

83. ВИСМУТ

В РОСФОНД включены данные для шести радиоактивных и для единственного стабильного изотопа висмута.

83.1. Висмут-205

Радиоактивен ($T_{1/2}=15.31$ д). Испытывая позитронный распад или захват орбитального электрона превращается в свинец-205, который, в свою очередь путем захвата орбитального электрона медленно ($T_{1/2}=1.5 \cdot 10^5$ лет) распадается в таллий-205.

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003

Автор заключения

Николаев М.Н.

83.2. Висмут-206

Радиоактивен ($T_{1/2}=6.24$ д). Испытывая позитронный распад или захват орбитального электрона превращается в свинец-206.

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003

Автор заключения

Николаев М.Н.

83.3. Висмут-207

Радиоактивен ($T_{1/2}=31.55$ лет). Испытывая позитронный распад или захват орбитального электрона превращается в свинец-207

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003

Автор заключения

Николаев М.Н.

83.4. Висмут-208

Радиоактивен ($T_{1/2}=2.68 \cdot 10^5$ лет). Испытывая , захват орбитального электрона превращается в свинец-208

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003

Автор заключения

Николаев М.Н.

83.5. Висмут-209

Содержание в естественной смеси -100%

В современных библиотеках , содержатся следующие оценки нейтронных данных для висмута:

ФОНД-2.2 и БРОНД-2 – оценка Блохина и др.. 1990.

ENDF/B-VII – оценка M.Chadwick, P.Young,A.Smith, 1998.

JENDL-3.3 – оценка N. Yamamoto, A. Zukeran, 1998.

LEFF-3.1 – оценка A.J.Koning, 2004

Наряду с перечисленными выше здесь рассматривается также оценка, выполненная для БРОНД-3.

1. Общие характеристики

1.1. $Z=83$ -зарядовое число;

1.2. $A=209$ (атомный вес);

1.3. $AWR =207.185$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Стабилен, содержание в естественной смеси 100%;

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

MT	Реакция	Q, МэВ	$E_{\text{порог.}}$, МэВ	Ядро-продукт
04	n, n'	-0.8964		Bi-209
16	$(n, 2n)$	-7.4594	7.4954	Bi-208
17	$(n, 3n)$	-14.3458	14.4150	Bi-207
22	$(n, n\alpha)$	3.1391	0	Tl-205
28	(n, np)	-3.7990	3.8173	Pb-208
102	n, γ	4.6047	0	Bi-210
103	(n, p)	0.1384	0	Pb-209
107	(n, α)	9.6425	0	Tl-206

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

2.1. Область разрешенных резонансов.

Нейтронные сечения в области разрешенных резонансов в оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VI основаны на наборе параметров нейтронных резонансов, рекомендованных Мугабгом и др. [81M]. В JENDL-3.3 верхняя граница резонансной области принята равной 200 кэВ, радиус потенциального рассеяния выбран равным $R_0 = 6.68$ фм и для вычисления нейтронных сечений на основе резонансных параметров рекомендовано приближении MLBW. Для резонансов с неизвестными радиационными ширинами приняты средние значения ширин 70 мэВ для s-резонансов и 34 мэВ для p- резонансов [81M]. Оценка JENDL-3.3 для разрешенных резонансов включена без изменений в CENDL-3 и также в JEFF-3.1. Следует отметить, что параметры p-резонансов известны только до энергии 100 кэВ, поэтому в JENDL-3.3 в диапазоне энергий от 100 до 200 кэВ вклад p-резонансов совершенно не представлен, и этот пропуск резонансов никак не учитывается ни в полных сечениях, ни в сечениях радиационного захвата нейтронов.

В ENDF/B-VI верхняя граница резонансной области принята равной 100 кэВ, что устраняет проблему пропуска большого числа p-резонансов. Параметры резонансов выбраны, в основном, в соответствии с компиляцией [81M], но радиус потенциального рассеяния несколько уменьшен до $R_0 = 6.6792$ фм и для резонансов с неизвестными радиационными ширинами приняты средние значения ширин 56.56 мэВ для s-резонансов и 39.646 мэВ для p- резонансов. Эти изменения отражают уточнения радиационных ширин, достигнутые на основе недавних измерений сечений радиационного захвата резонансных нейтронов на спектрометре в Гилле [97M].

Радиационные ширины резонансов, использованные в JENDL-3.3 и ENDF/B-VII, показаны на рис. 1. Можно видеть, что основные различия оценок связаны с уточнением средних радиационных ширин резонансов.

Рассчитанные сечения для тепловых нейтронов (2200 м/с) приведены в следующей таблице совместно с имеющимися экспериментальными данными [84M, 03M]:

оценка	JENDL-3.3	ENDF/B-VI	Эксперимент
полное	9.331 б	9.334 б	
упругое	9.298 б	9.300 б	
захвата	0.034 б	0.034 б	.0338±0.0007 б
резонансный интеграл			
захвата выше 0.5 эВ:	0.199 б	0.206 б	.190±.020 б

Обе оценки в пределах погрешности согласуются с экспериментальными значениями сечения радиационного захвата и резонансного интеграла захвата нейтронов.

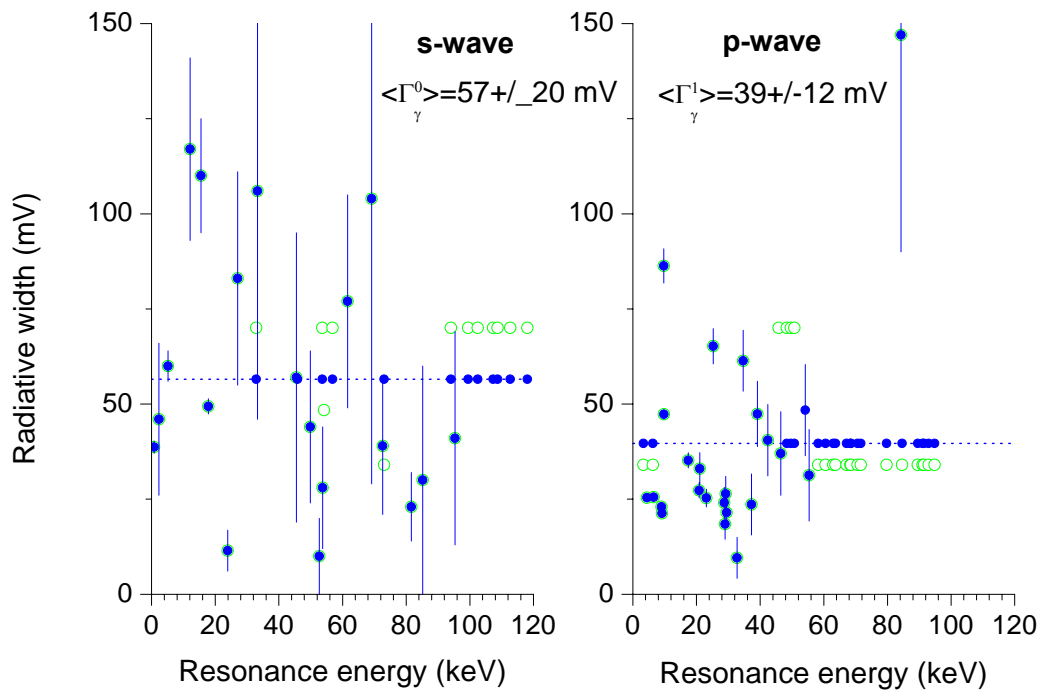


Рис. 1. Радиационные ширины разрешенных резонансов в оценках JENDL-3.3 (кружки) и ENDF/B-VII (сплошные точки), пунктиром показаны средние значения ширины, которые приняты для резонансов с неизвестными ширинами в ENDF/B-VII

2.2. Статистические параметры разрешенных резонансов.

На рис. 2 представлена энергетическая зависимость числа s- и p-резонансов, включенных в оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VI, а также энергетические зависимости кумулятивных сумм приведенных нейтронных ширин резонансов. Линейной аппроксимации нарастающей суммы s-резонансов соответствует среднее расстояние между резонансами $D_0 = (3.8 \pm .3) \text{ кэВ}$, и для p-резонансов – $D_1 = (.20 \pm .05) \text{ кэВ}$. Аналогичным образом для нейтронных силовых функций получим $S_0 = (.57 \pm 0.08) 10^{-4}$ и $S_1 = (.24 \pm .04) 10^{-4}$.

Чтобы получить оптимальную оценку пропуска резонансов, наряду с анализом энергетической зависимости кумулятивной суммы резонансов обычно привлекается анализ соответствия параметров резонансов Портер-Томасову распределению нейтронных ширин. Так как число резонансов и нейтронные силовые функции в рассматриваемых оценках очень близки (рис. 2), то мы ограничимся только анализом ENDF/B-VI резонансов, результаты которого представлены на рис. 3. Из анализа ширин можно сделать вывод, что из представленного набора s-резонансов 3 резонанса, по-видимому, следовало бы отнести к p-волне, тогда как в наборе p-резонансов пропущено около 40 слабых резонансов. Такие слабые резонансы не искажают приведенный выше анализ нейтронных силовых функций, но они заметно изменяют оценки среднего расстояния между резонансами.

Средние расстояния между резонансами, исправленные с учетом пропуска, равны $D_0 = (4.45 \pm .35) \text{ кэВ}$ и $D_1 = (1.05 \pm .10) \text{ кэВ}$. Отношение $D_0 / D_1 = 4.2 \pm 0.8$ несколько превышает статистическую оценку отношения числа s- и p-резонансов, равную ~ 3 , но ввиду почти двукратного пропуска p-резонансов приведенная выше погрешность определения D_1 может оказаться несколько заниженной.

