

## 69.ТУЛЛИЙ

Туллий имеет только один стабильный изотоп -  $^{169}\text{Tm}$  – и 6 радиоактивных с периодом полураспада более суток: 3 нейтронно-дефицитных ( $^{165}\text{Tm}$ ,  $^{167}\text{Tm}$ ,  $^{168}\text{Tm}$ ) и три нейтронно-избыточных ( $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{171}\text{Tm}$ ,  $^{172}\text{Tm}$ ).

### 69.1. Туллий-165

Радиоактивен ( $T_{1/2}=30.06$  ч.). Захватывая орбитальный электрон превращается в эрбий-165, который тем же путем ( $T_{1/2}=10.3$  ч.) распадается в стабильный гольмий-165. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакции  $^{168}\text{Yb}_{(0.13\%)}(n,nt)$ . 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: 67.1 барн.

Резонансный интеграл захвата: 1725 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. Файл MF=10 опустить.

#### Автор заключения

Николаев М.Н.

### 69.2. Туллий-167

Радиоактивен ( $T_{1/2}=30.06$  ч.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный эрбий-167. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет реакции  $^{168}\text{Yb}_{(0.13\%)}(n,np)$ ,  $(n,t)$ ,  $^{169}\text{Tm}(n,3n)$ ,  $^{169}\text{Tm}(n,2n)$ ,  $^{168}\text{Tm}(n,2n)$ .

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

Сечение захвата тепловых нейтронов: 54.1 барн.

Резонансный интеграл захвата: 1169 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. Файл MF=10 опустить.

#### Автор заключения

Николаев М.Н.

### 69.3. Туллий-168

Радиоактивен ( $T_{1/2}=30.06$  ч.). Захватывая орбитальный электрон превращается в стабильный эрбий-167. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет реакции  $^{168}\text{Yb}_{(0.13\%)}(n, p)$ ,  $^{169}\text{Tm}(n, 2n)$ .

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

Сечение захвата тепловых нейтронов: 69.7 барн.

Резонансный интеграл захвата: 1611 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. Файл MF=10 опустить.

#### Автор заключения

Николаев М.Н.

### 69.4. Туллий-169

Единственный стабильный изотоп.

Ни в одной библиотеке оцененных нейтронных данных не содержится полного набора нейтронных данных для туллия.

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем.

Между тем для  $^{169}\text{Tm}$  имеется довольно богатая экспериментальная информация. В Атласе Мухабхаба 1984 г. содержатся резонансные параметры для нескольких десятков резонансов; имеются данные по полному сечению, по сечениям захвата и упругого рассеяния, а при высоких энергиях измерялись сечения реакций  $(n, 2n)$ ,  $(n, 3n)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, t)$ ,  $(n, ^3\text{He})$ .

На рис.1 приведены результаты измерения полного сечения.

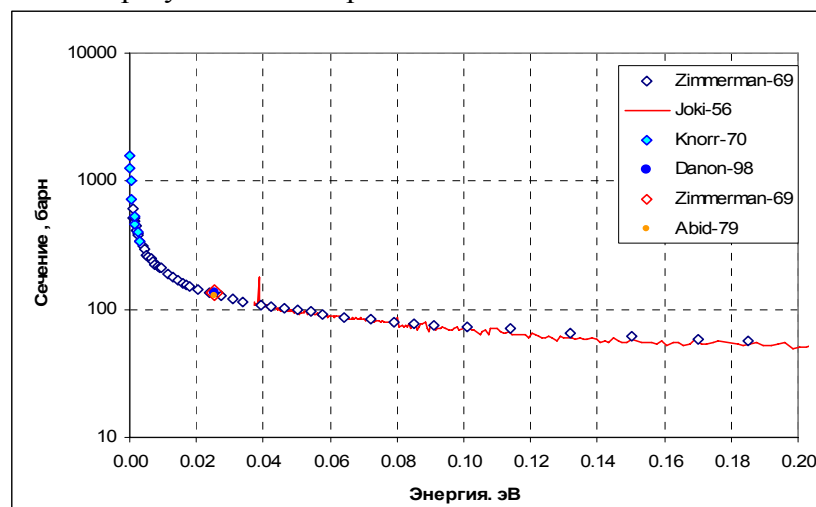


Рис.1а. Полное сечение.

