

2. ГЕЛИЙ

В библиотеке РОСФОНД содержатся данные для двух изотопов гелия – ^3He и ^4He .

2.1. Гелий-3

1. Общие замечания

В современных библиотеках содержатся три независимых оценки нейтронных данных для гелия-3, основанных на одних и тех же экспериментальных данных: оценка Николаева и др.¹ (принята в библиотеках ФОНД-2.2 и БРОНД-2), оценка Хейла, Доддера и Янга 1990 г. (принята в ENDF/B-VI, ENDF/B-VII и JEFF-3.1) и оценка Шибата 1987 г. (принята в JENDL-3.3 и в более ранних версиях этой библиотеки).

Различия в сечении основной реакции – $^3\text{He}(n,p)\text{T}$ – при 0.0253 эВ таковы:

ФОНД-2.2 – 5333 барн;

ENDF/B-VII – 5319 барн;

JENDL-3.3 – 5328 барн;

Mughabghab (1987) - 5333 ± 7 барн.

Экспертная погрешность этого сечения, приведенная в ENDF/B-VII, больше: $\pm 0.3\%$, т.е. ± 16 барн. В пределах этой (видимо, более реалистичной) погрешности результаты всех оценок совпадают.

Отношение AWR для ^3He равно 2.990120. Энергии и пороги реакций, возможных при энергии нейтронов ниже 20 МэВ, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Энергии и пороги нейтронных реакций

Реакция	Энергия, МэВ	Порог, МэВ
$^3\text{He}(n,\gamma)^4\text{He}$	20.57762	-
$^3\text{He}(n,p)\text{T}$	0.7637556	-
$^3\text{He}(n,d)\text{D}$	-3.268912	4.362150
$^3\text{He}(n,n'p)\text{D}$	-5.493479	7.330689
$^3\text{He}(n,2n2p)$	-7.718046	1.029923

2. Нейтронные сечения

На рис.1. оцененное полное сечение сравнивается с основными экспериментальными результатами. Наибольшее расхождение в оценках имеет место при 0.75 МэВ, где оно достигает 7%. При более высоких энергиях расхождение снижается: при 5 МэВ до 2%. Причина расхождения, как видно, состоит в том, что в оценке Николаева и др. больший вес придан результатам измерений Хэзнера (Haesner-83) нежели более ранним результатам Голдинга (Goulding-71) и Батата (Battat-58).

¹ Николаев М.Н. и др. Файлы оцененных нейтронных сечений в библиотеке СОКРАТОР. Аналитический обзор. Обнинск, ФЭИ, 1977.

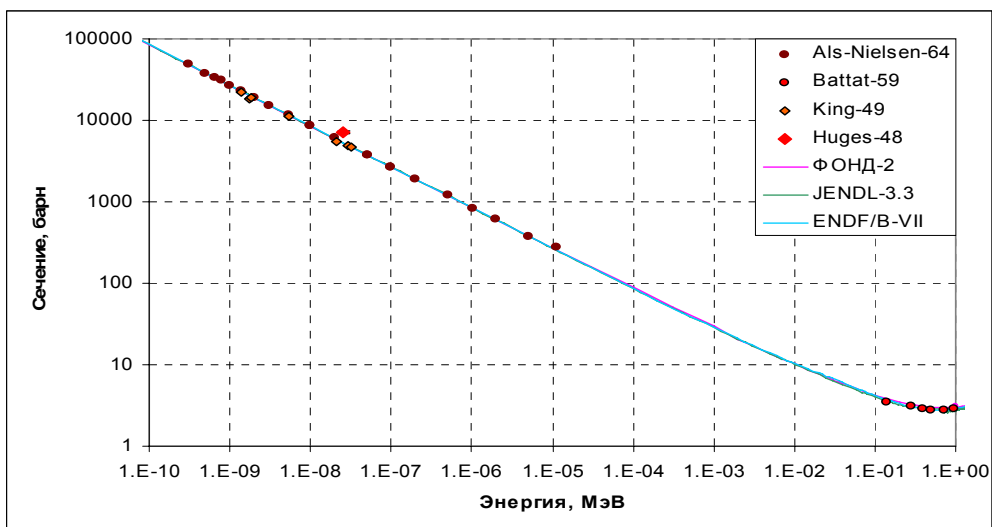


Рис.1а. Сравнение оценок полного сечения ^3He с экспериментальными данными при низких энергиях

