**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

УДК 621.039.51.12:539.125.52

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

СТАНДАРТЫ СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

**ССД СНГ 365 – 2022 (ГСССД 365–2020)**

(**ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ: RU.3.005-2022)**

Москва – 2022

РАЗРАБОТАНЫ Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 180 «Межгосударственная служба стандартных справочных данных»

ВНЕСЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

АВТОРЫ к.ф.-м.н. В.Г. Проняев, Г.Е. Новиков

СОГЛАСОВАНЫ С национальными органами по стандартизации стран СНГ:

РЕКОМЕНДОВАНЫ Научно-технической комиссией по метрологии Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

ПРИНЯТЫ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 2022 г., № –2022)

УДК 621.039.51.12:539.125.52

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Таблицы стандартных справочных данных** |  |
| Стандарты сечений взаимодействия нейтронов с атомными ядрами | **ССД СНГ**  **365-2022**  **ГСССД**  **365 – 2020** |
| **Tables of Standard Reference Data** |  |
| Standards of the Cross Sections for Interaction of Neutrons with Atomic Nuclei | **SSD CNG**  **365-2022**  **GSSSD**  **365 – 2020** |
|  |  |

**АННОТАЦИЯ**

В рамках международного сотрудничества, под эгидой МАГАТЭ, выполнена безмодельная оценка сечений реакций взаимодействия нейтронов с ядрами, рекомендуемых к использованию в качестве стандартных сечений. Оценка сечений и ковариационных матриц погрешностей проведена с использованием обобщенного метода наименьших квадратов Гаусса-Маркова-Айткена, реализованного в программе GMA. Оценка базировалась на совместном описании более 450 наборов экспериментальных данных для 11 реакций и включала как результаты абсолютных измерений, так и результаты измерений формы сечений реакций, а также абсолютных и относительных отношений сечений реакций. Сечения реакций 1H(n,p), 6Li(n,t), 6Li(n,n), 10B(n,1), 10B(n,), 10B(n,n) оценивались вначале с использованием R-матричной модели реакции с учётом экспериментальных данных для всех каналов реакций, а затем включались в совместную безмодельную оценку с сечениями реакций на тяжёлых ядрах 197Au(n,), 238U(n,), 235U(n,f), 238U(n,f), 239Pu(n,f). Область энергий нейтронов, где реакции рекомендованы к использованию в качестве стандартов, простирается от 10-5 эВ до 20 МэВ для 1H(n,p), до нескольких МэВ для 6Li(n,t), 10B(n,1) , 10B(n,) и 197Au(n,), и до 200 МэВ для 235U(n,f), 238U(n,f).

В рамках совместного описания была выполнена также оценка тепловых констант, - сечений реакций упругого рассеяния, захвата и деления 233,235U и 239,241Pu нейтронами с энергией 0,0253 эВ и средних выходов мгновенных нейтронов при делении этих ядер тепловыми нейтронами и при спонтанном делении 252Cf.

Погрешность оценённых сечений представлена в виде двух компонент: положительно-определённой ковариационной матрицы, полученной при описании данных методом наименьших квадратов и дополнительной компоненты погрешности, представляющей непризнанную систематическую погрешность, полученную из разброса экспериментальных данных относительно оценённых значений.

Результаты оценки стандартных сечений использованы при формировании файлов библиотек оценённых нейтронных сечений и верифицированы в интегральных экспериментах, включая бенчмарк эксперименты на критичность систем с разными спектрами нейтронов.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. | Введение.............................................................................................. | 6 |
| 2. | Термодинамические свойства........................................................... | 6 |
| 3. | Вязкость............................................................................................... | 12 |
| 4. | Теплопроводность**.**............................................................................. | 12 |
| 5. | Статическая диэлектрическая проницаемость................................ | 13 |
| 6. | Расчет вязкости, теплопроводности и статической диэлектрической проницаемости при давлениях, отличных от *p*0 ...................................................................................................... | 14 |
| 7. | Стандартные справочные значения теплофизических свойств воды…………………………………………………………………. | 14 |
| Список литературы………………………………………………………. | | 18 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Стандарты сечений взаимодействия нейтронов с атомными ядрами являются обязательными к использованию при проведении измерений большинства сечений реакций. Исключения составляют измерения сечений абсолютными методами, такими, например, как измерения полных сечений нейтронов методом пропускания или измерения полного сечения неупругих процессов в специальной обратной сферической геометрии, измерения с нормировкой на чёрный резонанс. К абсолютным методам измерениям принято относить и измерения, обеспечивающие получение данных высокой точности (~1%), такие как сечение упругого рассеяния нейтронов на водороде, или измерения методом сопутствующих частиц. Для получения окончательных данных, в этих измерениях также используются ядерно-физические характеристики, но погрешности, вносимые ими, являются минимальными. В данной работе, измерения относительно сечения рассеяния на водороде также рассматриваются как абсолютные, но нуждаются в перенормировке при изменении стандарта на водороде, являющегося базисным стандартом.

Большинство измерений выполняются относительно сечений реакций выбранных в качестве стандартов. Существуют следующие основные требования к стандартным сечениям реакций: относительно гладкое поведение сечений в зависимости от энергии, заметная величина сечений, высокая эффективность регистрации продуктов реакции детекторами. Стандарты могут использоваться как для получения абсолютных сечений, через измерения абсолютных отношений определяемого сечения к сечению стандарта, так и для измерений формы сечений, через измерение относительного отношения определяемого сечения к сечению стандарта.

Экспериментальные данные, полученные с использованием одних и тех же стандартов, могут быть сравнены, в других случаях необходима перенормировка данных к одним стандартам. Стандарты обновляются, как правило, один раз в 10 – 15 лет. В 1987 была завершена оценка стандартов, выполненная с использованием новой методики оценки, основанной на объединённом описании стандартов обобщённым методом наименьших квадратов. В 1991 году они были опубликованы в табличном формате как стандарты Комитета по Ядерным Данным Ядерного Энергетического Агентства/Международного Комитета по Ядерным Данным МАГАТЭ [1] и как стандарты библиотеки ENDF/B-VI (США) [2].