На рис. 4 и 5 оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII для области разрешенных резонансов приведены в сравнении с имеющимися экспериментальными данными. Имеется большое количество данных по полным нейтронным сечениям, и экспериментальные данные хорошо согласуются с обеими оценками. По сечениям радиационного захвата

экспериментальных данных значительно меньше, но при соответствующем усреднении резонансов оценки согласуются с результатами измерений средних сечений радиационного захвата нейтронов.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что, несмотря на примерно одинаковое описание основных нейтронных сечений в оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VI, набор параметров разрешенных нейтронных резонансов в **ENDF/B-VII является предпочтительным**, так как в нем нет пропуска большого числа р-резонансов в диапазоне энергий от 1 до 2 кэВ. Было признано **целесообразно включить этот набор в БРОНД-3 без каких-либо изменений**.

84M S.Mughabghab, Neutron Cross Sections, Academic Press, New York, 1984, part B.

97M P.Mutti, DrSci Thesis, Gent University, 1997.

03M S.Mughabghab, Report INDC(NDS)-440, IAEA, Vienna, 2003.

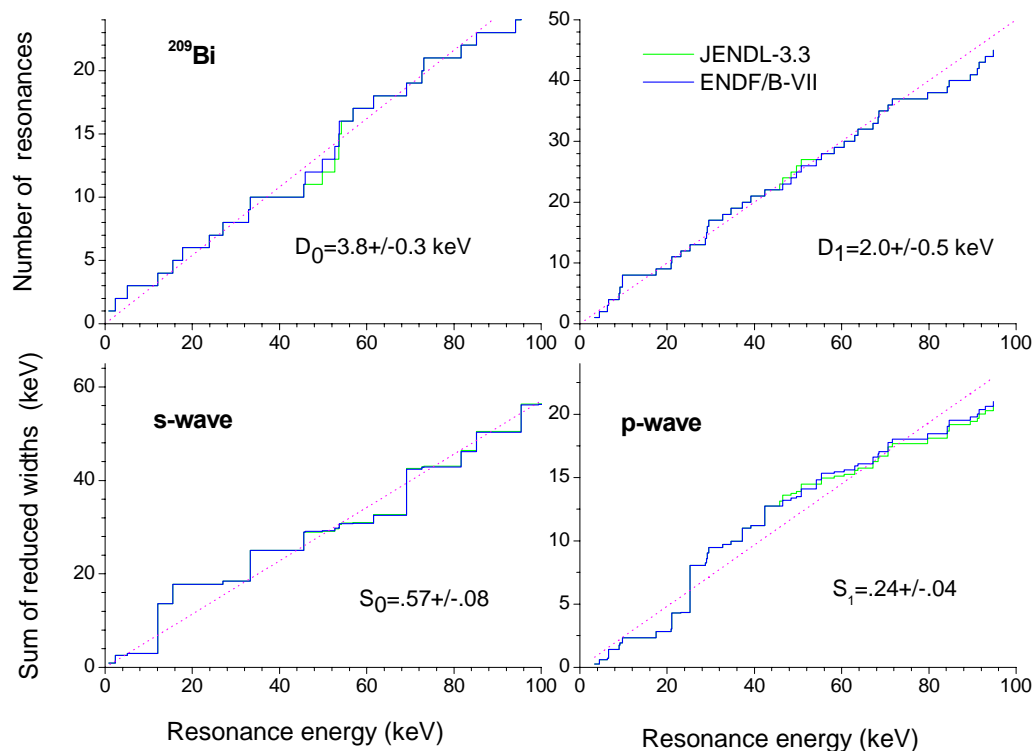


Рис. 2. Энергетическая зависимость числа резонансов и кумулятивной суммы приведенных нейтронных ширин в оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VII

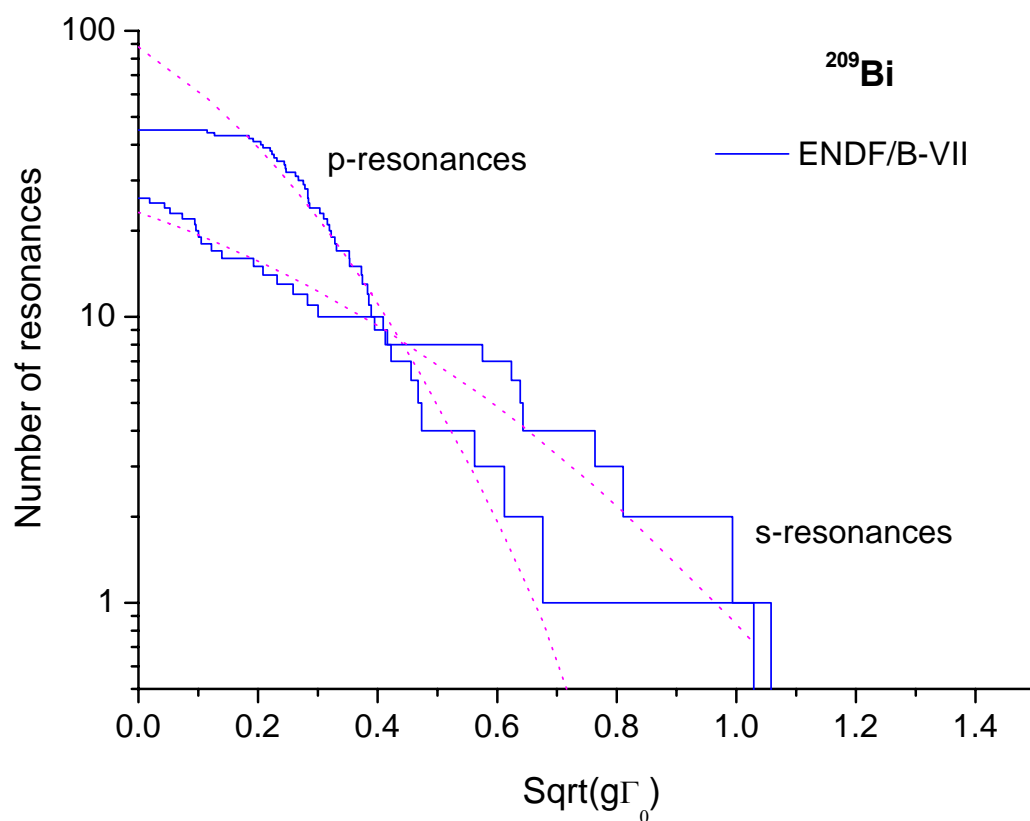


Рис. 3. Анализ пропуска s- и p-резонансов

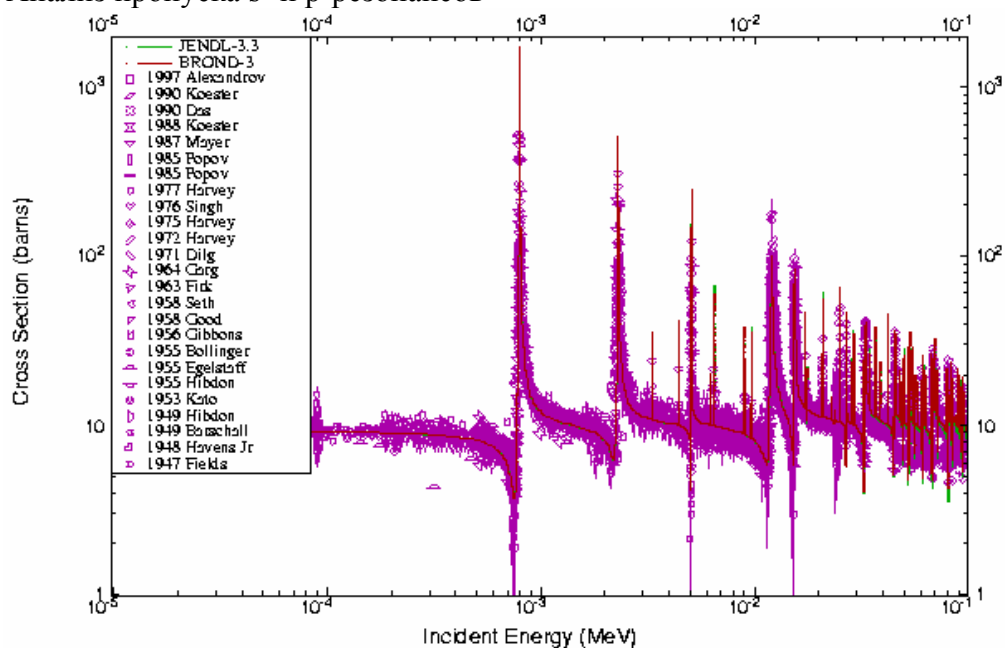


Рис. 4. Оценки полного нейтронного сечения в области разрешенных резонансов в сравнении с экспериментальными данными

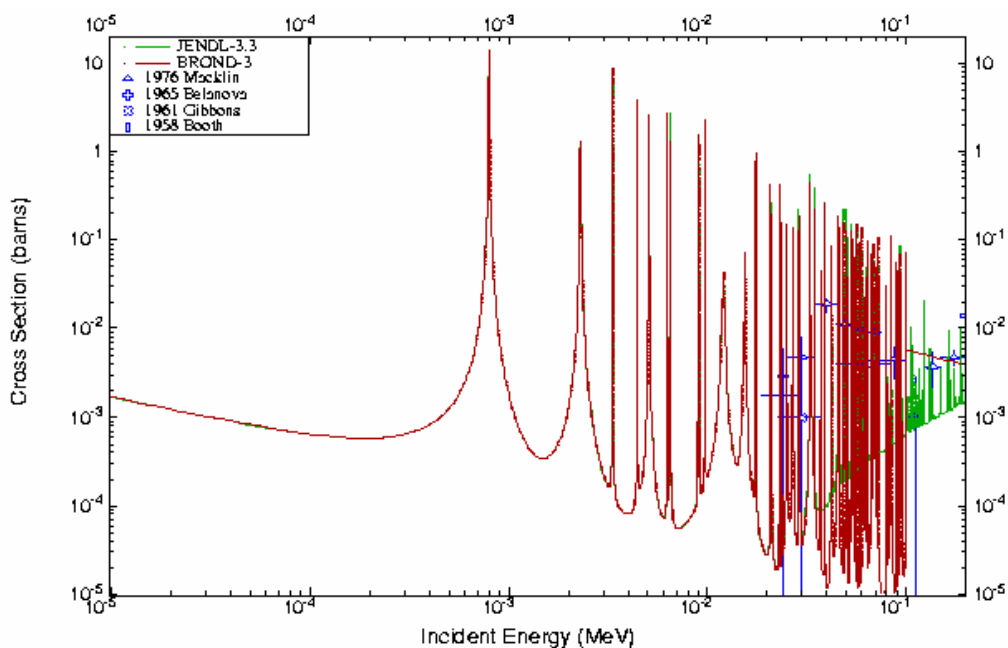


Рис. 5. Оценка сечения радиационного захвата нейтронов в области разрешенных резонансов в сравнении с экспериментальными данными

3. Нейтронные сечения вне резонансной области

3.1. Полное сечение (MT=1)

Резонансная структура полных нейтронных сечений сохраняется и выше области разрешенных резонансов вплоть до энергии 1.5 – 2.0 МэВ. На рис. 6 показана совокупность имеющихся экспериментальных данных в сравнении с оценками. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VI получены непосредственным усреднением экспериментальных данных, и разногласия между ними сравнительно малы во всем рассматриваемом диапазоне энергий нейтронов. В BROND-3 принята оценка ENDF/B-VI. Результаты измерений [90D], выполненных с более высоким разрешением, чем предыдущие измерения, демонстрируют более сильные резонансные эффекты, чем учитываемые в оценках, но детальное воспроизведение наблюдаемых структур остается пока за рамками оценок.