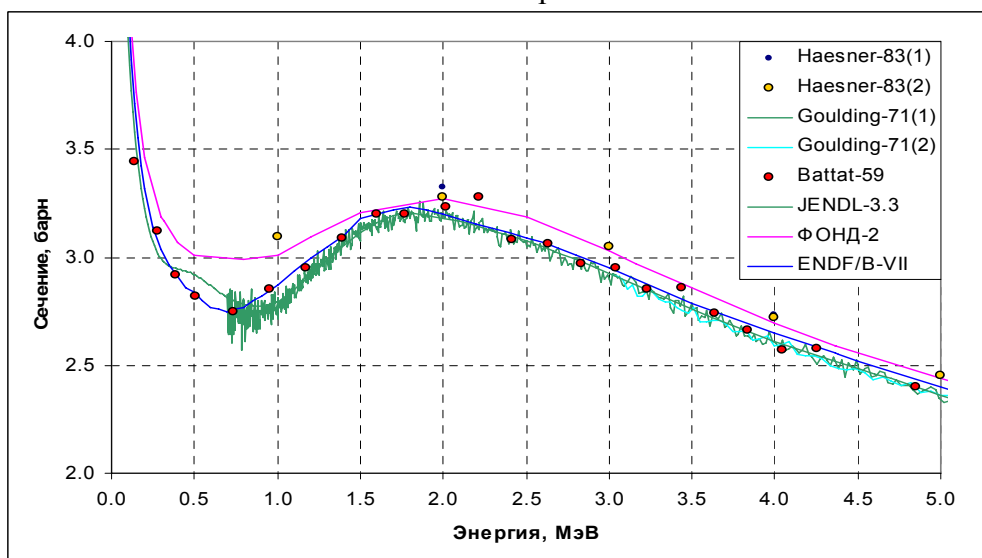


Рис.1б. Сравнение оценок полного сечения ^3He с экспериментальными данными в мегаэлектронвольтовой области энергий

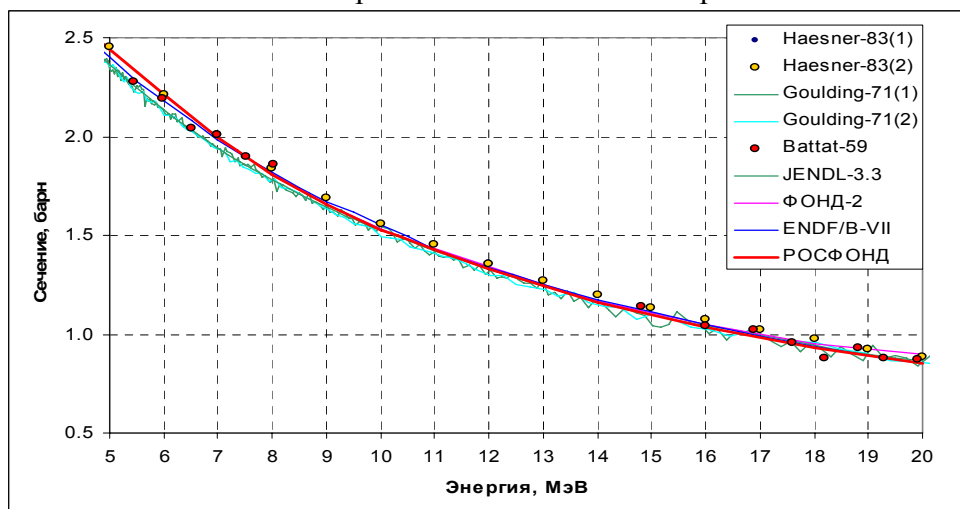


Рис.1в. Сравнение оценок полного сечения ^3He с экспериментальными данными в области высоких энергий.

При энергиях выше 10 МэВ различия в экспериментальных данных становятся незначительными. Перестают различаться и оценки; лишь оценка ФОНД-2.2 при 20 МэВ представляется слегка (примерно, на 0.03 барна) завышенной. В этой области сечение, рекомендуемое для включения в РОСФОНД, соответственно понижено (см. рис.1в). На рис.2 с экспериментальными данными сравниваются оценки сечения основной реакции – ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$. Как и в случае полного сечения, максимальное расхождение оценок и экспериментальных данных наблюдается в области сотен кэВ, однако наблюдающиеся расхождения не коррелируют друг с другом. Обращает на себя внимание тот факт, что низкие значения сечения реакции в области 100 кэВ, полученные в работе Борзакова и др. соответствуют верхнему пределу области разрешения в эксперименте на реакторе ИБР, где вероятность погрешности в оценке фона особенно велика. В области мегаэлектронвольт наблюдается согласие экспериментальных данных в пределах погрешностей (если не рассматривать результаты наиболее ранней работы Куна (Coon-50), которые, очевидно, занижены).