C 2001 года секция ядерных данных МАГАТЭ координирует деятельность по созданию и обновлению международных стандартов нейтронных сечений. В 2006 году результаты работы международной группы экспертов, в состав которой входили три участника от России, завершились выпуском стандартов 2006 года [3,4]. Большую роль в этом сыграла передача Рабочей Группой по Оценке Сечений (CSEWG, USA) базы экспериментальных данных собранных, проанализированных и откорректированных Волфгангом Пёнитцем (W. Poenitz, ANL, USA) и компьютерных программ реализующих необходимую подготовку экспериментальных данных при их описании обобщённым методом наименьших квадратов [5]. С 2001 года В.Г. Проняев выполнял обязанности координатора исследовательской программы МАГАТЭ, завершившейся в 2006 году выпуском стандартов. С 2006 по 2014 год он выполнял роль координатора программы подготовки очередного выпуска нейтронных стандартов и рекомендуемых данных по спектрам мгновенных нейтронов деления тепловыми нейтронами основных делящихся ядер урана и плутония, стандартов производства мгновенных гамма-квантов, а также стандартов сечений реакций для нейтронов высоких энергий (до 1 ГэВ). В марте 2017 года новая оценка стандартов была завершена и опубликована в реферируемом журнале Nuclear Data Sheets [18].

**Авторы оценки стандартов нейтронных сечений**

Оценка выполнена под эгидой МАГАТЭ многонациональным коллективом авторов [18]. На первом этапе (2001 – 2015) координатором проекта выступал В.Г. Проняев, (2001 -2004 г. руководитель центра ядерных данных МАГАТЭ), (2005 – 2015 г. – сотрудник ГНЦ «РФ ФЭИ), (с 2015 г. сотрудник ЧУ «Атомстандарт»), а с 2015 г. – R. Capote, сотрудник секции ядерных данных МАГАТЭ.

**Актуальность работы**

Актуальность в проведении новой оценки международных стандартов заключается в том, что за прошедшие 10 лет были поставлены новые прецизионные измерения сечений реакций, входящих в объединённую оценку стандартов. Они могут заметно повлиять на значения стандартов и их погрешности. К ним относятся измерения:

отношений сечений 10B(n,0) к 10B(n,1) в Гиле, Бельгия [6];

прецизионные измерения сечений захвата 197Au(n,) [7] и 238U(n,) [8] в Гиле, Бельгия;

измерения отношения сечений деления на изотопах урана на установке n\_TOFв Церне [9] Швейцария;

измерение сечения 197Au(n,) [10] на установке n\_TOFв Церне, Швейцария;

измерения сечения 238U(n,) [11] на установке DANCE в ЛосАламосе, США;

измерения сечений отношения сечений деления на изотопах урана и плутония [12,13].

База экспериментальных данных для проведения совместной оценки была пополнена 19 новыми наборами данных.

Оценки стандартных и рекомендуемых сечений включаются в файлы библиотек общего пользования (ENDF/B-VII.1, РОСФОНД, БРОНД-3.1, и готовящуюся к выпуску ENDF/B-VIII). Запросы на измерения и оценку стандартных (основных делящихся материалов) исходят от специалистов, занимающихся оценкой нейтронных сечений, так как новой версии библиотеки, как правило, предшествует переоценка стандартов.

С появлением новых оценок спектров нейтронов деления, оказавшихся более мягкими, чем ранее используемые, возник вопрос согласования сечений, спектров деления и выходов мгновенных нейтронов для исключения существующих в файлах оценённых данных эффектов компенсации между различными сечениями и константами. Поэтому включение в файлы библиотек оценённых данных значений сечений новых стандартов является важным шагом на пути устранения компенсирующих эффектов.

**Методика оценки данных, их погрешностей и исходные данные**

Безмодельная оценка стандартов проводилась объединённым описанием обобщённым методом наименьших квадратов (минимизация среднеквадратичного отклонения не проводилась, но задавались априорные значения стандартов) всех наборов экспериментальных данных. Каждый набор представляет собой значения какого-то сечения, приведённого к единым для всех сечений узлам и ковариационную матрицу неопределённостей данного набора построенной из известных статистической и систематических компонент. Наборы объединяются в блоки, если существует корреляция для компонент ошибок в разных наборах. Использовалась программа GMA (Гаусс-Марков-Айткен). Число значений всех сечений в узлах является числом параметров и определяет размер ковариационной матрицы оценённых данных (963×963). Нижний треугольник полной квадратной матрицы состоит из нижних треугольников, описывающими корреляцию для каждой реакции и блоков, описывающих корреляцию между различными реакциями. Некоторые блоки содержат несущественные корреляции, но корреляции между сечениями деления могут быть существенными, так как оценка включает большое число измеренных отношений сечений.

Для оценки использовалась программа GMA, написанная Вольфгангом Пёнитцем [5]. В её основе лежит обобщённый метод наименьших квадратов Гаусса-Маркова-Эйткена, соотношения для которого выглядят следующим образом:

*T'=T+∑(G+V-1G)-1G+V-1R*

*M'=∑(G+V-1G)-1,*

 где *T'* – вектор (апостериорных) оценённых данных,

*T* – вектор априорных оценённых данных,

*M‘* – ковариационная матрица погрешностей (апостериорных) оценённых данных,

*R* – вектор экспериментальных данных,

*V* – ковариационная матрица экспериментальных данных,

*G* – матрица коэффициентов приведения данных или модели, верхние индексы (*+*) и (*-1*) означают соответственно операторы транспонирования или обращения матриц.

Знак суммирования ∑ означает суммирование по всем наборам экспериментальных данных.

Объединённая оценка содержит также сечения реакций, не являющиеся стандартами, но которые могут внести в оценку дополнительную информацию о стандартах (6Li(n,n), 6Li(n,tot), 10B(n,n), 10B(n,0), 10B(n,tot), 238U(n,), 239Pu(n,f)). Область энергий для данных, используемых в данной оценке, может быть значительно шире, чем область, где сечения рассматриваются как стандарты: 6Li(n,t) – до 4 МэВ, 197Au(n,) от 2,5 кэВ, U(n,f) - от 0,5 МэВ.

При проведении объединённой оценки используются пред-оценённые (оценённые заранее) данные. К ним относятся R-матричные оценки стандартов на лёгких ядрах и тепловые константы (сечения для основных делящихся ядер при энергии 0,0253 эВ).

В таблице 1 приведено число наборов данных, используемых в оценке для каждой реакции (приведены на диагонали как полное число; значение в скобках – число измерений формы сечения). Вне диагонали приведено число наборов для отношений сечений. Значения со знаком + означают число новых данных, вошедших в оценку стандартов 2017 (в скобках – число наборов абсолютных измерений). Новая выборка включает дополнительно 20 новых результатов измерений. Всего в оценке использовалось совместное описание около 450 экспериментальных наборов данных, 15 пред-оценённых наборов тепловых сечений основных делящихся ядер и сечения деления, измеренные в стандартном спектре нейтронов спонтанного деления 252Cf.

