

## 91. ПРОТАКТИНИЙ

Протактиний обладает пятью долгоживущими изотопами, данные для которых должны быть представлены в библиотеке РОСФОНД.

### 91.1. Протактиний-229

Радиоактивен ( $T_{1/2}=1.5$  дн.). Испытывая захват орбитального электрона (98%) превращается в торий-229. В 2% испытывает альфа-распад в актиний-225.

Полных оценок нейтронных данных не имеется. Оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Экспериментальных данных для ее проверки нет.

Из этой оценки получены следующие значения тепловых сечений и резонансных интегралов:

Источник	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_c$	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_f$
EAF-2003	17	96	3	1.4

#### Заключение

Принять в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003. Файлу присвоить МАТ=9129.

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

### 91.2. Протактиний-230

Радиоактивен ( $T_{1/2}=17.4$  дн.). Испытывая захват орбитального электрона (91.6%) превращается в торий-230. в 8.1 % случаев испытывает бета-распад в уран-230.

Полных оценок нейтронных данных не имеется. Оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Экспериментальных данных для ее проверки нет.

Из этой оценки получены следующие значения тепловых сечений и резонансных интегралов:

Источник	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_c$	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_f$
EAF-2003	1500	685	1508	440
Мухабхаб-84			1500±250	

Ссылку на источник данных Мухабхаб не дает.

#### Заключение

Принять в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003. Файлу присвоить МАТ=9130.

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

### 91.3. Протактиний-231

Радиоактивен ( $T_{1/2}=3.276 \cdot 10^4$  лет). Испытывает альфа-распад в актиний-227.

В JENDL-3.3 и в ENDF/B-VII содержится полная оценка нейтронных данных для этого изотопа, выполненная Ошава, Иноу и Накагавой (T.Oshawa, (M.Inou,T.Nakagawa) в 1987 г. Оценка содержит область разрешенных резонансов (115 резонансов с максимальной энергией 117.6 эВ), простирающуюся до 115 эВ и область неразрешенных резонансов – до 40 кэВ.

В JEFF-3.1 содержится оценка координационной группы, выполненная в 1982 г. и перешедшая еще из ENDF/B-V. Оценка также содержит область разрешенных резонансов (31 резонанс с максимальной энергией 14.1 эВ), простирающуюся до 14.3 эВ и область неразрешенных резонансов – до 1 кэВ.

Оценка нейтронных сечений содержится также в EAF-2003.

Из упомянутых оценок получены следующие значения тепловых сечений и резонансных интегралов:

Источник	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_c$	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_f$
JENDL-3.3	200.6	594.9	0.020	0.059
JEFF-3.1	226.9	600.2	0.010	0.012
EAF-2003	200.9	593.4	0.020	0.059
Мухабхаб-84	200.6±2.3	525±60	0.020±0.001	
Kabajashi-01			0.025±0.001	
Wagemans-78			0.020±0.001	
Wagemans-77			0.019±0.0004	
Grintakis-76			0.006±0.001	0.049±0.013
Александров-72	260±13			
Grintakis-76	201±20; 210±14			
Kabajashi-74	201±6			
Smith-56	200±15			
Юрова-84	219±6			

Как видно, оценки JENDL-3.3 и EAF-2003 практически совпадают. Старая оценка, принятая в JEFF-3.1 за пределами погрешностей экспериментальных данных. В дальнейшем эта оценка рассматриваться не будет.

На рис.1 оцененные сечения деления (точно совпадающие в JENDL-3.3 и EAF-2003) сравниваются с наиболее полными и точными экспериментальными данными. Чрезвычайно большое расхождение в результатах измерений при 14.8 МэВ для своего разрешения требует дополнительных измерений. Данные Биргуля представляются заниженными. Результаты Платтерда указывают на большой (пожалуй, чрезмерно большой) вклад реакции (n,2nf).