Оценка, принятая в ФОНД-2, представляется приемлемой во всей области энергий.

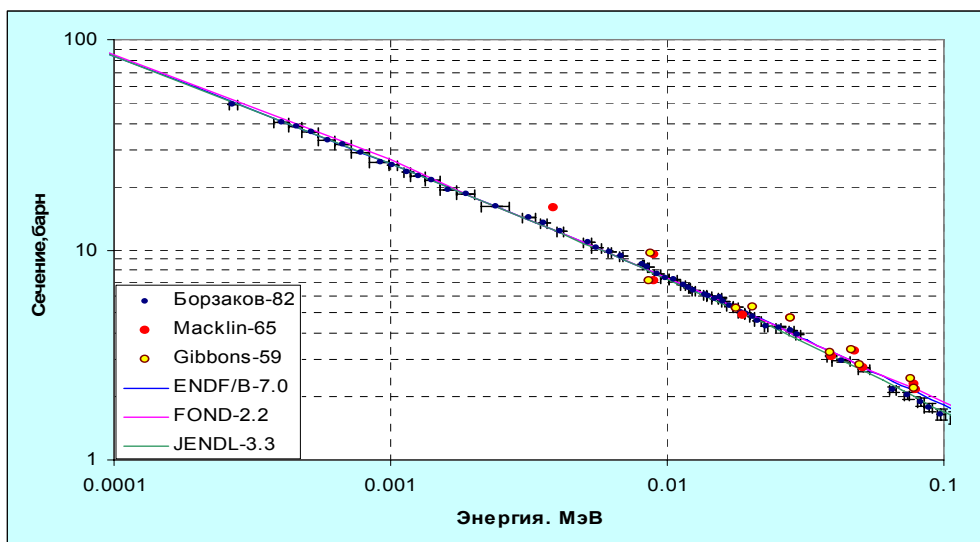


Рис.2а. Сравнение оценок сечения реакции ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$ с экспериментальными данными при низких энергиях.

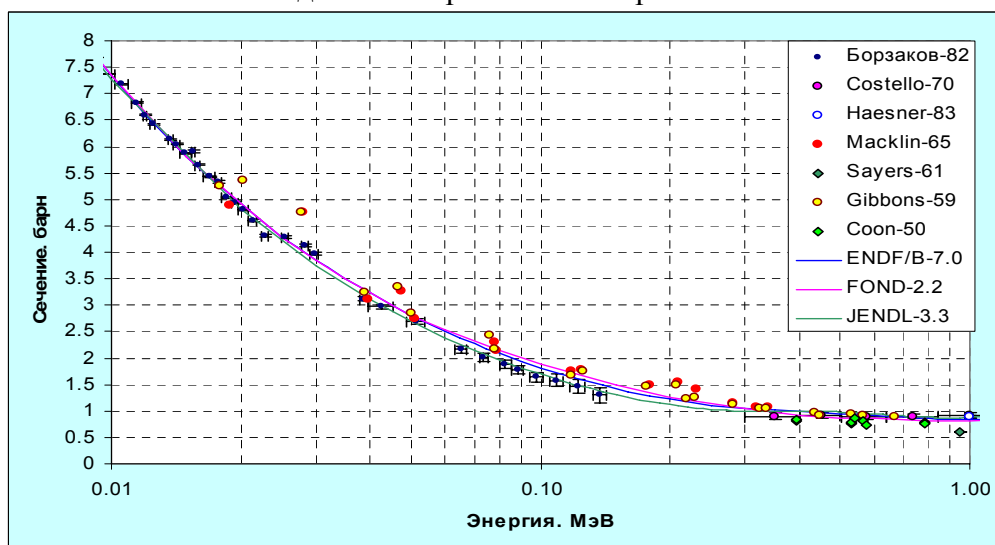


Рис.2б. Сравнение оценок сечения реакции ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$ с экспериментальными данными в области десятков и сотен кэВ.