Таблица 1 – Число наборов экспериментальных данных используемых для каждой реакции в объединённой оценке стандартов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **6Li(n,)** | **10B(n,)** | **10B(n,)** | **10B(n,)** | **Au(n,)** | **238U(n,)** | **235U(n,f)** | **239Pu(n,f)** | **238U(n,f)** |
| 6Li(n,) | 18 (7) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10B(n,) | 0 | 5 (4) |  |  |  |  |  |  |  |
| 10B(n,) | 1 (0) | 12 (10)  +2 | 11 (2) |  |  |  |  |  |  |
| 10B(n,) | 4 (0) | 0 | 0 | 5 (2) |  |  |  |  |  |
| Au(n,) | 3 (3) | 0 | 6 (3) | 4 (4) | 27 (21)  +(2) |  |  |  |  |
| 238U(n,) | 2 (2) | 0 | 9 (5) | 4 (4) | 10 (9) | 14 (11)  +6(3) |  |  |  |
| 235U(n,f) | 14 (0) | 0 | 2 (1) | 25 (0) | 12 (10) | 12 (6)  +6 | 68 (52)  +3 |  |  |
| 239Pu(n,f) | 2 (0) | 0 | 0 | 19(0) | 0 | 1 (0) | 19 (14) | 22 (19)  +1 |  |
| 238U(n,f) | 2 (1) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 (29) | 3 (1) | 18 (11) |

В таблице 2 приведены дополнительные наборы данных, используемые в объединённом описании стандартов и позволяющие наложить ограничения на значения сечений стандартов

Таблица 2 – Дополнительные наборы данных используемых в описании стандартов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **6Li(n,n)** | **6Li(n,tot)** | **10B(n,n)** | **10B(n,tot)** |
| 8 | 13 | 4 | 18 |

Методика оценки не аттестована, но верифицирована на специально подготовленных тестах сравнением c результатами описания одних и тех же экспериментальных данных с использованием различных программ и методик, приводимых к методике GMA (метод Байеса с использованием неинформативных априорных значений). Метрологическая экспертиза оценивания данных не проводилась из-за отсутствия нормативной метрологической документации для данной методики оценивания.

**Использованные программные средства**

При оценке использовались следующие программные средства:

* программа EDA – программа R-матричного описания всех существующих наблюдаемых с образованием системы нейтрона и ядра-мишени. Программа использует соотношения релятивистской кинематики. Параметры R-матрицы определяются минимизацией значения среднеквадратичного отклонения. Неопределённости экспериментальных данных представлены в виде отдельных компонент – статистической и нормализационной;
* программа RAC - программа R-матричного описания всех существующих наблюдаемых с образованием системы нейтрона и ядра-мишени. Программа использует соотношения релятивистской кинематики. Параметры R- матрицы определяются минимизацией значения среднеквадратичного отклонения. Неопределённости экспериментальных данных представлены в виде ковариационной матрицы, построенной из двух компонент – статистической и систематической;
* программа DAT – подготовки экспериментальных данных в формате ввода в программу GMA. Программа приводит экспериментальные данные и компоненты погрешности к единым узлам по энергии для совместного безмодельного описания. В полную неопределённость вносят вклад следующие компоненты: статистическая, полностью коррелированная систематическая, компонента, представляющая среднюю длину корреляции, а также компоненты, обусловленные неопределённостью в энергии и энергетическим разрешением (данная опция, несмотря на возможность ввода данных пока в программе не реализована);
* программа GMA, реализующая обобщённый метод наименьших квадратов, при объединённом описании стандартов.

**Описание входных и выходных файлов**

Входной файл программы DAT содержит наборы экспериментальных данных с информацией об энергиях нейтронов, приведённых в работе, значения сечений (или отношений сечений) в этих точках, погрешности и разрешении в энергии нейтронов, статистическую неопределённость в каждой точке, компоненты различных неопределённостей с характерной длинной корреляции между ними, а также общую, неопределённость в нормировке для всего набора. Наборы данных могут объединяться в блоки данных, если между отдельными компонентами неопределённостей этих данных существуют корреляции. Вводится индекс, определяющий тип данных (абсолютные, абсолютные отношения, форма, отношение форм). Выходной файл программы DAT является входным файлом для программы GMA и содержит наборы данных, приведёнными к единым (общим) узлам по энергии.

Выходной файл программы GMA содержит результаты оценки в виде таблиц оценённых данных: энергии нейтронов в узловых точках; оценённые значения сечений реакций в этих точках; абсолютные и относительные погрешности сечений реакций; нижние треугольники корреляционных матриц погрешности оценённых сечений реакций, блоки матриц, описывающих корреляции между различными сечениями реакций и ковариационные матрицы сечений реакций в международном формате оценённых данных ENDF-6.

**Оценки в табличном виде**

Результаты оценки стандартов в табличном виде приведены в Приложении 1.

**Верификация оценённых данных и погрешностей**

Величина среднеквадратичного отклонения на степень свободы, полученная в результате статистического описания равна 0,95. Верификация оценённых погрешностей может быть проведена сравнением величин, являющейся приблизительным эмпирическим инвариантом для оценённой ковариационной матрицы погрешности: сумма всех элементов ковариационной матрицы, вычисленная в одних и тех же узлах, приблизительно сохраняется, слабо зависит от вида используемой модели и близко к результатам безмодельного описания. Такая верификация была проведена для ограниченного набора данных сечения реакции 6Li(n,t). Хотя оценённые погрешности стандартов, часто рассматриваются как заниженные, погрешности, получаемые в расчётах интегральных величин при использовании в файлах значений сечений стандартов и их погрешностей, оказываются близки к неопределённостям экспериментальных данных для интегральных величин (сечения, усреднённые по хорошо охарактеризованным спектрам, результаты бенчмарк-экспериментов на сборках, чувствительных к сечениям стандартов, используемых в файлах). Несомненно, что использование стандартов с погрешностями, представленными только вариациями, приводит к существенному занижению погрешностей рассчитываемых интегральных величин. Валидация ковариационных матриц погрешностей была выполнена также с помощью модуля INPUT программы GLUCS. Стандартные сечения и ковариационные матрицы погрешностей, подготовленные в формате ENDF-6, использовались для чтения модулем INPUT c приведением данных в табличный формат. Необходимо отметить, что файлы стандартных данных в формате ENDF-6 не являются полными и могут быть использованы как часть данных при формировании полных файлов.