Выше 2 МэВ резонансная структура сечений практически исчезает, и оценки обычно проводятся на основе оптической модели с параметрами потенциала, определенными из условий оптимального описания совокупности экспериментальных данных. Имеющиеся данные приведены на рис.7 совместно с оценками полных нейтронных сечений. Расхождения между данными различных авторов достаточно велики, также как погрешности многих данных. Поэтому при выборе параметров оптической модели в различных оценках проводится определенный отбор экспериментальных данных, который непосредственно отражается в разногласиях оценок. Оценка BROND-3 ориентировалась, в значительной степени, на результаты наиболее поздних измерений полных нейтронных сечений для ^{209}Bi [90D, 93F], а также на результаты недавних прецизионных измерений полных сечений для естественной смеси изотопов свинца [01A]. Так как различия полных сечений близлежащих ядер достаточно малы, то такая оценка полных сечений может оказаться более надежной, чем непосредственное описание более ранних экспериментальных данных для ^{209}Bi , погрешности которых существенно выше погрешностей, полученных в недавних измерениях. В оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VI основное внимание также уделялось описанию данных [90D, 93F], поэтому согласие всех оценок в диапазоне энергий от 2 до 20 МэВ оказывается очень хорошим.

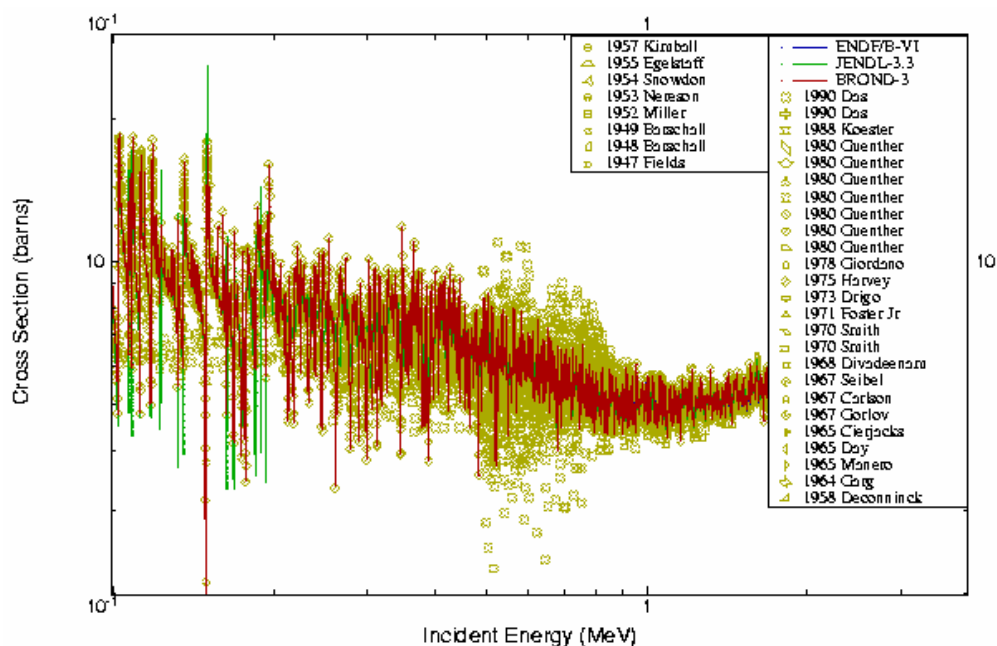


Рис. 6. Оценки полных нейтронных сечений ^{209}Bi в диапазоне энергий от 0.1 до 2 МэВ в сравнении с экспериментальными данными

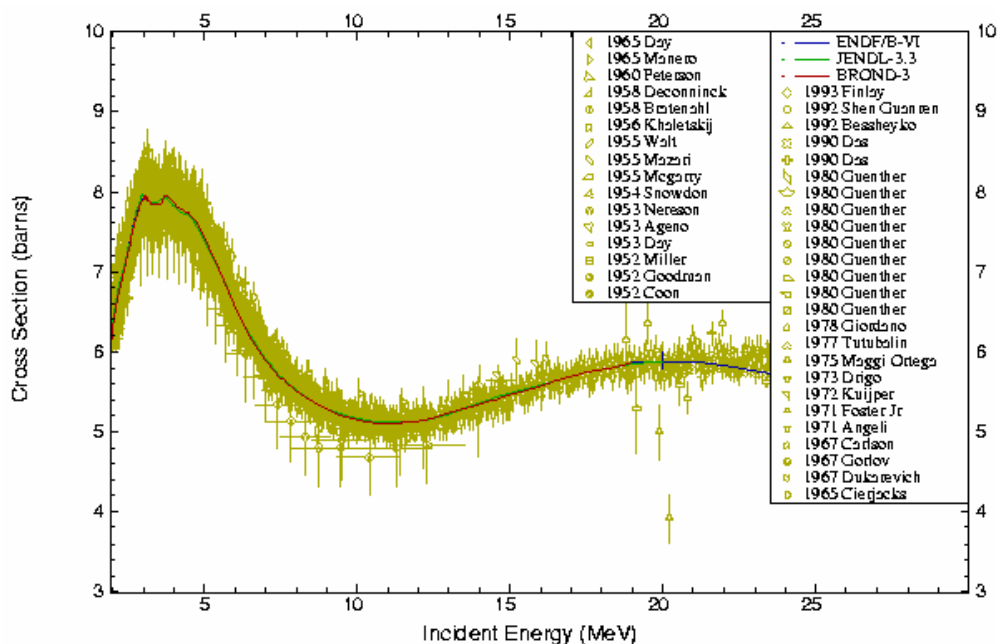


Рис. 7. Оценки полных нейтронных сечений ^{209}Bi в диапазоне энергий от 2 до 20 МэВ в сравнении с экспериментальными данными

3.2. Сечение упругого рассеяния и угловые распределения нейтронов (MT=2)

Во всех оценках сечение упругого рассеяния, обычно, определяется как разность полного сечения и суммы всех остальных оцененных сечений. На рис. 8 показано сравнение различных оценок интегральных сечений упругого рассеяния. Следует отметить, что большинство измерений упругого рассеяния нейтронов выполнено со сравнительно

низким энергетическим разрешением? и в таких данных не проявляется резонансная структура сечений. Во всем диапазоне энергий оценки БРОНД-3 и ENDF/B-VI почти совпадают, но оценка JENDL-3.3 заметно отличается при энергиях нейтронов выше 7 МэВ. Как будет показано ниже, эти расхождения обусловлены разногласиями оценок сечений неупругого рассеяния и $(n,2n)$ -реакций.

Оценки угловых распределений упруго рассеянных нейтронов существенно не отличаются. На рис. 9 и 10 показано сравнение оценок с имеющимися экспериментальными данными для наиболее характерных энергий налетающих нейтронов. Отобраны энергии, для которых имеются результаты нескольких независимых измерений. Оценки достаточно хорошо воспроизводят основные закономерности изменения угловых распределений при увеличении энергии нейтронов, и расхождения оценок с экспериментом оказываются примерно такими же, как разногласия экспериментальных данных. Оценки ENDF/B-VI и БРОНД-3 оказываются весьма близкими практически во всем диапазоне энергий нейтронов до 20 МэВ, тогда как оценка JENDL-3.3 описывает угловые распределения нейтронов несколько хуже в дифракционных минимумах и для обратных углов.