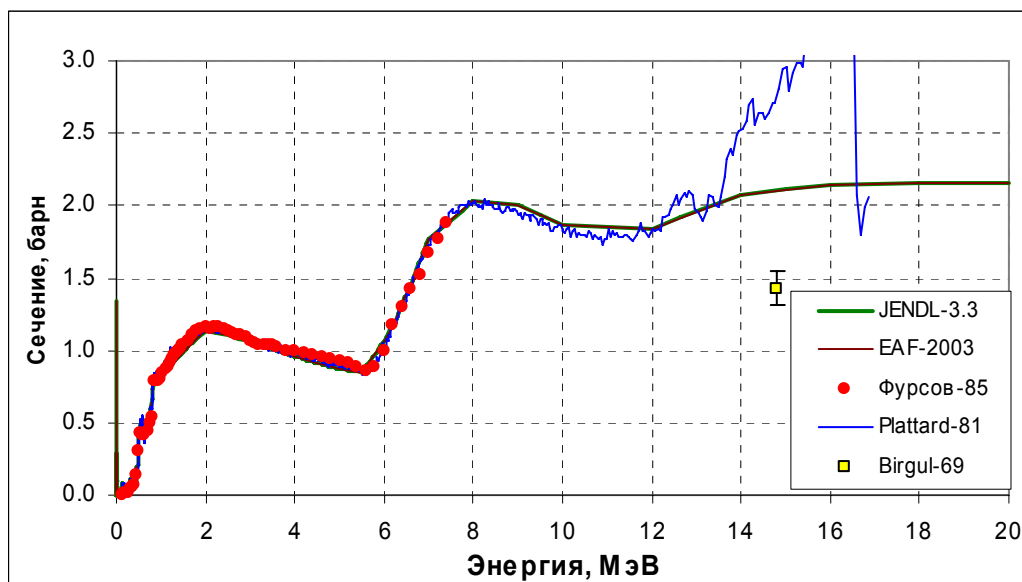


Рисунок 1 – Сравнение оцененных значений сечения деления Ра-231 с экспериментальными данными.

На рис. 2 сравниваются сечения захвата. В JENDL-3.3 сечение захвата положено равным нулю. Оценка этого сечения для быстрых нейтронов, принятая в EAF-2003 более правдоподобна. Экспериментальные данные отсутствуют.

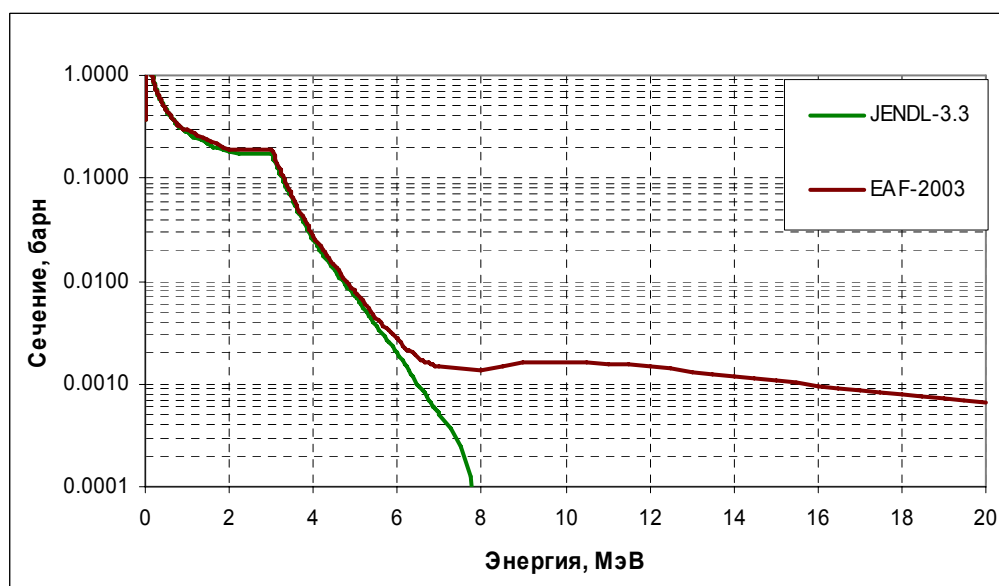


Рисунок 2 – Сравнение оцененных значений сечения захвата Ра-231.