Верификация оценённых стандартов может быть выполнена их включением в файлы библиотек оценённых данных общего пользования и проведением расчётов для опорных экспериментов (бенчмарк-моделей экспериментов), наиболее чувствительных к стандартным сечениям и параметрам. При этом в файлах используются и последние оценки спектров мгновенных нейтронов деления, существенно влияющие на критичность систем. Такими файлами являются файлы 1H, 235U, 238U и 239Pu, подготовленные в рамках проекта CIELO [14], а также файлы создаваемой библиотеки ENDF/B-VIII. На рисунке 1 показано отношение расчётных значений кэфф к экспериментальным для сборок с обогащённым 235U и с быстрым спектром нейтронов для файлов 235Uиз библиотеки ENDF/B-VII.1 (среднее сечение деления 235U равно сечению деления стандарта 2006) и из версии библиотеки CIELO (среднее сечение деления 235U равно сечению деления стандарта 2017).

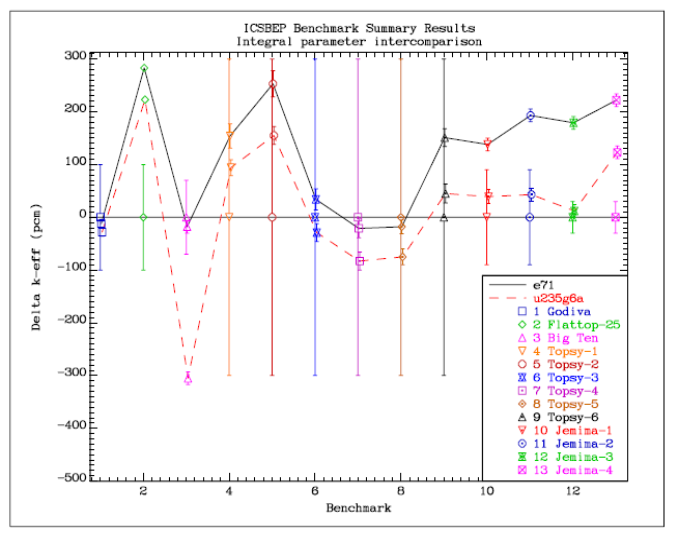


Рисунок 1 – Отклонение отношений рассчитанных значений кэфф к экспериментальным значениям для сборок с обогащённым 235U и файлами из библиотеки ENDF/B-VII.1 (e71) и CIELO (u235g6a). Величина отклонения приведена в единицах pcm (10-3 %). Названия сборок по спецификации ICSBEP (Godiva – HMF001, Flattop-25 – HMF028, BigTen, Topsy-1,2,3,4, 5, 6–HMF002.1, 002.2, 002.3, 002.4, 002.5 и 002.6 соответственно, Jemima-1,2,3,4 –IMF001.1, 001.2, 001.3 и 001.4 соответственно).

**Сравнение с существующими экспериментальными данными и результатами предыдущей оценки**

На рисунках 2 – 18 показано сравнение сечений стандартов настоящей оценки (2017) со стандартами предшествующей оценки (2006) и экспериментальными данными. На всех рисунках, приняты следующие обозначения для экспериментальных данных: через DSXXXXобозначается номер набора при описании данных программой GMA. Через Х4=ZZZZZXXX– номер набора (ZZZZZ) и поднабора (XXX) данных из библиотеки EXFOR. Представленная погрешность везде равна величине одного стандартного отклонения (1. Сечение на водороде показано на рисунке 2, а погрешность интегрального сечения упругого рассеяния на водороде – на рисунке 3. R-матричное описание с использованием программы EDA, в условиях большого числа экспериментальных данных приводит, по мнению экспертов к заниженным погрешностям. Поэтому, первоначально, было рекомендовано использовать экспертные оценки, дающие только групповые статистические компоненты погрешности и декларирующие, что 2/3 результатов измерений попадают (и будут попадать) в приведённый интервал погрешностей. На завершающей стадии оценки, было принято решение о построении доверительного интервала и учёте дополнительной непризнанной систематической компоненты погрешностей.

Сравнение оценок 2017 и 2006 года с экспериментальными данными для сечения реакции 6Li(n,t) показано на рисунке 4, а их отношение на рисунке 5. Изменения сечений в области 0,245 МэВ обусловлены изменениями в оценке параметров резонанса при этой энергии, а в области выше 0,5 МэВ – расширением верхней границы R-матричного описания до 4 МэВ для кода EDA и до 20 МэВ для кода RAC. Кроме этого, новые экспериментальные данные, полученные с многосеточными ионизационными камерами при полной регистрации тритонов и альфа-частиц, дают более высокие значения сечений. Сечение и погрешности оценены при совместном описании всех сечений программой GMA. Среднеарифметические значения R-матричных оценок EDA и RAC использовались как псевдо-экспериментальные данные при совместном описании в GMA. Погрешности описания RAC были дополнены компонентой, являющейся половиной абсолютной разности сечений, полученных в описании EDA и RAC.



Рисунок 2 – Отношение сечений упругого рассеяния на водороде – интегрального (сплошная линия) и под углом 30 градусов в лабораторной системе координат.



Рисунок 3 – Экспертная оценка погрешности интегрального сечения упругого рассеяния нейтронов на водороде.



Рисунок 4 – Сравнение сечений для реакции 6Li(n,t).



Рисунок 5 – Отношение сечений стандартной реакции 6Li(n,t) оценки 2017 года к оценке 2006 года, принятой за 1. Приведённые погрешности не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.

Новые R-матричные оценки, выполненные EDA и RAC для стандартных сечений на ядре 10B, заметно отличались для нейтронов с энергией выше 0,15 МэВ. В программе RAC использовалась итерационная схема приписывания систематической (нормализационной) компоненты погрешности экспериментальным данным относительно выбранной априорной (а затем апостериорных) оценок. Было проведено несколько расчётов, которые показали неустойчивость оценённых результатов при разных выборах начальной априорной оценки. Поэтому в качестве псевдо-экспериментальных данных при совместном GMA описании стандартов использовались результаты оценки EDA. На рисунках 6 и 7 показано сравнение отношения стандарта 2017 года к стандарту 2006 года принятого за единицу для сечений 10B(n,1) и 10B(n,). Совместная оценка GMA согласуется с оценкой EDA до энергии 0,8 МэВ, а затем оказывается на 2-3 % ниже.