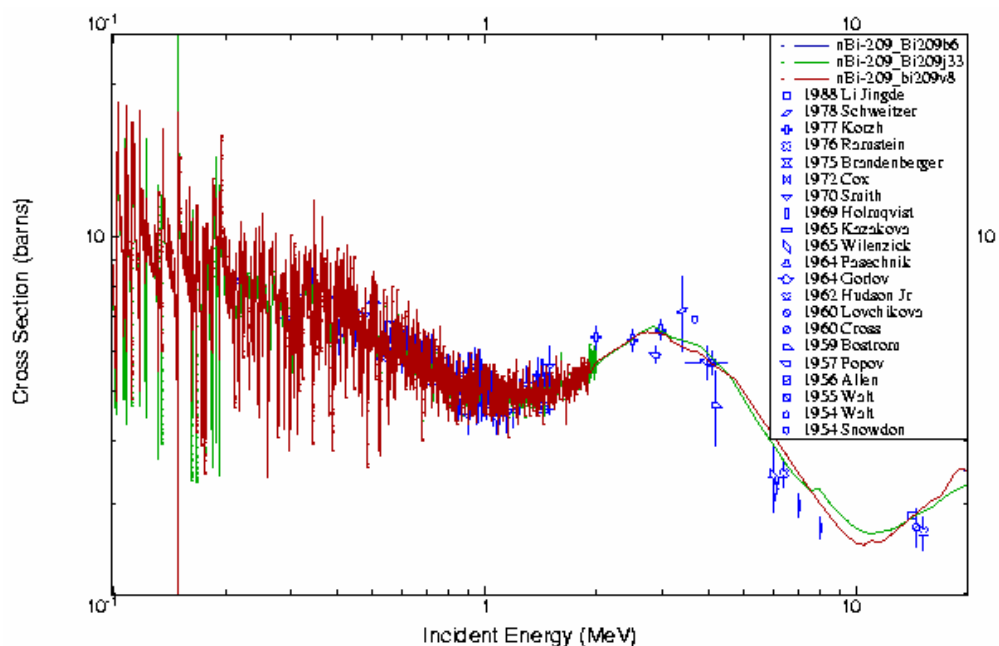


Рис. 8. Оценки интегральных сечений упругого рассеяния нейтронов для ^{209}Bi в диапазоне энергий от 0.1 до 20 МэВ в сравнении с экспериментальными данными

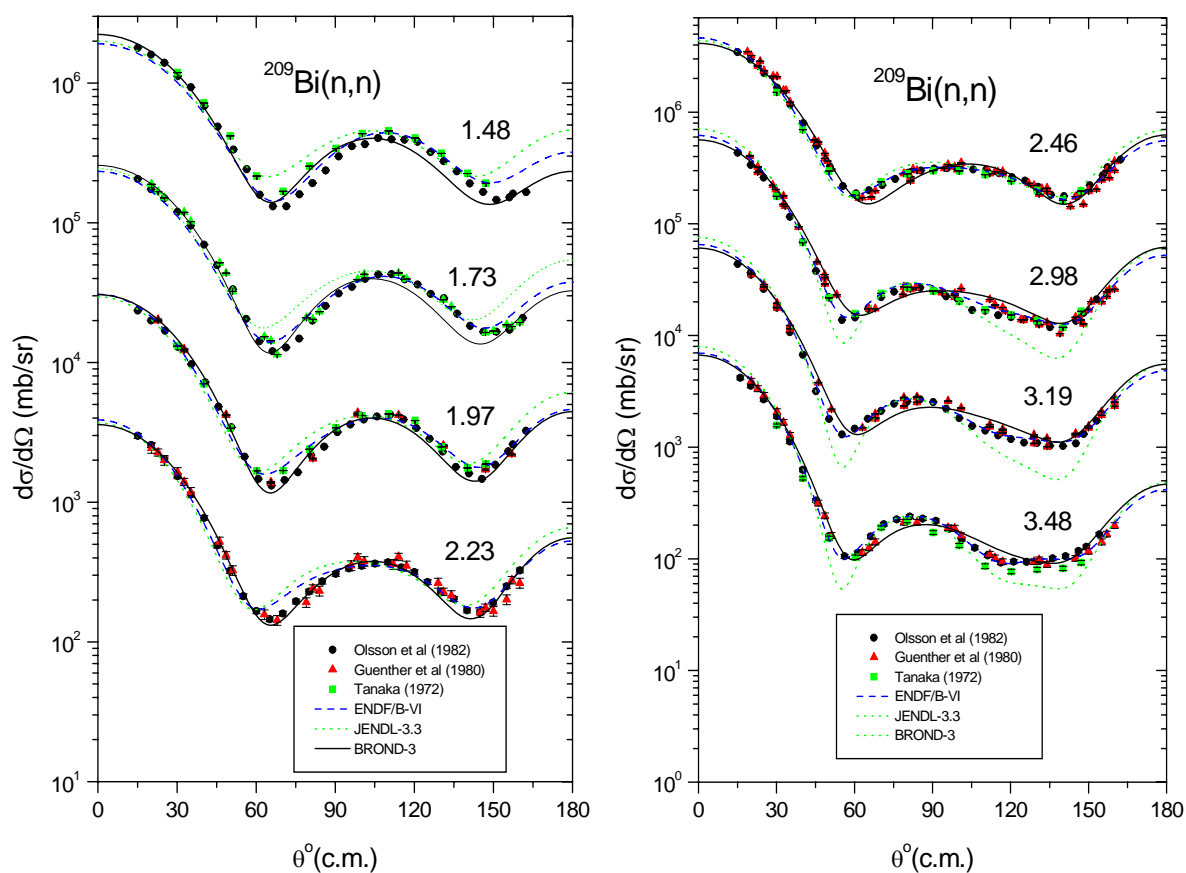


Рис. 9. Оценки угловых распределений упруго рассеянных нейтронов в диапазоне энергий от 1.48 до 3.48 МэВ в сравнении с экспериментальными данными

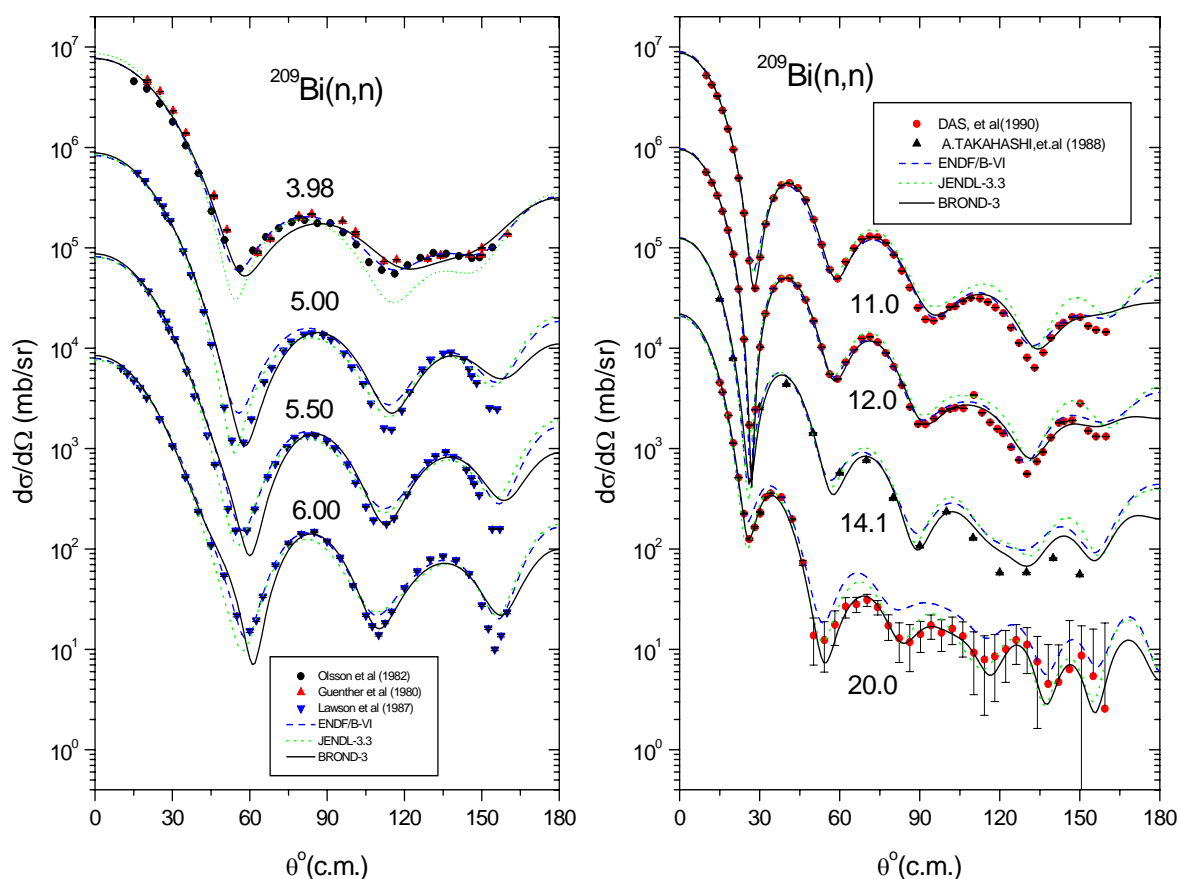


Рис. 10. Оценки угловых распределений упруго рассеянных нейтронов в диапазоне энергий от 3.98 до 20 МэВ в сравнении с экспериментальными данными

3.3 Неупругое рассеяние нейтронов

Все оценки сечений неупругого рассеяния нейтронов опираются на стандартные оптико-статистические расчеты и разногласия оценок обусловлено, главным образом, различиями параметров оптического потенциала, используемого в расчетах.

Ниже приведены схема низколежащих уровней ^{209}Bi , взятая из таблицы изотопов [98F] и использованная в оценке БРОНД-3:

№	Энергия (МэВ)	спин-четность
gs	0.0	9/2 -
1	0.89600	7/2 -
2	1.60900	13.2 +
3	2.44300	1/2 +
4	2.49282	3/2 +
5	2.56416	9/2 +
6	2.58307	7/2 +
7	2.59990	11/2 +
8	2.60092	13/2 +
9	2.61731	5/2 +
10	2.74105	15/2 +
11	2.76661	3/2 +
12	2.82619	5/2 -
13	2.84514	1/2 +
14	2.91657	1/2 +
15	2.95587	3/2 +

16	2.98679	19/2 +
17	3.03887	5/2 +
18	3.09008	7/2 +
19	3.11954	3/2 -
20	3.13296	11/2 +
21	3.13577	15/2 +
22	3.15283	9/2 +
23	3.15406	17/2 +
24	3.15928	3/2 +
25	3.16907	13/2 +
26	3.19744	1/2 +
27	3.21184	17/2 +
28	3.22158	5/2 +
29	3.26960	1/2 +
30	3.31115	7/2 +
31	3.35470	3/2 +
32	3.36201	7/2 +
33	3.37816	9/2 +
34	3.39430	15/2 +
35	3.40621	13/2 +
36	3.45030	7/2 +
37	3.46412	11/2 +
38	3.46767	19/2 +
39	3.48692	19/2 +
40	3.49000	1/2 +

В оценке JENDL-3.3 использовались такая же схема уровней, но рассмотрение ограничивалось 12 нижайшими уровнями, тогда как расчеты в ENDF/B-VI ограничивались 19 уровнями.