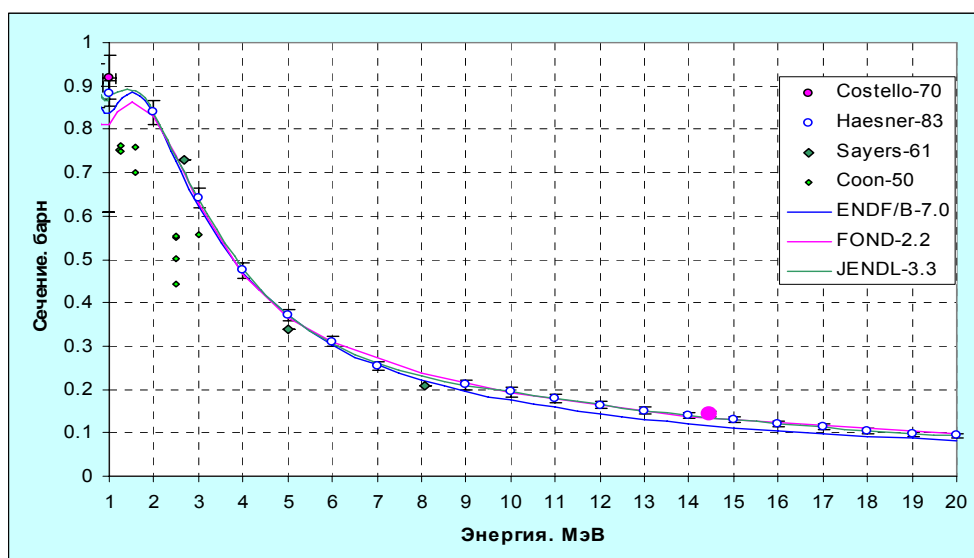


Рис.2в. Сравнение оценок сечения реакции ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$ с экспериментальными данными в области мегаэлектронвольт.

На рис.3 показано энергетическое поведение сечения радиационного захвата. Результаты Комара (Komar-93), оказались в прекрасном согласии с данным Варда и др., полученными при регистрации гамма-квантов под углом 90° , если последние (как и данные Комара) проинтегрировать по всему телесному углу в предположении, что гамма-излучение целиком является дипольным. Числовые значения результатов Варда в базе данных EXFOR отсутствуют. Данные были считаны с графика, приведенного в публикации.

Данные Комара и Варга побудили пересмотреть оценку сечения радиационного захвата при высоких энергиях так, как это показано на графике. Заметим, что данные Комара, как отмечено в публикации, хорошо согласуются с данными по фоторасщеплению гелия-4 (при их сравнении в рамках модели детального баланса).

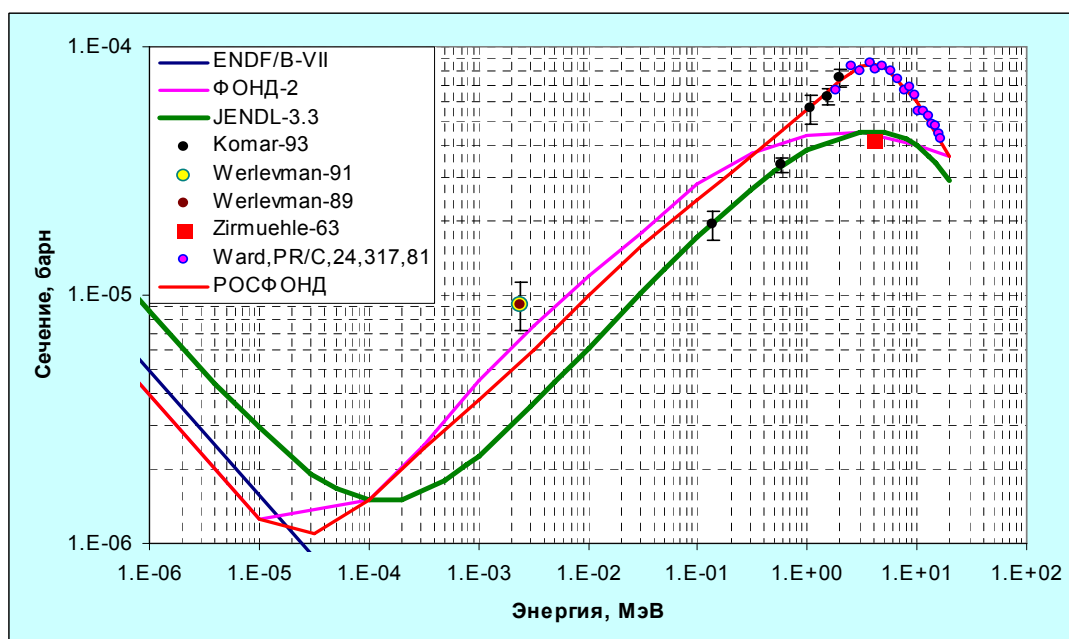


Рис.3. Оценки сечения радиационного захвата в сравнении с экспериментальными данными.

