

45.РОДИЙ

45.1. Родий-99

Радиоактивен ($T_{1/2}=16.1$ дн.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный рутений-99. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакции $^{102}\text{Pd}_{(1.02\%)}(n,nt)$. При делении ядер не образуется.

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем. Никаких экспериментальных данных для их проверки нет.

Сечение захвата тепловых нейтронов: 27.4 барн.

Резонансный интеграл захвата: 206 барн.

Заключение

Принять в РОСФОНД файл оцененных нейтронных данных из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Включить файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущих изомеров $^{95}\text{Tc}^m$ и $^{97}\text{Tc}^m$. Файл MF=10 опустить.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.2. Родий-101

Радиоактивен ($T_{1/2}=3.3$ г.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный рутений-101. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакции $^{102}\text{Pd}_{(1.02\%)}(n,np)$, (n,d) . При делении ядер не образуется.

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем. Никаких экспериментальных данных для их проверки нет.

Сечение захвата тепловых нейтронов: 29.4 барн.

Резонансный интеграл захвата: 270 барн.

Заключение

Принять в РОСФОНД файл оцененных нейтронных данных из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Включить файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущих изомеров $^{102}\text{Rh}^m$ и $^{97}\text{Tc}^m$. Сохранить файл MF=10 с секцией MT=4 с сечением образования изомера $^{101}\text{Rh}^m$.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.3. Родий-101-m

Долгоживущий изомер ($T_{1/2}=4.4$ дн.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный рутений-101 (9268%); в остальных случаях испытывает изомерный переход в основное состояние. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакции $^{102}\text{Pd}_{(1.02\%)}(n, np)$, (n, d) ; $^{103}\text{Rh}(n, 3n)$, $^{103}\text{Rh}(n, 2n)$ $^{102}\text{Rh}(n, 2n)$. При делении ядер не образуется.

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем. Никаких экспериментальных данных для их проверки нет.

Сечение захвата тепловых нейтронов: 29.4 барн.

Резонансный интеграл захвата: 270 барн.

В отличие от сечения захвата, оцененные сечения других реакций для изомера и основного состояния несколько различаются.

Заключение

Принять в РОСФОНД файл оцененных нейтронных данных из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Включить файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущих изомеров $^{102}\text{Rh}^m$ и $^{97}\text{Tc}^m$. Перенести сечение образования основного состояния ^{101}Rh из файла MF=3 в файл MF=10.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.4. Родий-102

Радиоактивен ($T_{1/2}=207$ лет). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный рутений-101(78%); в остальных случаях испытывает бета-распад в палладий-102. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет реакции $^{103}\text{Rh}(n, 2n)$ и $^{102}\text{Pd}_{(1.02\%)}(n, p)$. Выход при делении ничтожен ($\sim 10^{-12}$ для ^{235}U).

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем. Экспериментальных данных для их проверки в EXFORe не содержится.

Сечение захвата тепловых нейтронов: 48.3 барн.

Резонансный интеграл захвата: 960 барн.

Заключение

Принять в РОСФОНД файл оцененных нейтронных данных из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Включить файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущего изомера $^{101}\text{Rh}^m$. Сохранить файл MF=10 с секцией MT=4 с сечением образования изомера $^{102}\text{Rh}^m$.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.5. Родий-102-m

Долгоживущий изомер ($T_{1/2}=2.9$ г.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный рутений-102 (99.77%); в остальных случаях испытывает изомерный переход в основное состояние. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет реакции $^{103}\text{Rh}(n,2n)$ и $^{102}\text{Pd}_{(1.02\%)}(n,p)$. При делении ядер не образуется.

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем. Никаких экспериментальных данных для их проверки нет.

Сечение захвата тепловых нейтронов: 48.3 барн.

Резонансный интеграл захвата: 960 барн.

В отличие от сечения захвата, оцененные сечения других реакций для изомера и основного состояния несколько различаются.

Заключение

Принять в РОСФОНД файл оцененных нейтронных данных из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Включить файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущего изомера $^{101}\text{Rh}^m$. Перенести сечение образования основного состояния ^{102}Rh из файла MF=3 в файл MF=10.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.6. Родий-103

Единственный стабильный изотоп.

В современных библиотеках используются три оценки нейтронных данных:

JENDL-3.3 (=JENDL-3.2=FOND-2.2) – оценка японской рабочей группы по продуктам деления, выполненная в 1990 г.