На рис. 11 показаны оценки интегрального сечения неупругого рассеяния нейтронов на ^{209}Bi в сравнении с имеющимися экспериментальными данными. Различия в числе дискретных уровней, учитываемых в различных оценках, оказывает сравнительно малое влияние на расчеты интегрального сечения неупругого рассеяния, так как недостающие уровни обычно моделируются соответствующим непрерывным спектром. Поэтому основные разногласия оценок обусловлены, главным образом, различиями сечений поглощения, вычисленных в рамках используемой оптической модели. Оценки JENDL-3.3 и БРОНД-3 достаточно близки в области максимума сечений неупругого рассеяния, тогда как ENDF/B-VI кажется несколько заниженной. Все оценки согласуются между собой и с экспериментальными данными при энергиях нейтронов выше 14 МэВ, где доминирующий вклад вносят прямые и предравновесные процессы.

На рис. 12 и 13 показаны оценки сечений возбуждения первых двух уровней ^{209}Bi при неупругом рассеянии нейтронов. Большая часть экспериментальных данных получена путем измерения выходов гамма-лучей, сопутствующих неупругому рассеянию нейтронов, и погрешности такой методики, связанные с дешифровкой спектра гамма-лучей при возбуждении многих уровней, достаточно велики. В частности, сечения выхода дискретных гамма-линий в измерениях Лашука и Садохина [94L] были получены относительно сечения неупругого рассеяния 1.2 МэВ нейтронов на ^{56}Fe с возбуждением 846 кэВ уровня. Для этой мониторинговой реакции при энергии налетающих нейтронов $E_n=1.2$ МэВ авторы эксперимента брали значение сечения 530 мб. Согласно новой оценке, выполненной Проняевым и др. [05P] сечение возбуждения 846 кэВ уровня в реакции $^{56}\text{Fe}(n,n'\gamma)^{56}\text{Fe}$ при $E_n=1.2$ МэВ равно 461.56 мб. Поэтому результаты измерений [94L] по сечениям выхода гамма-квантов нами были откорректированы на фактор $f=0.87087$.

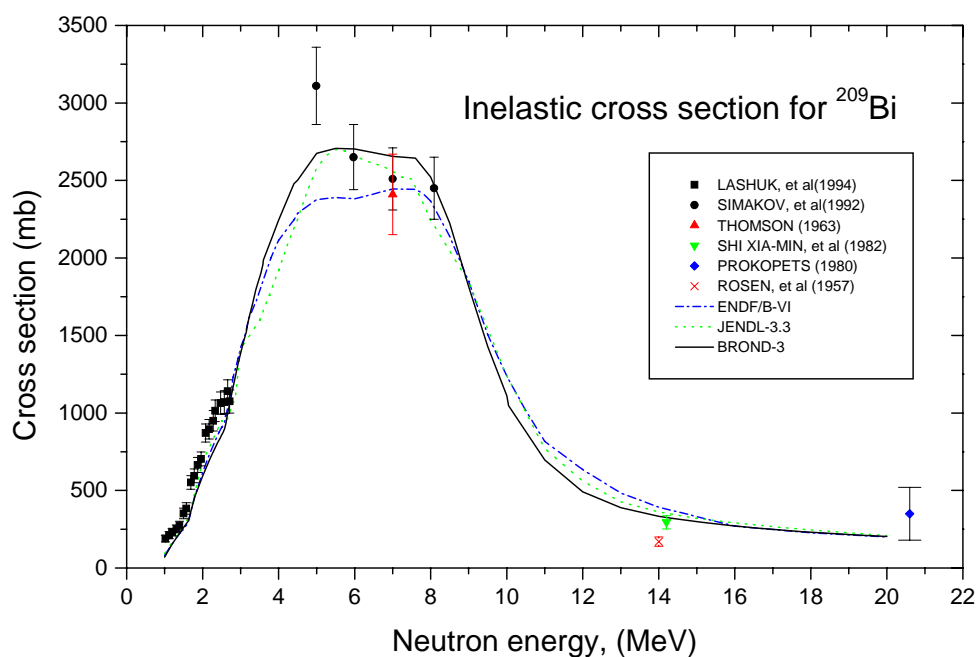


Рис. 11. Оценки интегрального сечения неупругого рассеяния нейтронов для ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными

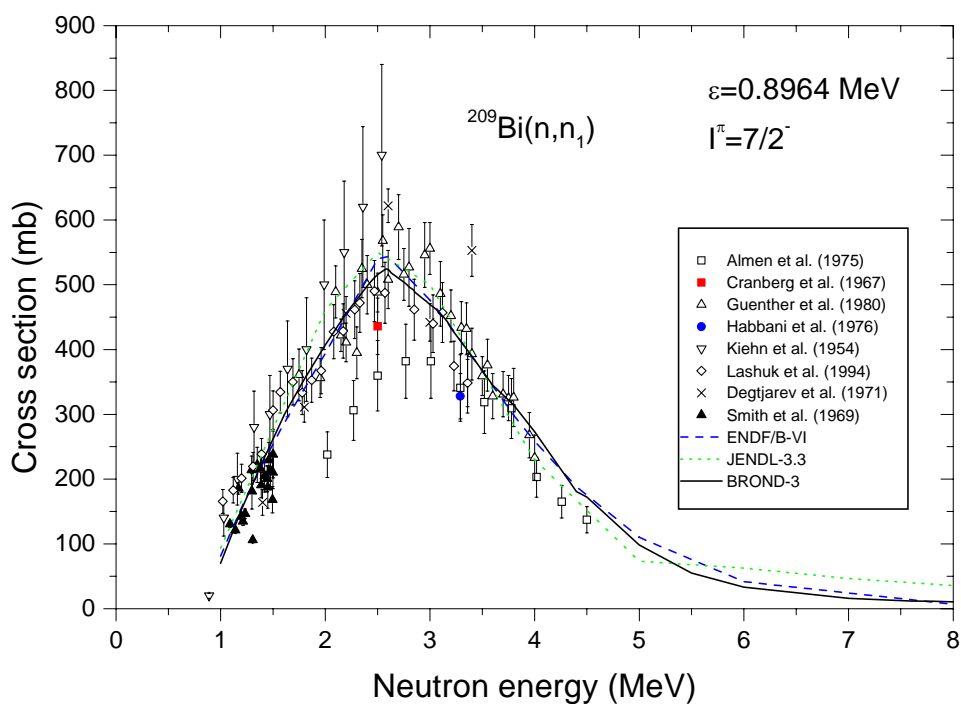


Рис. 12. Оценки сечения неупругого рассеяния нейтронов на первом уровне ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными

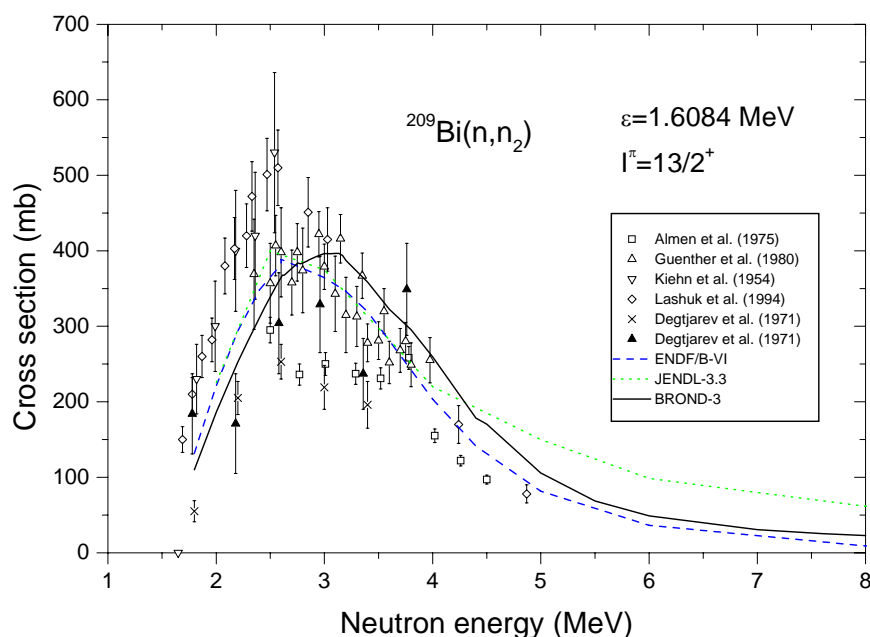


Рис. 13. Оценки сечения неупругого рассеяния нейтронов на втором уровне ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными

Согласие всех оценок с экспериментальными данными по функциям возбуждения низколежащих уровней кажется удовлетворительным, учитывая достаточно большие погрешности и разногласия имеющихся данных.

На рис. 14 показаны оценки угловых распределений неупруго рассеянных нейтронов с энергиями от 1.45 до 3.55 МэВ на первых двух уровнях ^{209}Bi . Анизотропия угловых распределений для рассматриваемых энергий сравнительно невелика, и все оценки достаточно хорошо согласуются между собой и с экспериментальными данными. Превышение экспериментальных данных над оценками для уровня $13/2^+$ при энергии нейтронов 2.02 МэВ обусловлено расхождениями в описании околопорогового поведения функций возбуждения этого уровня во всех оценках (см. рис.13). В настоящее время не видно, каким образом такое расхождение с экспериментом может быть устранено в теоретических расчетах. По-видимому, для разрешения имеющихся противоречий необходимы новые, более надежные измерения функций возбуждения данного уровня при околопороговых энергиях налетающих нейтронов.