На рис. 4 показано энергетическое поведение сечения реакции $^3\text{He}(n,d)\text{D}$. В интервале 14-18 МэВ сечение этой реакции, принятое в ФОНД-2.2 представляется несколько заниженным. Небольшое повышение сечения приводит к лучшему согласию с данными Хэзнера.

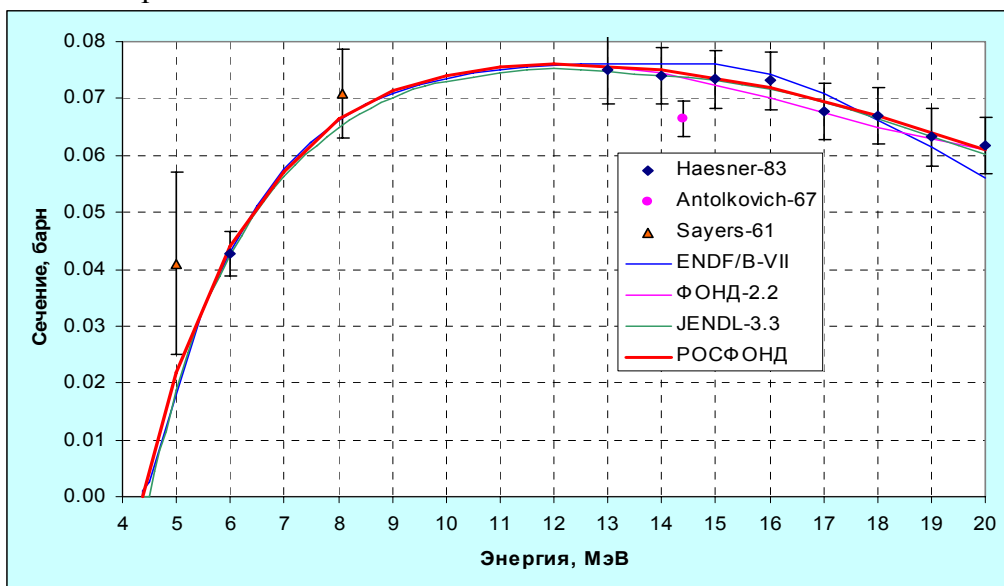


Рис. 4. Энергетическое поведение сечения реакции $^3\text{He}(n,d)\text{D}$

На рис. 5 показано сравнение оцененных сечений упругого рассеяния с экспериментальными данными. При низких энергиях оценка, принятая в ФОНД-2.2, прекрасно согласуется с суммарным сечением когерентного и некогерентного рассеяния, измеренного при 0.0227 эВ Кайзером и др. (Kaiser-79) и найденной равной 3.17 ± 0.17 (оцененное сечение в тепловой точке равно 3.16 барна).