ENDF/B-VIIb2 (=CENDL-2) – оценка Чанга и Мухабхаба (J.H. Chang, S.F. Mughabghab) в резонансной области и Кима и Обложинского (H.I. Kim, P. Oblozinsky) в области быстрых нейтронов. Ким и Чанг – сотрудники Китайского института ядерных исследований, датированная 2005 г.

JEFF-3.1 – оценка Дюпона, Буже (E.Dupont, E.Vauge) и др. выполненная в том же 2005 г.

Тепловая и резонансная области.

В таблице 1 сравниваются тепловые сечения и резонансные интегралы захвата, а в таблице 2 – характеристики области разрешенных резонансов

Таблица 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы

Оценка	$\sigma_t(0.0253 \text{ эВ})$	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$\sigma_{\text{с}}(0.0253 \text{ эВ})$	RI
JENDL-3.3	149.8	3.26	146.6	1040
ENDF/B-VIIb2	149.3	4.35	144.9	1034
JEFF-3.1	146.63	3.88	142.75	968

Экспериментальные данные о сечениях для тепловых нейтронов скудны.

В EXFORe содержатся следующие данные о сечении захвата:

Fink-36: $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=130\pm5$;

Fuketa-60: $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=164\pm11$;

Данные о полном сечении показаны на рис.1.

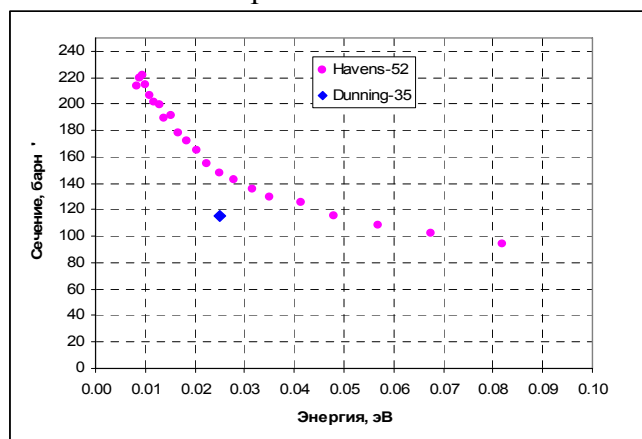


Рис.1. Полное сечение в тепловой области.

Оценка Мухабхаба (2003) для сечения захвата: 145 ± 2 , получена, вероятно, с учетом и данных по полному сечению. Для резонансного интеграл Мухабхаб приводит оценку 1100 ± 50 барн. Данные всех библиотек не противоречат этим оценкам, но, естественно, оценка ENDF/B-VII согласуется лучше всех.

Таблица 2. Характеристика резонансной области

Оценка	s-резонансы		p-резонансы		Границы URR	
	Число	E_{\max} ,кэВ	Число	E_{\max} ,кэВ	Нижняя, кэВ	Верхняя, кэВ
JENDL-3.3	164	4.276	120	4.288	3.58	100
ENDF/B-VIIb2	102 ^{*)}	4.1158	178	4.1032	4.1159	40.146
JEFF-3.1	109 ^{*)}	4.1158	176	4.1032	4.1159	40.146

^{*)}Включая связанное состояние

Преимущества двух последних оценок очевидны. На рис. 2 сравниваются нарастающие суммы s- и p-резонансов, а на рис. 2– нарастающие суммы приведенных нейтронных ширин s-резонансов.

Различия между оценками невелики, касаются резонансов с очень малыми нейтронными ширинами состоят, в основном в том, какая четность этим резонансам приписана. В связи с этим нарастающие суммы приведенных нейтронных ширин s-резонансов практически совпадают (рис.3).

В оценке ENDF/B-VII нарастающая сумма числа резонансов практически строго линейна, указывая на отсутствие пропуска этих уровней. В популяции p-резонансов проявляется небольшой пропуск выше 1500 эВ.