3.4 Сечение реакции радиационного захвата (MT=102)

На рис. 15 показаны оценки сечений радиационного захвата нейтронов на ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными [35-38]. Все оценки получены на основе стандартных оптико-статистических расчетов, и их разногласия в области энергий выше 1 МэВ обусловлено различными приближениями в описании конкуренции радиационных и нейтронных ширин на начальных этапах каскада гамма-переходов. В области энергий выше 8-10 МэВ во всех оценках рассматривается механизм прямого-коллективного захвата нейтронов, но приближения, привлекаемые для его описания, различаются весьма значительно.

В области энергий нейтронов ниже 1 МэВ оценки ENDF/B-VI и БРОНД-3 практически совпадают и хорошо согласуются с экспериментальными данными [37]. При энергиях налетающих нейтронов выше 1 МэВ БРОНД-3 хорошо описывает экспериментальные данные [86M], тогда как оценка ENDF/B-VI проходит значительно ниже этих данных.

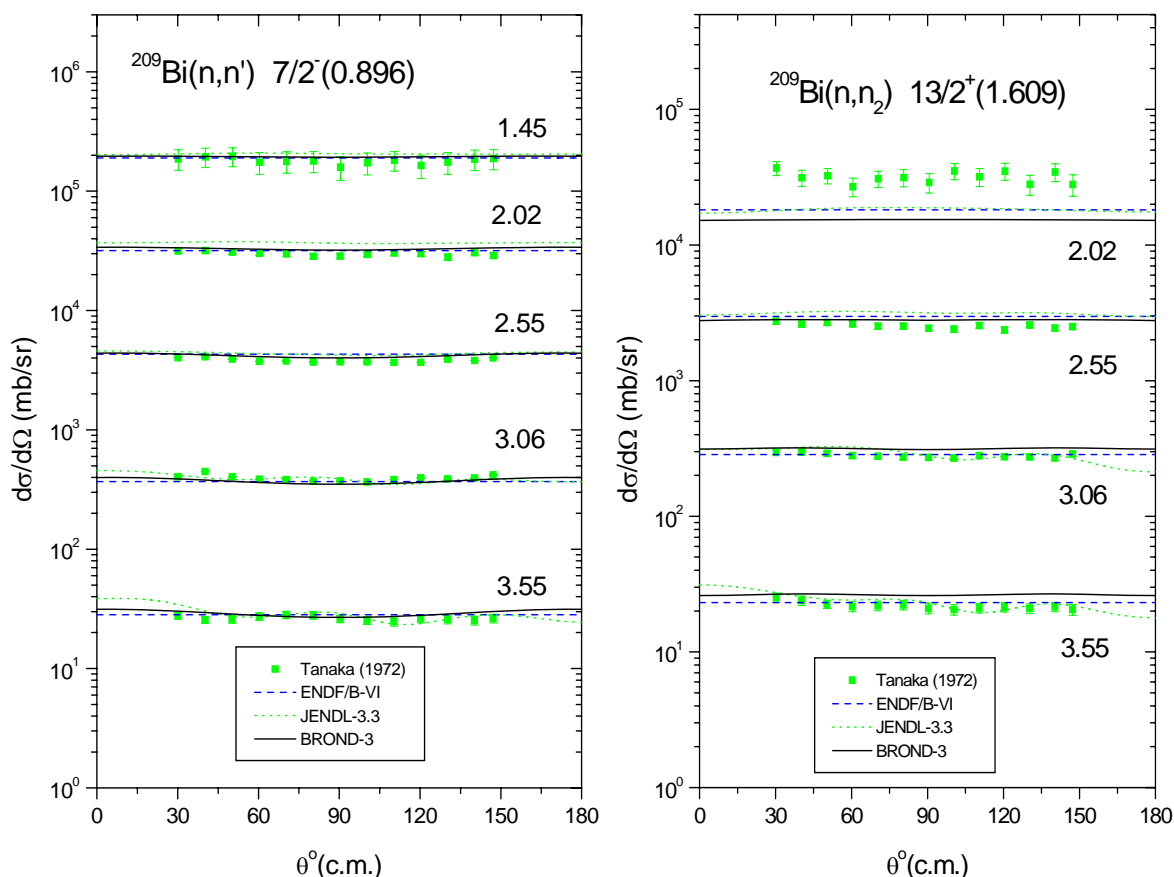


Рис. 14. Оценки угловых распределений неупруго рассеянных нейтронов с энергиями от 1.45 до 3.55 МэВ на первом и втором уровнях ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными

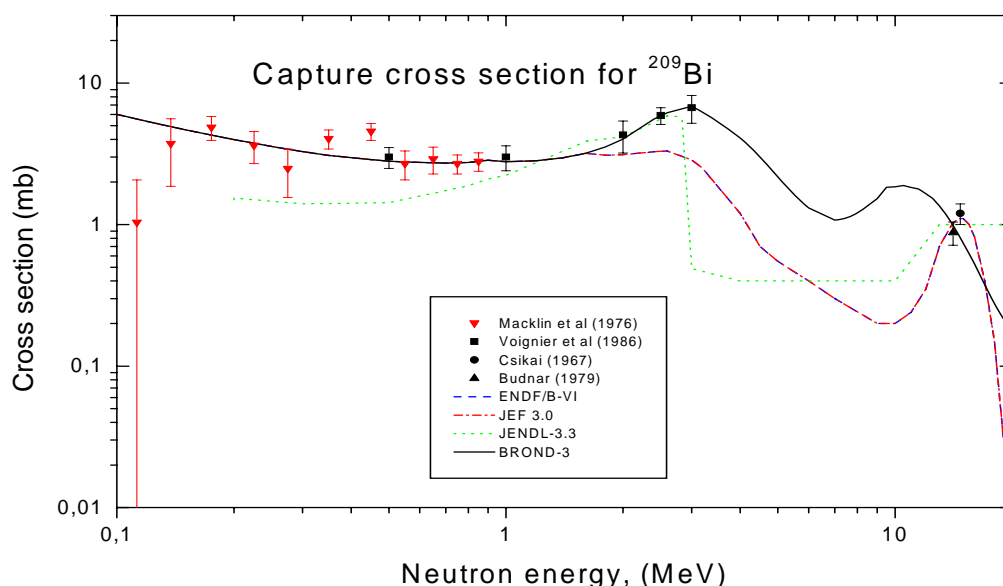


Рис. 15. Оценки сечений радиационного захвата нейтронов ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными [35-38]

Оценка JENDL-3.3 кажется существенно заниженной как при энергиях нейтронов ниже 1 МэВ, так и в диапазоне энергий от 3 до 10 МэВ. Следует, однако, отметить, что ввиду малой величины сечения захвата нейтронов с энергиями выше 1 МэВ, разногласия оценок в области высоких энергий не оказывает сколько-либо заметного влияния на расчеты характеристик ядерных реакторов.

3.5. Реакция (n,2n) (MT=16)

Экспериментальные данные о сечении реакции (n,2n) показаны на рис. 16 совместно с соответствующими оценками. Сечение реакции (n,2n) сравнительно велико, поэтому значительные разногласия его оценок могут быть очень существенны для большинства практических приложений. Из рисунка видно, что в целом все три рассматриваемые библиотеки дают практически одинаковое описание экспериментальных данных.

3. 6. Сечение реакции (n,3n) (MT= 17)

Оцененные и экспериментальные данные по функции возбуждения реакции $^{209}\text{Bi}(n,3n)$ показаны на рис.17. Из рисунка видно, что абсолютные значения имеющихся экспериментальных данных в широком диапазоне энергий рассеиваемых нейтронов воспроизводятся оценками BROND-3 и JENDL-3.3. Мы полагаем, что более предпочтительной является оценка BROND-3, так как она надежно воспроизводит экспериментальные данные в более широком энергетическом интервале.

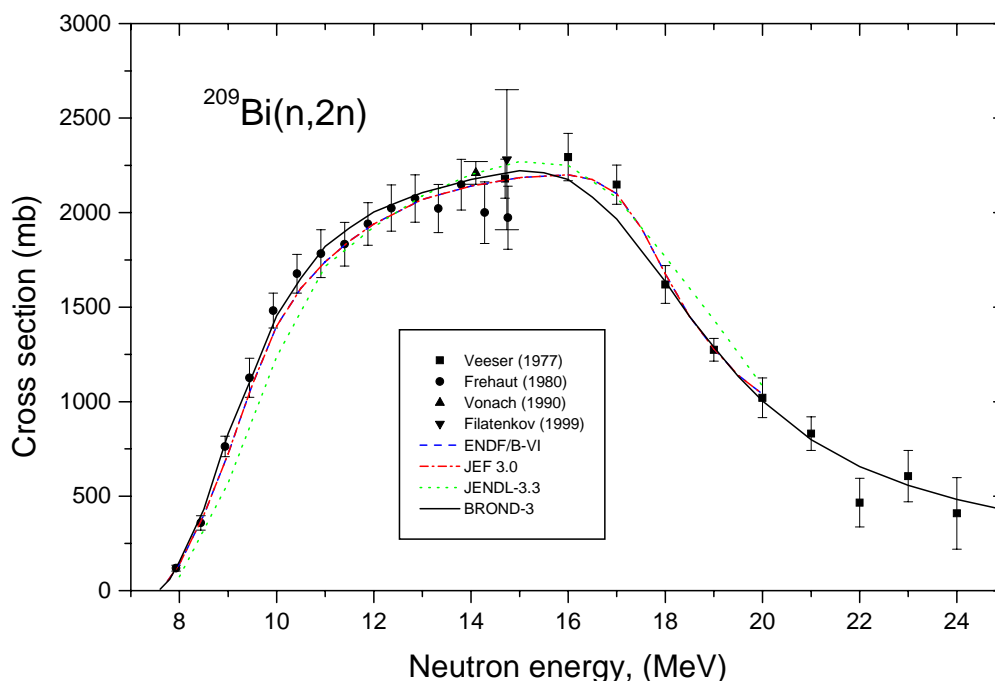


Рис.16. Сравнение оценок сечений реакции $^{209}\text{Bi}(n,2n)$ с экспериментальными данными