На рисунке 8 показано отношение сечения 10B(n,0) к 10B(n,1) измеренное в Гиле [6]. Прямые результаты измерений представляют неполные угловые распределения выходов альфа-частиц для этих двух каналов полученные для большого количества точек по энергии. Форма этих угловых распределений использовалась в R-матричных программах, а форма отношений сечений выхода -частиц в двух каналах – как набор данных в объединённом описании GMA.



Рисунок 6 – Отношение сечений стандартной реакции 10B(n,1) оценки 2017 года к оценке 2006 года, принятой за 1. Приведены погрешности, полученные при описании программой GMA.



Рисунок 7 – Отношение сечений стандартной реакции 10B(n,) оценки 2017 года к оценке 2006 года, принятой за 1. Приведены погрешности, полученные при описании программой GMA.



Рисунок 8 – Сравнение отношений сечений 10B(n,0) к 10B(n,1). Данные Хамбша [6] представлены усреднёнными по энергии ненормированными отношениями.

Последний этап оценки стандартов на лёгких ядрах включал повторное R-матричное описание результатов оценки GMA для получения оценённых параметров, позволяющих восстановить сечение в любом количестве точек по энергии и обеспечить гладкость сечений, восстанавливаемых из параметров, и нарушенной при безмодельном описании программой GMA.

Стандартное сечение упругого рассеяния нейтронов на естественном углероде не пересматривалось с 1991 года. Новая оценка сечения упругого рассеяния, выполненная Хейлом с помощью R-матричного описания программой EDA всех экспериментальных сечений и наблюдаемых для 2-х стабильных изотопов 12С и 13С была приведена к сечению упругого рассеяния на естественной смеси изотопов и показана в сравнении со стандартом 2006 года (равному стандарту 1991 года) на рисунках 9 и 10. Как видно, новое стандартное сечение в среднем на 0,5 – 1,5 % выше, чем сечение стандарта 2006 года. Угловые распределения упругого рассеяния также являются стандартами и приведены в виде относительных коэффициентов разложений по полиномам Лежандра. Существенно улучшено описание резонансов при 0,152 МэВ и 1,75 МэВ в 13С.

На рисунке 11 показано сравнение экспериментальных данных с сечениями стандартов 2017 и 2006 годов для реакции 197Au(n,). Так как новые измерения сечений в этой области отсутствуют, небольшое влияние других измерений заметно только в области 0,2 МэВ. В тоже время, в связи с новыми прецизионными измерениями, существенно изменились оценённые сечения в области от нескольких кэВ до 100 кэВ, являющейся важной областью энергий для астрофизических приложений (рисунок 12). Новое оценённое сечения захвата нейтронов, усреднённое по спектру Максвелла с температурой 30 кэВ равно 619,8±4,1 мбарн. Значение стандартного сечения в тепловой точке 0,0253 эВ оценено как 98,66±0,14 барн.

На рисунках 13 – 15 показано сравнение экспериментальных данных с сечениями стандартов 2017 и 2006 годов для стандартной реакции 235U(n,f). Новые прямые измерения сечения деления в этой области отсутствуют, влияние на новую оценку стандартов оказывают новые измерения отношений сечений деления 239Pu(n,f) и 238U(n,f) к 235U(n,f). Как показано на рисунке 16, заметное изменение сечений наблюдается только в нескольких точках по энергии.



Рисунок 9 – Сравнение сечений упругого рассеяния нейтронов на природном углероде.



Рисунок 10 – Отношение сечений стандартной реакции natC(n,n) оценки 2017 года к оценке 2006 (1991) года, принятой за 1. Приведённые погрешности не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 11 – Сравнение сечений для реакции 197Au(n,) в области энергий рекомендованной к использованию в качестве стандарта. Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 12 – Сравнение сечений для реакции 197Au(n,) в области энергий, важной для астрофизических приложений. Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 13 – Сравнение сечений для реакции 235U(n,f) (1). Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 14 – Сравнение сечений для реакции 235U(n,f) (2). Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 15 – Сравнение сечений для реакции 235U(n,f) (3). Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 16 – Отношение сечений стандартной реакции 235U(n,f) оценки 2017 года к оценке 2006 года, принятой за 1. Приведённые погрешности не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 17 – Сравнение отношений сечений реакции 238U(n,f) к 235U(n,f). Приведённые погрешности оценённых данных не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.



Рисунок 18 – Отношение сечений стандартной реакции 238U(n,f) оценки 2017 года к оценке 2006 года, принятой за 1. Приведённые погрешности не содержат непризнанной систематической компоненты погрешности.

На рисунке 17 показано сравнение отношений сечений реакции 238U(n,f) к 235U(n,f) во всей области энергий, вошедшей в объединённое описание данных. Стандартом является сечение в области энергии выше 2 МэВ. Показаны результаты измерений, выполненных на установке n\_TOF в Церне (Paradela). На рисунке 18 показано отношение сечения стандарта 238U(n,f) оценки 2017 года к оценке 2006 года.

Из 17 тепловых констант микроскопических сечений и параметров, используемых в описании GMA как предоценённые данные, две константы являются стандартами: сечение деления нейтронами с энергией 0,0253 эВ на 235U и полный выход нейтронов при спонтанном делении 252Cf. Cечение деления нейтронами с энергией 0,0253 эВ 235U увеличилось с 584,3±1,0 барна до 587,4±1,4 барна. Полный выход нейтронов при спонтанном делении 252Cf уменьшился с 3,7692±0,0047 до 3,764±0,005. Увеличение погрешностей стандартов 2017 объясняется тем, что как пред-оценённые данные в оценке стандартов 2017 года использовались тепловые константы Акстона [15], полученные из анализа только данных при энергии 0,0253 эВ (микроскопические константы). При получении стандартов 2006 использовалась пред-оценённые данные Акстона, включающие макроскопические данные (сечения и константы, усреднённые по спектру тепловых нейтронов).

