в зависимости от косинуса угла рассеяния в СЦМ.

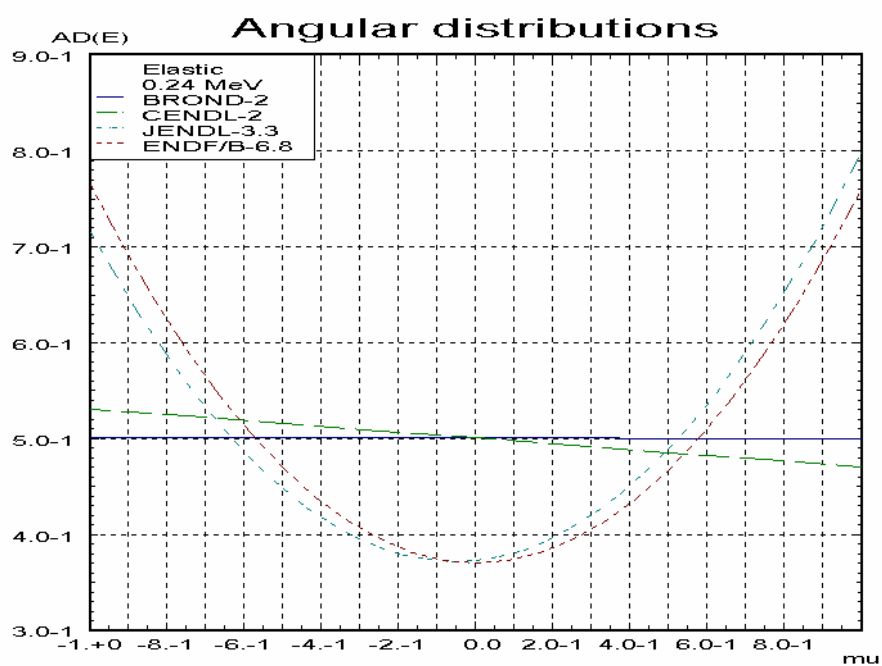


Рис. 23. Нормированные угловые распределения упругого рассеяния нейтронов при энергии 0.24 МэВ в зависимости от косинуса угла рассеяния в СЦМ.

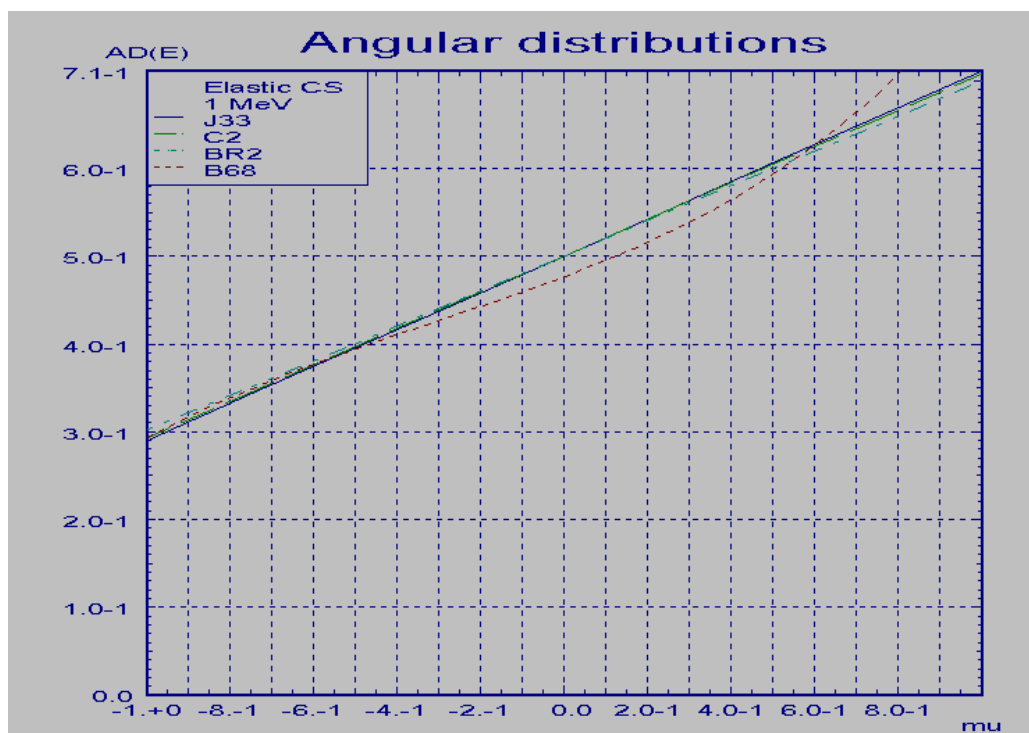


Рис. 24. Нормированные угловые распределения упругого рассеяния нейтронов при энергии 1 МэВ в зависимости от косинуса угла рассеяния в СЦМ.

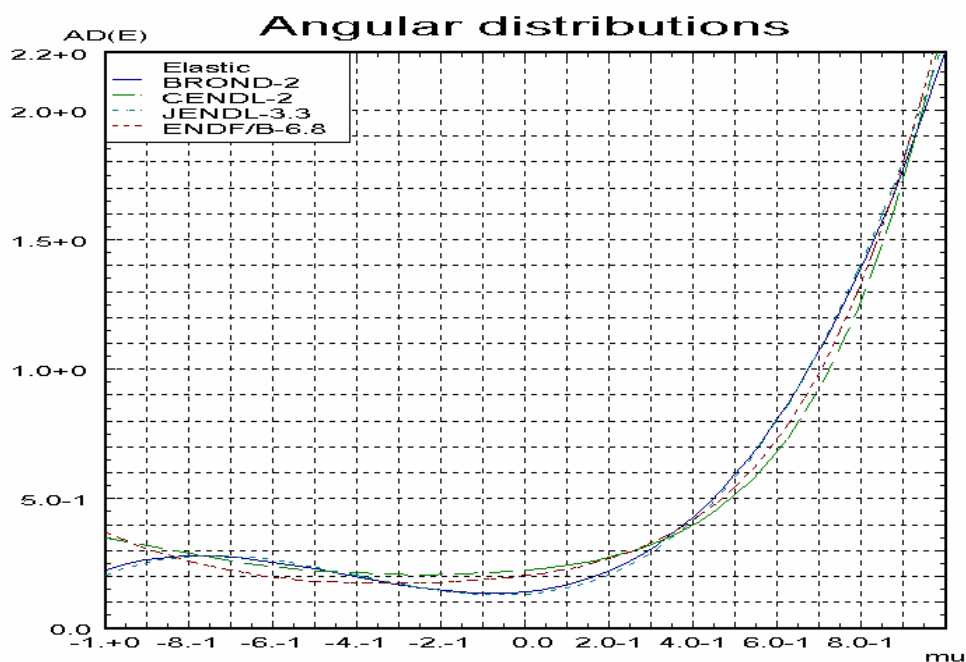


Рис. 25. Нормированные угловые распределения упругого рассеяния нейтронов при энергии 5 МэВ в зависимости от косинуса угла рассеяния в СЦМ.

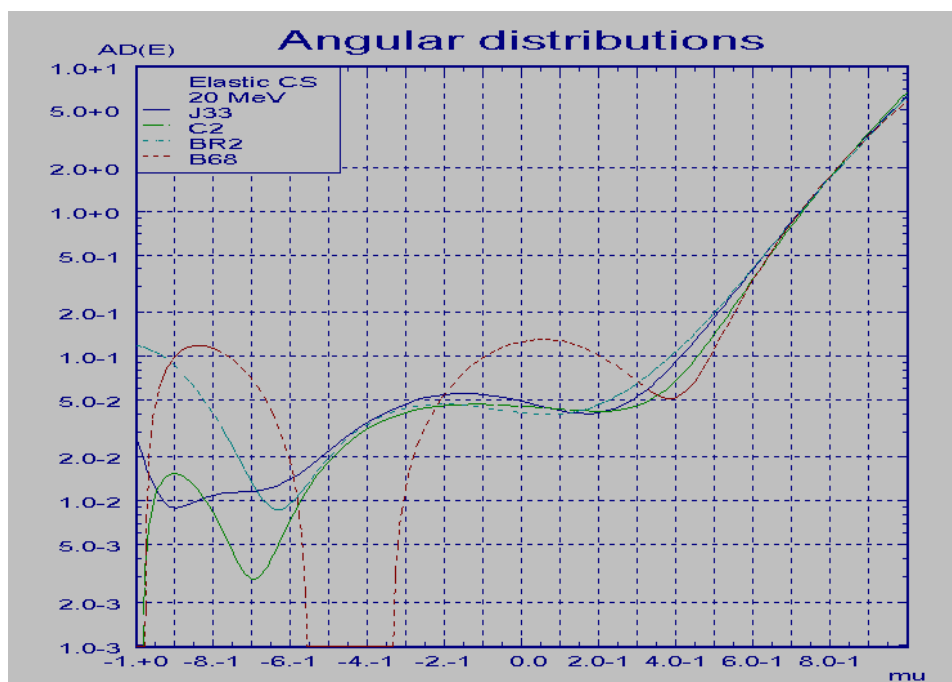


Рис. 26. Нормированные угловые распределения упругого рассеяния нейтронов при энергии 20 МэВ в зависимости от косинуса угла рассеяния в СЦМ.

В библиотеке ENDF/B-6.8 дифференциальные сечения упруго рассеянных нейтронов принимают при некоторых углах рассеяния отрицательные значения при $E_n > 11.8$ МэВ. В CENDL-2 то же самое имеет место при $E_n > 18$ МэВ. Причина этого – обрезание по числу полиномов используемых для описания угловых распределений, проведенное после того как описание выполнено. Чтобы устранить отрицательные сечения угловые распределения для $E_n > 11.8$ МэВ в РОСФОНД могут быть взяты из библиотеки BROND-2, в которой коэффициенты при полиномах низких порядков весьма близки к рекомендованным в ENDF/B-VI (Рис. 27).

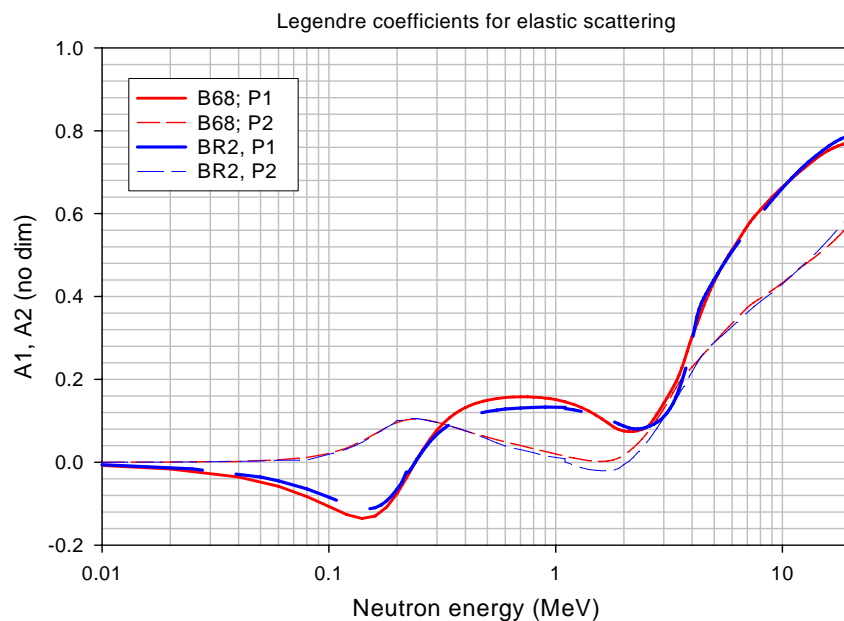


Рис. 27. Коэффициенты разложения (A_1 , A_2) по полиномам Лежандра первого (P1) и второго (P2) порядков в зависимости от энергии нейтронов.

4.2. Угловые распределения нейтронов реакций $(n,2n\alpha)H$ (MT=24) в библиотеках ENDF/B-6.8 и BROND-2 оценивались по модели четырехтельного развала на $n+n+p+\alpha$ без учета взаимодействия разлетающихся частиц. На рисунке 27 показана форма их угловых распределений при энергии падающих нейтронов в 14 МэВ. В CENDL-2 эти угловые распределения приняты изотропными, а в JENDL-3.3 оценены на основе имеющихся экспериментальных данных. Их сравнение показано на рисунке 28. оценки из любой библиотеки кроме CENDL-2 могут быть использованы в РОСФОНД.

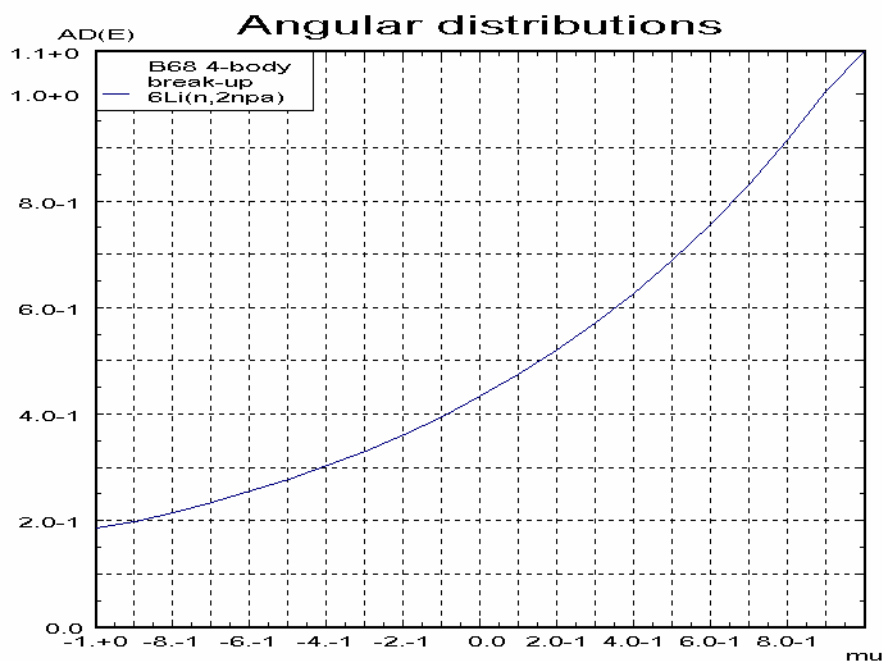


Рис. 28. Форма угловых распределений нейтронов из реакции $(n,2n)$ в библиотеке ENDF/B-6.8 при энергии падающих нейтронов в 14 МэВ.

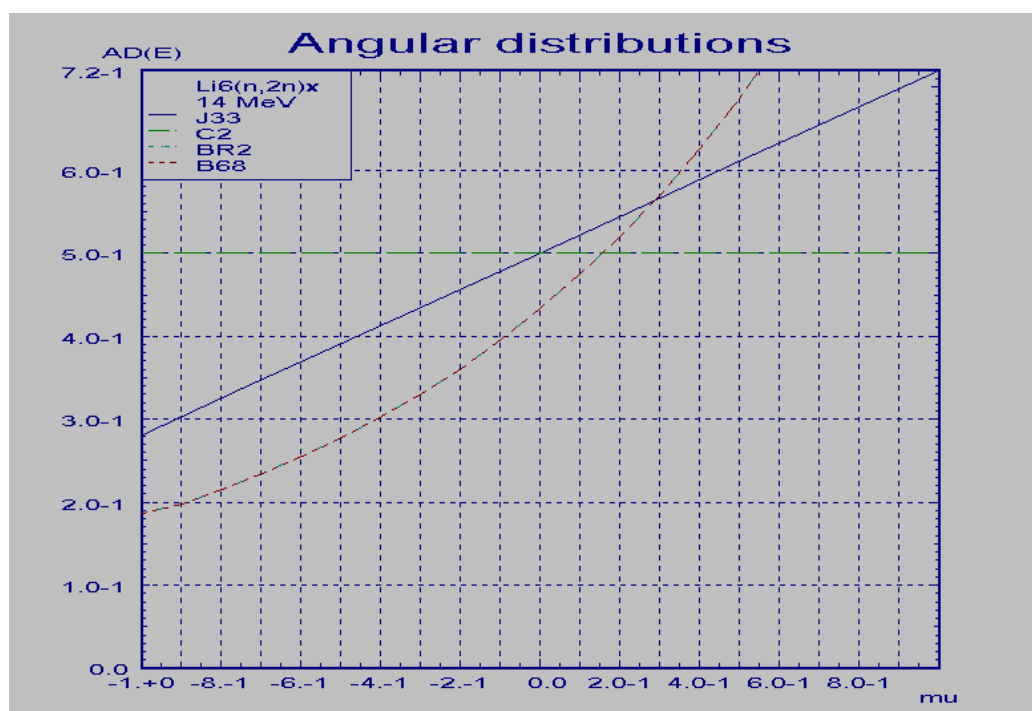


Рис. 29. Форма угловых распределений нейтронов из реакции $(n,2n)$ в различных библиотеках при энергии падающих нейтронов в 14 МэВ. Используемые сокращения для обозначения библиотек. B68 – ENDF/B-6.8; J33 – JENDL-3.3; C2 – CENDL-2; BR2 – BROND-2.2.

4.3. Угловые распределения трития из реакции ${}^6\text{Li}(n,t)$ в библиотеке BROND-2 заданы в файле MF=6 как изотропные в системе центра масс. В библиотеках CENDL-2 и JENDL-3.3 угловые распределения не даны. Угловые распределения трития из ENDF/B-6.8 приведены на рисунке 29. Угловые распределения до 1 МэВ получены в R-матричной параметризации. Для E_n выше 1 МэВ симметрия вперед-назад уменьшается с ростом энергии падающих нейтронов, что не отражает правильно физику процесса.