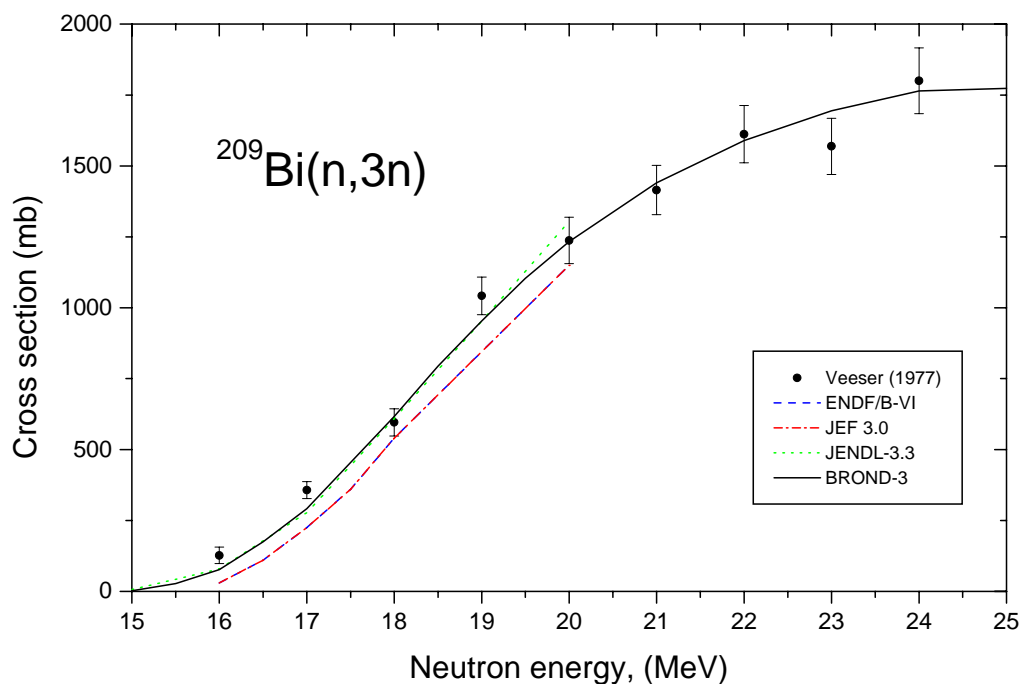


Рис.17. Сравнение оценок сечений реакции $^{209}\text{Bi}(n,3n)$ с экспериментальными данными

3.7. Реакции (n,p) (MT=103) и (n, α) (MT=107):

Реакции $^{209}\text{Bi}(n,p)$ и $^{209}\text{Bi}(n,\alpha)$ широко используются для дозиметрии нейтронов, поэтому для них, как правило, имеются большие наборы экспериментальных данных. Однако надежных экспериментальных данных для функции возбуждения реакции $^{209}\text{Bi}(n,p)$ в диапазоне энергий до 20 МэВ нет. По этой причине в качестве критерия пригодности оценок в более широкой области энергий мы использовали новые надежные экспериментальные данные из работы [10], полученные в диапазоне энергий нейтронов свыше 28 МэВ. На рис. 18 показаны данные измерений сечений реакции (n,p) в сравнении с оценками. Нетрудно видеть, что из всех рассматриваемых библиотек оценка сечения реакции (n,p), предлагаемая в BROND-3, наиболее адекватна надежным экспериментальным данным.

Аналогична ситуация с реакцией $^{209}\text{Bi}(n,\alpha)$. В процессе проведения оценок для библиотеки BROND-3 мы использовали предравновесную модель ядра, параметры которой для описания выхода составных частиц были подобраны по экспериментальным данным работы [10]. В итоге, удалось описать спектры и интегральные выходы α - частиц вплоть до энергий рассеиваемых нейтронов 96 МэВ. По этой причине, мы считаем, что оценка реакции $^{209}\text{Bi}(n,\alpha)$ из библиотеки BROND-3 в настоящий момент наиболее надежная (см. рис. 19).

4. Образование фотонов

В файлах JENDL-3.3 и ENDF/B-VI содержится достаточно полные оценки интегральных выходов и спектров гамма-лучей, сопутствующих процессам радиационного захвата и неупругого взаимодействия нейтронов с ядром-мишенью. В JENDL-3.3 такая информация представлена в секциях MF=12, 13, 14 и 15, тогда как в ENDF/B-VI в секциях MF=12, 14 и 15 содержится только данные о гамма-лучах, обусловленных радиационным захватом нейтронов, а данные о множественности и спектрах гамма-лучей, сопровождающих неупругие процессы, включены в секцию MF=6. Угловые распределения всех типов гамма-излучения в обеих оценках приняты изотропными.

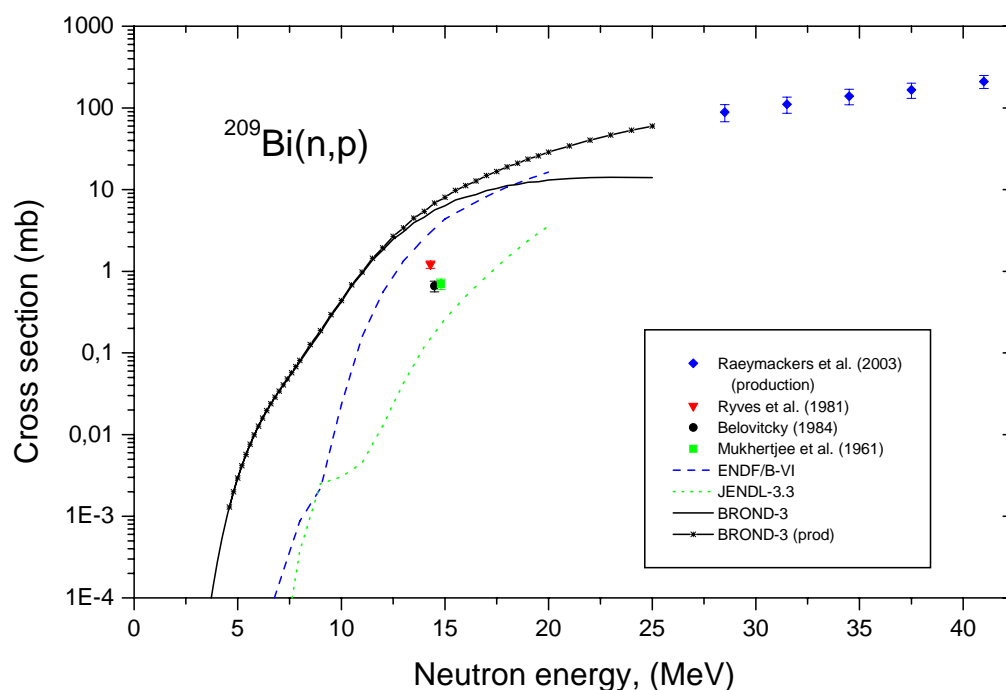


Рис.18. Сравнение оценок сечений реакции $^{209}\text{Bi}(n,p)$ с экспериментальными данными

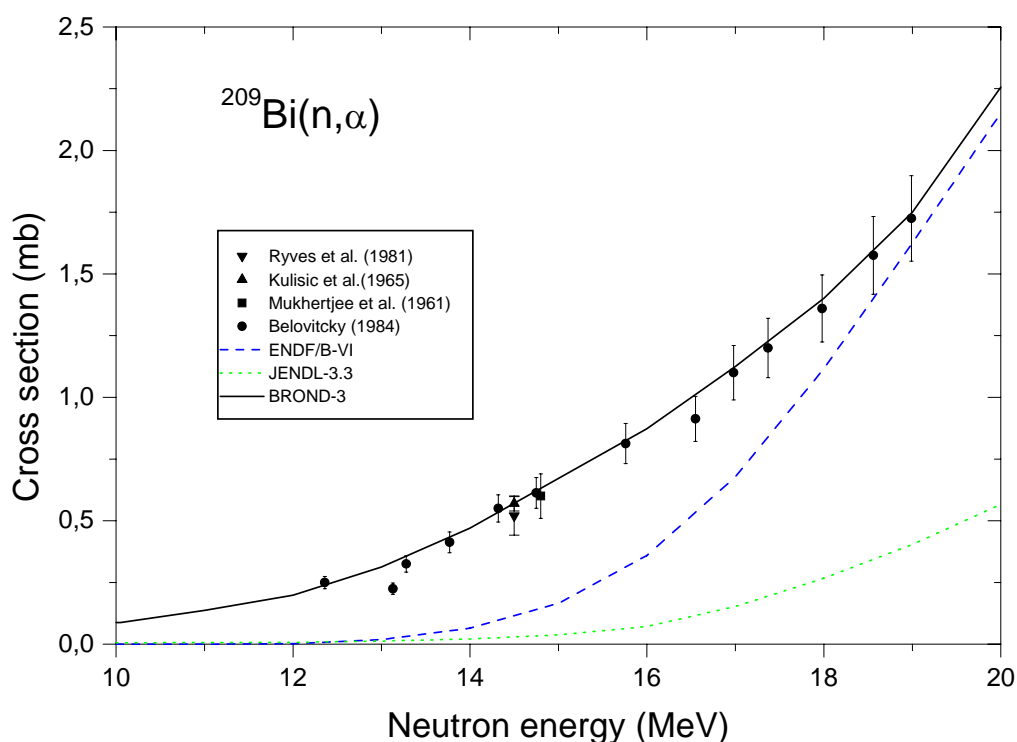


Рис.19. Сравнение оценок сечений реакции $^{209}\text{Bi}(n,\alpha)$ с экспериментальными данными

Оценки интегральных сечений образования гамма-лучей показаны на рис.20 в сравнении с экспериментальными данными. Данных по полному сечению гамма-производства не сравнительно немного [44N, 75W, 91H, 99G]. Во все экспериментальные данные нами была внесены поправки, учитывающая вклад в интегральное сечение сечения образования гамма-квантов низкоэнергетических гамма-лучей, не регистрируемых в эксперименте.

