

81. ТАЛЛИЙ

Таллий обладает двумя стабильными (^{203}Tl и ^{205}Tl) и четырьмя долгоживущими радиоактивными изотопами (^{200}Tl , ^{201}Tl , ^{202}Tl и ^{204}Tl). Ни для одного из этих изотопов в известных библиотеках не содержится полных файлов нейтронных данных. Однако для природного таллия был составлен полный файл нейтронных данных для китайской библиотеки CENDL-2, который без изменений был принят и в библиотеку JEFF-3.1. Других полных наборов оцененных данных для природного таллия неизвестно.

81.1. Природный таллий

Природный таллий содержит 29.524% ^{203}Tl и 70.476% ^{205}Tl . Единственный файл оцененных данных был составлен Чжоу Юмингом (Zhou Yiming) и Ма Гонггуи (Vf Gonggui) из сычуанского института ядерной науки и техники в 1993 г. Рассматриваемые ниже данные почерпнуты из библиотеки JEFF-3.1, в которую этот файл включен без изменений.

1. Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов распространена от 100 эВ до 50 кэВ. Сечения в этом интервале описываются параметрами разрешенных резонансов каждого из изотопов. Параметры резонансов взяты из известной компиляции Мухабхаба.

Таблица 1. Характеристики параметров разрешенных резонансов

Изотоп	s-резонансы		p-резонансы	
	Число	Макс. энергия	Число	Макс. энергия
Таллий-203	68	45498 эВ	17	12120эВ
Таллий-205	16	93000эВ	15	81650 эВ

Уже из приведенных данных видно, что заметная часть резонансов. По крайней мере таллия-203, в области разрешенных резонансов пропущена. Это более отчетливо видно из рис.1, на котором изображены нарастающие суммы резонансов.

Следует, однако, отметить, что резонансы таллия-203, идентифицированные как p-резонансы, имеют нейтронные ширины в среднем в 180 раз меньшие, чем s-резонансы, лежащие при энергиях ниже 12 кэВ. С ростом энергии нейтронные ширины p-резонансов нарастают пропорционально $E^{3/2}$, т.е. много быстрее, чем ширины p-резонансов (нарастающие пропорционально $E^{1/2}$). Тем не менее ясно, что вклад пропущенных p-резонансов в нейтронные сечения даже на границе области разрешенных резонансов будет много ниже вклада s-резонансов для этого изотопа.

Пропуск s-резонансов, судя по всему, явится более существенной причиной недооценки вклада таллия-203 в нейтронные сечения. Однако и этот фактор, вероятно, не слишком существен, поскольку пропускаются лишь самые узкие, слабые s-резонансы, о чем можно судить по приближенной линейности энергетической зависимости нарастающей суммы приведенных нейтронных ширин s-резонансов таллия-203 (см. рис.2).

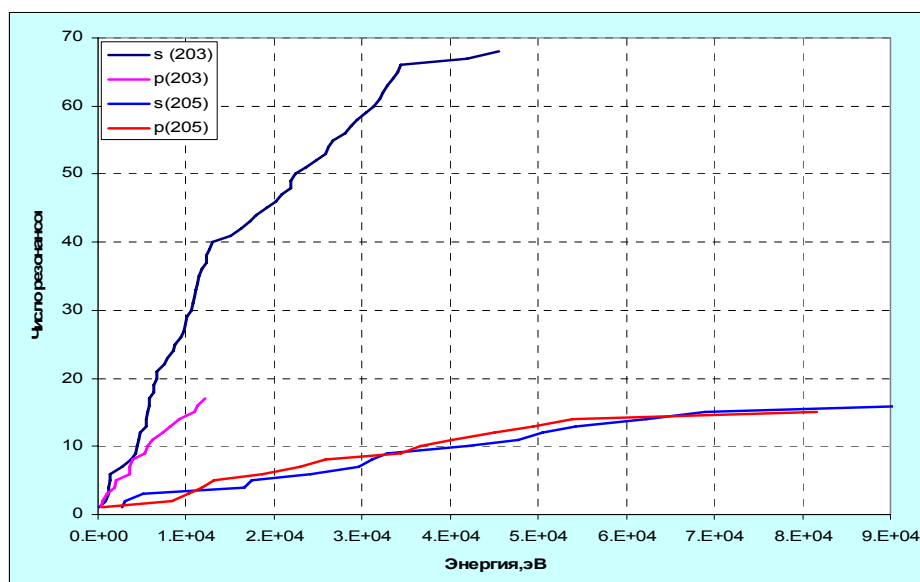


Рис.1. Нарастающие суммы s- и p-резонансов изотопов таллия.