**Учёт непризнанных (неизвестных) систематических погрешностей**

Погрешности, полученные при объединённом описании стандартов нейтронных сечений, рассматриваются многими как заниженные. При этом под погрешностями понимают только значения, представленные диагональными элементами ковариационной матрицы погрешностей (полная абсолютная погрешность, полная относительная погрешность, полная процентная погрешность). Известно, что использование безмодельного описания, или описаний в различных модельных подходах, существенно перераспределяют погрешности между диагональными и недиагональными элементами. В частности, использование любой модели, обладающей внутренними связями (корреляциями) между параметрами, существенно уменьшает значения диагональных элементов ковариационной матрицы, и увеличивают значения недиагональных элементов.

Основными пользователями стандартов являются экспериментаторы, измеряющие сечения относительно удобных стандартных реакций. Для получения абсолютных сечений, они используют приведённые сечения стандартов и полные погрешности, представленные элементами, расположенными на диагонали ковариационной матрицы. Для того чтобы сделать в этом случае оценку погрешности стандартов более реалистичной, было принято решение, добавить к полной погрешности компоненту, представляющую собой непризнанную (неизвестную) систематическую погрешность результатов измерений, используемых в оценке.

На рисунке 19 показано распределение отклонений нормировочных коэффициентов экспериментальных данных от результатов оценки. Экспериментальные данные представлены результатами абсолютных измерений сечений деления для 235U, 238U, 239Pu и их отношений. Нормировочные коэффициенты не используются при описании, а лишь характеризуют средний уровень отклонения данного набора от результатов оценки. При этом данные с различными приписанными погрешностями рассматриваются как равноценные. Очевидно, что любые новые измерения, выполненные в рамках существующих методик без введения новых, неучтённых ранее поправок, приведут лишь к уточнению распределения. Полуширина на полувысоте этого распределения, приведённая к величине стандартного отклонения, и будет характеризовать неизвестную (неучтённую) систематическую погрешность измерений сечения деления. Она близка к средней абсолютной величине отклонений. Это является достаточно грубой оценкой неизвестной (непризнанной, неучтённой) систематической погрешности. Более последовательный математический подход предложен в работах Е. Гая [16,17].



Рисунок 19 – Зависимость числа наборов, попадающих в 1% интервал отклонения значения нормировки набора от окончательной оценки.

В таблице 3 приведены оценки непризнанных (неучтённых) систематических погрешностей, полученных для всех реакций.

Таблица 3 – Оценка непризнанных (неучтённых) систематических погрешностей, полученных для реакций, используемых в объединённом описании стандартов.

|  |  |
| --- | --- |
| Реакция | непризнанная (неучтённая) систематическая погрешность, % |
| H(n,n) | 0,34 |
| Li(n,t) | 0,5 |
| B(n,) | 0,8 |
| C(n,n) | 0,65 |
| Все сечения деления | 1,2 |
| Au(n,) | 1,7 |
| 238U(n,) | 1,7 ниже 1 МэВ и 2,6 выше 1 МэВ |

**Проверка соответствия требованиям стандартов**

Стандарты удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям:

* являются достаточно гладкими функциями; в тех областях, где безмодельное описание стандартов демонстрирует флуктуации на уровне или больше, чем погрешность данных, но эти флуктуации в этой области энергий не являются физическими, проведено сглаживание, практически не меняющее интегрального значения при усреднении по широкому спектру энергий нейтронов;
* обладают достаточно большими сечениями и выходами продуктов реакций удобными для регистрации детекторами;
* при статистическом описании большого числа экспериментальных данных, измеренных различными методами, позволяют получить погрешности оценённых данных от 0,2 до 3 % (без учёта возможных непризнанных компонентов погрешностей).

**Формат представления стандартных справочных данных, его валидация**

Стандартные справочные данные представлены в двух форматах:

* в виде простых текстовых файлов, которые можно использовать для ввода в программы нормировки данных, измеренных относительно стандартов (Приложение 1);
* в файлах в формате ENDF-6, которые хотя и не являются полными (покрывающими весь необходимый для файлов диапазон энергий), но содержат стандартные сечения и ковариационные матрицы погрешностей, которые могут быть использованы при формировании полных файлов общего пользования. В файлах приведены сечения и ковариационные матрицы, полученные в объединённой оценке совместно с реакциями, не являющимися стандартами, а также для стандартных реакций в областях энергии, где они не рекомендованы к использованию в качестве стандартов. Дополнительная, непризнанная компонента погрешности приведена отдельно.

**Выводы и заключение**

Представленная оценка стандартов не решила полностью ряд проблем. В первую очередь, это относится к R-матричной оценке сечений на лёгких ядрах. Методики оценки погрешностей оценённых сечений приводят к их занижению, так как не позволяют, в отличие от метода GMA учесть корреляции, существующие как между погрешностями данных внутри одного набора, так и между различными наборами данных. Новые измерения с регистрацией альфа-частиц в многосеточных ионизационных камерах и кинематическим анализом выходов продуктов реакций изменили значения сечений по сравнению с существовавшими данными, а также результаты оценки таких данных. Отличие стандартов 2017 от стандартов 2006 находится, как правило, в пределах погрешностей данных. Погрешность стандартов захвата и деления нейтронов на тяжёлых ядрах является достаточно реалистичной (0,6 – 3 %), учитывая, что погрешности обладают заметной корреляцией в широком интервале энергий. Введённая дополнительная компонента непризнанной погрешности, основанная на анализе отклонений нормировочных коэффициентов для наборов данных от полученной оценки, вводится как полностью коррелированная погрешность, в то время как развитые методы [16, 17] позволяют построить ковариационную матрицу для этой компоненты.

Детальное описание оценки стандартов 2017 опубликовано в выпуске рецензируемого журнала Nuclear Data Sheets [18], а результаты работы над этапами проекта доступны в препринтах секции ядерных данных МАГАТЭ [19 –22], а также в многочисленных публикациях на международных конференциях.

**Литература**

1. H. Conde, Ed., Nuclear Data Standards for Nuclear Measurements/ 1991 NEANDC/INDC Nuclear Standards File, NEANDC-311 (INDC(SEC-101), NEA OECD, 1992.

https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-sec-0101.pdf.