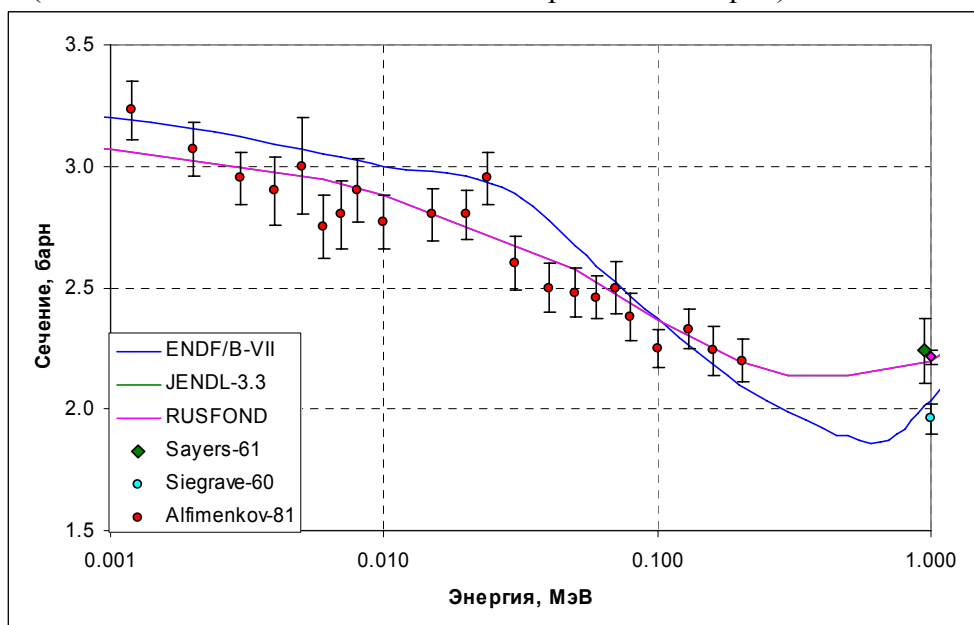


Рис.5а. Сечение упругого рассеяния при низких энергиях.

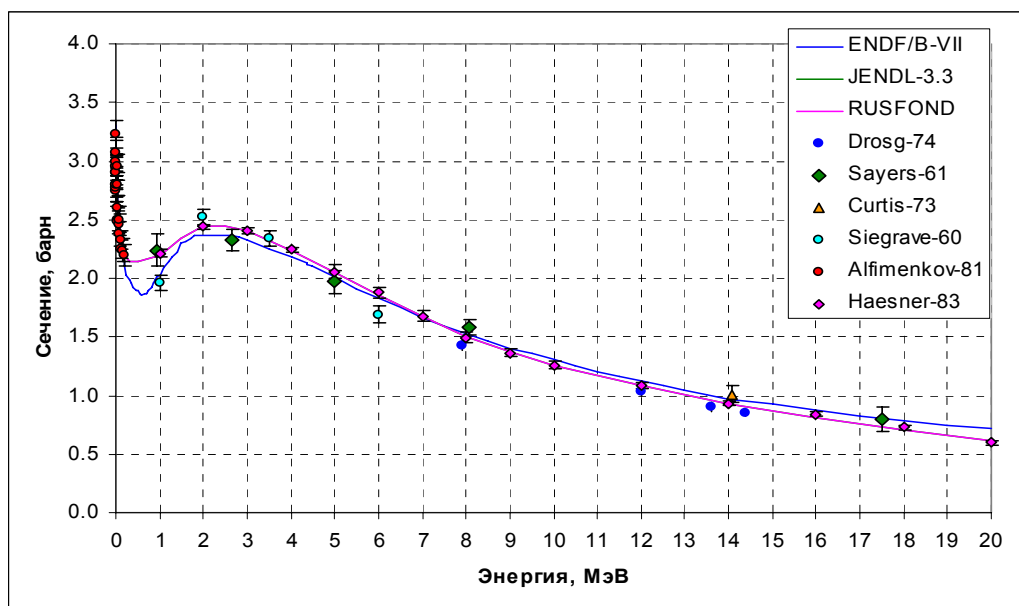


Рис.5б. Сечение упругого рассеяния при высоких энергиях.

На рис. 6 показаны оценки сечений реакции $^3\text{He}(n, np)\text{T}$ и реакции развала $^3\text{He}(n, 2n2p)$, принятые в ФОНД-2.2. В других библиотеках сечения этих реакций не приводятся (т.е. положены равными нулю). Прямых экспериментальных данных о них не имеется. В РОСФОНДе решено сечения этих реакций снизить так, чтобы сохранить баланс сечений при понижении полного сечения относительно оценки, принятой в ФОНД-2.2. Различия видны из рис. 6.