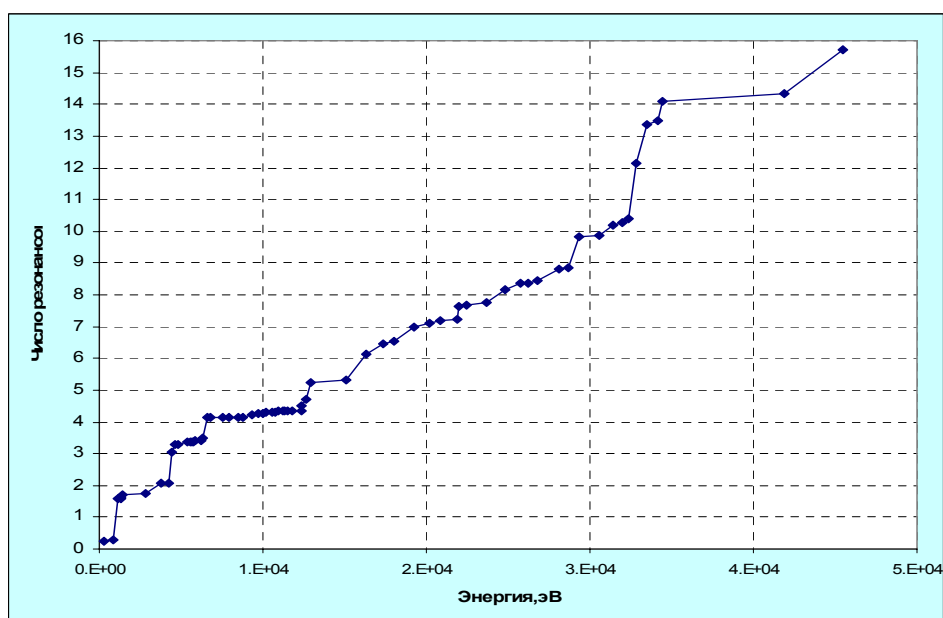


Рис.2. Нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин s-резонансов таллия-203.

Что касается таллия-205, то для него пропуск уровней проявляется, как видно, из рис.1, лишь при энергиях выше 50 кэВ. Таким образом, определение верхней границы области разрешенных резонансов при 50 кэВ, представляется достаточно оправданным.

Что касается нижней границы, то она выбрана значительно ниже энергии первого резонанса любого из изотопов и детальное описание хода сечений ниже 100 эВ позволяет избежать подбора параметров связанных состояний для каждого из изотопов. Разумеется, тепловые сечения захвата и рассеяния точно согласуются с рекомендованными Мухабхабом для природного таллия: $\sigma_c = 3.43$ барна (± 0.06); $\sigma_e = 10.01$ барна (± 0.05) (в скобках указаны оцененные Мухабхабом погрешности). Резонансный интеграл, вытекающий из данных файла, равен 13.72 барна, т.е. близок к оценке Мухабхаба (12.9 ± 0.8 барна).

2. Сечения вне резонансной области

На рис. 3 оцененное полное сечение сравнивается с экспериментальными данными.