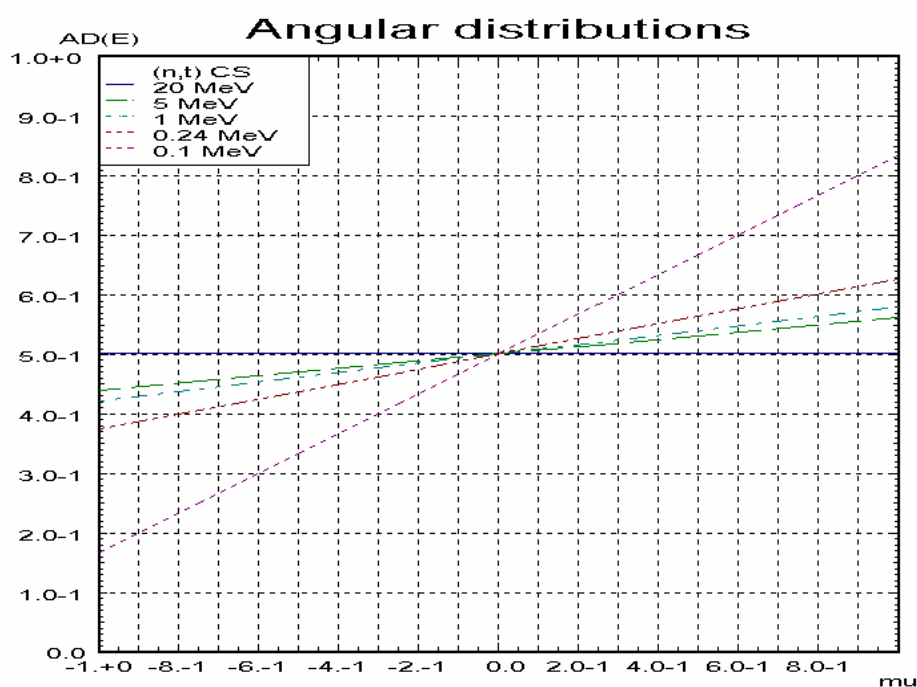


Рис. 30. Форма угловых распределений трития из реакции (n,t) в библиотеке ENDF/B-6.8.

4.3. Угловые распределения нейтронов из реакции (n,n'd) (MF=4 или MF=6, MT=32), отсутствуют во всех библиотеках кроме CENDL-2 (показаны на рисунке 31), поскольку в них эта реакция описывается как неупругое рассеяние ${}^6\text{Li}(n,n'){}^6\text{Li}^*$.

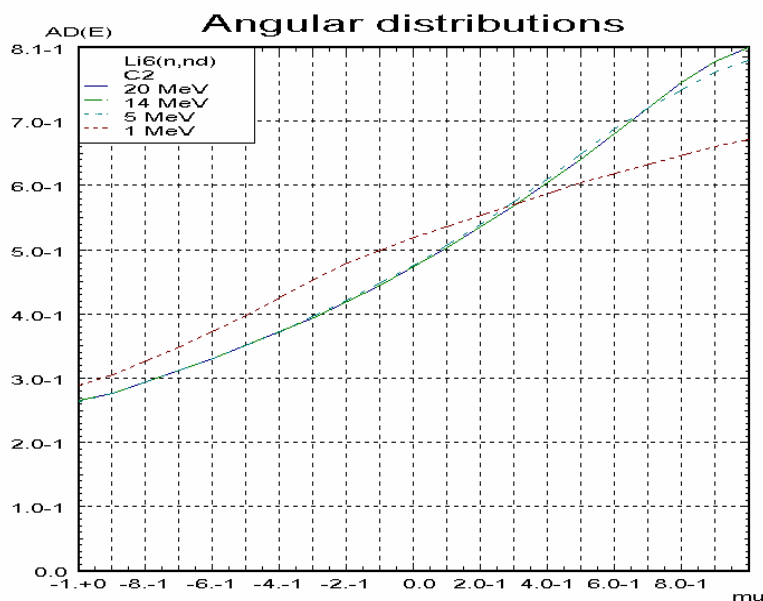


Рис. 31. Форма угловых распределений нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,n'd)\alpha$ в библиотеке CENDL-2.

Угловые распределения нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,n'd)\alpha$ описываемые в библиотеках ENDF/B-6.8 и JENDL-3.3 как неупругое рассеяние, заданы изотропными для всех уровней, за исключением уровня с энергией 2.185 МэВ (MT=53), первого, не являющегося псевдо-уровнем, а в JENDL-3.3 – также и для уровня с энергией 4.31 МэВ. В этих случаях они оценены на основе экспериментальных данных. В BROND-2 угловые распределения неупругого рассеяния с возбуждением первого уровня с энергией 2.185 МэВ были оценены на основе экспериментальных данных, а континуума уровней (рисунок 32) – с учетом всех возможных механизмов, включая реакции, не являющиеся рассеянием.

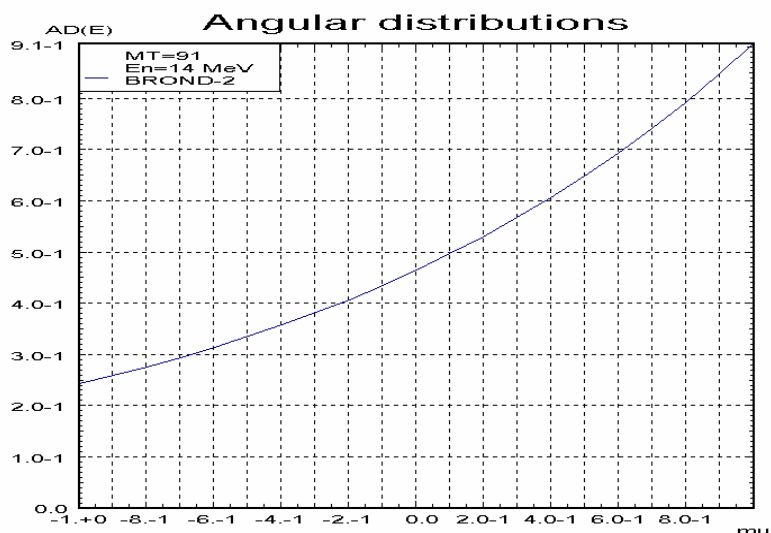


Рис. 32. Форма угловых распределений нейтронов из реакции (n,n')x с возбуждением континуума уровней в библиотеке BROND-2.

Несомненным общим недостатком оценок угловых распределений вторичных частиц является то, что учитывались не все механизмы реакций последовательного и

одновременного распада. Кроме этого, отдельное задание угловых и энергетических распределений в области континуума уровней (а не коррелированных в MF=6) лишено большого смысла.

Учитывая, что качество описания угловых (и энергетических) распределений нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,n'd)\alpha$ не может быть улучшено без перехода от их представления в файлах MF=4 (MF=5) к файлу энерго-угловых распределений MF=6, где вносят вклад как различные механизмы так и разная кинематика реакций, в настоящее время для РОСФОНД можно рекомендовать угловые распределения из ENDF/B-6.8, так как неупругое рассеяние вероятно вносит основной вклад в полное сечение с выходом $n+d+\alpha$. является о.

5. Энергетические распределения вторичных частиц.

5.1. Спектр нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,n'd)\alpha$ задан в библиотеке BROND-2 для континуума уровней реакции неупругого рассеяния (MF=5, MT=91) и включает вклады разных механизмов последовательного и одновременного испускания частиц. Для нейтронов с энергией 14 МэВ он показан на рисунке 33. Тот же спектр в библиотеке CENDL-2 (рисунок 34) содержит вклад от дискретных уровней не выделенных в отдельные секции и поэтому является более жестким. В других библиотеках (ENDF/B-VI.8, JENDL-3.3) спектр нейтронов определяется через возбуждение псевдоуровней неупругого рассеяния и при энергии 14 МэВ представляет собой сумму спектра трехтельного развала представленного через псевдоуровни с максимумом при энергии в районе 5 МэВ и вклада от уровней коллективной природы. Без проведения детального сравнения и анализа спектров эмиссии вторичных нейтронов с последними экспериментальными данными, спектры из библиотеки ENDF/B-VI.8 могут быть рекомендованы для РОСФОНД.

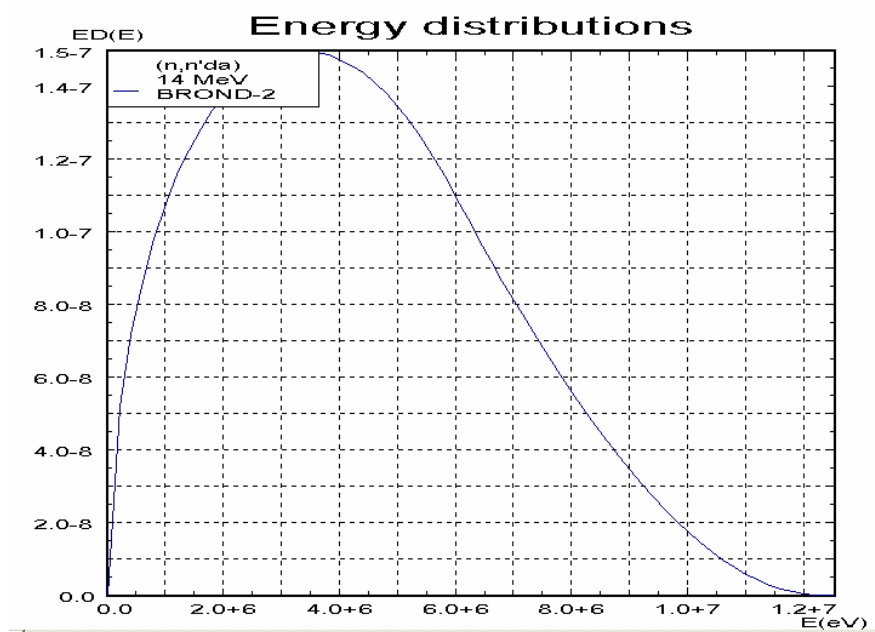


Рис. 33. Нормированный на 1 спектр нейтронов из реакции $(n,n'd)\alpha$ в библиотеке BROND-2 для нейтронов с начальной энергией 14 МэВ и возбуждением при неупругом рассеянии уровней непрерывного спектра .

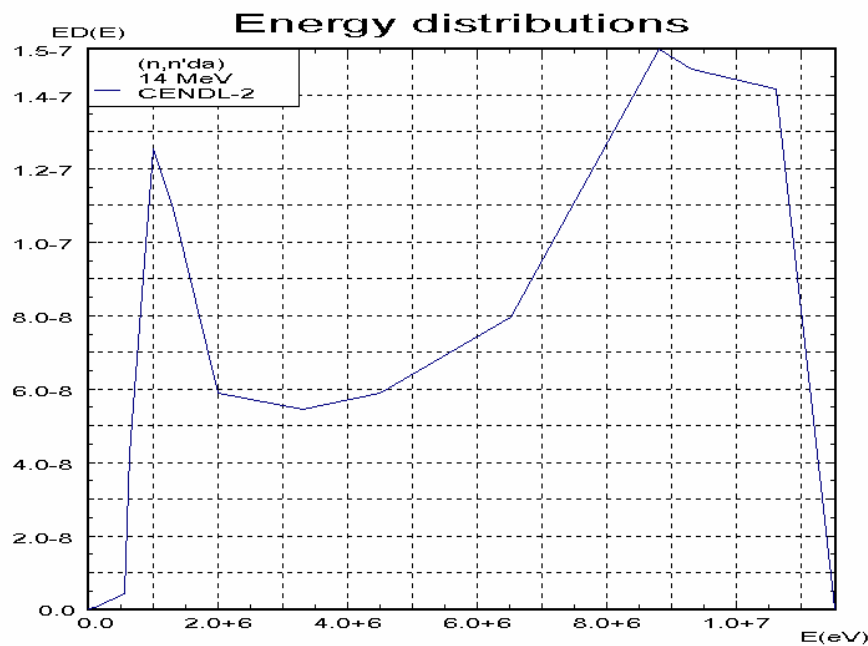


Рис. 34. Нормированный на 1 полный спектр нейтронов из реакции $(n,n'd\alpha)$ в библиотеке CENDL-2 для нейтронов с начальной энергией 14 МэВ.

5.2. Спектр нейтронов из реакции $(n,2n)$ в библиотеках ENDF/B-6.8 и BROND-2 задан как спектр четырехтельного развала $n+n+p+\alpha$ невзаимодействующих частиц и представлен на рисунке 35 для 14-МэВ падающих нейтронов. Тот же спектр в JENDL-3 определен в испарительной модели и является более мягким (рисунок 36). Наиболее реалистичным является по-видимому представление спектра в CENDL-2 (рисунок 37), где он задан вероятно суммой более жесткого спектра первого нейтрона и мягкого спектра второго нейтрона реакции $(n,2n)$.

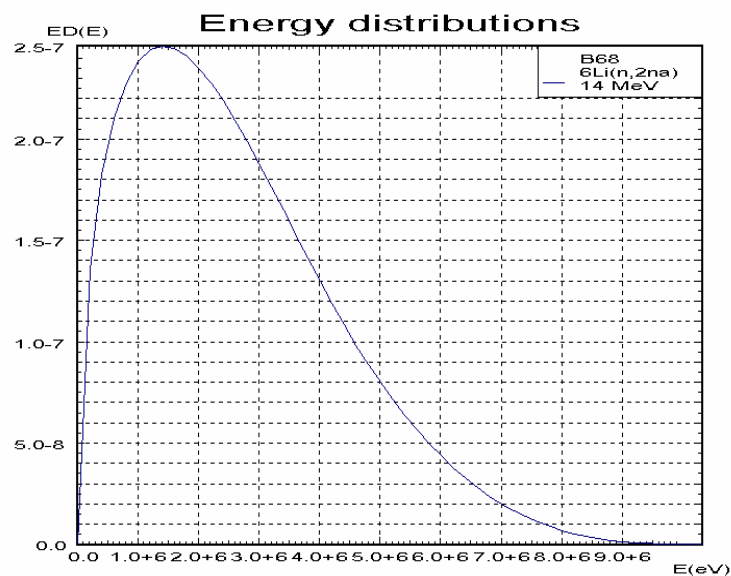


Рис. 35. Нормированный на 1 спектр вторичных нейтронов из реакции $(n,2n)x$ в библиотеке ENDF/B-6.8 для нейтронов с энергией 14 МэВ.

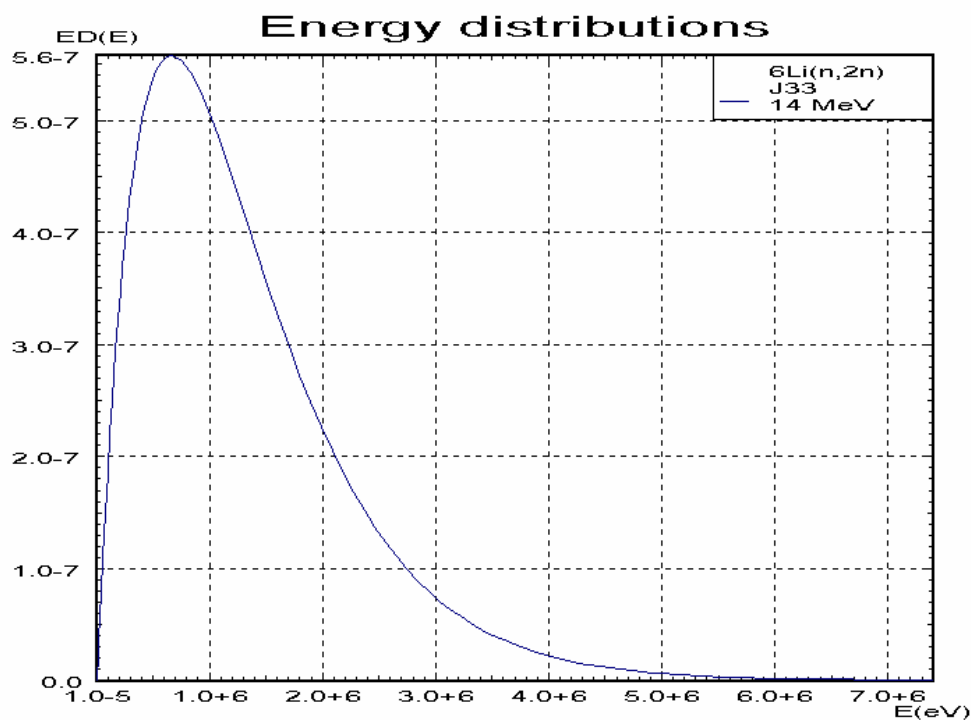


Рис. 36. Нормированный на 1 спектр вторичных нейтронов из реакции $(n,2n)_x$ в библиотеке JENDL-3.3 для нейтронов с энергией 14 МэВ.

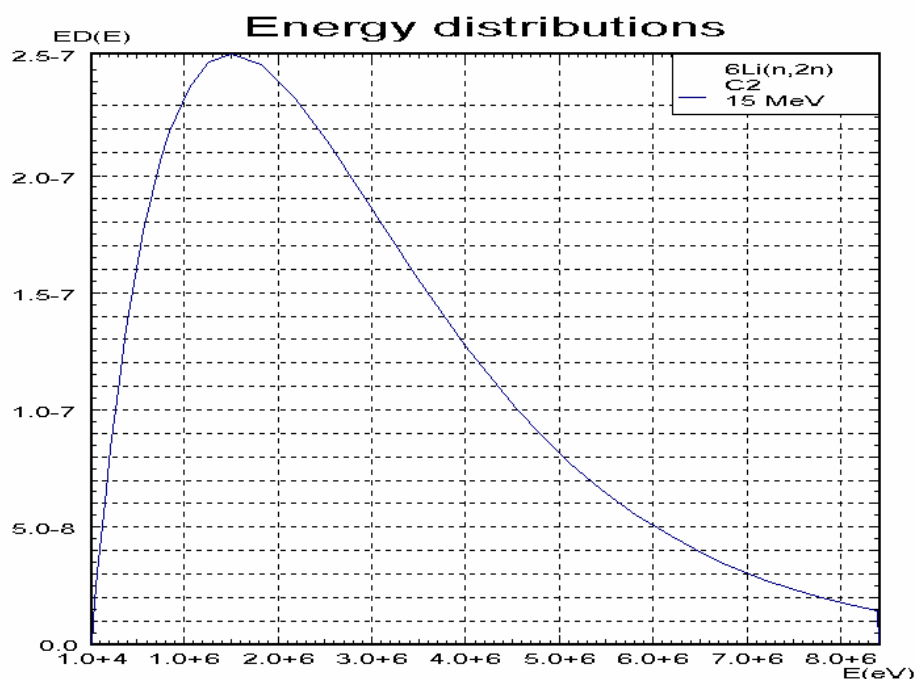


Рис. 37. Нормированный на 1 спектр вторичных нейтронов из реакции $(n,2n)_x$ в библиотеке CENDL-2 для нейтронов с энергией 14 МэВ.