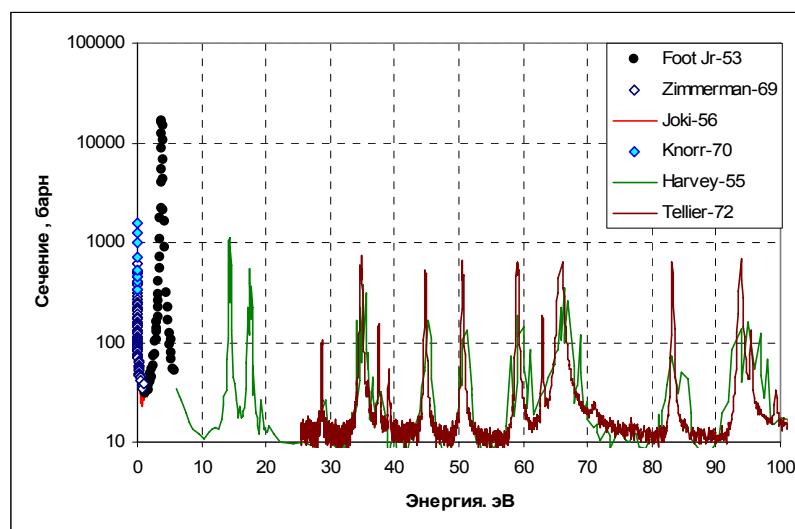


Рис.26. Полное сечение.

Как видно, до 100 эВ данные разных авторов неплохо согласуются между собой. Однако при более высоких энергиях результаты Тельера явно ошибочны. Для демонстрации этого на рис. 3в приведен результат измерения сечения захвата Блоком, которое при энергиях ниже 2 кэВ оказывается существенно больше полного сечения, измеренного Тельером. Выше 2 кэВ результаты этого автора расходятся с измерением Вертебного на фильтрованном пучке нейтронов и с оценкой полного сечения для гольмия, которое должно быть близко к таковому для туллия. Рис. 1г показывает, что при более высоких энергиях так оно и есть.

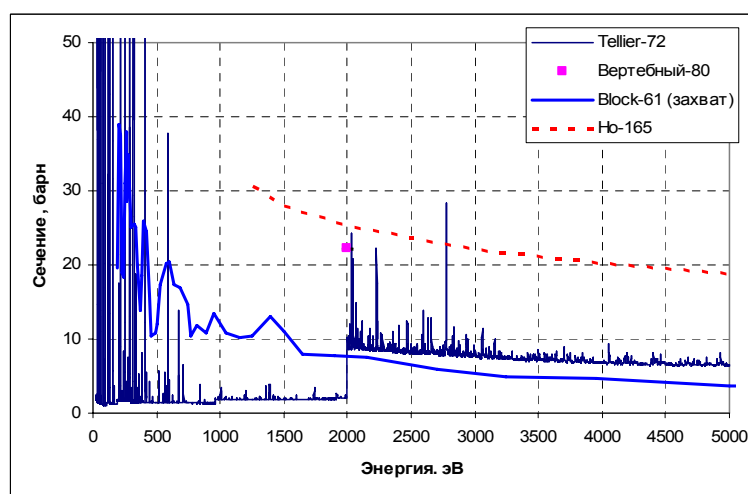


Рис1в. Полное сечение в сравнении с сечением захвата

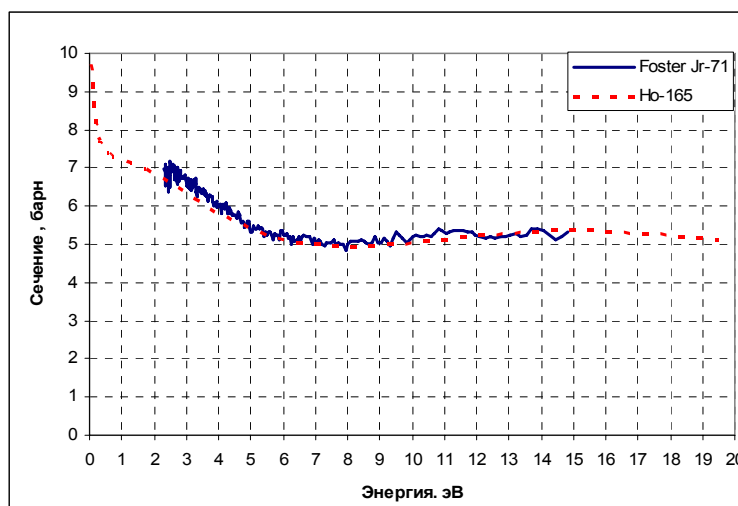


Рис.2г. Полное сечение

Хорошо промерены сечения туллия и при очень низких энергиях (см.рис.2), что позволяет реалистично оценить параметры связанного состояния (или состояний).