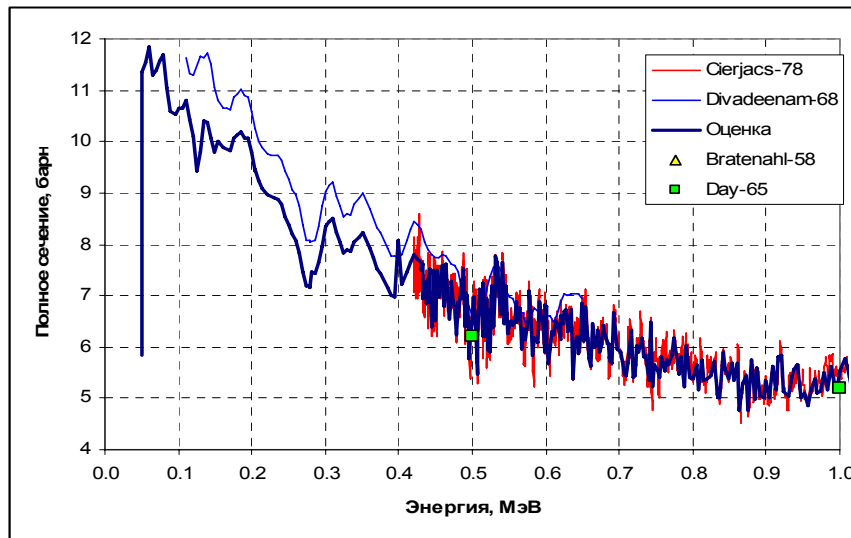


Рис.3а. Полное сечение

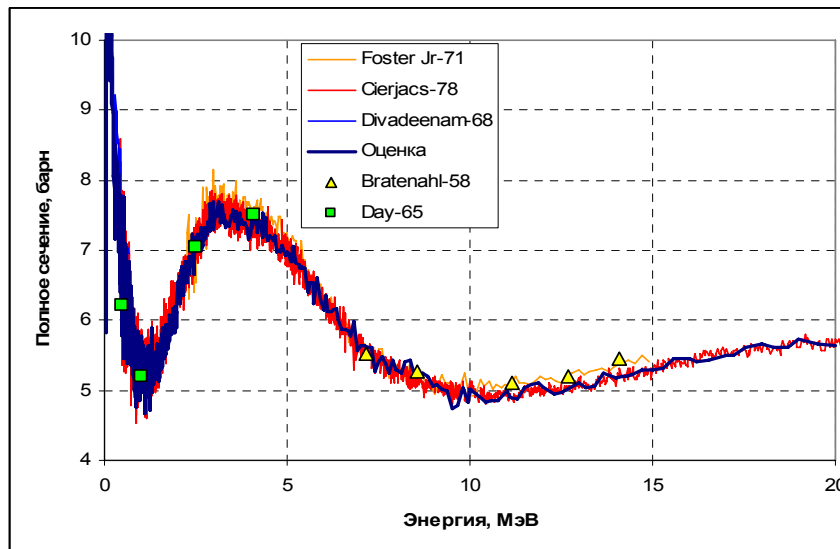


Рис.3б. Полное сечение.

Как видно, оценка полного сечения целиком опирается на результаты измерений. «Рябь» в сечении при высоких энергиях едва ли является оправданной, однако и практического значения она не имеет. При энергиях порядка сот кэВ данные Дивадинэма обоснованно перенормированы на результаты, полученные другими авторами. Причина систематической погрешности результата этого эксперимента состоит, вероятно, в недооценке толщины образца. При 50 кэВ в оценке полного сечения имеется «прыжок», обеспечивающий стык с сечением, рассчитанным по параметрам разрешенных резонансов. Целесообразность введения этого скачка сечений сомнительна, и в РОСФОНДе он присутствовать не будет.

На рис. 4. проводится сравнение данных по сечению радиационного захвата. При низких энергиях сечение захвата представляется неоправданно заниженным. В РОСФОНДе принимается более плавная кривая, также изображенная на рисунке. Поведение этого сечения также обосновывается имеющимися экспериментальными данными. Заметим. Что результаты Воинджера и Конкса имеются также и для отдельных изотопов, суммы по изотопам согласуются с данными для природной смеси и тем самым подтверждают их.

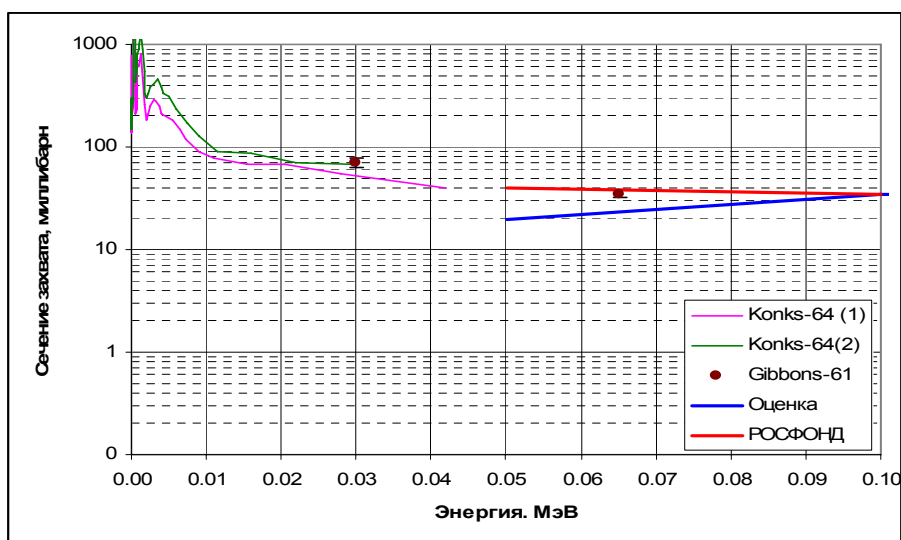


Рис.4а. Сечение захвата

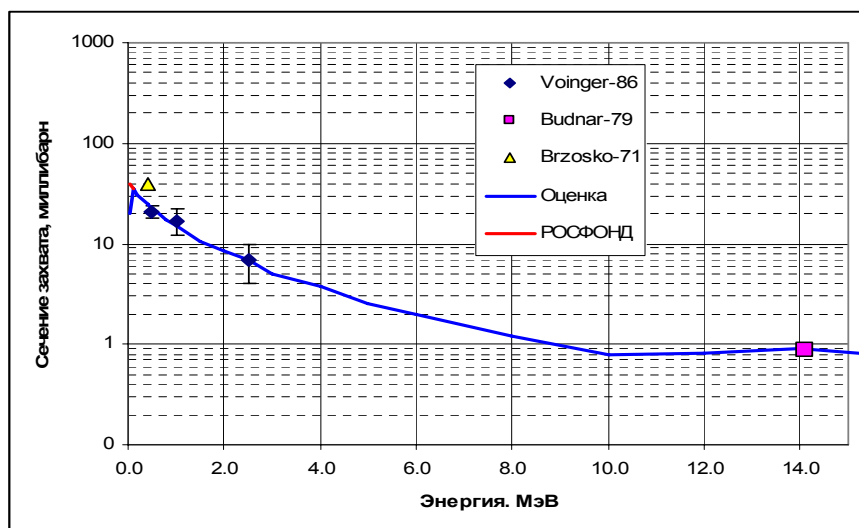


Рис. 4б. Сечение захвата.