6. Образование гамма лучей

6.1. Спектр гамма-лучей неупругого рассеяния в библиотеках ENDF/B-6.8 и JENDL-3.3 заданы в файле MF=12 только для MT=57 (возбуждение уровня с энергией 3.652 МэВ) единственным гамма переходом в основное состояние с единичной множественностью. Испускание изотропно и определено в файле MF=14. В БРОНД-2 этот процесс описывается в файле MF=6.

6.2. Спектр гамма-лучей захвата в библиотеках ENDF/B-6.8 и JENDL-3.3 определен файлом MF=12. Множественность равна 1.39. В 61% случаев испускается один квант с энергией 7.2505 МэВ; в 39% случаев – каскад из квантов с энергиями 6.7729 МэВ и 0.4776 МэВ. Испускание изотропно и определено в файле MF=14. В БРОНД-3 этот процесс описывается файлом MF=6 в котором допущена ошибка. В CENDL-2 образование гамма-квантов в нейтронных реакциях на литии-6 не приводится. Целесообразность принять данные из ENDF/B-6.8 и JENDL-3.3 не вызывает сомнений.

7. Ковариационные матрицы погрешностей

Декларировано в свободном тексте, что ковариационные матрицы погрешностей приведены в библиотеке ENDF/B-6.8 для сечения упругого рассеяния и (n,t) до энергии 4 МэВ как взятые из оценки стандартов. В действительности, приведены только экспертные оценки процентных погрешностей в свободном тексте (MF=1). В других библиотеках погрешности отсутствуют. В РОСФОНД рекомендуется включить ковариационную матрицу погрешностей подготовленную в рамках координационной исследовательской программы МАГАТЭ по оценке нейтронных стандартов (как и для сечения). Процентные погрешности полученные в рамках этой программы заметно меньше, чем приводятся в экспертной оценке. Обоснование таких погрешностей приводится в работе [5].

8. Перечень цитированных работ

1. J.K. Tuli, Nuclear Wallet Cards, NNDC, BNL, USA, April 2005.
2. <http://www.tunl.duke.edu/NuclData/>, выборка 25 июля 2005.
3. <http://www-nds.iaea.org/exfor/endf00.htm>, выборка 4 июля 2005.
4. http://www.nndc.bnl.gov/csewg_members/eval/, выборка 4 июля 2005.
5. V.G. Pronyaev et al., Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Santa Fe, NM, USA, 26 September – 1 October 2004, p. 808 (2005).

9. Заключение

9.1. Рекомендованная оценка и ее улучшение

На основании всех представленных данных рекомендуется отобрать оценку из библиотеки ENDF/B-6.8 как базовую для ее последующего улучшения. При формировании файла библиотеки РОСФОНД в эту библиотеку внесены следующие изменения.

1. Угловые распределения упругого рассеяния для энергии выше 11.8 МэВ заменены на взятые из BROND-2 и положительны во всем интервале энергий и углов.
2. Сечение упругого рассеяния и реакции (n,t) до энергии нейтронов в 2,8 МэВ заменены на значения, полученные в новой оценке стандартов.
3. Введены ковариационные матрицы погрешностей для сечений упругого рассеяния и реакции (n,t) до энергии нейтронов в 2,8 МэВ приведённые в новой оценке стандартов. В связи с форматными требованиями эти матрицы были расширены до энергии нейтронов в 20 МэВ, при этом погрешностей выше энергии в 2,8 МэВ были приписаны весьма грубо методом экспертной оценки. Поэтому результаты приведённые в файле MF=33 являются предварительными и относятся именно к тем значениям сечений (n,t) и упругого рассеяния которые приведены в файле MF=3.

Проблему совместного описания полного, упругого сечения и сечения реакции (n,t) в интервале энергий 1 – 2,8 МэВ данной оценки нельзя считать полностью решённой, что связано с существующими противоречиями между экспериментальными данными. Сравнение оцененных данных показано на рисунках 38, 39 и 40, где парциальные и полные сечения приведены для удобства сравнения в одной и той же шкале. Отличия в принятых сечениях реакций (n,t) и упругого рассеяния и в принятом полном сечении от данных ENDF/B-VI невелики. Однако, несмотря на то, что произошло некоторое улучшение описания экспериментальных данных по сечению упругого рассеяния и сечению реакции (n,t) в области энергий 1 – 2,8 МэВ, расхождения с экспериментальными данными по полному сечению в этой области даже возросло. Частично это может быть объяснено тем, что результаты измерения сечения (n,t) с помощью камер деления должны быть поправлены на эффект утечки частиц широко обсуждаемый в последнее время. Эффект заключается в том, что существует область перекрытия сигналов, приходящих от тритона и альфа частицы, с сигналом от ядра отдачи при рассеянии нейтрона. Разделение сигналов методами, использовавшимися в ранних измерениях, приводило к занижению определяемого сечения реакции (n,t). В то же время, как было отмечено выше, полные сечения в измерениях с высоким разрешением приведённые на рисунке 38 не представлены окончательными результатами и нуждаются в введении поправок. Несмотря на то, что экспериментальные данные по полному сечению при оценке методом наименьших квадратов с использованием R- матричной модели учитывались, на результаты оценки вдали от резонанса они повлияли мало. При значении χ^2 порядка 1 при описании всех данных такое локальное расхождение свидетельствует о наличии противоречий в анализируемых данных (расхождений, превышающих приписанные результатам погрешности). Следует отметить, что обоснованное использование метода наименьших квадратов предполагает отсутствие подобных противоречий.

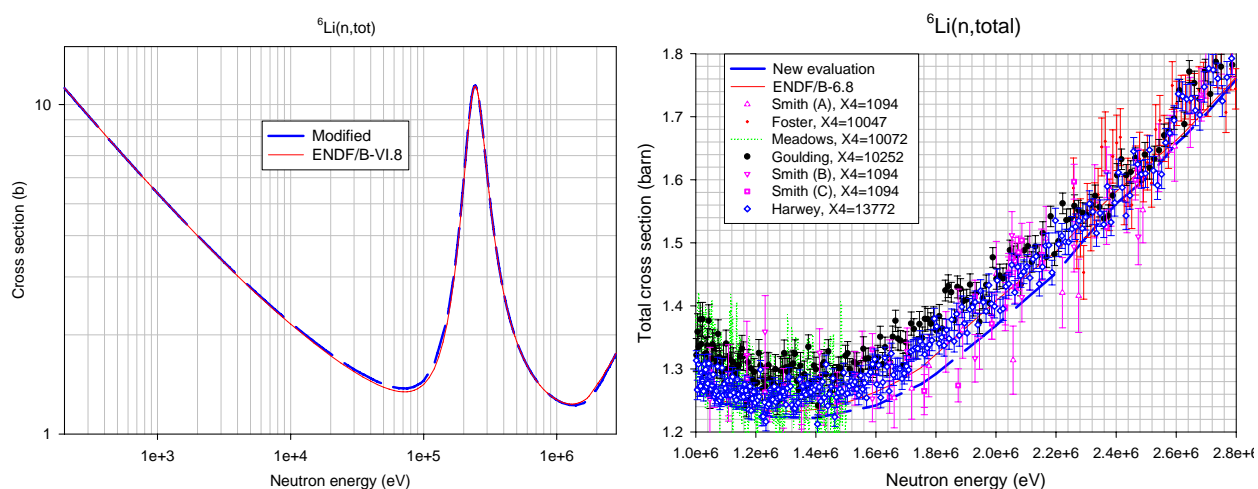


Рис. 38. Полное сечение в ENDF/B-6.8 и новой оценке стандартов.

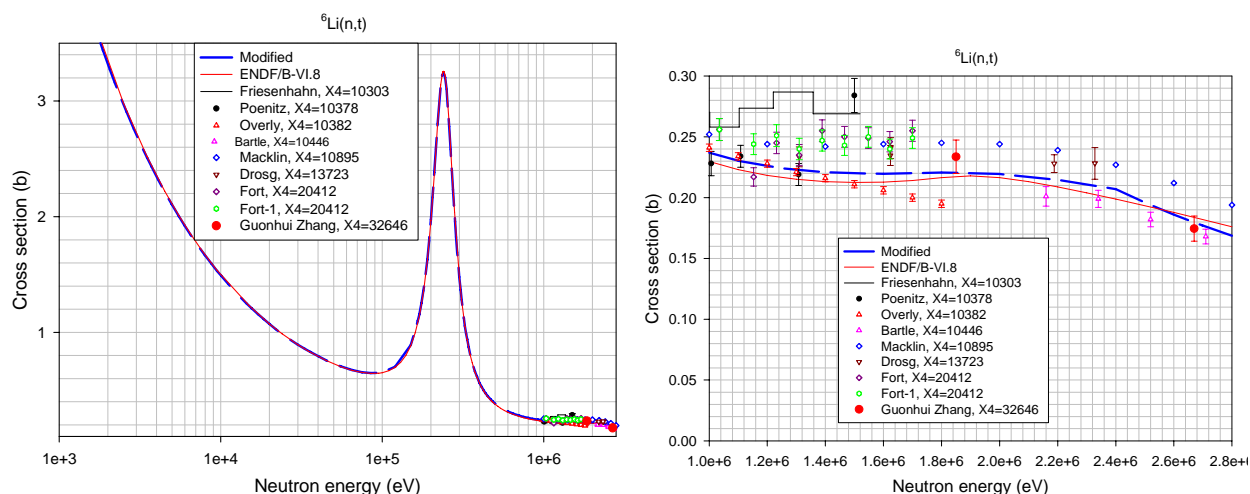


Рис. 39. Сечение реакции (n,t) в ENDF/B-6.8 и новой оценке стандартов.

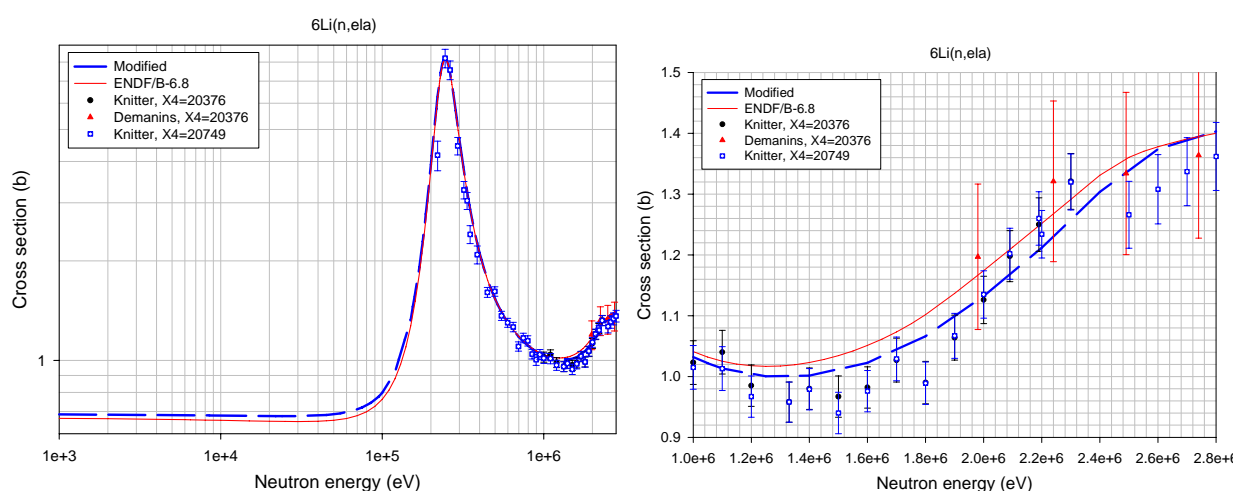


Рис. 40. Сечение упругого рассеяния в ENDF/B-6.8 и новой оценке стандартов.

На рисунке 41 приведены погрешности сечений упругого рассеяния и реакции (n,t), полученные при оценке стандартов. Там же показаны результаты прежней оценки стандартного сечения и экспертные оценки погрешностей, выполненные в 1991 г.. Приведённые процентные ошибки характеризуют только диагональную часть ковариационной матрицы ошибок. Ковариационные матрицы ошибок, оцененные в R-матричной модели, обладают существенными корреляциями. Сами оценки опираются на большой круг дополнительных данных, привлекавшихся для оценки сечений в нейтронных каналах и адекватную физическую модель, что в совокупности существенно уменьшает процентную ошибку. Этим и может быть объяснена существенная разница между экспертной оценкой и оценкой, получаемой на основе R-матричного модельного описания энергетического хода сечений методом наименьших квадратов.

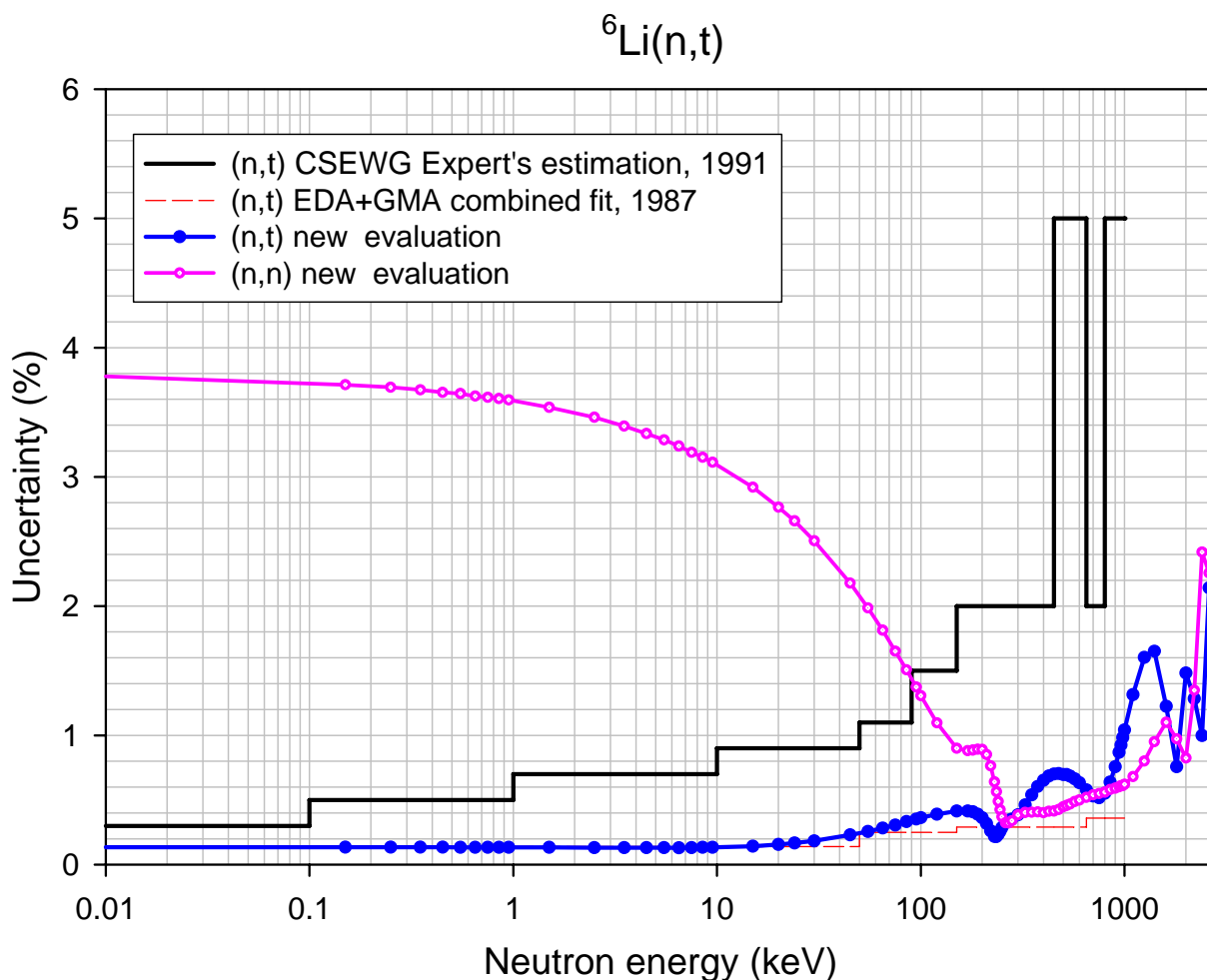


Рис. 41. Погрешности упругого рассеяния и реакции (n,t).

Устранение отмеченных выше противоречий в принятых оцененных данных - это задача будущего уточнения библиотеки РОСФОНД, которое для рассматриваемого материала, используемого в качестве нейтронного стандарта, должно, разумеется, осуществляться в рамках ведущегося международного сотрудничества.

9.2. Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

9.3. Содержание файла РОСФОНД:

MF	MT
1	451 – заголовочная секция.
3	1 – полное сечение.
3	2 – сечение упругого рассеяния.
3	4 – полное сечение неупругого рассеяния.
3	24 – сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,2n){}^2\text{H}$
3	51 - 81 – сечения неупругого рассеяния с возбуждением дискретных уровней и псевдоуровней.
3	102 – сечение радиационного захвата ${}^6\text{Li}(n,\gamma){}^7\text{Li}$
3	103 – сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,p){}^6\text{He}$.
3	105 – сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$.
4	2 – угловые распределения упруго рассеянных нейтронов.

4	24 – угловые распределения нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,2n\alpha){}^2\text{H}$.
4	51 - 81 – угловые распределения неупругого рассеяния с возбуждением дискретных уровней и псевдоуровней нейтронов.
5	24 – энергетические спектры нейтронов из реакции ${}^6\text{Li}(n,2n\alpha){}^2\text{H}$.
12	57 – выходы дискретных фотонов при возбуждении уровня неупругого рассеяния.
12	102 – выходы дискретных фотонов радиационного захвата.
14	57 – угловые распределения дискретных фотонов при возбуждении уровня неупругого рассеяния.
14	102 – угловые распределения дискретных фотонов радиационного захвата.
33	1 – ковариационная матрица погрешностей полного сечения.
33	2 – ковариационная матрица погрешностей сечения упругого рассеяния.
33	105 – ковариационная матрица погрешностей сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$.