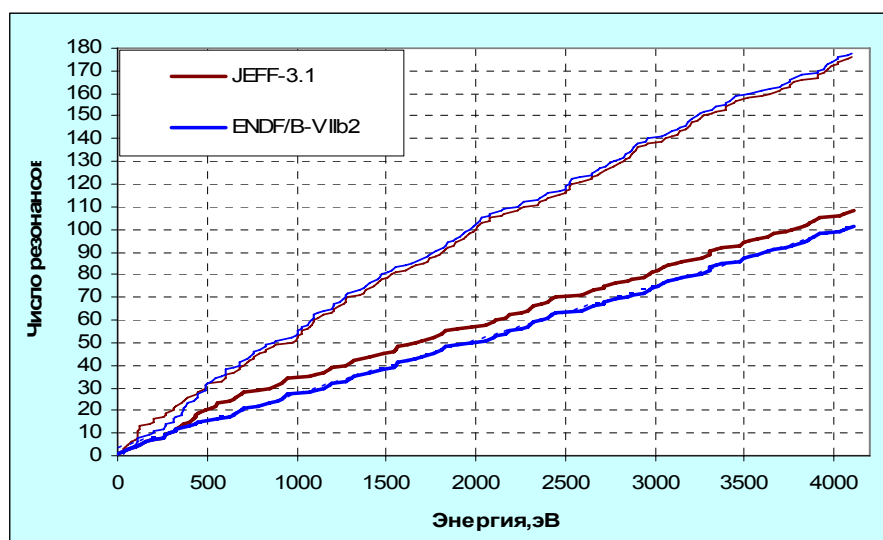


Рис.2. Нарастающие суммы числа s- (толстые линии) и p- резонансов (тонкие линии)

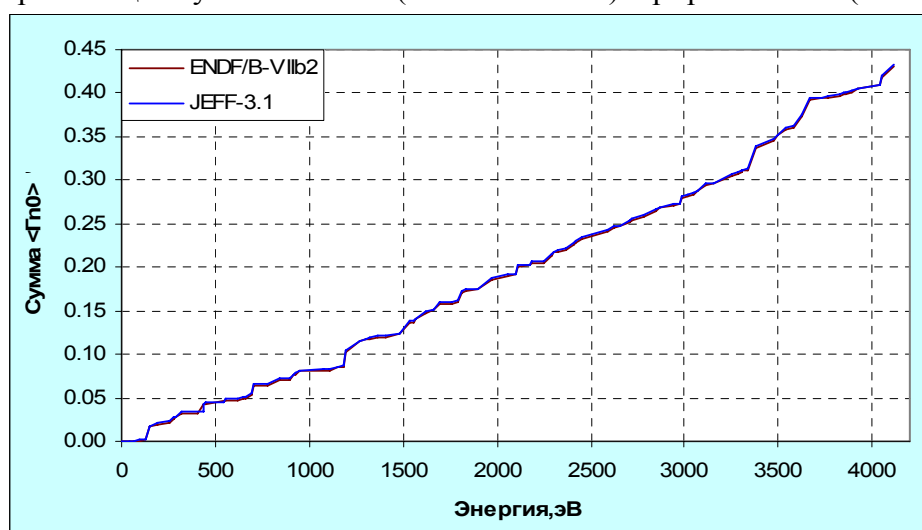


Рис.3. Нарастающие суммы приведенных нейтронных ширин.

В целом, оценка резонансных параметров, выполненная с участием Мухабхаба, представляется предпочтительней.

Параметризация структуры сечений в области неразрешенных резонансов в сравниваемых оценках несколько различается, но и в той и в другой средними резонансными параметрами сечения описываются полностью, без добавления плавной подложки. В обеих оценках подгонка параметров проводилась с целью описания одних и тех же экспериментальных данных о сечении захвата, а также полного сечения в окрестности 100 кэВ. На рис. 4а показаны экспериментальные данные о сечении захвата в области неразрешенных резонансов и начальный участок выше границы этой области, где сечения заданы поточечно. Различие в оценках на этом участке составляет 10%, что лежит в пределах разброса экспериментальных данных.

Нейтронные сечения вне резонансной области

На рис.4. оцененные сечения захвата сравниваются с экспериментальными данными. Расхождение между оценками при высоких энергиях соответствует расхождению в экспериментальных данных.