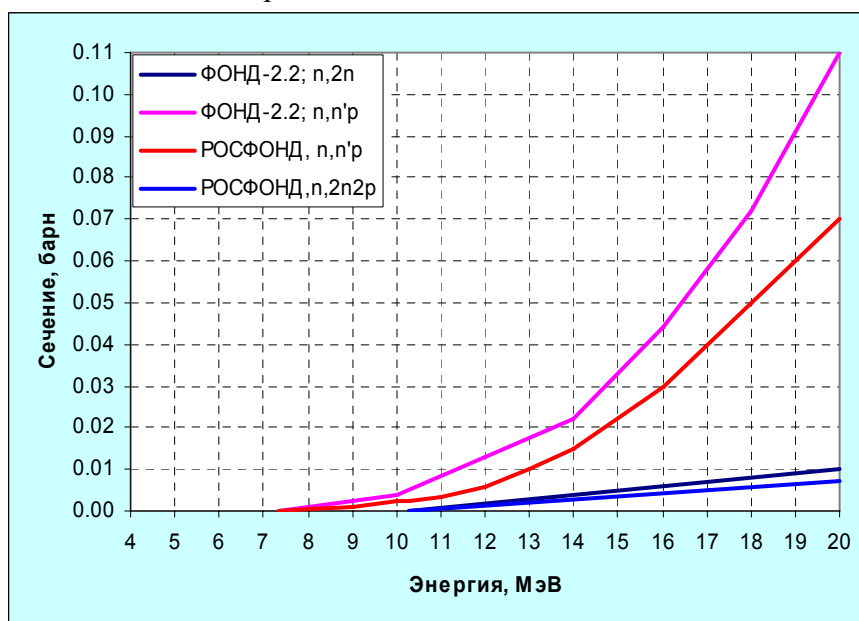


Рис.6. Сечения реакций $^3\text{He}(n, np)\text{T}$ и $^3\text{He}(n, 2n2p)$.

3. Энерго-угловые распределения

3.1. Упругое рассеяние.

Угловые распределения упруго-рассеянных нейтронов в оценке ФОНД-2.2 до 100 кэВ приняты изотропными в системе центра инерции, а при более высоких энергиях основаны на данных Хэзнера (Haesner-83). При энергиях выше 3.5 МэВ эти

угловые распределения практически совпадают с оценкой, принятой в JENDL-3.3. Оценка угловых распределений в ENDF/B-VII основана на более ранних экспериментальных данных.

3.2. Радиационный захват.

В ФОНД-2.2 энерго-угловые распределения продуктов реакции описаны в Файле 6. Угловые распределения приняты изотропными в системе центра инерции; энергии однозначно определяются кинематикой реакции. В JENDL-3.3 те же данные представлены в форматах файлов 12 и 14. В ENDF/B-VII энерго-угловые данные для продуктов радиационного захвата не приводятся.

3.3. Другие реакции.

В ФОНД-2.2 энерго-угловые распределения всех остальных реакций описаны в соответствующих секциях файла 6. В других библиотеках эти данные не приводятся.

2. Заключение

2.1. Выводы:

В РОСФОНД решено сохранить оценку Николаева и др., поскольку в ней описаны все реакции нейтронов с гелием-3 и представлены данные об энерго-угловых распределениях продуктов этих реакций.

В файл внесены следующие коррективы.

1. Внесено изменение в сечение радиационного захвата (см. рис.3);
2. Внесено небольшое изменение в сечение реакции ${}^3\text{He}(n, d)\text{T}$ (см. рис.4);
3. Слегка понижено полное сечение при энергиях выше 15 МэВ (см.рис.1в);
4. Снижены сечения реакций ${}^3\text{He}(n, n'\text{p})\text{T}$ и ${}^3\text{He}(n, 2n2\text{p})$ (см. 6);
5. Опущены секции MT=251, 252 и 253 в файле MF=3 и файл MF=8.
6. Энергии реакций и их пороги приведены в соответствии с данными таблицы 1.
7. Устранен ряд небольших технических огрехов при записи оцененных сечений.

2.2. Тепловые и интегральные сечения

Реакция	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$	RI	$\langle\sigma\rangle$ спектр Максвелла с $T= 1.35 \text{ МэВ}$
Упругое рассеяние	3.160 б	26.953 б	2.260 б
Рад. захват	0.0250 мб	0.0772 мб	0.0425 мб
Реакция (n,p)	5333.0 б	2389.4 б	0.8002 б
Реакция (n,d)	0	0	3.055 мб
Реакция (n,2n)	0	0	0.0023 мб

2.3. Автор проведенного отбора оцененных данных

Николаев М.Н.

2.2. Гелий-4

1. Общие замечания

В современных библиотеках содержатся три независимых оценки нейтронных данных для гелия-4: оценка Николаева и др.¹ (принята в библиотеках ФОНД-2.2 и БРОНД-2), оценка Нисли, Хэйла и Янга (Nisley, Hale, Young) 1973 г. (принята в ENDF/B-VI и ENDF/B-VII) и оценка Шибата 1987 г. (принята в JENDL-3.3 и JEFF-3.1). Только в последней оценке учтены сравнительно недавние экспериментальные результаты Хэзнера² и в этом ее явное преимущество перед другими.