3.2. Литий–7

1. Общие характеристики

- a. $Z=3$
- b. $A=7.016004073 \pm 0.000000506$
- c. $A_w=6.955733173 \pm 0.000000561$
- d. Содержание в естественной смеси: 92.5 ат%;
93.5 вес%
- e. Перечень важнейших нейтронных реакций

MT	Реакция	Q, МэВ	$E_{\text{порог.}}, \text{ МэВ}$	Ядро-продукт ^{*)}
2	(n,elas)	0	0	Li-7
16	(n,2n)	-7.251	8.293	Li-6
24	(n,2n α)	-8.724	9.978	H-2
25	(n,3n α)	-10.949	12.523	H-1
51	(n,n)	-0.4776	0.5462	Li-7
52	(n,n')	-4.630	5.295	Li-7
102	(n, γ)	2.033	0	Li-8
205	(n,xt)=(n,n't)	-2.483	2.840	T, He-4

- f. Схема уровней:

E (кэВ)	J π	Γ (кэВ) или $T_{1/2}$	Распад
0	3/2-	Стабильный	стабильный
477.612 ± 0.003	1/2-	105 ± 3 фтсек	γ
4630 ± 9	7/2-	93 ± 8	t, α
6680 ± 50	5/2-	875(+200 –100)	t, α
7459.5 ± 1.0	5/2-	89 ± 7	n,t, α
9670 ± 100	7/2-	≈ 400	n,t, α
9850	3/2-	≈ 1200	n, α
11240 ± 30	3/2-	260 ± 35	n,p
13700		≈ 500	n
14700		≈ 700	n

- g. Радиоактивность: не радиоактивен

2. Резонансная область: (MF=2)

- 2.1. Спин и четность $J^\pi = 3/2^-$;
- 2.2. Радиус рассеяния: $R = 0.2778311 \cdot 10^{-12} \text{ см}$.
- 2.3. Область неразрешенных резонансов отсутствует.

3. Сечения нейтронных реакций (MF=3)

При отборе оцененных нейтронных данных для библиотеки РОСФОНД

рассматривались следующие оценки, используемые в современных библиотеках

оцененных данных:

- оценка С.Чиба (S.Chiba) и К.Шибата (K.Shibata) 1984 г., включенная в библиотеку JENDL-3.3 без изменений из библиотеки JENDL-3.2;
- оценка Янга (P.Young), выполненная в 1988 году и включенная в библиотеку ENDF/B-6;
- оценка И.Бондаренко, выполненная в 1984 году и включенная в библиотеку БРОНД-2.

Оценки EFF-2.4, JEFF-3.1 не рассматривались, т.к. в них данные для лития-7 заимствованы (с незначительными изменениями) из библиотеки ENDF/B-6 или библиотеки ENDF/B-5.2. Оценка ENDF/B-6 без изменений принята и в ENDF/B-7.

3.1. Полное сечение (MT=1).

Оценка JENDL-3.3 выше 100 кэВ выполнена на основе экспериментальных данных [1-4]. Ниже этой энергии полное сечение получено как сумма 0.97 барн (сечение упругого рассеяния в тепловой точке) и сечения радиационного захвата.

Оценка BROND-2:

- а) воспроизводит экспериментальные данные [5] в интервале 1 – 100 кэВ,
- б) получена на основе экспериментальных данных [1] (взятых со сдвигом по энергии – 6 кэВ) в интервале 100 кэВ – 1 МэВ,
- в) воспроизводит экспериментальные данные [6] в интервале 1 – 2 МэВ,
- г) совпадает с оценкой ENDF/B-5.2 [7] в интервале 2 – 16 МэВ.

Оценка ENDF/B-6 выполнена на основе метода Байеса с помощью программы GLUCS [8]. В качестве априорных данных использовались результаты оценки ENDF/B-5.2 [7]. В области энергий нейтронов 16 – 20 МэВ единственными экспериментальными данными являются измерения полного сечения и сечения неупругого рассеяния. Для надежного определения парциальных сечений в этой области были выполнены расчеты в рамках сферической оптической модели по программе SCATOPT [9] в энергетическом интервале 10 – 20 МэВ. Кроме измерений полного сечения [10] в анализе использовались результаты измерений угловых распределений упругого рассеяния нейтронов [11,12].

Как следует из Рис.1, оценка ENDF/B-6 находится в приемлемом согласии с экспериментальными данными, в частности (см. Рис.2), с последними прецизионными измерениями полного сечения, выполненными Abfalterer et al. [13] (декларируемая

статистическая погрешность измерений – 0.5%), хотя в интервале 5 – 9 МэВ оценка ENDF/B-6 лежит систематически выше результатов этих измерений. Оценка JENDL-3.3, лежащая еще выше, представляется несколько завышенной, и потому предпочтение следует отдать оценке ENDF/B-6.

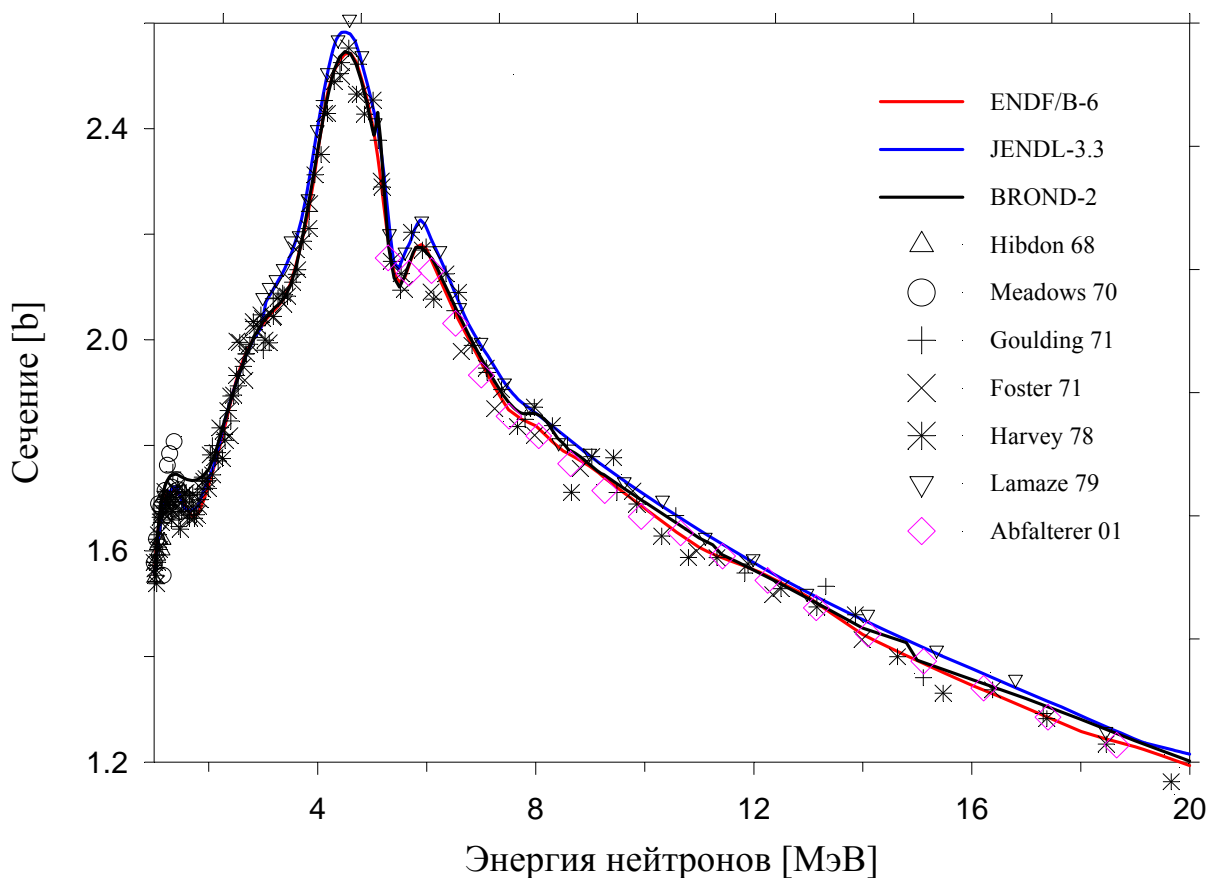


Рис.1 Оцененное сечение реакции ${}^7\text{Li}(n,\text{tot})$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3 и BROND-2 в сравнении с экспериментальными данными.

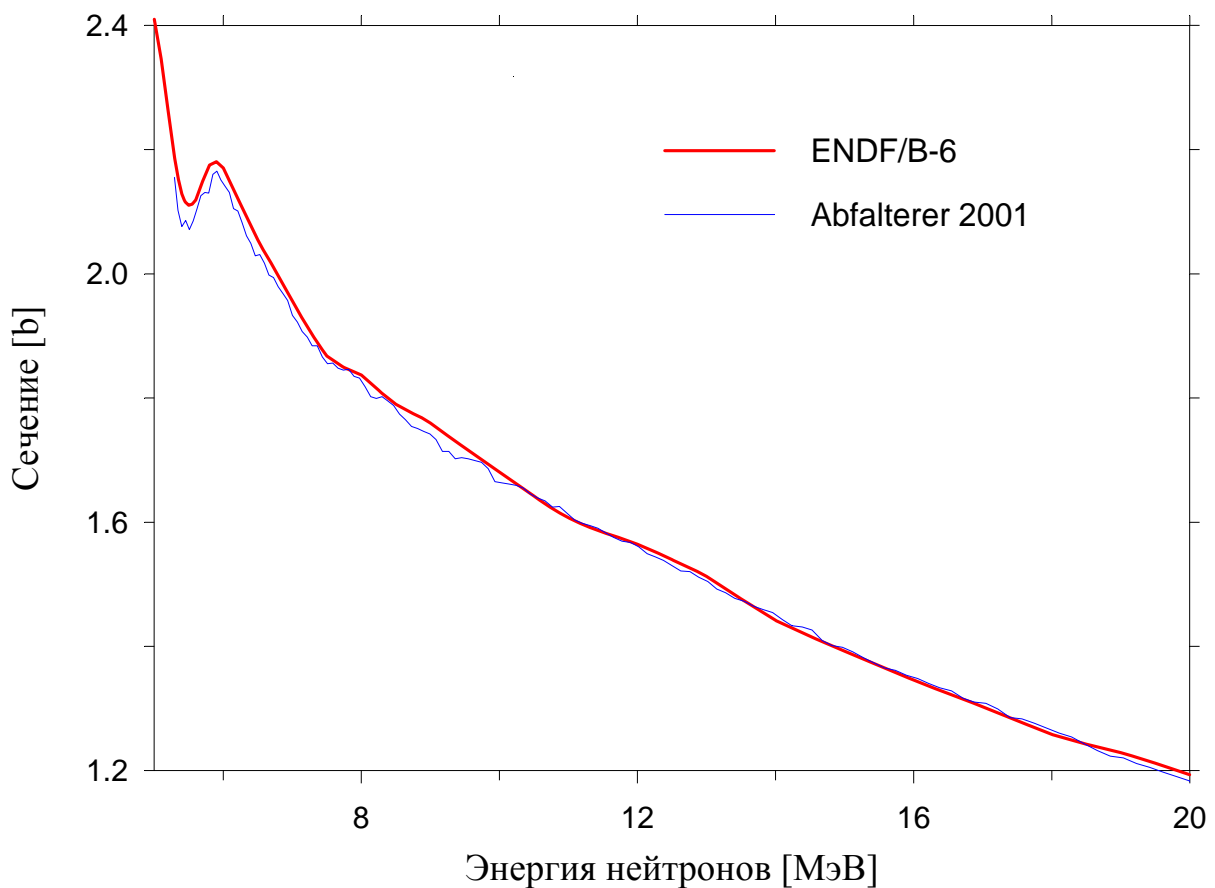


Рис.2 Оцененное сечение реакции ${}^7\text{Li}(n,\text{tot})$ из библиотеки ENDF/B-6 в сравнении с экспериментальными данными Abfalterer 2001.

3.2. Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Оценка сечения упругого рассеяния предопределена трудностями, сопровождающими

- а) прямые измерения данной величины вообще и
- б) процедуру разделения вкладов двух каналов нейтронного взаимодействия - сечения упругого рассеяния и сечения неупругого рассеяния на 1-м возбужденном уровне ядра Li-7.

Ниже 100 кэВ сечение упругого рассеяния в оценке JENDL-3.3 приравнено 0.97 барн (сечению упругого рассеяния в тепловой точке, оцененному Мухабхабом как 0.97 ± 0.04 барна). Выше 100 кэВ сечение упругого рассеяния получено как разность между полным сечением и сечением реакций из условия соблюдения баланса.

Сечение упругого рассеяния в оценке БРОНД-2 получено как разность между полным сечением и сечением реакций из условия соблюдения баланса на всем интервале изменения энергий нейтронов.

Оценка сечения упругого рассеяния в ENDF/B-6 выполнена следующим образом. На первом этапе в рамках байесовского подхода анализировались экспериментальные данные по

- 1) сечению неупругого рассеяния с возбуждением 1-го уровня ядра Li-7,
- 2) сумме сечений упругого и неупругого рассеяния.

На втором этапе сечение упругого рассеяния определялось по разности между двумя оцененными величинами.

Сравнение оценок с немногочисленными прямыми измерениями сечения упругого рассеяния нейтронов приведено на Рис.3. При энергиях ниже 6 МэВ для всех оценок характерно примерно одинаковое качество описания экспериментальных данных. В интервале 12 – 20 МэВ оценка БРОНД-2 существенно занижает сечение упругого рассеяния.

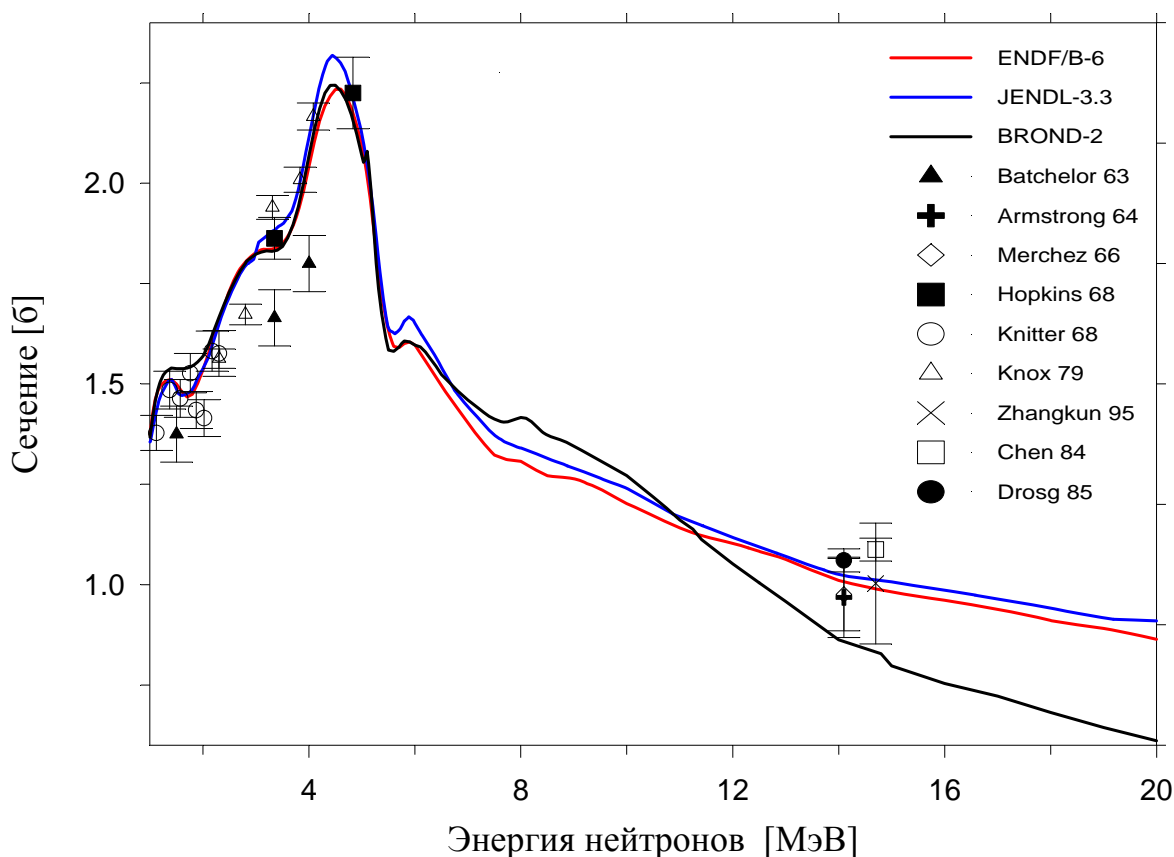


Рис.3 Оцененное сечение реакции ${}^7\text{Li}(n,el)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2.

3.3. Сечение неупругого рассеяния.

Как следует из схемы уровней ${}^7\text{Li}$ (см. пункт 1.6), классическое неупругое рассеяние осуществляется только при возбуждении первого уровня. При возбуждении остальных уровней осуществляется реакция $(n,n't)$, которая будет описана ниже. Соответственно, в данном разделе рассматривается только сечение неупругого рассеяния с возбуждением 1-го уровня.

3.3.1 Сечение неупругого рассеяния с возбуждением 1-го уровня (MT=51).

Все оценки (см. Рис.4) основаны на статистическом анализе экспериментальных данных. Соответственно, отличия в оценках обусловлены количеством и качеством анализируемых экспериментальных данных.

Оценка JENDL-3.3 выполнена с учетом единственного набора экспериментальных данных [14]. Методика оценки не приводится.

Оценка БРОНД-2 основана на экспериментальных данных [15-19]. Методика оценки не описана.

Оценка ENDF/B-6 выполнена в рамках байесовского подхода (по программе GLUCS [8]) с учетом всех доступных экспериментальных данных. В качестве априорной информации использовались оцененные сечения из библиотеки ENDF/B-5.2 [7]. Как видно из Рис.4, оценка ENDF/B-6 лучше других оценок описывает экспериментальные данные и является предпочтительной.