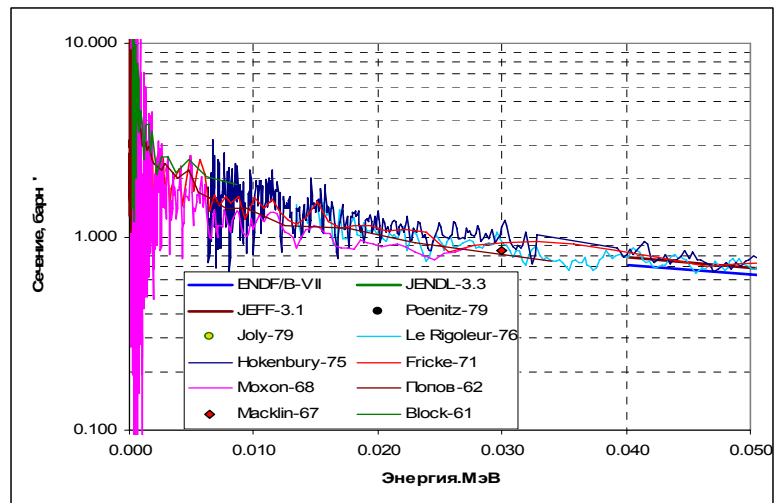


Рис.4а. Сечение захвата

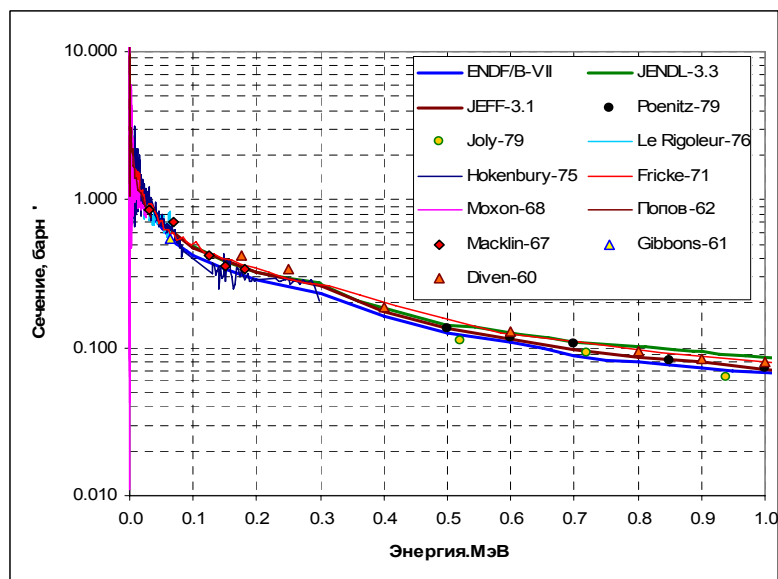


Рис.4б. Сечение захвата

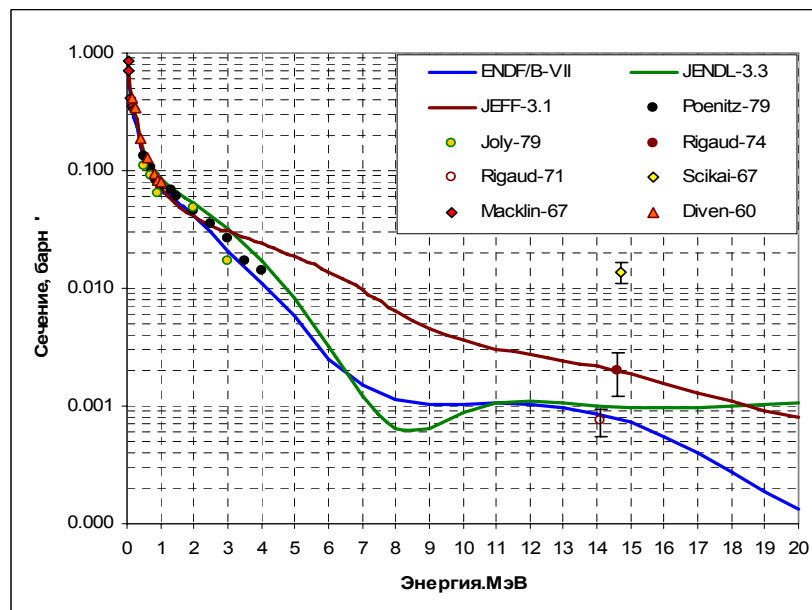


Рис.4в. Сечение захвата.

На рис.5 полное сечение сравнивается с результатами наиболее представительных экспериментов. Согласие, как и в случае сечения захвата, вполне приемлемое для всех оценок.

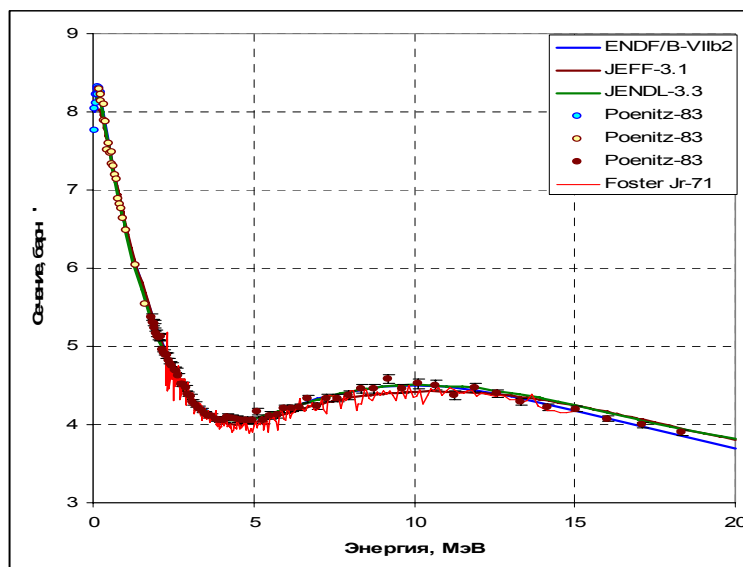


Рис.5. Полное сечение.