### Заключение

Принять в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003. Сечение захвата выше 4 МэВ принять таким, как в EAF-2003, соответственно сократив сечение упругого рассеяния. Выходы 8 групп запаздывающих нейтронов принять в соответствии с JEFF-3.1, а их спектры – такими же, как для урана-235. Файлу присвоить MAT=9130.

**Автор рекомендации**  
Николаев М.Н.

## 91.4. Протактиний-232

Радиоактивен ( $T_{1/2}=1.31$  д). Испытывает бета-распад в уран-232. С вероятностью  $3 \cdot 10^{-3}$  процента распадается в торий-232.

В JENDL-3.3 и в ENDF/B-VII содержится полная оценка нейтронных данных для этого изотопа, выполненная Такаги (N.Takagi) в 1988 г.

В JEFF-3.1 содержится Райта и Такаги (R.Q.Wright, N.Takagi) выполненная в 1999 г.. Главное отличие – введение области разрешенных резонансов (12 резонансов с максимальной энергией 11.8 эВ) простирающейся до 10 эВ. Основой для ее введения явилось измерение Данона и др.<sup>1</sup>. Область неразрешенных резонансов отсутствует.

Оценка нейтронных сечений содержится также в EAF-2003.

Из упомянутых оценок получены следующие значения тепловых сечений и резонансных интегралов:

Источник	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_c$	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_f$
JENDL-3.3	464	351	700	399.5
JEFF-3.1	212.1	146.2	1517	863.6
EAF-2003	460.7	283.6	723	999.4
Мухабхаб-84	464±95	300±70	700±100	
Абрамович-95			2000	
Фомушкин-97			977±75	
Андреев -02	655±69			
Grintakis-76	464±95			

Как видно, оценки JENDL-3.3 и EAF-2003 очень близки. Оценка, принятая в JEFF-3.1, использует результаты измерений сечения деления, выполненные с хорошим разрешением и это ее важное достоинство. Не ясно, однако, причина более чем двукратного сокращения сечения захвата. В комментариях к файлу этот вопрос не обсуждается. Представляется целесообразным ввести в нижней части резонансной области плавную  $1/v$  подложку для повышения теплового сечения захвата до 462 барн.

Для быстрых нейтронов экспериментальные данные отсутствуют и поэтому графики сечений в этой области не приводятся.

### Заключение

Принять в РОСФОНД оценку сечений из JEFF-3.1. Ввести плавную подложку в полное сечение и сечение захвата ниже энергии первого резонанса (0.33 эВ), спадающую до нуля к 0.5 эВ. Выходы 8 групп запаздывающих нейтронов принять в соответствии с JEFF-3.1, а их спектры – такими же, как для урана-235. Файлу присвоить MAT=9131.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

<sup>1</sup> Y. Danon, M.S. Moore, P.E. Koehler et al. Nucl.Sci.Eng.124, 482 (1996).

## 91.5. Протактиний-233

Радиоактивен ( $T_{1/2}=27.0$  д). Испытывает бета-распад в уран-233.

В JENDL-3.3 и в ENDF/B-VII содержится полная оценка нейтронных данных для этого изотопа, выполненная Ошава, Иноу и Накагавой (T.Oshawa, (M.Inou,T.Nakagawa) в 1987 г. Оценка содержит область разрешенных резонансов, простирающуюся до 16.5 эВ и содержащую параметры 22 резонансов (включая связанное состояние) из компиляции Мухабхаба-84. Область неразрешенных резонансов простирается до 40 кэВ.

В JEFF-3.1 содержится оценка координационной группы, выполненная в 1982 г. и перешедшая еще из ENDF/B-V. В ней также содержится область разрешенных резонансов, но простирается она более широко – до 38.5 эВ и содержит параметры 34 резонансов с максимальной энергией 36.2 эВ. Большее число резонансов обусловлено данными неопубликованной работы Гарриса<sup>2</sup>, которая Мухабхабом не учитывалась.

Оценка нейтронных сечений содержится также в EAF-2003.