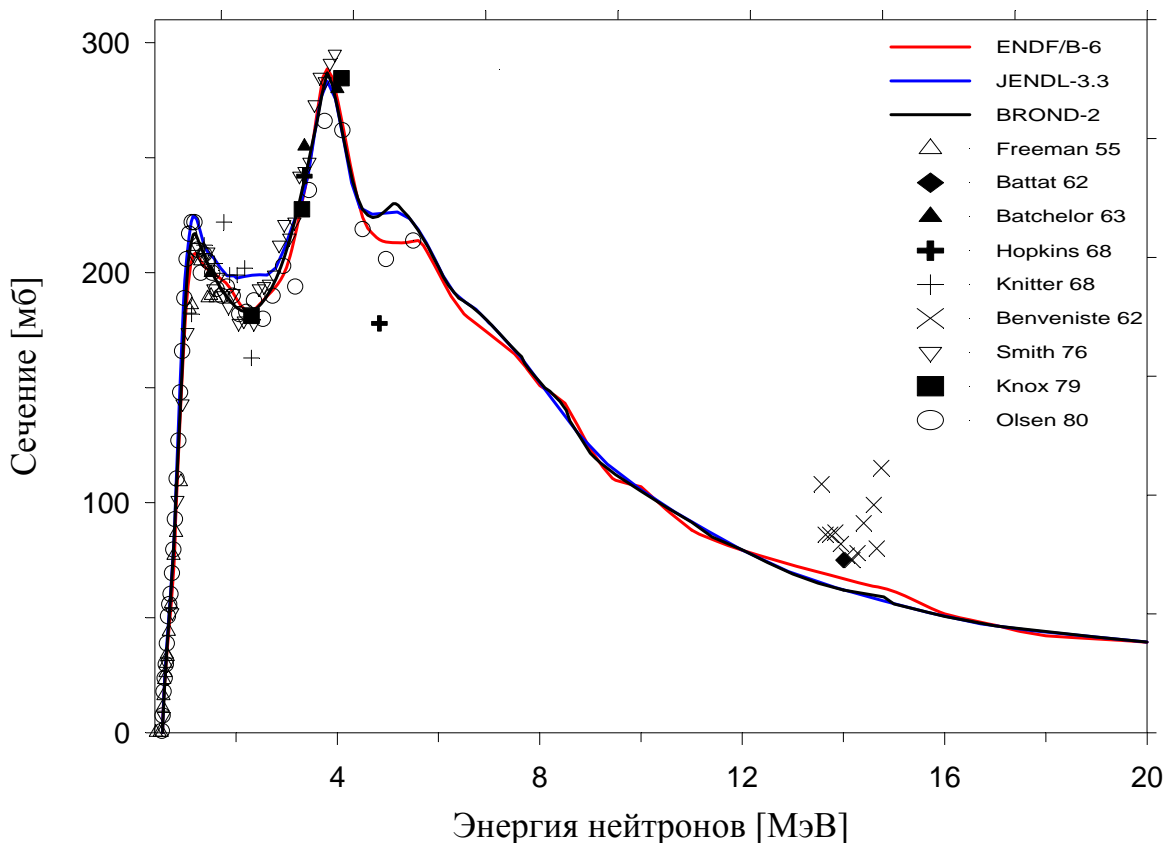


Рис.4 Оцененное сечение реакции ${}^7\text{Li}(n,\text{inel})$ (с возбуждением 1-го уровня Li-7) из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, БРОНД-2.

3.4. Сечения реакций (n,2n) (MT=16), (n,2n α) (MT=24), (n,3n α) (MT=25).

Нейтронная реакция на Li-7 с вылетом двух нейтронов реализуется через два канала — реакцию (n,2n) с порогом 8.29 МэВ и реакцию (n,2n α) с порогом 9.98 МэВ. Сечения этих реакций малы (десятки миллибарн) на всем интервале изменения энергии нейтронов (см. Рис.5), имеют высокий эффективный порог и, соответственно, не представляют сколько-нибудь значимого практического интереса для реакторных приложений (за исключением термоядерных реакторов). Имеются только три измерения полного сечения реакции (n,2n), выполненные в экспериментах [41,42]. Именно они выступали в качестве реперных точек во всех рассматриваемых оценках.

Оценка JENDL-3.3 основана на экспериментальных данных. Методика оценки не приводится. В секции MT=16 дано полное сечение реакции (n,2n), которое включает и сечение реакции (n,2n α).

В отличие от JENDL-3.3 в других библиотеках полное сечение ($n,2n$) расщеплено на компоненты.

В частности, в библиотеке БРОНД-2 полное сечение ($n,2n$) заимствовано из оценки JENDL-3.3 и разбито на 2 равные доли – “чистое” сечение ($n,2n$) (MT=16) и сечение ($n,2n\alpha$) (MT=24).

В оценке для ENDF/B-6 на первой стадии был выполнен статистический анализ суммы сечений ($n,2n$) и ($n,2n\alpha$). На втором этапе сумма разделена на “чистое” сечение ($n,2n$) (MT=16) и сечение ($n,2n\alpha$) (MT=24) в пропорции, принятой в оценке ENDF/B-5.1.

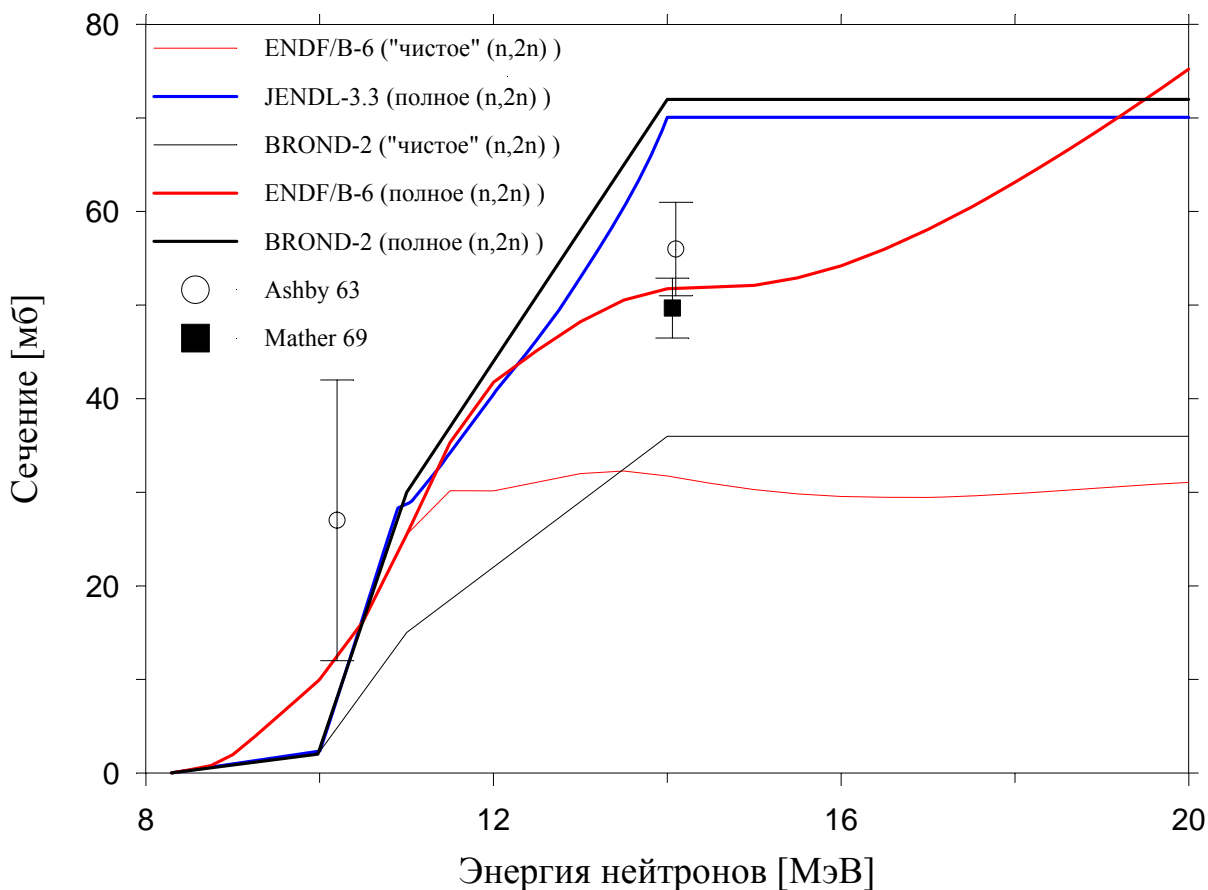


Рис.5 Оцененные сечения (“чистое” и полное) реакции ${}^7\text{Li}(n,2n)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 в сравнении с измерениями полного сечения реакции ($n,2n$).

Нейтронная реакция на Li-7 с вылетом трех нейтронов может быть реализована только через один канал – реакцию ($n,3n\alpha$). Как следует из Рис.6, сечение реакции ($n,3n\alpha$) не превышает 10 мб при энергиях нейтронов меньше 20 МэВ.

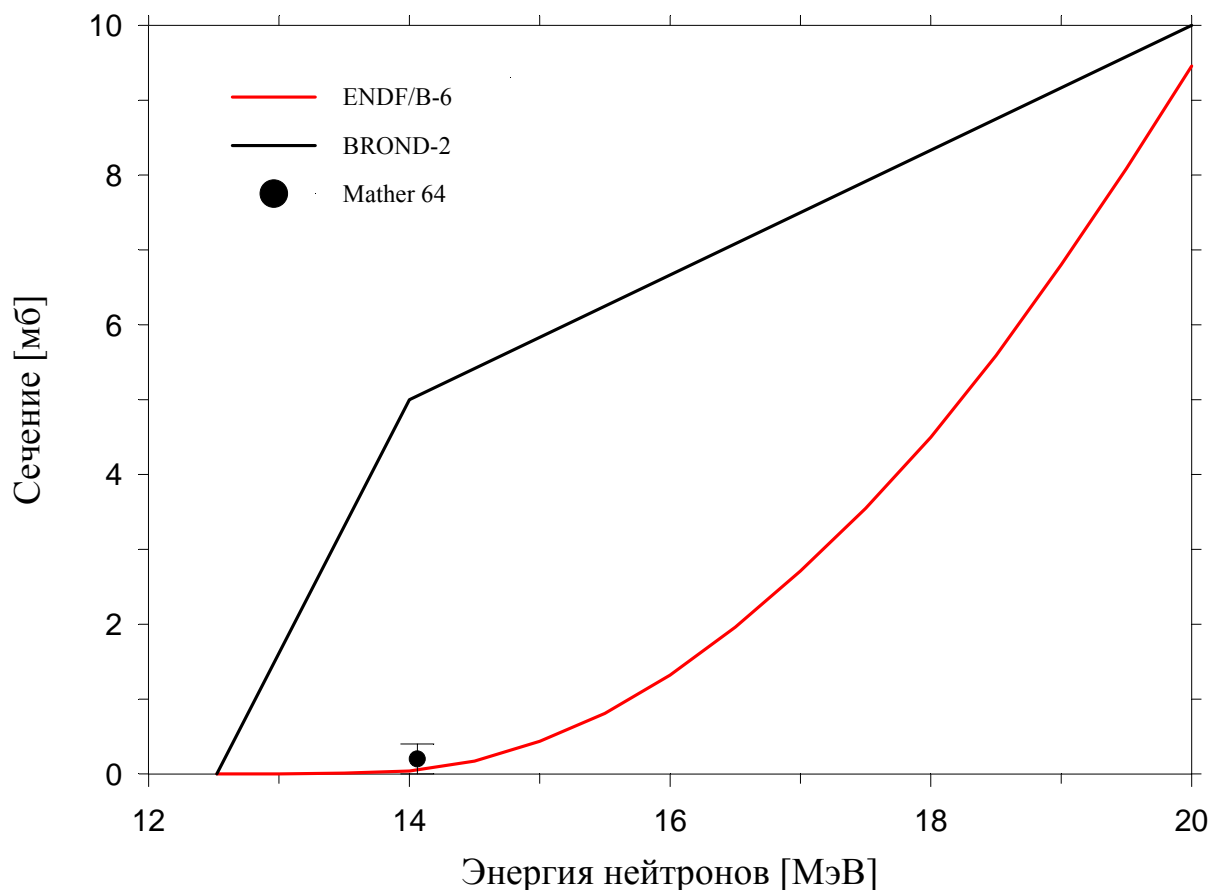
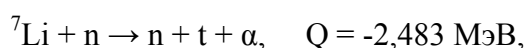


Рис.6 Оцененное сечение реакции ${}^7\text{Li}(n,3n\alpha)$ из библиотек ENDF/B-6 и BROND-2 в сравнении с экспериментальными данными.

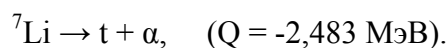
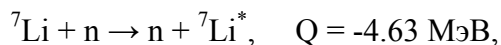
3.5. Сечение реакции (n,n't).

Реакция (n,n't) может протекать по следующим каналам [30]:

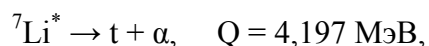
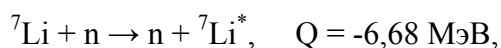
1) трехчастичный распад:



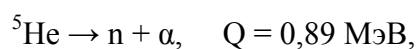
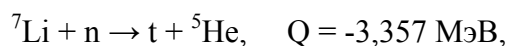
2) неупругое рассеяние нейтрона с возбуждением 2-го уровня ядра ${}^7\text{Li}$ с дальнейшим распадом его на тритон и альфа-частицу (соответствующее сечение обычно приводится в секции MT=52):



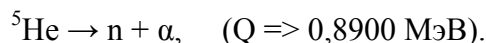
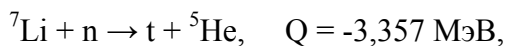
3) неупругое рассеяние нейтрона на 3-й возбужденный уровень ядра ${}^7\text{Li}$ с дальнейшим распадом на тритон и альфа-частицу:



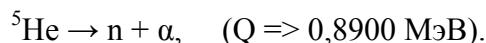
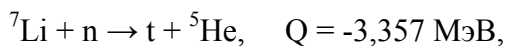
4) распад возбужденного ядра ${}^8\text{Li}$ на тритон и гелий-5 в основном состоянии с дальнейшим распадом гелия-5 на нейтрон и альфа-частицу:



5) распад возбужденного ядра ${}^8\text{Li}$ на тритон и гелий-5 в возбужденном состоянии с дальнейшим переходом гелия-5 в основное состояние и распадом на нейтрон и альфа-частицу:



5) распад возбужденного ядра ${}^8\text{Li}$ на тритон и гелий-5 в возбужденном состоянии с дальнейшим переходом гелия-5 в основное состояние и распадом на нейтрон и альфа-частицу:



Состояние экспериментальных данных по сечению реакции ${}^7\text{Li}(n,n't)$ таково, что сравнение оценок с результатами измерений может быть содержательным только для полного сечения реакции ${}^7\text{Li}(n,n't)$ и сечения неупругого рассеяния на ядре ${}^7\text{Li}$ с возбуждением второго уровня (одного из каналов реакций).

3.5.1 Сечение неупругого рассеяния с возбуждением 2-го уровня.

Все рассматриваемые оценки (см. Рис.7) для данного сечения основаны на экспериментальных данных. Различие в оценках обусловлено выбором используемых для анализа экспериментов.

Оценка JENDL-3.3 выполнена с учетом экспериментальных данных [12,23,28]. Методика оценки не приводится.

Оценка БРОНД-2 основана на экспериментальных данных [22,25]. Методика оценки не описана.

Оценка ENDF/B-6 выполнена в рамках байесовского подхода (по программе GLUCS [8]) с учетом всех доступных экспериментальных данных. В качестве априорной информации использовались оцененные сечения из библиотеки ENDF/B-5.2 [7]. Следует отметить существенное расхождение (вне декларируемых погрешностей) между результатами измерений [12,28] и данными других экспериментов [19-27]. Оценку ENDF/B-6 можно рассматривать как разумное компромиссное решение при выборе между двумя группами экспериментов.

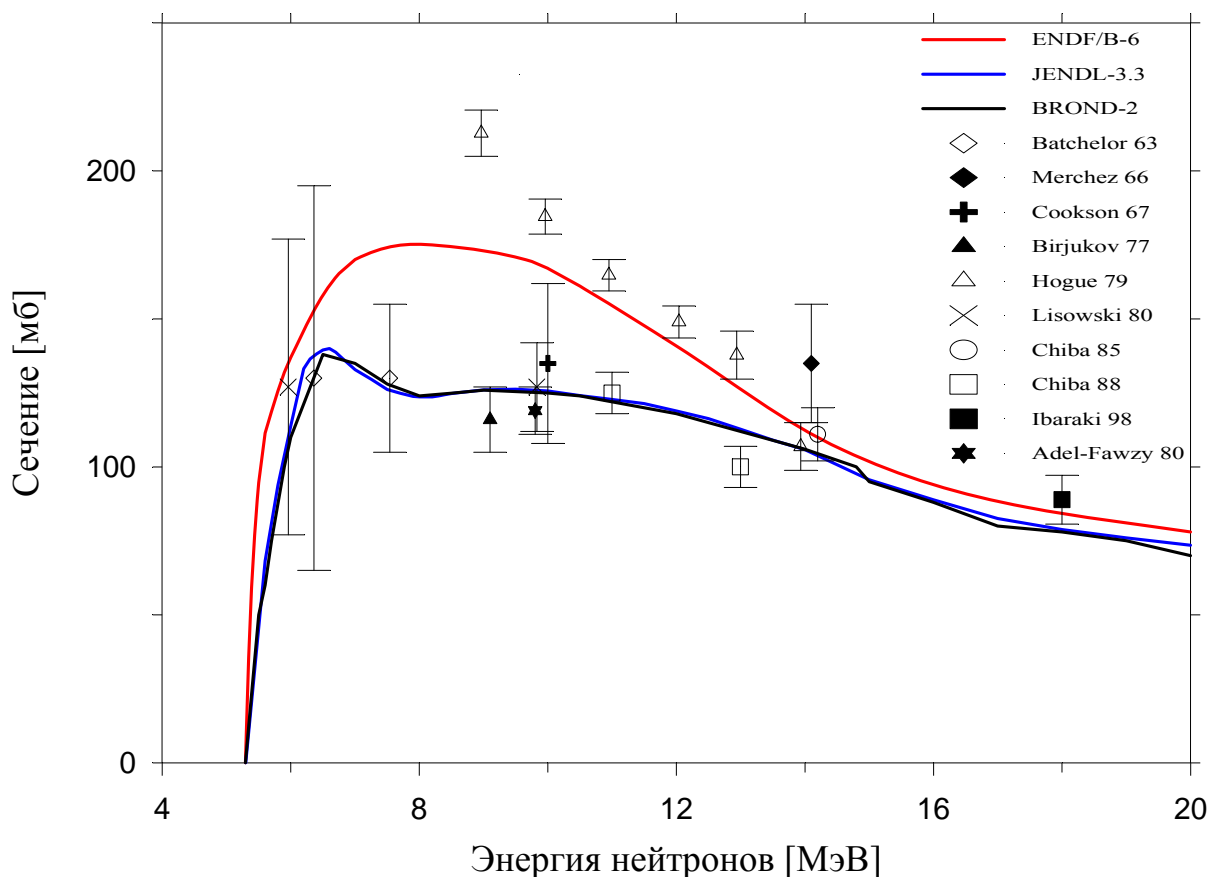


Рис.7 Оцененные сечения реакции ${}^7\text{Li}(n,\text{inel})$ (с возбуждением 2-го уровня) из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3 и BROND-2 в сравнении с экспериментальными данными. Данная реакция является одним из каналов реакции ${}^7\text{Li}(n,n'\text{t})$.