В EXFOR содержится немало экспериментальных данных о сечении неупругого рассеяния с возбуждением изомера $^{103}\text{Rh}^m$, о сечениях реакций (n,2n), (n,3n) и даже (n,2p). Мы здесь не рассматриваем всю эту информацию, поскольку она не влияет на выбор файла оцененных данных.

Заключение

В РОСФОНД следует принять файл данных из ENDF/B-VIIb2. Включить в него файл MF=9 с данными об образовании долгоживущих изомеров $^{101}\text{Rh}^m$ и $^{102}\text{Rh}^m$ на основе данных из EAF-2003.

Автор заключения

Николаев М.Н.

45.7. Родий-105

Радиоактивен ($T_{1/2}=35.6$ ч.). Испытывает бета-распад в стабильный палладий-105. В реакторе образуется как продукт деления (при делении урана-235 выход 1.7%). Отличается аномально высоким сечением захвата тепловых нейтронов и резонансным интегралом.

В современных библиотеках используются три оценки нейтронных данных:

JENDL-3.3 (=JENDL-3.2=FOND-2.2) – оценка японской рабочей группы по продуктам деления, выполненная в 1990 г.

ENDF/B-VIIb2 (=CENDL-3) – оценка Сана, Цханга, Шена и др. (X.Sun, Z.Zhang, Q.Shen et al.) - сотрудников Китайского института ядерных исследований, датированная 2005 г.

JEFF-3.1 (=ENDF/B-V) – оценка Шентера, Шмиттроша и Рейча (R.E.Schenter, F.Schmitroth, C.Reich) выполненная в 1974 -79 г.г.

Тепловая и резонансная области.

В таблице 1 сравниваются тепловые сечения и резонансные интегралы захвата.

Таблица 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы

Оценка	$\sigma_t(0.0253 \text{ эВ})$	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	RI
JENDL-3.3	24820	8991	15830	17000
ENDF/B-VIIb2	24821	8991	15830	16937
JEFF-3.1	16004	4	16000	15820

В EXFORe приведены следующие измерения сечения захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла.

Cunningham-62 (пересчитано с результата измерения на спектре реактора): 18000 барн.

Lantz-66: $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=15800\pm1500$ барн; $RI=17000\pm3000$ барн.

Glendenin-67: $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=13300\pm1500$ $^{105}\text{Rh}(n,\gamma)^{106}\text{Rh}^g$ ($T_{1/2}=30$ сек..).

Glendenin-67: $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=5000\pm1000$ $^{105}\text{Rh}(n,\gamma)^{106}\text{Rh}^m$ ($T_{1/2}=2.2$ ч.).

Оценка Мухабхаба (1982 г.): $\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=11000\pm3000$ $^{105}\text{Rh}(n,\gamma)^{106}\text{Rh}^g$ ($T_{1/2}=30$ сек..).

$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})=5000\pm1000$ $^{105}\text{Rh}(n,\gamma)^{106}\text{Rh}^m$ ($T_{1/2}=2.2$ ч.).

$RI=17000\pm3000$ барн. (m+g)

Все оценки сечения захвата этим данным не противоречат. В JENDL-3.3 и ENDF/B-VIIb2 тепловая область (до 7.5 эВ) описывается парой фиктивных резонансов – при -5эВ и при 5 эВ, а при более высоких энергиях – до 100 кэВ сечения описываются средними резонансными параметрами.

В JEFF-3.1 резонансная область отсутствует – все сечения заданы поточечно.

Во всех оценках приводятся данные о неупругом рассеянии, в JENDL-3.3 и ENDF/B-VIIb2 и сечения всех других возможных реакций. В JENDL-3.3 учтено возбуждение наибольшего числа уровней при неупругом рассеянии.

Отмеченные различия практически не существенны.

Заключение

Включить в РОСФОНД тот же файл, что был включен в ФОНД-2.2, совпадающий с JENDL-3.3.

Автор заключения

Николаев М.Н.