Сечения реакций были получены путем теоретических расчетов с последующей перенормировкой полученных кривых на экспериментальные данные, когда таковые имелись (реакции $(n,2n)$, $(n,3n)$, (n,p) , (n,α)). Сечение упругого рассеяния получено из условия баланса.

3. Энерго-угловые распределения

Угловые распределения упруго рассеянных нейтронов и нейтронов, рассеянных с возбуждением дискретных уровней получены в результате расчетов по теоретическим моделям. Угловые распределения реакций с континуальным спектром нейтронов приняты изотропными. Сами спектры получены расчетным путем.

Данные об образовании фотонов в нейтронных реакциях не приводятся.

Заключение.

В РОСФОНД следует принять рассмотренную выше китайскую оценку с небольшими коррекциями, отмеченными выше.

При первой возможности следовало бы выполнить полные оценки нейтронных данных для обоих стабильных изотопов, для которых имеется немало экспериментальных данных.

Автор заключения

Николаев М.Н.

81.2. Таллий-200

Радиоактивен ($T_{1/2}=26.1$ ч.). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный ^{200}Hg . Образование в реакторе возможно при облучении природного таллия лишь в результате трех последовательных реакций (n,2n) (или одной реакции (n,3n) и двух (n,2n) и т.п.), т.е. выход ничтожно мал, особенно учитывая короткие времена жизни промежуточных продуктов.

Полных наборов оцененных нейтронных данных, естественно, не имеется. Нейтронные сечения, оцененные теоретическим путем, содержатся в библиотеке EAF.

Заключение.

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, в которых долгоживущих изомеров в реакциях на таллии-200 не образуется, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Данные об образовании изомеров занести в файл MF=9. Файл MF=10 опустить.

Файлу присвоить MAT=8120.

Автор заключения

Николаев М.Н.

81.3. Таллий-201

Радиоактивен ($T_{1/2}=73.1$ ч.). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный ^{201}Hg . Образование в реакторе возможно при облучении природного таллия лишь в результате двух последовательных реакций (n,2n) или одной реакции (n,3n), т.е. выход ничтожно мал, особенно учитывая короткое время жизни промежуточного продукта – таллия-202.

Полных наборов оцененных нейтронных данных, естественно, не имеется. Нейтронные сечения, оцененные теоретическим путем, содержатся в библиотеке EAF.

Заключение.

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, в которых долгоживущих изомеров в реакциях на таллии-201 не образуется, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Данные об образовании изомеров занести в файл MF=9. Файл MF=10 опустить.

Файлу присвоить MAT=8101.

Автор заключения

Николаев М.Н.

81.4. Таллий-202

Радиоактивен ($T_{1/2}=12.53$ дн.). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный ^{202}Hg . Образование в реакторе возможно при облучении природного таллия в результате реакции $^{203}\text{Tl}(n,2n)$. Полных наборов оцененных нейтронных данных, естественно, не имеется. Нейтронные сечения, оцененные теоретическим путем, содержатся в библиотеке EAF.

Заключение.

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, в которых долгоживущих изомеров в реакциях на таллии-202 не образуется, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Данные об образовании изомеров занести в файл MF=9. Файл MF=10 опустить.

Файлу присвоить MAT=8102.

Автор заключения

Николаев М.Н.

81.5. Таллий-203

Содержание в естественной смеси 29.524%. Спин и четность $1/2^+$. Полных наборов оцененных нейтронных данных в известных библиотеках не содержится. Данные о нейтронных сечениях приведены в библиотеке EAF-2003.

Энергетическое поведение сечения захвата указывает на то, что при оценке была принята во внимание информация о резонансной структуре сечений (см.рис.1а), однако данные о резонансах, лежащих при энергиях выше 24 кэВ не учтены. Сравнение с данными Конкса в области разрешенных резонансов не показательно из-за различия в разрешении.