3.5.2 Полное сечение образования трития (реакции ${}^7\text{Li}(n,n'\text{t})$).

Поскольку сечение образования трития состоит из нескольких компонент, возможны несколько вариантов его представления в формате ENDF. Как следствие, каждому варианту представления соответствует множество используемых при этом номеров MT-секций.

Наиболее удачным представляется вариант, используемый в JENDL-3.3, где сечение образования трития представлено явно через секцию MT=205 (суммарное сечение процессов образования трития). Оценка выполнена на основе экспериментальных данных [31-36]. Методика оценки не описана.

Оценка БРОНД-2 основана на экспериментальных данных [18,23,31,32,37,38].

Кривая энергетической зависимости сечения проводилась от руки. Сечение образования трития представлено в библиотеке неявным образом – через компоненты в секциях неупругого рассеяния на 2-м, 3-м, 4-м уровне и на континууме уровней (секции с MT=52,53,54,91).

Оценка ENDF/B-6 выполнена в рамках байесовского подхода (по программе GLUCS [8]) с учетом экспериментальных данных [24,32-36, 39-40], ставших доступных после 1981 года. В качестве априорной информации использовались оцененные сечения из библиотеки ENDF/B-5.2 [7]. Сечение образования трития представлено в библиотеке неявным образом – как неупругое рассеяние на 2-м и на 3-м реальном уровне и на 30 фиктивных уровнях ${}^7\text{Li}$ (секции с MT=52-82).

Отметим, что существенным недостатком неявного представления является то, что из номера реакции в файле MF=3 невозможно определить, что речь идет о реакции (n,nt), а не об обычном неупругом рассеянии. Понять существо реакции невозможно и по содержанию других файлов ибо даже в библиотеке JEFF-3.1, где в файле MF=6 присутствуют секции для MT=53 и MT=91, описывающих рассматриваемый процесс, данные содержатся только об энерго-угловом распределении нейтронов; возможность описания данных о других продуктах реакции не использована.

Как следует из Рис.8, оценки ENDF/B-6 и JENDL-3.3 в одинаковой степени находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными.

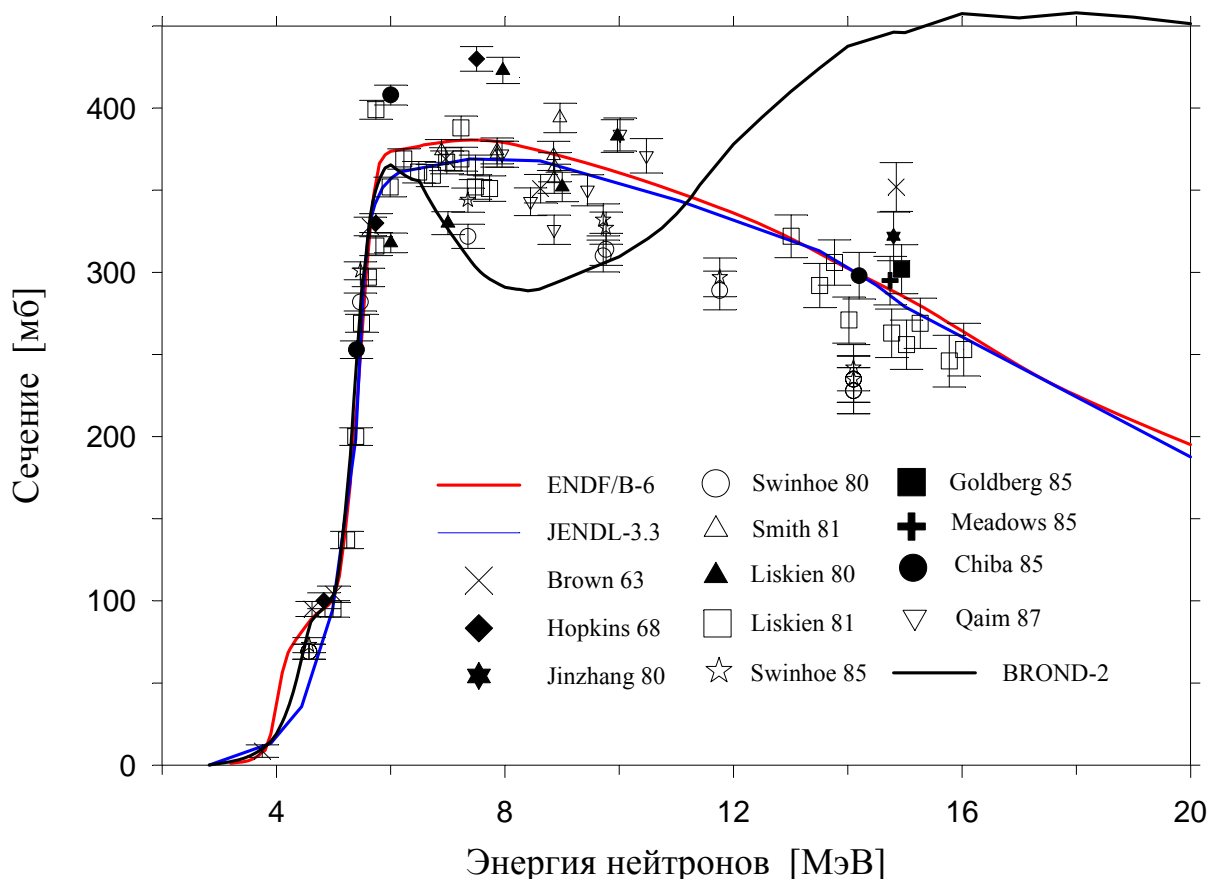


Рис.8 Оцененные полные сечения реакции ${}^7\text{Li}(n,n't)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3 и BROND-2 в сравнении с экспериментальными данными.

3.6 Сечение радиационного захвата (MT=102).

В библиотеке JENDL-3.3 в качестве оценки взята зависимость $1/v$, нормированная на измерение [43] (см. Рис.7).

Оценка БРОНД-2 выше 100 кэВ основана на экспериментальных данных [44]. Ниже 100 кэВ оценка нормирована на оценку [45] в тепловой точке.

Форма оценки ENDF/B-6 заимствована из библиотеки ENDF/B-5.1 за исключением области выше 10 кэВ, где сечение поднято для достижения согласия с экспериментальными данными 44. Ниже 10 кэВ сечение нормировано на оценку 45 в тепловой точке.

Как следует из Рис.9, оценки БРОНД-2 и ENDF/B-6 обеспечивают примерно одинаковое качество описания экспериментальных данных.

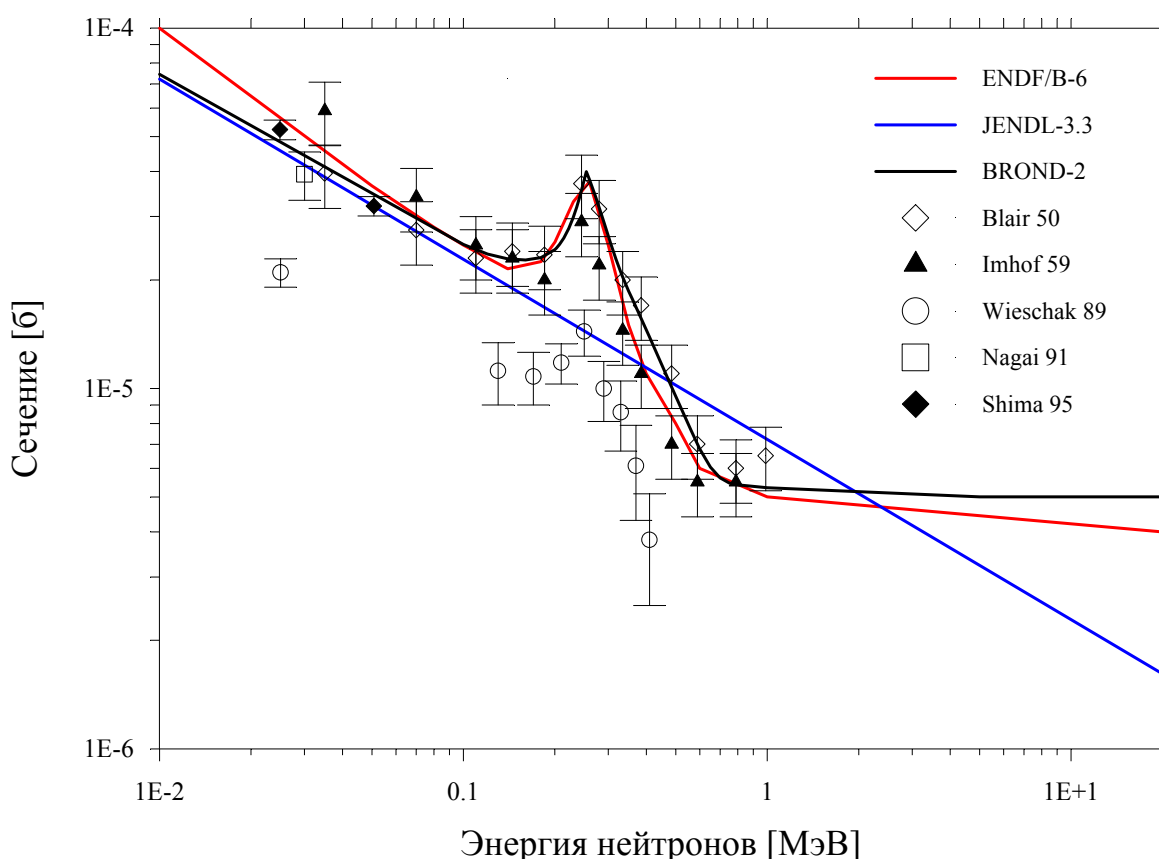


Рис.9 Оцененное сечение реакции $^7\text{Li}(n, \gamma)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2.

4. Угловые распределения вторичных частиц (MF=4)

Сечение упругого рассеяния нейтронов является доминирующим компонентом полного сечения практически при всех энергиях падающих нейтронов, не превышающих 20 МэВ. Соответственно, наибольший интерес для реакторных приложений представляют угловые распределения упруго рассеянных нейтронов (особенно в области 1-го и 2-го резонансов – 0.26 МэВ и 4-5 МэВ). Ниже эти распределения сравниваются с экспериментальными данными. Проводится сравнение с экспериментальными данными и угловых распределений нейтронов, неупруго рассеянных с возбуждением 2-го уровня литий-7 (соответствующее сечение не превышает 10% от сечения упругого рассеяния). Оцененные угловые распределения неупруго рассеянных нейтронов с возбуждением 1-го уровня ядра литий-7 (соответствующее сечение не превышает 15% от сечения упругого рассеяния) с экспериментальными данными не сравниваются в связи с отсутствием последних в библиотеке EXFOR. Остальные сечения реакций с выходом нейтронов (например, реакции $(n, 2n)$) малы по сравнению с сечением упругого рассеяния.

4.1 Угловые распределения упруго рассеянных нейтронов (MT=2).

Оценка JENDL-3.3 для энергий падающих нейтронов ниже 4 МэВ основана на R-матричных расчетах с параметрами, взятыми из работы [51]. В энергетическом интервале от 4 до 14 МэВ оценка основана на экспериментальных данных [47,50]. Выше 14 МэВ оценка основана на расчетах методом связанных каналов.

В оценке БРОНД-2 угловые распределения были приняты изотропными в системе центра масс для энергий падающих нейтронов ниже 10 кэВ. Выше 10 кэВ оценка основана на экспериментальных данных [50].

Оценка ENDF/B-6 выполнена на основе экспериментальных данных [46-49] для энергии падающих нейтронов ниже 14 МэВ. Выше 14 МэВ использовались расчеты по оптической модели.

На Рисунках 10-13 оценки угловых распределений из различных библиотек сравниваются с экспериментальными данными для энергии падающих нейтронов 4.08 МэВ, 0.26 МэВ, 0.275 МэВ, 0.29 МэВ. Следует отметить, что в измерениях *Knox A 79* (см. Рис.10) не выделен вклад неупруго рассеянных нейтронов с уровня 0.478 МэВ.

Как видно из Рис.10, при 4.08 МэВ все три оценки примерно одинаково описывают экспериментальные данные.

Совершенно иная картина наблюдается в окрестности 0.25 МэВ: Из Рисунков 11-13 видно, что только оценка JENDL-3.3 демонстрирует как качественное, так и количественное согласие с экспериментальными данными. Оценки БРОНД-2 и ENDF/B-6 неверны даже качественно.

Согласно экспериментальным данным угловое распределение при переходе от 0.275 МэВ к 0.29 МэВ меняет форму неожиданно сильно, что представляется весьма странным.

Как бы то ни было, оценка угловых распределений упругого рассеяния из JENDL-3.3 представляется самой убедительной.

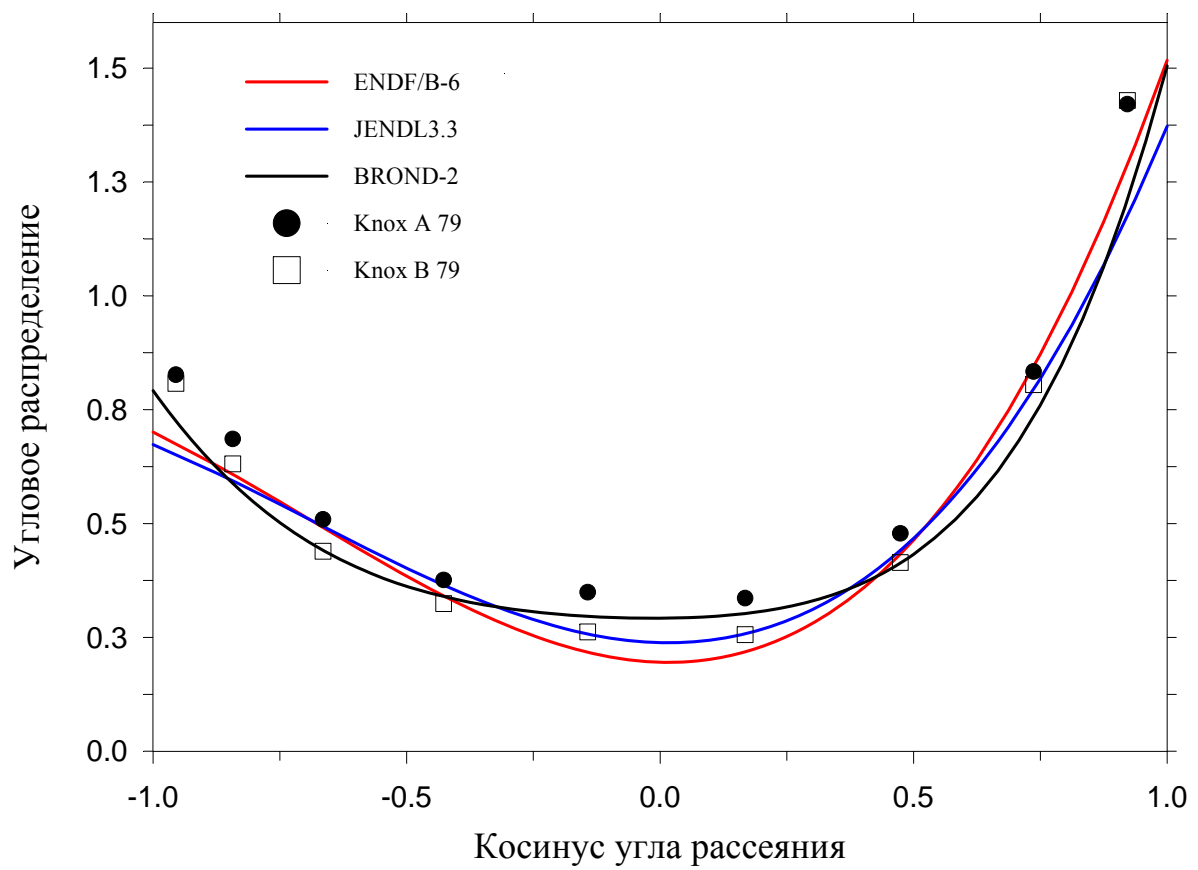


Рис.10 Угловое распределение упруго рассеянных нейтронов для ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 4.08 МэВ.