Такие поправки достаточно велики, и именно они определяют основную погрешность экспериментальных данных. На основе имеющихся данных можно сделать вывод, что оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VI завышают на 20-30% интегральные выходы гамма-лучей практически во всем диапазоне энергий нейтронов выше 3-4 МэВ, тогда как БРОНД-3 достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными.

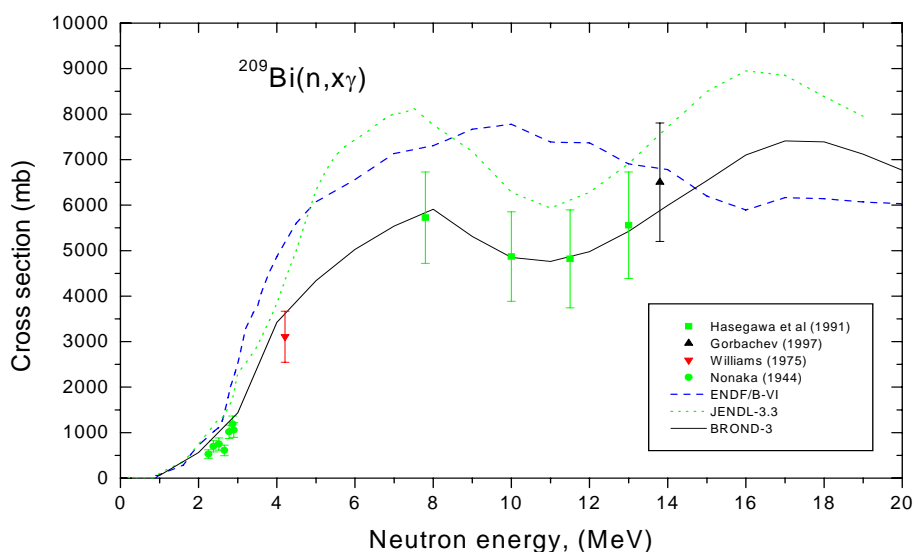


Рис. 20. Оценки интегральных сечений образования гамма-лучей при неупругом взаимодействии нейтронов с ^{209}Bi в сравнении с экспериментальными данными

Список литературы

1. W.P.Abhalterer, F.B.Bateman, F.S.Dietrich, R.W.Finlay, R.C.Haight, and G.L.Morgan. "Measurement of neutron total cross sections up to 560 MeV " *Phys. Rev.* v. **C63**, (2001) 044608
2. E.Raeymackers, S.Benck, N.Nica, I.Slypen, J.P.Meulders, V.Corcalciuc, A.J.Koning, *Nucl. Phys.* v. **A726** (2003)210
3. A.V.Ignatyuk, In: Reference Input Parameter Library for Nuclear Model Calculations - Handbook, IAEA - TECDOC-1034, Vienna, 1998, ch. 5.
4. J. Kopecky, In: Reference Input Parameter Library for Nuclear Model Calculations - Handbook, IAEA - TECDOC-1034, Vienna, 1998, ch. 6.
5. S.Mughabghab, M.Divadeenam and N.Holden, "Neutron Cross Sections", v. Part B. Academic Press, New York, 1984.
6. J.A.Harvey, W.M.Good, N.W.Hill, J.L.Mitchell, R.M.Feezel ORNL-4743, 54, 1972
7. J.A.Harvey, W.M.Wilson, N.W.Hill (1975)
8. J.A.Harvey, H.Smith (1977)
9. U.N.Singh, J.Rainwater, H.I.Liou, G.Hacken, J.B.Garg PR C, 13, 124, 1976
10. D.G.Foster Jr, D.W.Glasgow. *Phys. Rev.*, v. **C3**, p.576 (1971).
11. R.K.Das and R.W.Finlay, *Phys. Rev.*, v. **C42**, p.1013 (1990).
12. I.A.Korzh et al UFZ **22**(1977)87
13. A.B.Smith et al., *Nucl. Sci. Eng* ,**41**(1970)63
14. B.Holmqvist et al AE-366(1969) *Nucl. Phys.* **62**(1965)511
15. M.V.Pasechnik et al AE **16**(1964)207
16. G.V.Gorlov et al DOK **158**(1964)574
17. C.I.Hudson et al *Phys. Rev.*, v. **128** (1962)1271
18. S.Tanaka, Y.Tomita, K.Ideno and S.Kikuchi, *Nucl. Phys.* **A179**(1972)513
19. A.B.Smith, P.T.Guenther, J.F.Whalen *Nucl. Sci. Eng* ,**75**(1980),69

20. N.Olsson, B.Holmqvist and E.Ramstrom, *Nucl. Phys.* **A385**(1982)285
21. R.D.Lawson, P.T.Guenther, A.B.Smith, *Phys Rev.*, v.**C36**, p.1298 (1987)
22. A.Takahashi, Y.Sasaki, and H.Sugimoto, Report JAERI-M-88-102,(1988).
23. R.Macklin, J.Halperin, *Phys. Rev.*, v.**C14** (1976)1389
24. J.Voignier,S.Joly,G.Grenier, *Nucl. Sci. Eng* ,**93**,(1986)43
25. M.Budnar, F.Cvelbar, E.Hodgson, et al R, INDC (Yug)-6(1979)
26. J.Csikai, G.Peto, M.Buczko, Z.Milligy, N.Eissa, *Nucl. Phys.* **A95**(1967)229
27. V.M.Gorbachev et al. Private communication, Obninsk, 1997
28. K.Hasegawa et al. Proceedings of an International Conference Nuclear Data for Science and Technology, Julich, 13-17 May 1991,p.329
29. G.H.Williams. Diss. Abstr.,**B36** (1975)790
30. I.J.Nonaka *JMJ* v.**26** (1944)66
31. А.И.Лашук, И.П.Садохин, ВАНТ, Ядерные константы, Вып.1 (1994)26
32. V.G. Pronyaev et al. *Physics Data* **13-8**(1995)50
33. Ю.Г.Дегтярев., В.Н.Протопопов, Изв. АН СССР, сер. физич., т.35 (1971)2341
34. E.Almen-Ramstrom. Report AE-503 (1975).
35. A.B.Smith, et al. Report ANL-7636, November 1969.
36. F.I.Habbani, A.H.Jiggins. *Nucl. Instrum. Meth.*, v. **134**(1976)545
37. S.P.Simakov, G.N.Lovchikova, V.P.Lunev, V.G.Pronyaev, N.N.Titarenko, A.M.Trufanov , Вып ВАНТ, Ядерные константы.4 (1992)74
38. D.B.Thomson, *Phys. Rev.*, v.**129** (1963) 2192
39. L.Rosen, L.Stewart , *Phys. Rev.*, v.**107** (1957),824
40. Shi Xia-Min, Shen Rong-Lin, Xing Jin-Qiang, et al *CNP*,**4**,(2)(1982)120
41. G.A.Prokopets, *Ядерная физика*, т. **32** (1980)37
42. L.R.Veeser, E.D.Arthur, P.G.Young, *Phys. Rev.*, v.**C16** (1977)1792
43. J.Frehaut, A.Bertin, R.Bois, J.Jary. In Proc. Symp. on Neutron Cross Sections from 10 – 50 MeV, Upton,L.I. (USA), May 1980,12
44. A.A.Filatenkov, S.V.Chuvaev,V.N.Aksenov, V.A.Yakovlev, et al. RI-252,1999; , ВАНТ, Ядерные константы. Вып 2 (1996)8
45. T.B.Ryves, P.Kolkowski, A.C.Hooley, *J.Phys.* **G7**, (1981) 529
46. S.K.Mukherjee, A.K.Ganguly, N.K.Majumder *PPS*, **77**(1961)508
47. G.E.Belovickij, O.S.Presnjak, L.V.Sukhov C,75Kiev, 4,209,1976
48. P.Kuliscic, N.Cindro, P.Strohal *Nucl. Phys.* **73**(1965),548

5. Заключение

5.1 Выводы. На основе проведенного рассмотрения оценок и имеющихся экспериментальных данных можно сделать вывод, что более достоверной в настоящее время является оценка БРОНД-3¹ (авторы оценки **А.В.Игнатюк, К.И.Золотарев, В.П.Лунев, В.Н.Манохин, Г.Я.Тертычный, Н.Н.Титаренко**). В нее включены те же параметры нейтронных резонансов, что и в ENDF/B-VI, но достигнуты определенные уточнения в описании сечений неупругого рассеяния нейтронов, сечений радиационного захвата нейтронов, выходов заряженных частиц и интегральных выходов гамма-лучей.

Авторы заключения

А.В.Игнатюк и Н.Н.Титаренко.

¹Оценка дополнена файлом MF=9 с секцией MT=102, содержащей вероятности образования висмута-210 в основном и в изомерном состояниях. – М.Николаев.

83.6. Висмут-210

Радиоактивен ($T_{1/2}=5.013$ д). Испытывает бета-распад в полоний-210(вероятность альфа-распада висмута-210 в таллий-206 равна $1.3 \cdot 10^{-6}\%$). Полоний-210, в свою очередь распадается ($T_{1/2}=138.38$ д) в свинец-206 путем альфа-распада.

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003. В файле MF=10 сохранена только секция MT=4. Остальные сечения свернуты по подсекциям и внесены в файл MF=3.

Автор заключения

Николаев М.Н.

83.7. Висмут-210m

Радиоактивен ($T_{1/2}=3 \cdot 10^6$ лет). Испытывает альфа-распад в таллий-206 $1.3 \cdot 10^{-6}\%$). Таллий-206, в свою очередь, испытывает бета-распад в свине-206 ($T_{1/2}=4.2$ мин).

Заключение

В РОСФОНД вносятся оцененные данные о нейтронных сечениях из EAF-2003. Все сечения в секциях файла MF=10 свернуть по подсекциям и перенести в файл. MF=3. Секцию MT=4 перенести из файла MF=3 в файл MF=4.

Автор заключения

Николаев М.Н.