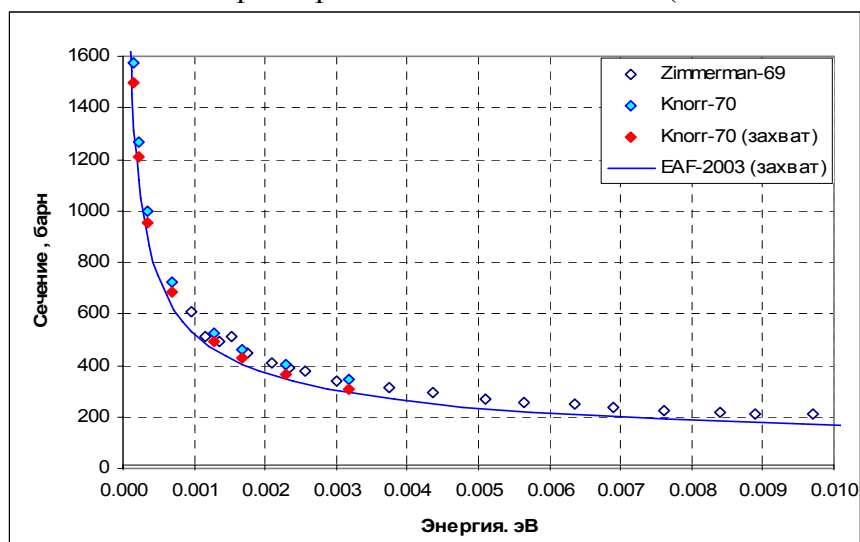


Рис.2а. Полное сечение и сечение захвата при низких энергиях.

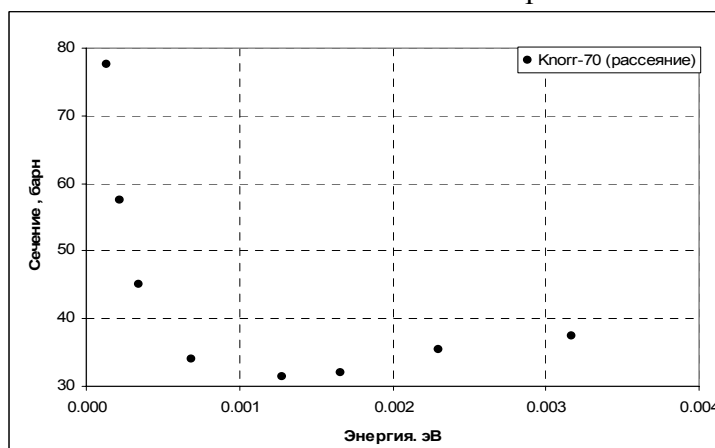
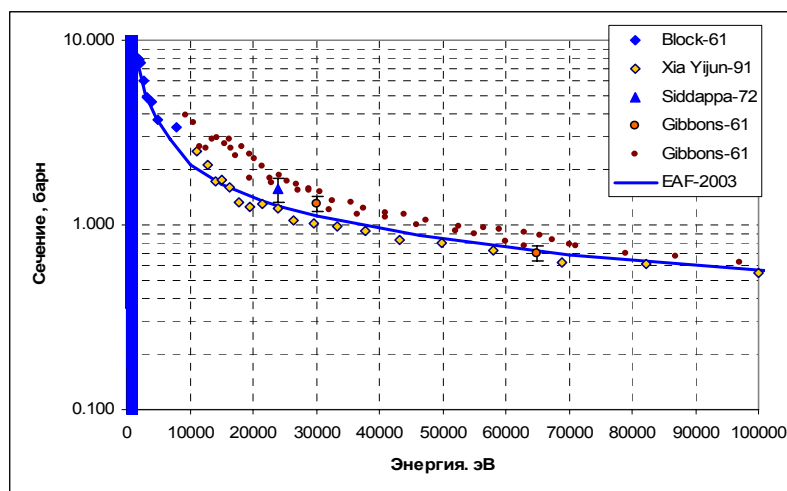


Рис.2б. Сечение рассеяния при низких энергиях.

На рис. 3 оценка сечения захвата из EAF-2003 сравнивается с экспериментальными данными. Согласие, как видим, приемлемое. Ниже 1585 эВ оцененная кривая отражает резонансную структуру сечений.