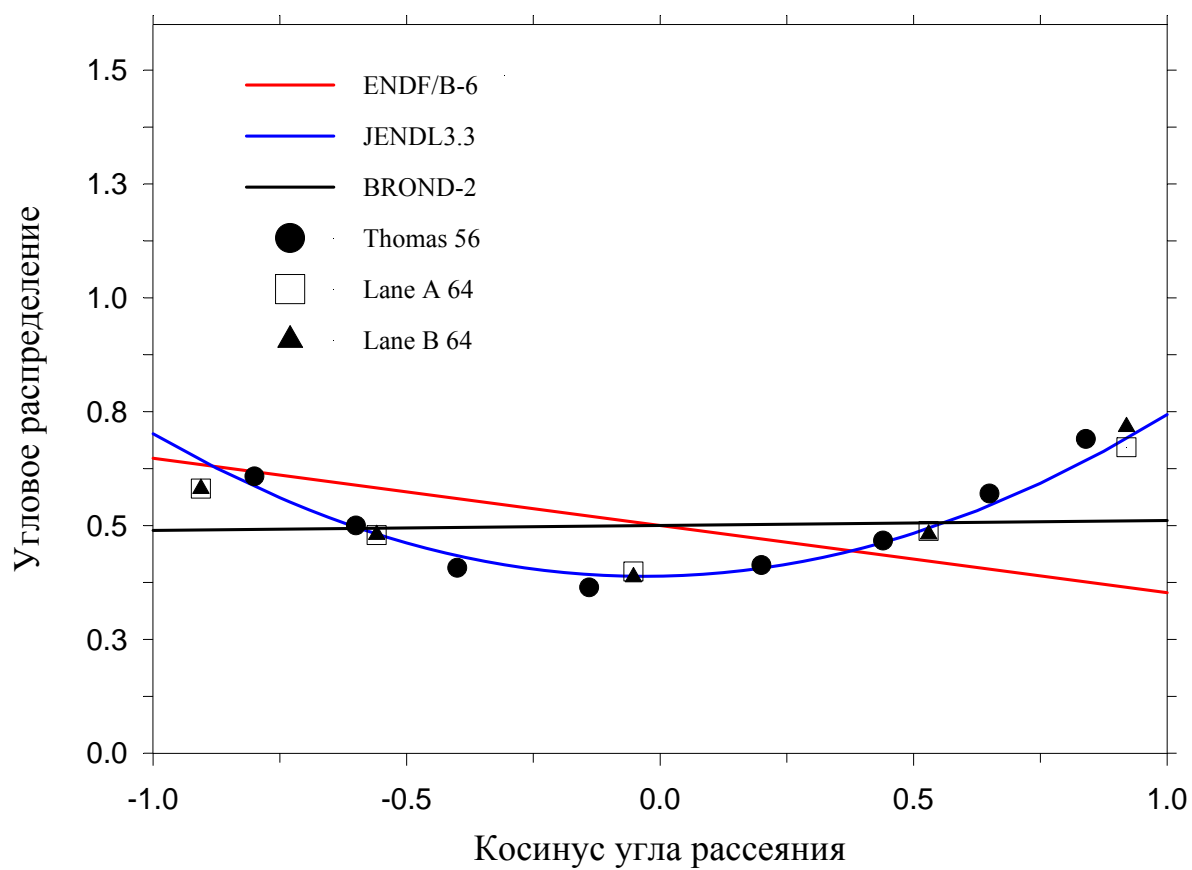


Рис.11 Угловое распределение упруго рассеянных нейтронов для ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 0.26 МэВ.

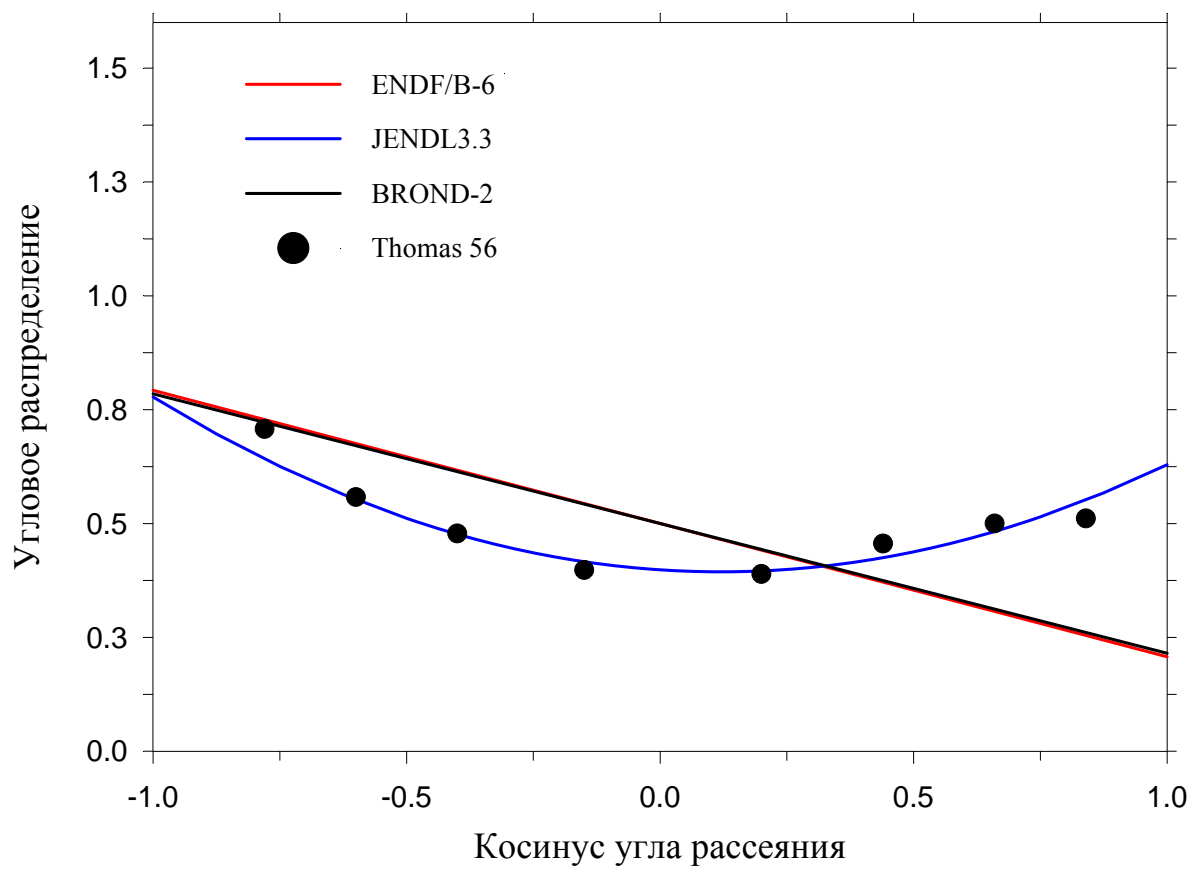


Рис.12 Угловое распределение упруго рассеянных нейтронов для ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 0.275 МэВ.

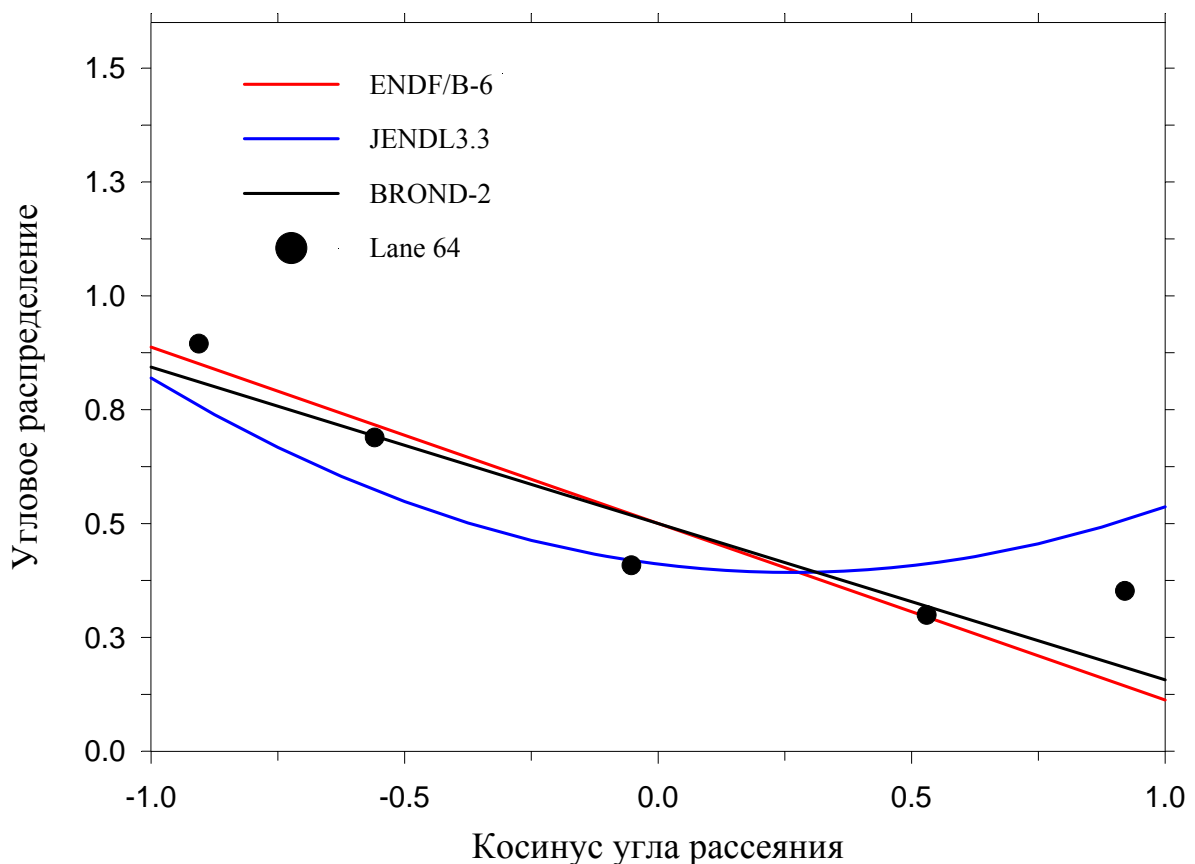


Рис.13 Угловое распределение упруго рассеянных нейтронов для ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 0.29 МэВ.

4.2 Угловые распределения нейтронов из реакции (n,n't).

Оценка JENDL-3.3 для энергий падающих нейтронов ниже 4 МэВ основана на R-матричных расчетах. В энергетическом интервале от 4 до 10 МэВ оценка основана на экспериментальных данных [52]. Выше 10 МэВ оценка основана на расчетах методом связанных каналов.

В оценке БРОНД-2 угловые распределения основаны на экспериментальных данных [52].

Оценка ENDF/B-6 выполнена на основе R – матричных расчетов ниже 6 МэВ. Выше 8 МэВ оценка основана на DWBA (Distorted Wave Born Approximation) расчетах. От 6 до 8 МэВ выполнено простое сглаживание.

Рисунки 13 и 14, где приведено сравнение оцененных распределений с экспериментальными данными, не дают целостного представления о качестве оценок. Если при энергии налетающих нейтронов 6.6 МэВ оценки ENDF/B-6 и JENDL-3.3 согласуются с экспериментальными данными, то при энергии 9.37 МэВ согласия не наблюдается. Тем не менее, на основе имеющейся информации можно отдать предпочтение оценкам ENDF/B-6 и JENDL-3.3.

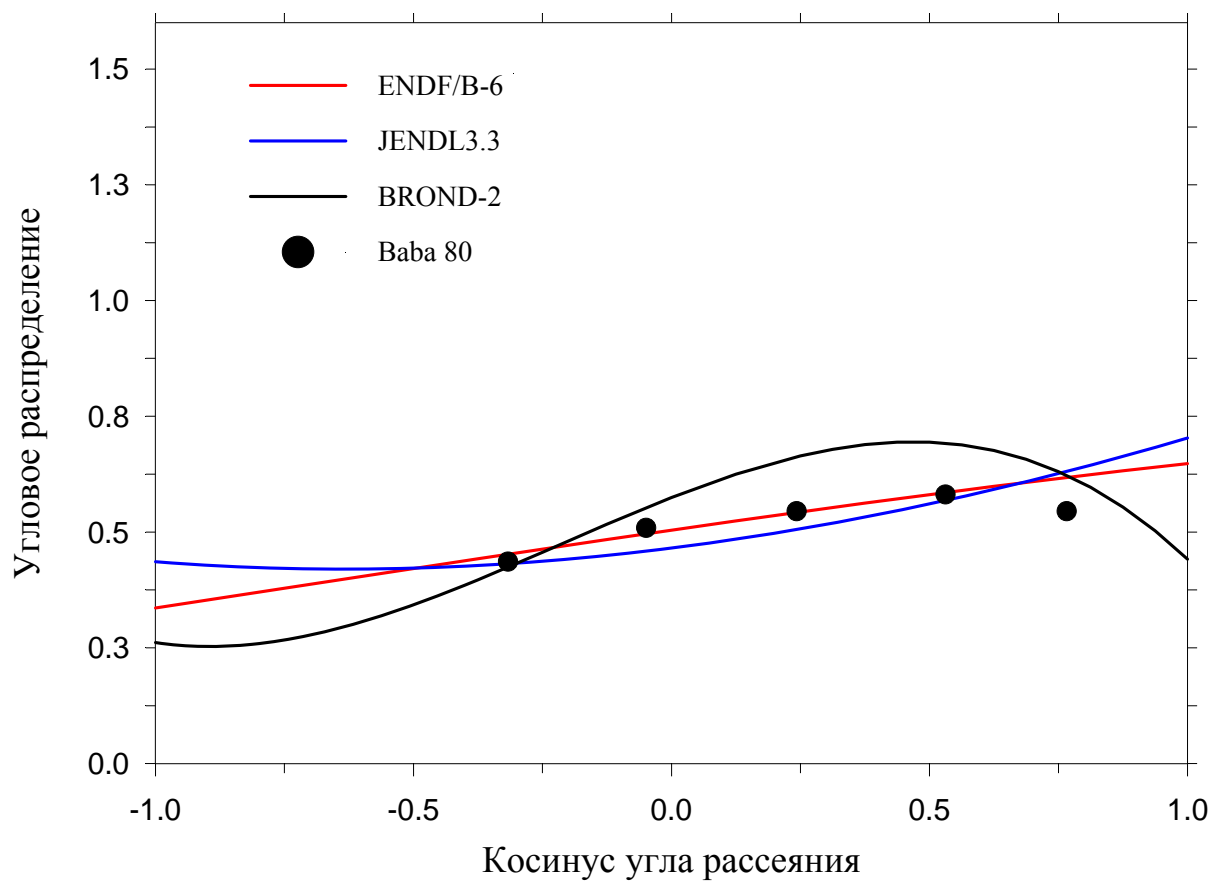


Рис.14 Угловое распределение нейтронов неупругого рассеяния с возбуждением 2-го уровня ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 6.6 МэВ.

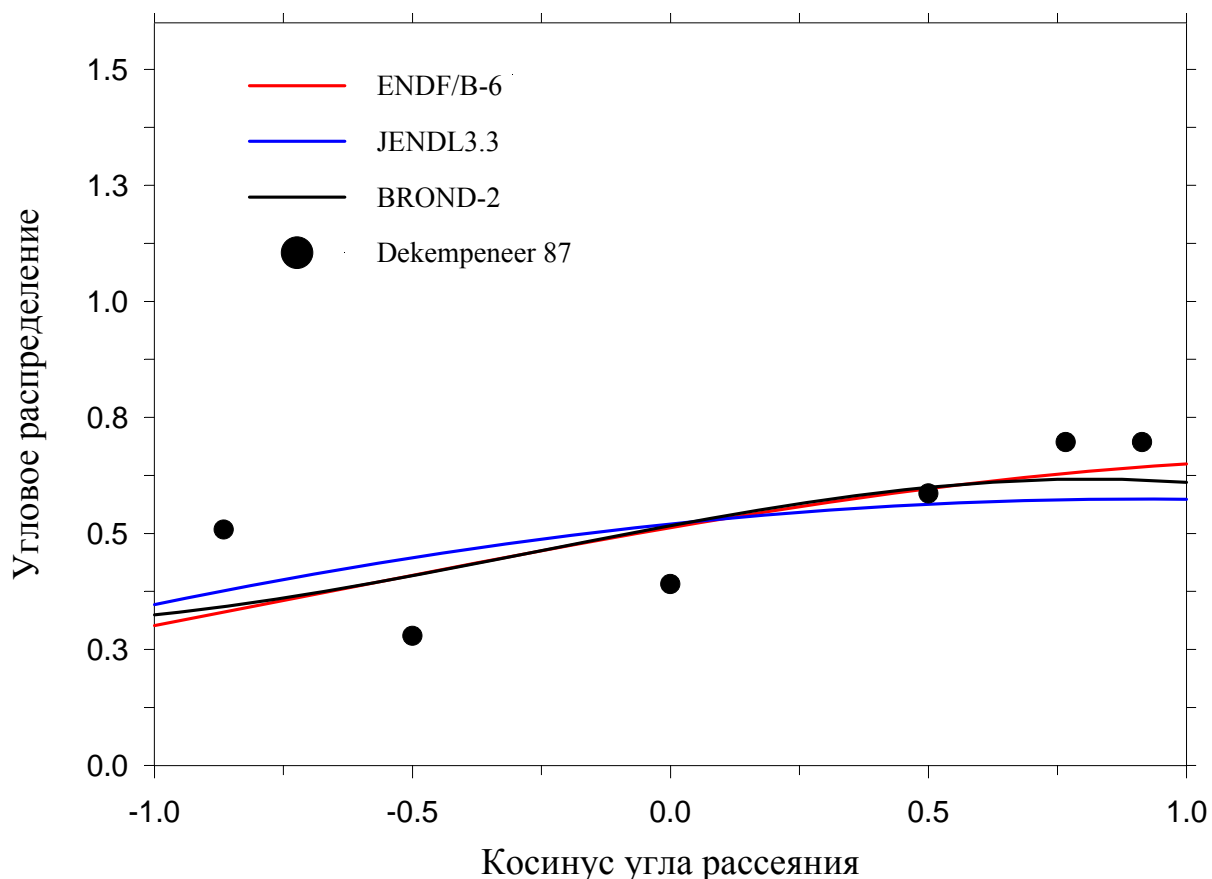


Рис.15 Угловое распределение нейтронов неупругого рассеяния с возбуждением 2-го уровня ядра ${}^7\text{Li}$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 9.37 МэВ.

5. Энергетические распределения вторичных нейтронов (MF=5)

Экспериментальные данные по энергетическим распределениям вторичных нейтронов отсутствуют. Во всех рассматриваемых библиотеках оцененные энергетические распределения представлены (или могут быть аппроксимированы – как в ENDF/B-6) испарительными спектрами.