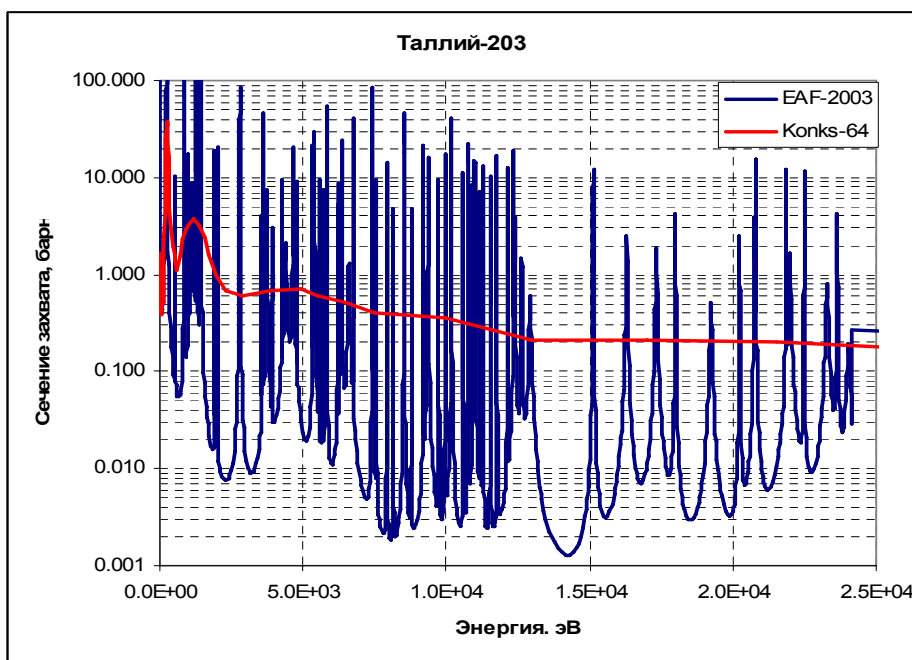


Рис.1а. Сечение захвата.

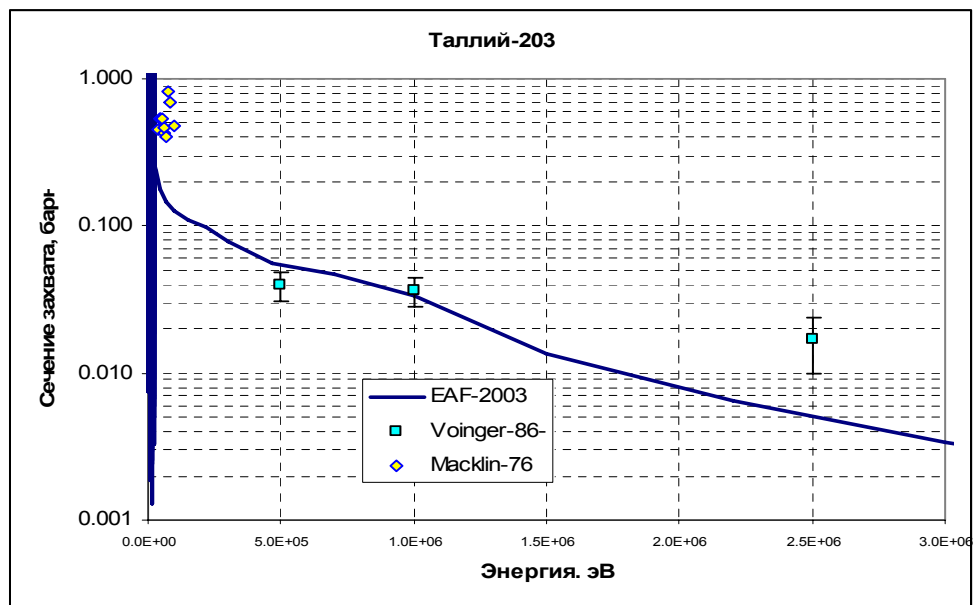


Рис.16. Сечение захвата

При более высоких энергиях оцененная кривая идет значительно ниже данных Маклина, находящаяся, по существу, в противоречии с результатом Конкса. Существенно и расхождение с результатом Воинджера при 2.5 МэВ. Между тем, оцененный спад сечения захвата при переходе от 1 до 2.5 МэВ представляется вполне естественным.

На рис. 2 – 5 приведено сравнение оцененных сечений пороговых реакций с имеющимися экспериментальными данными.

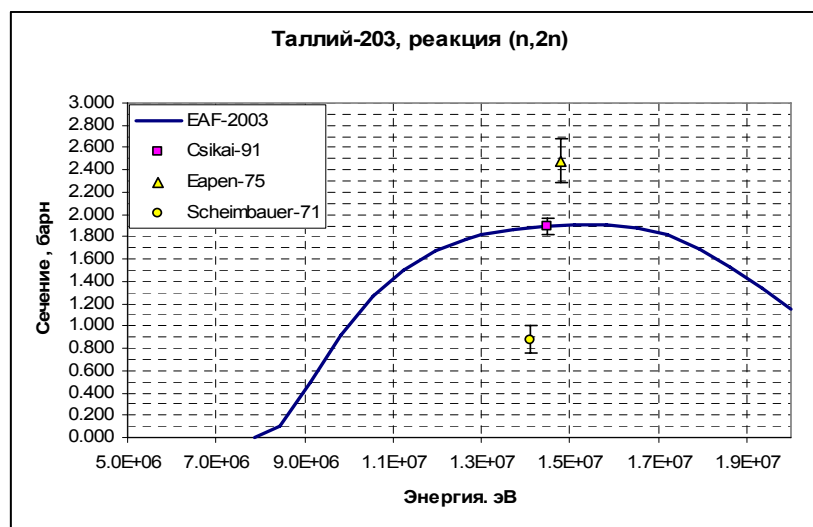


Рис.2. Сечение реакции (n,2n)