1. A.D. Carlson, W.P. Poenitz, G.M.Hale, R.W. Peelle, D.C. Dodder, C. Y.Fu, and W. Mannhart, The ENDF/B‑VI Neutron Cross Section Measurement Standards, National Institute of Standards and Technology, NISTIR‑5177, 1993; also ENDF‑351, Brookhaven National Laboratory.
2. International Evaluation of Neutron Cross-Section Standards, STI/PUB/1291, IAEA, Vienna, 2007. <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1291_web.pdf//>
3. A.D. Carlson, V.G. Pronyaev, D.L. Smith et al., International Evaluation of Neutron Cross Section Standards, Nuclear Data Sheets, 110,p. 3215, 2009.
4. W.P. Poenitz, S.E. Aumeier, Simultaneous Evaluation of the Standards and other Cross Sections of Importance for Technology, ANL-NDM-139, 1997.
5. F.-J. Hambsch, I. Ruskov, The 10-B(n,alpha0)/10-B(n,alpha1-gamma) Branching Ratio, NSE, 156, p. 103, 2007.
6. C. Massimi, B. Becker, E. Dupont et al., Neutron capture cross section measurements for 197Aufrom 3.5 to 84 keV at GELINA, EPJ/A, 50, p. 124, 2014.
7. H.I. Kim, C. Paradela, I. Sirakov et al., Neutron capture cross section measurements for 238U in the resonance region at GELINA, EPJ/A,52, p. 170,2016.
8. C. Paradela, M. Calviani, D. Tarrio et al., High-accuracy determination of the 238U/235U fission cross section ratio up to ~ 1 GeV at n\_TOF at CERN, EPJ/CS, 111, p. 02002, 2016.
9. Lederer, N. Colonna, C. Domingo-Pardo et al., 197Au(n,) cross section in the unresolved resonance region, PR/C, 83, p. 034608, 2011.
10. J.L. Ullmann, T. Kawano,T.A. Bredeweg et al., Cross section and gamma-ray spectra for 238U(n,) measured with the DANCE detector array at the Los Alamos Neutron Science Center, PR/C, 89, p. 034603, 2014.
11. F. Tovesson, A. Laptev, T.S. Hill et al., Fast Neutron-Induced Fission Cross Sections of 233, 234, 236, 238U up to 200 MeV, NSE, 178, p. 57, 2014.
12. F. Tovesson, T.S. Hill et al., Cross sections for 239Pu(n,f) and 241Pu(n,f) in the range En=0.01 eV to 200 MeV, NSE, 165, p. 224, 2010.
13. Collaborative International Evaluated Library Organisation, Pilot Project WPEC Subgroup 40 (SG40) - CIELO Pilot Project, NEA OECD, 2013 – present. https://www.oecd-nea.org/science/wpec/sg40-cielo/.
14. E.J. Axton, Evaluation of the Thermal Constants of 233U, 235U, 239Pu and 241Pu, and Fission neutron Yield of 252Cf, GE/PH/01/86, JRC, Geel, Belgium, 1986.
15. Е.В. Гай, К проблеме неоднозначности погрешности оценённых ядерных данных, [Вопросы атомной науки и техники, Cер. Ядерные константы, 2007, вып. 1-2, c.45-55](https://vant.ippe.ru/year2007/neutron-constants.html).

<https://vant.ippe.ru/images/pdf/2007/4.pdf>.

1. Е.В. Гай, Некоторые алгоритмы оценки ядерных данных и построения ковариационной матрицы погрешностей, [Вопросы атомной науки и техники. Cер. Ядерные константы, 2007, вып. 1-2, c.56-65](https://vant.ippe.ru/year2007/neutron-constants.html). <https://vant.ippe.ru/images/pdf/2007/5.pdf>.
2. A.D. Carlson, V.G. Pronyaev, R. Capote, G.M. Hale, Z.-P. Chen, I. Duran, F.-J. Hambsch, S. Kunieda, W. Mannhart, B. Marcinkevicius, R.O. Nelson, D. Neudecker, G. Noguere, M. Paris, S. Simakov, P. Schillebeeckx, D.L. Smith, X. Tao, A. Trkov, A. Wallner, and W. Wang, Nuclear Data Sheets, vol. 147, p. 143, 2018.
3. V.G. Pronyaev and A. Mengoni and A.D. Carlson, **International Neutron Cross-Section Standards: Measurements and Evaluation Techniques Summary Report Consultant's Meeting, 13 - 15 October 2008,** [**INDC(NDS)-0540**](https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0540/), 2008. <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0540/>.
4. V. Pronyaev, A. Carlson, R. Capote Noy et al., **Summary Report from the Consultants' Meeting on International Cross-Section Standards: Extending and Updating,** [**INDC(NDS)-0583**](https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0583/), 2011. <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0583/>.
5. V.G. Pronyaev, A.D. Carlson and R. Capote Noy, Toward a New Evaluation of Neutron Standards, [**INDC(NDS)-0641**](https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0641/), 2013. <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0641/>.
6. V.G. Pronyaev, A.D. Carlson, R. Capote Noy, Current Status of Neutron Standards, [**INDC(NDS)-0677**](https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0677/), 2015. <https://www-nds.iaea.org/publications/indc/indc-nds-0677/>.

**Приложение А**

**Стандартные данные для нейтронных сечений (оценка 2017 года) в табличном формате**

**Реакция 1H(n,n)1H = 1H(n,p)n**

Оценка стандартного сечения упругого рассеяния нейтронов на водороде 1H(n,n) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2016 году Джеральдом Хейлом (G.Hale, LANL, USA) в рамках проекта МАГАТЭ с использованием R-матричного описания (программа EDA) всех имеющихся экспериментальных данных для реакций, ведущих к образованию составной системы 2H. Приведены только некоррелированные по энергии погрешности для интегрального сечения упругого рассеяния, которые представляют некоррелированную по энергии компоненту погрешности для упругого рассеяния при всех углах для данной энергии. Погрешности формы угловых распределений, определяемые ковариационной матрицей погрешностей коэффициентов Лежандра для разложения углового распределения при данной энергии, отсутствуют. Известно, что относительные погрешности угловых распределений, особенно под задними углами, существенно превышают погрешности интегральных сечений (сечений нормировки упругого рассеяния). Считается первичным стандартом, относительно которого определяются другие стандарты. Рекомендуется использовать lin-lin (линейную в линейных шкалах энергии и сечения) интерполяцию сечений для всех энергий нейтронов. Погрешность включает доверительный интервал, построенный для ковариационной матрицы R-матричного описания и 0,34% непризнанной систематической погрешности. Ковариационная матрица погрешности приведена в файле данных в формате ENDF-6.