Из упомянутых оценок получены следующие значения тепловых сечений и резонансных интегралов, приводимые вместе с экспериментальными данными EXFORa и рекомендациями Мухабхаба-84.:

Источник	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_c$	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})$	$RI_f$
JENDL-3.3	40.0	862	0	0
JEFF-3.1	41.4	855	0	0
EAF-2003	41.5	854	0.10	0.045
Мухабхаб-84	39.5±1.2	860±60		3(calc)
Commor-70	39.5±1.2	857±35		
Commor-67		846±43; 837±43		
Halperin-64	42±5	929±90		
Smith-55	68±6	670±75		
Katzin-53	55±6			
Simpson-67	$\sigma_f(0.0253 \text{ эВ})=55\pm3$			

Как видим, в тепловой и эпитепловой области оценки сечений различаются не существенно.

На рис.1 приведены нарастающие суммы числа резонансов, а на рис.2 – приведенных нейтронных ширин. Положения первых 21 резонанса совпадают. Но их нейтронные ширины в JEFF-3.1 больше, так что силовая функция возросла на 20%. Выше 17 эВ часть резонансов, очевидно, пропущена, однако, из рис. 2 следует, что пропущены только слабые резонансы: сумма приведенных ширин возрастает практически линейно в пределах естественного разброса ширин.

Проведенное рассмотрение приводит к выводу о предпочтительности оценки резонансных параметров, принятой в JEFF-3.1

На рис.3 проводится сравнение оцененных сечений деления с имеющимися экспериментальными данными. Приведенные здесь данные Товессона, взятые из EXFORa, сокращены в 1000 раз: предположено, что указанная в этой базе данных единица измерения сечения – барны – ошибочна и в действительности данные приведены в миллибарнах.

Результат Вон-Гунтена изображен условно: он получен на спектре нейтронов деления.

Полагая, что изображенные на рис.3 данные Товессона правильны, приходим к выводу о предпочтительности оценки сечения деления в JEFF-3.1

<sup>2</sup> Harris D.R. , WAPD-TM-814 (1969)

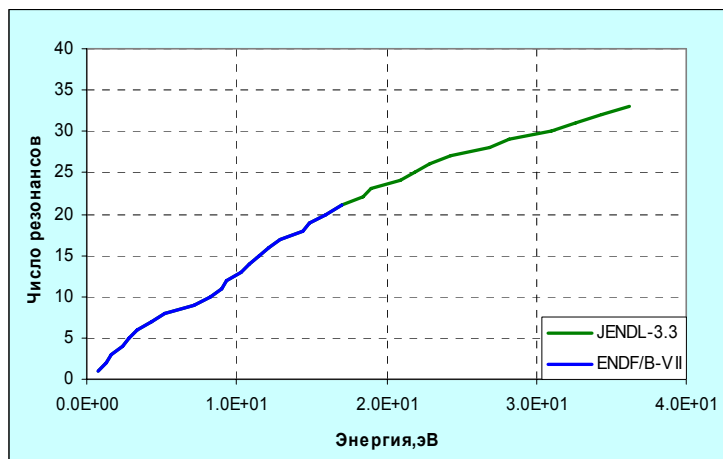


Рисунок 1 - Нарастающая сумма числа резонансов

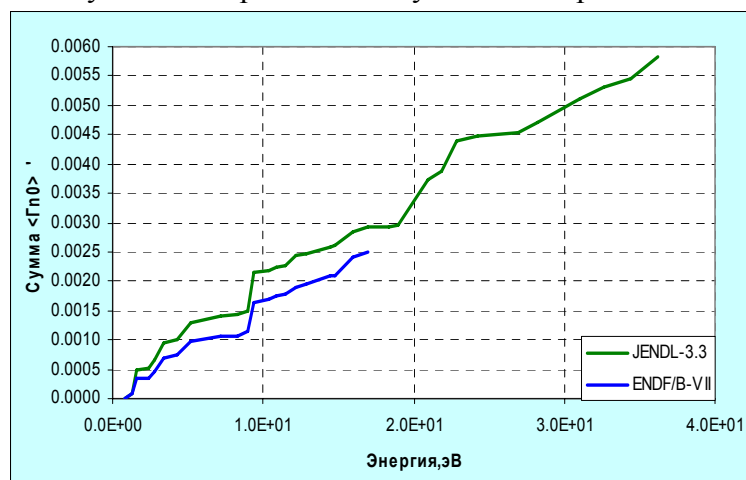


Рисунок 2 -. Нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин.