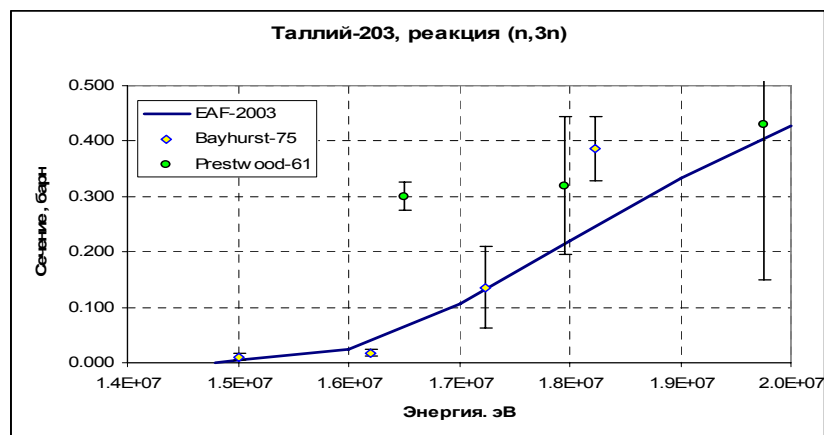


Рис.3. Сечение реакции (n,3n)

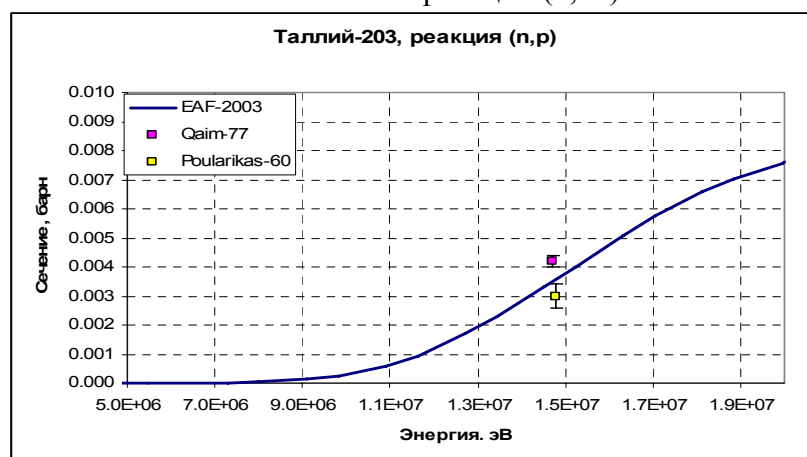


Рис.4. Сечение реакции (n,p)

Как видно, оцененные данные имеющимся экспериментальным данным не противоречат.

Заключение.

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, поскольку в них долгоживущих изомеров в реакциях на таллии-203 не образуется, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Файл MF=10 опустить. Присвоить файлу MAT=8103.

Целесообразно выполнить оценку полного файла нейтронных данных для таллия-203, как это отмечалось в разделе 81.1.

Автор заключения

Николаев м.Н.

81.6. Таллий-204

Радиоактивен ($T_{1/2}=3.78$ г.). Испытывая, главным образом, бета-распад, превращается в стабильный ^{204}Pb . Образование в реакторе возможно при облучении природного таллия в результате реакций $^{203}\text{Tl}(n,\gamma)$ и $^{205}\text{Tl}(n,2n)$. Полных наборов оцененных нейтронных данных, естественно, не имеется. Нейтронные сечения, оцененные теоретическим путем, содержатся в библиотеке EAF.

Заключение.

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, поскольку долгоживущих изомеров в реакциях на таллии-205 не образуется, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Данные об образовании изомеров занести в файл MF=9. Файл MF=10 опустить.

Файлу присвоить MAT=8105.

Автор заключения

Николаев М.Н.

81.7. Таллий-205

Содержание в естественной смеси 70.476%. Спин и четность $1/2^+$. Полных наборов оцененных нейтронных данных в известных библиотеках не содержится. Данные о нейтронных сечениях приведены в библиотеке EAF-2003.

Энергетическое поведение сечения захвата указывает на то, что при оценке не была принята во внимание информация о резонансной структуре сечений (см.рис.1а): учтен только один первый резонанс. При более высоких энергиях оцененное сечение идет существенно выше совокупности экспериментальных данных (рис.1б).