В библиотеке JENDL-3.3 энергетические распределения даны только для вторичных нейтронов из реакции (n,2n) (секция MT=16). Энергетические распределения моделировались испарительными спектрами с параметром «температура» $T = 0.862 \pm 0.057$ МэВ, рассчитанной в результате анализа измерений дифференциальных сечений реакции (n,2n) при энергии налетающих нейтронов 14.2 МэВ [53]. При других энергиях налетающих нейтронов значение параметра экстраполировалось следующим образом $T = 0.229\sqrt{E}$ МэВ, где E – энергия нейтрона в лабораторной системе координат. Энергетические распределения в библиотеке BROND-2 представлены в секциях MT=16 и MT=24. Энергетические распределения вторичных нейтронов из реакции (n,2n) описаны испарительными спектрами с параметром «температура», взятым из библиотеки ENDF/B-4. Значение параметра находится в хорошем согласии с величиной из работы [53]. Энергетические распределения для реакции (n,2n α) оценены таким же образом, как и для реакции (n,2n). Наконец, в библиотеке ENDF/B-6 энергетические распределения являются

результатом численного решения задачи нескольких тел. Они представлены в секциях MT=16, 24, 25 (для реакций $(n,2n)$, $(n,2n\alpha)$, $(n,3n\alpha)$).

Сравнение оцененных энергетических распределений вторичных нейтронов из реакции $(n,2n)$ при энергиях налетающих нейтронов 10 МэВ и 14 МэВ приведено на Рисунках 16 и 17. С точки зрения теории предпочтение следует отдать оценке ENDF/B-6, поскольку при выполнении именно этой оценки использовалась строгая и последовательная методика. Однако, как видно из Рис.17., параметр «температура» для оценки ENDF/B-6, не согласуется с надежными экспериментальными данными из работы [53]. Поэтому следует сделать выбор в пользу оценки JENDL-3.3. Оценка BROND-2 весьма близка к оценке JENDL-3.3, поскольку обе оценки выполнены на основе одной и той же методики с использованием одних и тех же экспериментальных данных.

Для других секций оценка JENDL-3.3 отсутствует, поэтому представляется целесообразным включить в библиотеку РОСФОНД оценки ENDF/B-6 для энергетических распределений вторичных нейтронов из реакций $(n,2n\alpha)$, $(n,3n\alpha)$.

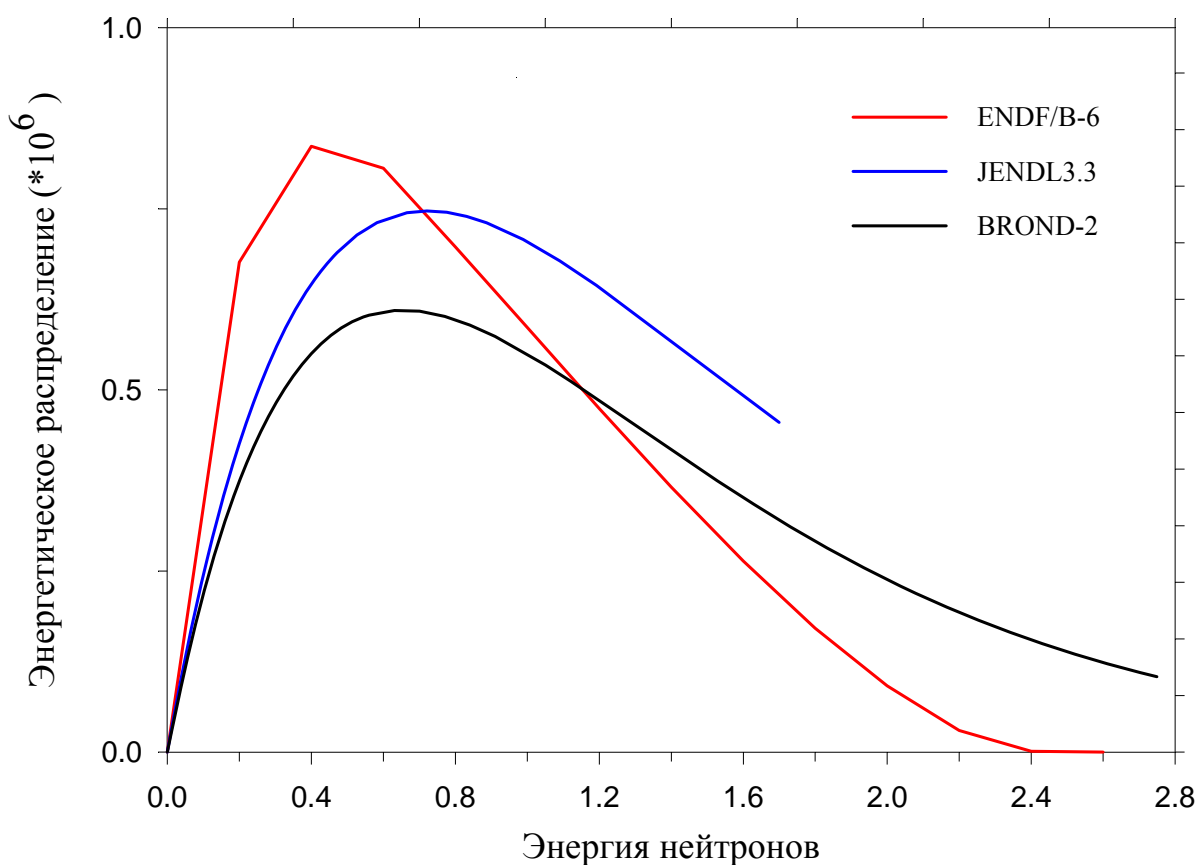


Рис.16 Энергетическое распределение вторичных нейтронов из реакции ${}^7\text{Li}(n,2n)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 10 МэВ.

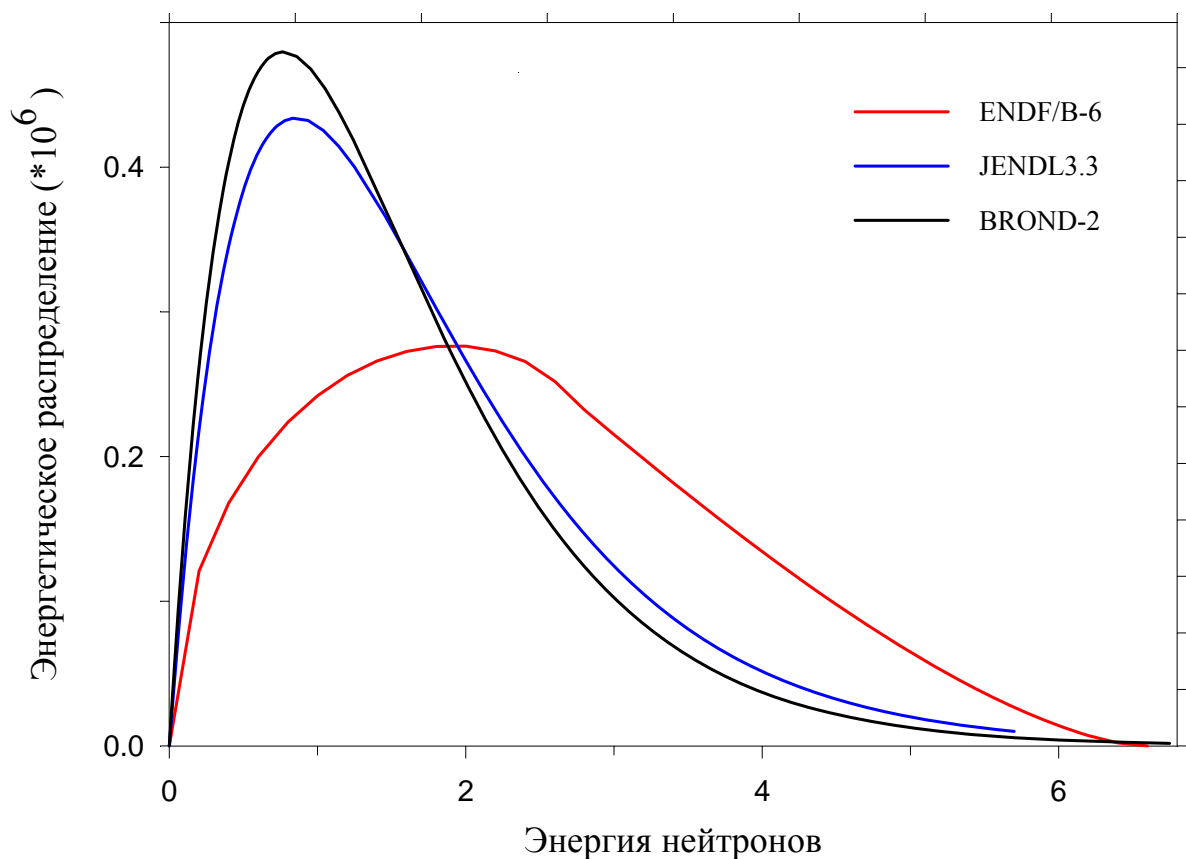


Рис.17 Энергетическое распределение вторичных нейтронов из реакции ${}^7\text{Li}(n,2n)$ из библиотек ENDF/B-6, JENDL-3.3, BROND-2 при энергии налетающих нейтронов 14 МэВ.

7. Литература

1. J.W.Meadows, J.W.Whalen. Nuclear Science and Engineering v.41, p.351, 1970.
2. D.G.Foster JR., D.W.Glasgow. Physical Review C3 p.576,1971.
3. C.A.Goulding. et al, Report USNDC-3, p.161, 1972.
4. G.P.Lamaze. et al, Bulletin of American Phys. Society v.64, p.862, 1979.
5. В.П.Алфименков и др. Ядерная физика т.53, вып.3, стр.542
6. T.W.Conlon. Report AERE-R-7166, 1972.
7. P.G.Young. Trans. Amer. Nucl. Soc. V.39, p.272, 1981.
8. D.M.Hetrick, C.Y.Fu. Report ORNL/TM-7341, 1980.
9. O.Bersillon, Bruyeres-le-Chatel, France, personal communication to E.Arthur, 1980.
10. J.A.Harvey, ORNL, personal communication to the NNDC, 1978.
11. C.A.Goulding, P.Stoler, RPI, personal communication to the NNDC, 1971
12. G.Shen et al. Nuclear Science and Engineering v.86, p.184, 1984.
13. H.H.Hogue et al. Nuclear Science and Engineering v.69, p.22, 1979.
14. W.P.Abfalterer et al. Physical Review C v.63, p.446, 2001.
15. G.L.Morgan. Report ORNL/TM-6247, 1978.

- 15.D.K.Olsen, G.L.Morgan, J.W.McConnell. Nuclear Science and Engineering v.74, N.3 p.219, 1980.
- 16.D.L.Smith. Ibid. v.61, N.4, p.540, 1976.
- 17.H.Knitter, M.Coppola. Report EUR-3903, Geel, Belgium, 1968.
- 18.J.C.Hopkins, D.M.Drake, H.Conde. Nuclear Physics v.A107, N.1, p.139, 1968.
- 19.R.Batchelor, J.H.Towle. Ibid. v.47, N.3, p.385, 1963.
- 20.F.Merchez. Proc. of International Conf. on , Paris 1966, v.1, p.393, 1966.
- 21.J.A.Cookson. Nuclear Physics A v.91, p.273, 1967.
- 22.N.S.Birjukov et al. Proc. of All-Union Conf. on Neutron Physics, Kiev, 1977, v.2, p.27, 1977.
- 23.P.W.Lisowski et al. Report LA-8342, 1980.
- 24.S.Chiba Nuclear Science and Technology v.22, p.771, 1985.
- 25.S.Chiba Nuclear Science and Technology v.25, p.210, 1988.
- 26.M.Ibaraki Nuclear Science and Technology v.35, p.843, 1998.
- 27.M.Adel-Fawzy et al. Nuclear Instruments and Methods v.169, p.533, 1980.
- 28.M.Baba et al. Proc. of International Conference Nuclear Cross Sections for Technology, 1979, p.143, 1980.
- 29.E.Dekempeneer et al. Nuclear Science and Engineering v.69, p.22, 1979.
- 30.J.A.Cookson, D.Dandy, J.G.Hopkins. Nuclear Physics A v.91, n.2, p.273, 1967.
- 31.D.L.Smith et al. Nuclear Science and Engineering v.78, p.359, 1981.
- 32.H.Liskien et al. Proceedings of International Conf. On Nuclear Data for Science and Technology, Antwerpen, 1982, p.349, 1983.
- 33.D.L.Smith D.L. et al. Report ANL/NDM – 87, 1984.
- 34.A.Takahashi et al. Proceeding of 13-th Symp. on Fusion Technology, Varese, Italy, 1984.
- 35.E.Goldberg et al. Nuclear Science and Engineering v.91, p.173, 1985.
- 36.H.Maekawa et al. Report JAERI-M 86-125, p.130, 1986.
- 37.F.Brown et al. Journal of Nuclear Energy A/B v.17, n.1, p.137, 1963.
- 38.M.E.Wyman, M.M.Thorpe. Report LA-2235, Los-Alamos, 1958.
- 39.H.Maekawa et al. Report JAERI-M-83-196, 1983.
- 40.S.M.Qaim, R.Wolfle. Nuclear Science and Engineering v.96, p.52, 1987.
- 41.D.S.Mather, L.F.Pain. Report AWRE-0-47/69, 1969.
- 42.V.J.Ashby et al. Physical Review v.129, p.1771, 1963.
- 43.E.T.Jurney. Report USNDC-9, p.109, 1973.
- 44.W.L.Imhof et al. Physical Review v.114, p.1037, 1959.
- 45.Neutron Cross Sections. v.1. Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Sections. S.F.Mughabghab et al. Academic Press, 1981.

- 46.R.O.Lane et al, Physical Review v.136, p.1710, 1964.
- 47.H.D.Knox et al, Nuclear Science and Engineering v.69, p.223, 1979.
- 48.H.D.Knox et al. Proceedings of International Conf. On Nuclear Data for Science and Technology, Knoxwill, 1979, p.783, 1979.
- 49.H.H.Knitter, M.Coppola. Proceedings of International Conference on Neutron Cross Sections , Washington, p.827, 1968.
- 50.H.H.Hogue et al. Nuclear Science and Engineering v.69, p.22, 1979.
- 51.H.D.Knox, R.D.Lane. Nuclear Physics v.A359, p.131, 1981.
- 52.E.Dekempeneer, H.Liskien et al, EXFOR Subentries 22031151 – 22031156.
- 53.S.Chiba et al. Journal of Nuclear Science and Technology v.22, N.10, p.771, 1985.

8. Заключение

8.1. Выводы

В соответствии с вышеизложенным для библиотеки РОСФОНД решено сформировать новый файл оцененных данных, включающий данные о сечениях реакций (файл MF=3) из библиотеки ENDF/B-6, а угловые распределения вторичных нейтронов упругого и неупругого рассеяния (файл MF=4) - из библиотеки JENDL-3.3. Угловые распределения реакций (n, 2n), (n,2n α) и (n,3n α) (MT=24 и 25) взять из ENDF/B-VI. Энергетические распределения вторичных нейтронов неупругого рассеяния и реакции (n,n't), как и в JENDL-3.3 при этом автоматически будут рассчитываться на основе двухчастичной кинематики (т.е. так, как если бы неупругое рассеяние с последующим развалом возбужденного лития-7 было единственным механизмом реакции). Энергетические распределения вторичных нейтронов всех реакций и данные об образовании фотонов взять из ENDF/B-VI.

После того, как это заключение было сделано, стала доступна библиотека ENDF/B-VII. Выяснилось, что несмотря на то, что заголовочной секции этой библиотеки утверждается, что данные взяты из ENDF/B-VI, в действительности в файл MF=4 внесены коррективы, совпадающие с рекомендованными выше. **В связи с этим окончательно в РОСФОНД рекомендуется включить оценку ENDF/B-VII.**

8.2. Автор обоснования выбранной оценки

Бадиков С.

8.3. Содержание файла оцененных данных в РОСФОНДе для 3-Li-7

MF = 1 Общая и специальная информация о нуклиде

MT = 451 заголовочная секция

MF = 2 Резонансные параметры

MT = 151 секция резонансных параметров

MF = 3 Нейтронные сечения

MT = 1 полное сечение

MT = 2 упругое рассеяние

MT = 4 суммарное сечение неупругого рассеяния

MT = 16 реакция (n,2n) ³-Li- 6

MT = 24 реакция (n,2n α) ¹-H- 2

MT = 25 реакция (n,3n α) ¹-H- 1

MT = 51 - 82 неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней

MT = 102 радиационный захват: реакция (n, γ) ³-Li- 8

MT = 104 реакция (n,d) ²-He- 6

MF = 4 Угловые распределения вторичных нейтронов

MT = 2 упругое рассеяние

MT = 16 реакция (n,2n) ³-Li- 6

MT = 24 реакция (n,2n α) ¹-H- 2

MT = 25 реакция (n,3n α) ¹-H- 1

MT = 51 - 82 неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней

MF = 5 Энергетические распределения вторичных нейтронов

MT = 16 реакция (n,2n) ³-Li- 6

MT = 24 реакция (n,2n α) ¹-H- 2

MT = 25 реакция (n,3n α) ¹-H- 1

MF = 12 Числа образующихся фотонов переходы между уровнями

MT = 51 неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней

MT = 102 радиационный захват: реакция (n, γ) ³-Li- 8

MF = 14 Угловые распределения фотонов

MT = 51 неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней

MT = 102 радиационный захват: реакция (n, γ) ³-Li- 8

MF = MasFd[k] Ковариации нейтронных данных

MT = 1 полное сечение

MT = 2 упругое рассеяние

MT = 4 суммарное сечение неупругого рассеяния

MT = 16 реакция (n,2n) ^3Li - 6

MT = 24 реакция (n,2n α) ^1H - 2

MT = 25 реакция (n,3n α) ^1H - 1

MT = 51 - 82 неупругое рассеяние с возбуждением дискретных уровней

MT = 102 радиационный захват: реакция (n, γ) ^3Li - 8

MT = 104 реакция (n,d) ^2He - 6