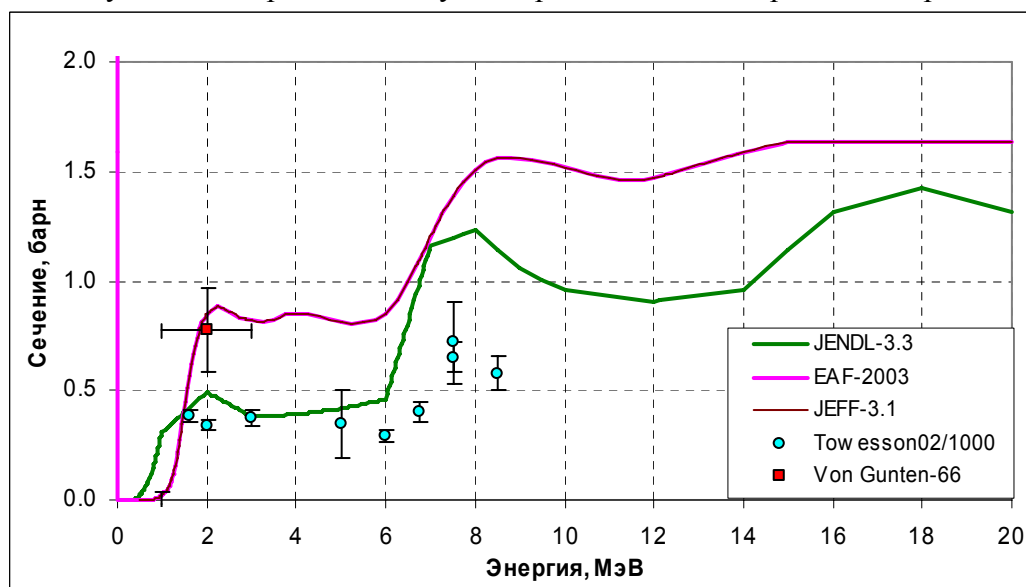


Рисунок 3 - Сечение деления Ра-233.

На рис.4 сравниваются оцененные сечения захвата. Экспериментальных данных нет. Ход сечения, оцененный в JEFF-3.1, представляется более естественным. Понятно, что именно эта оценка принята и в EAF-2003.

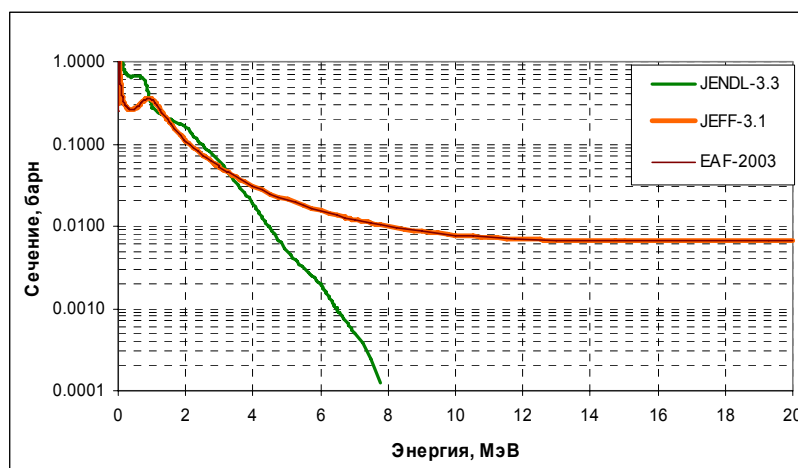


Рисунок 4 - Сечение радиационного захвата Ra-233.

### Заклучение

Принять в РОСФОНД оценку сечений из JEFF-3.1. Файлу присвоить МАТ=9133.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.