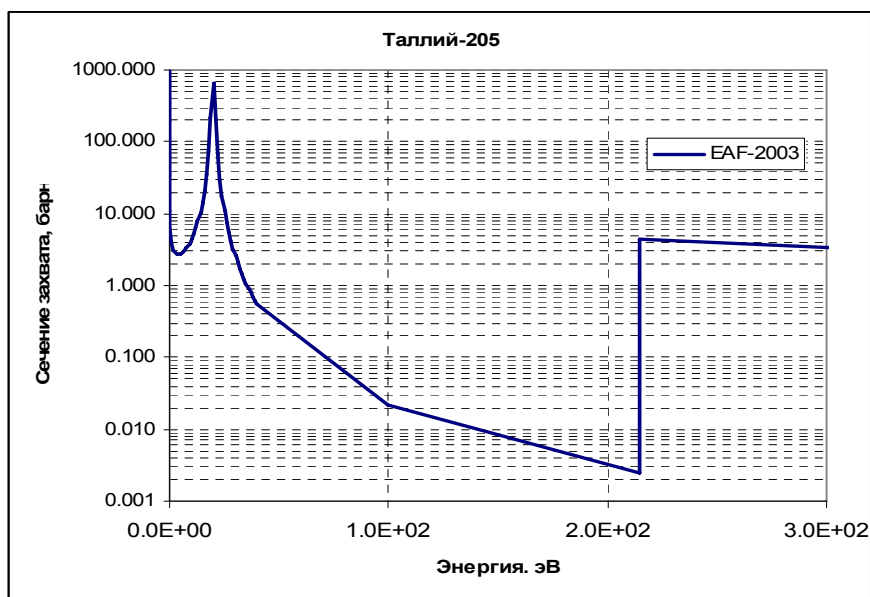


Рис.1а. Сечение захвата.

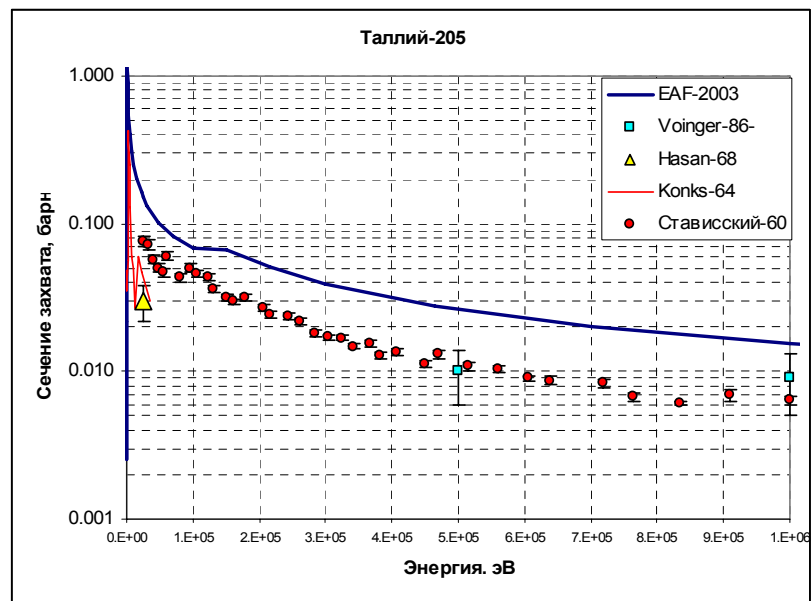


Рис.1б. Сечение захвата

При энергиях выше 1 МэВ также трудно сказать, что оцененное сечение захвата согласуется с экспериментальными данными (рис.1в).

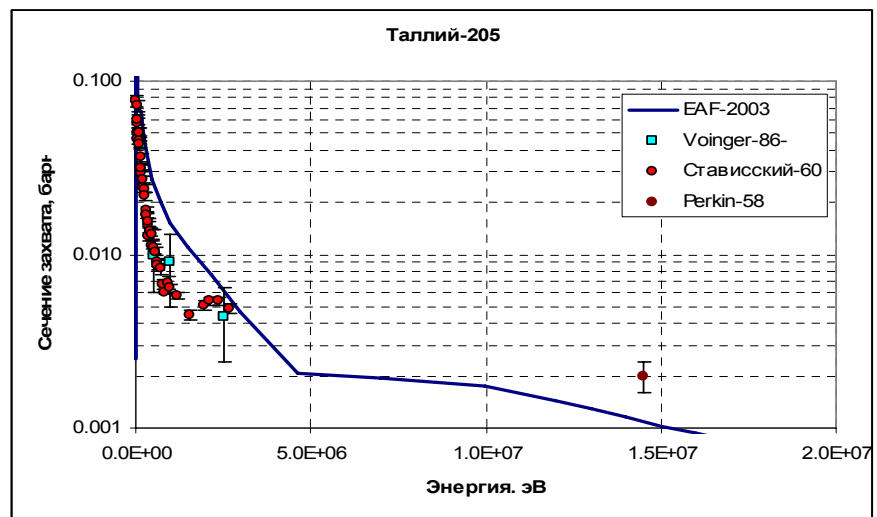


Рис.1в. Сечение захвата.