Оцененное сечение захвата тепловых нейтронов 104.8 барна;

Резонансный интеграл захвата – 1710 барн.

Эти величины вполне согласуются с результатами измерений, усреднение которых, выполненное Мухабхабом, дает, соответственно,  $105 \pm 2$  барна и  $1720 \pm 30$  барн.

Сечения пороговых реакций также находятся в приемлемом согласии с результатами измерений.

### 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. Файл MF=10 опустить.

При первой возможности необходимо провести полную оценку нейтронных данных для туллия.

### Автор заключения

Николаев М.Н.

## 69.5. Туллий-170

Радиоактивен ( $T_{1/2}=128.6$  дн.). Испытывает бета-распад в иттербий-170 (99.87%); в остальных случаях превращается в эрбий-170 путем захвата орбитального электрона. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет реакции  $^{169}\text{Tm}(n,\gamma)$ .

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем.

Жиллетт (Gillette-67) масс-спектрометрически измерил тепловое сечение и резонансный интеграл захвата  $^{170}\text{Tm}$ , получив, соответственно,  $92 \pm 4$  барна и  $1560 \pm 60$  барн.

В эксперименте Стокса (Stockes-74) было измерено полное сечение в интервале от 0.05 до 100 эВ и описал полученные результаты параметрами Брейта-Вигнера.

Коккер (Cocker, Nucl. Sci.Eng.,23, 201 (1969)) также масс-спектрометрически определил интегральные характеристики захвата нейтронов в туллии-170. Все названные данные были учтены Мухабхабом в его оценке 1984 г. и привели к следующим рекомендациям:

сечение захвата тепловых нейтронов:  $92 \pm 4$  барн;

резонансный интеграл захвата:  $460 \pm 50$  барн.

Как видим, в результат, доложенный Жиллеттом, внесена кардинальная поправка.

Оценка EAF-2003 согласуется с рекомендацией Мухабхаба:  
сечение захвата тепловых нейтронов: 91.8 барн;  
резонансный интеграл захвата: 557 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. Файл MF=10 опустить.

Отметить противоречивость экспериментальных данных по резонансному интегралу и желательность его переоценки.

Составление полного файла данных для столь долгоживущего радионуклида также было бы желательным.

#### **Автор заключения**

Николаев М.Н.

### **69.6. Туллий-171**

Радиоактивен ( $T_{1/2}=1.92$  г.). Испытывает бета-распад в иттербий-171. В реакторах может образовываться в малых количествах за счет цепочки реакций  $^{169}\text{Tm}(n,\gamma)^{170}\text{Tm}(n,\gamma)$ .

В библиотеке EAF-2003 содержатся оценки нейтронных сечений, полученные расчетным путем.

Жиллетт (Gillette-67) масс-спектрометрически измерил тепловое сечение и резонансный интеграл захвата  $^{170}\text{Tm}$ , получив, соответственно,  $4.5\pm 0.2$  барна и  $118\pm 6$  барн.

В эксперименте Стокса (Stokes-74) было измерено полное сечение в интервале от 0.05 до 100 эВ и описал полученные результаты параметрами Брейта-Вигнера.

Коккер (Cocker, Nucl. Sci.Eng.,23, 201 (1969)) также масс-спектрометрически определил интегральные характеристики захвата нейтронов в туллии-170. Все названные данные были учтены Мухабхабом в его оценке 1984 г. и привели к следующим рекомендациям:

сечение захвата тепловых нейтронов:  $160^{+30}_{-100}$  барн;

резонансный интеграл захвата: 116 – 325 барн.

Как и в случае туллия-170, экспериментальные данные сильно различаются.

Оценка EAF-2003:

сечение захвата тепловых нейтронов: 160 барн;

резонансный интеграл захвата: 448 барн, т.е. превышает большее из значений, указанных Мухабхабом.

#### **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. Файл MF=10 опустить.

Отметить противоречивость экспериментальных данных по резонансному интегралу и желательность его переоценки.

Составление полного файла данных для столь долгоживущего радионуклида также было бы желательным.

#### **Автор заключения**

Николаев М.Н.

## 69.7. Туллий-172

Радиоактивен ( $T_{1/2}=63.6$  ч.). Испытывает бета-распад в иттербий-172.

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

Сечение захвата тепловых нейтронов: 38.2 барн.

Резонансный интеграл захвата: 848 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. Файл MF=10 опустить.

### Автор заключения

Николаев М.Н.