Упругое рассеяние является, по существу, единственным взаимодействием нейтронов с гелием, возможным при энергиях ниже 20 МэВ. Радиационный захват привел бы к образованию ^5He , неустойчивого по отношению к испусканию нейтрона, что эквивалентно упругому рассеянию. Возможно, вообще говоря, образование ^5He в возбужденном состоянии (например, в состоянии со спином 1.2- с энергией возбуждения 4.6 МэВ³) с последующим радиационным переходом в основное состояние и распадом ^5He на нейтрон и ^4He . Этот процесс был бы эквивалентен неупругому рассеянию. Вероятность этого процесса, очевидно, столь мала, что до сих пор он не был зарегистрирован.

На рис. 1. оцененное полное сечение сравнивается с экспериментальными данными Батата (Battat-59). Данные Хэзнера и др. для гелия-4 в EXFORе нами, к сожалению, не найдены.

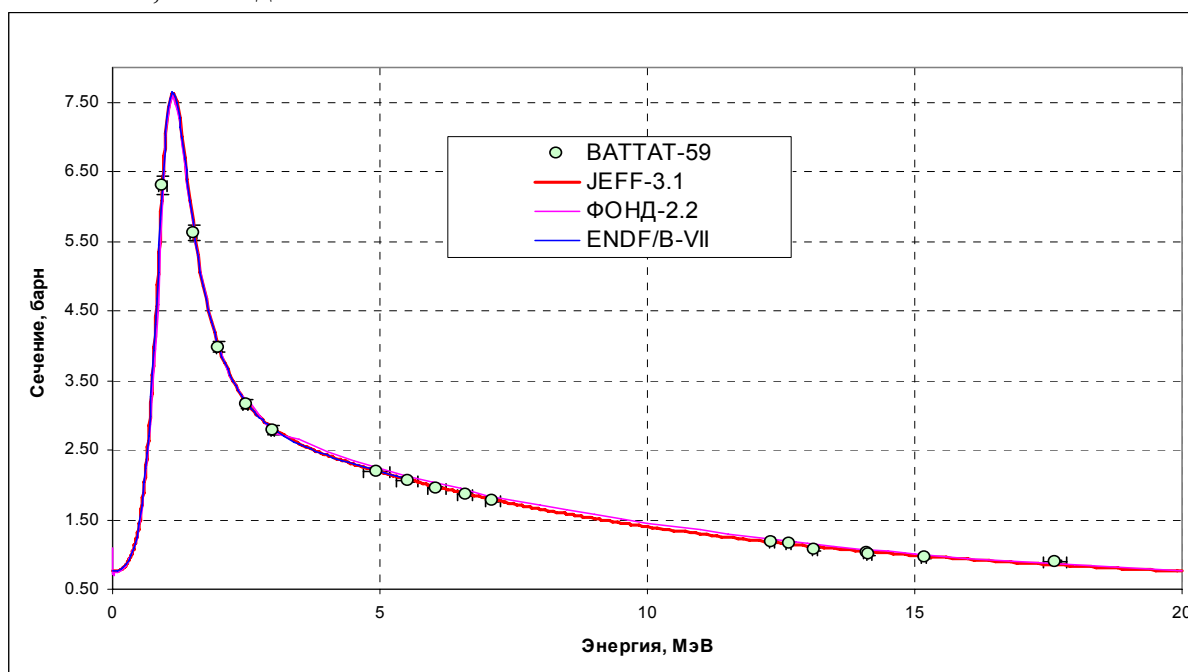


Рис.1. Сравнение оцененного полного сечений с экспериментальными данными

Оценка данных по анизотропии рассеяния основана на расчетах по оптической модели

² Haesner B. et al.: Phys. Rev. C28, 995 (1983).

³ Fiarman S. and Meyerhof W.E. Nucl. Phys. A206,1, 1973.

2. Заключение

2.1. Выводы:

В РОСФОНД решено принять оценку Шибата из JENDL-3.3

2.2. Тепловые и интегральные сечения

Реакция	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$	RI	$\langle\sigma\rangle$ спектр Максвелла с $T= 1.35 \text{ МэВ}$
Упругое рассеяние	0.75926 б	9.26815 б	3.6567 б

2.3. Автор проведенного отбора оцененных данных

Николаев М.Н.