На рис. 2 – 5 приведено сравнение оцененных сечений пороговых реакций с имеющимися экспериментальными данными. Большой разброс экспериментальных данных

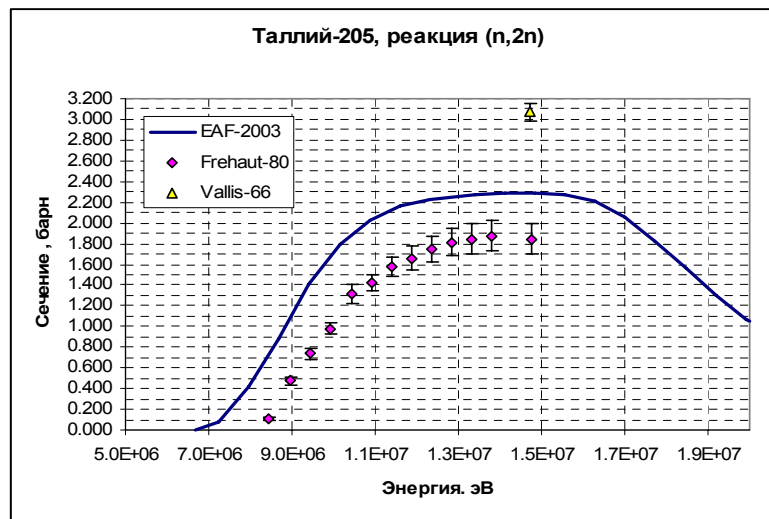


Рис.2. Сечение реакции (n,2n)

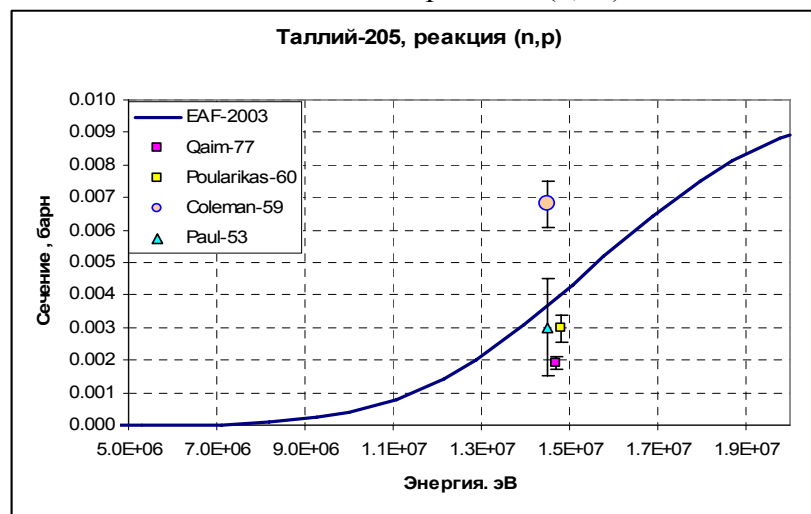


Рис.3. Сечение реакции (n,p)

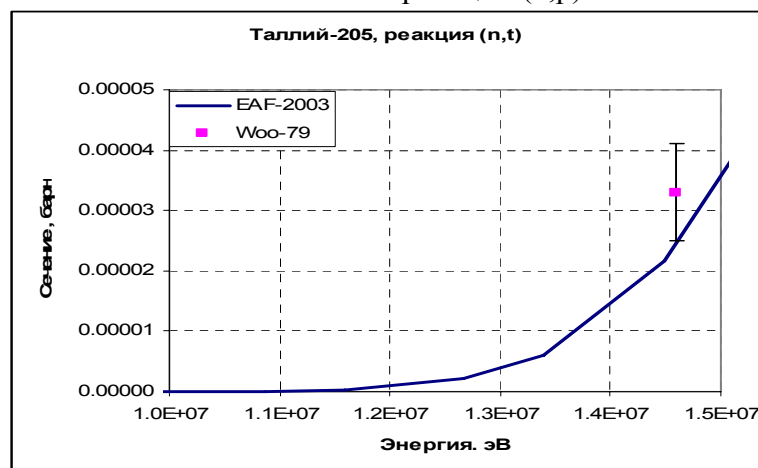


Рис.4. Сечение реакции (n,p)

Разброс экспериментальных данных по пороговым реакциям весьма велик и совокупности этих данных оцененные кривые не противоречат.

Заключение.

По необходимости придется включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения реакции (n,2n), содержащиеся в EAF в файле MF=10, сложить по

подсекциям и суммы занести в соответствующую секцию файла MF=3. Файл MF=10 опустить. Присвоить файлу MAT=8105.

Было бы целесообразным пересмотреть в принятом файле, по крайней мере, данные по сечению захвата. Однако поскольку необходимость оценки полного файла нейтронных данных для таллия-205, отмеченная в разделе 81.1, очевидна, пересмотр данные только по одному сечению (для чего следует ввести в файл полную секцию резонансных параметров) в настоящей работе, в связи с жесткими сроками ее завершения, признан несвоевременным.

Автор заключения

Николаев М.Н.