Таблица А.1 – Интегральное сечение упругого рассеяния нейтронов на водороде – 1H(n,n)1H

**Энергия Сечение Погрешность**

**нейтронов**

**(лаб. система)**

**МэВ барн %**

**2.00E-03 20.171 0.82**

**4.00E-03 19.913 0.81**

**6.00E-03 19.663 0.80**

**8.00E-03 19.420 0.79**

**1.00E-02 19.184 0.78**

**2.00E-02 18.096 0.74**

**4.00E-02 16.296 0.67**

**6.00E-02 14.868 0.61**

**8.00E-02 13.707 0.57**

**1.00E-01 12.744 0.53**

**1.50E-01 10.925 0.47**

**2.00E-01 9.645 0.44**

**3.00E-01 7.954 0.40**

**4.00E-01 6.879 0.38**

**5.00E-01 6.128 0.37**

**6.00E-01 5.569 0.36**

**7.00E-01 5.135 0.36**

**8.00E-01 4.785 0.36**

**9.00E-01 4.495 0.35**

**1.00E+00 4.249 0.35**

**1.20E+00 3.854 0.35**

**1.40E+00 3.546 0.35**

**1.60E+00 3.296 0.36**

**1.80E+00 3.087 0.36**

**2.00E+00 2.908 0.36**

**2.20E+00 2.753 0.36**

**2.40E+00 2.617 0.36**

**2.60E+00 2.495 0.37**

**2.80E+00 2.386 0.37**

**3.00E+00 2.287 0.37**

**3.20E+00 2.196 0.38**

**3.40E+00 2.113 0.38**

**3.60E+00 2.037 0.38**

**3.80E+00 1.966 0.38**

**4.00E+00 1.900 0.39**

**4.20E+00 1.838 0.39**

**4.40E+00 1.781 0.39**

**4.60E+00 1.726 0.40**

**4.80E+00 1.676 0.40**

**5.00E+00 1.628 0.40**

**6.00E+00 1.423 0.41**

**7.00E+00 1.263 0.42**

**7.50E+00 1.195 0.43**

**8.00E+00 1.133 0.43**

**8.50E+00 1.077 0.43**

**9.00E+00 1.027 0.43**

**9.50E+00 0.980 0.43**

**1.00E+01 0.937 0.43**

**1.05E+01 0.897 0.43**

**1.10E+01 0.861 0.43**

**1.15E+01 0.827 0.43**

**1.20E+01 0.795 0.43**

**1.25E+01 0.765 0.43**

**1.30E+01 0.738 0.42**

**1.35E+01 0.712 0.42**

**1.40E+01 0.688 0.42**

**1.45E+01 0.665 0.42**

**1.50E+01 0.643 0.42**

**1.55E+01 0.623 0.42**

**1.60E+01 0.604 0.42**

**1.65E+01 0.586 0.42**

**1.70E+01 0.568 0.42**

**1.75E+01 0.552 0.42**

**1.80E+01 0.537 0.42**

**1.85E+01 0.522 0.43**

**1.90E+01 0.508 0.43**

**1.95E+01 0.495 0.44**

**2.00E+01 0.482 0.44**

Угловые распределения реакции упругого рассеяния 1H(n,n) в представлении разложения по коэффициентам при полиномах Лежандра в системе центра масс. Для перевода в лабораторную систему рекомендуется использовать релятивистскую кинематику. Относительная (процентная) погрешность угловых распределений определяется погрешностью интегрального сечения при данной энергии и является одинаковой для всех углов при данной энергии.

Таблица А.2 – Стандартное дифференциальное сечение упругого рассеяния нейтронов на водороде представленное в виде относительных коэффициентов разложения по полиномам Лежандра в системе центра масс

**Энергия a1 a2 a3 a4 a5 a6**

**нейтронов**

**(лаб. система)**

**МэВ**

**1.0000e-3 -1.162020-6 7.15456-13 1.20195-15 -5.65493-16 4.56038-16 -2.66943-16**

**2.0000e-3 -2.320802-6 2.72456-12 1.90331-15 -1.13116-15 9.60470-16 -5.83924-16**

**3.0000e-3 -3.476361-6 5.80892-12 1.74346-15 -1.70506-15 1.39070-15 -8.66158-16**

**4.0000e-3 -4.628714-6 9.75160-12 7.94438-17 -2.28184-15 1.85661-15 -1.16678-15**

**5.0000e-3 -5.777875-6 1.43367-11 -3.40257-15 -2.84425-15 2.28665-15 -1.45759-15**

**6.0000e-3 -6.923857-6 1.93496-11 -9.25094-15 -3.44854-15 2.78001-15 -1.75469-15**

**7.0000e-3 -8.066676-6 2.45766-11 -1.80057-14 -3.97734-15 3.20956-15 -2.04302-15**

**8.0000e-3 -9.206345-6 2.98054-11 -3.01243-14 -4.56079-15 3.66379-15 -2.32925-15**

**9.0000e-3 -1.034288-5 3.48246-11 -4.60673-14 -5.14706-15 4.11348-15 -2.62855-15**

**1.0000e-2 -1.147629-5 3.94240-11 -6.63724-14 -5.69869-15 4.56174-15 -2.91453-15**

**1.2000e-2 -1.373380-5 4.65283-11 -1.22227-13 -6.85288-15 5.44506-15 -3.51744-15**

**1.4000e-2 -1.597899-5 4.94588-11 -2.01684-13 -7.95874-15 6.35639-15 -4.08507-15**

**1.6000e-2 -1.821196-5 4.65737-11 -3.09092-13 -9.05592-15 7.22570-15 -4.67793-15**

**1.8000e-2 -2.043283-5 3.62483-11 -4.48712-13 -1.01537-14 8.11659-15 -5.23924-15**

**2.0000e-2 -2.264169-5 1.68751-11 -6.24962-13 -1.12342-14 8.98702-15 -5.79263-15**

**2.2000e-2 -2.483865-5 -1.31366-11 -8.42324-13 -1.23277-14 9.87281-15 -6.36139-15**

**2.4000e-2 -2.702382-5 -5.53608-11 -1.10529-12 -1.33897-14 1.07183-14 -6.92741-15**

**2.6000e-2 -2.919730-5 -1.11355-10 -1.41865-12 -1.44503-14 1.16047-14 -7.48253-15**

**2.8000e-2 -3.135918-5 -1.82660-10 -1.78685-12 -1.54786-14 1.24469-14 -8.05233-15**

**3.0000e-2 -3.350958-5 -2.70802-10 -2.21490-12 -1.64988-14 1.32779-14 -8.59465-15**

**3.5000e-2 -3.883596-5 -5.74681-10 -3.57852-12 -1.90294-14 1.54153-14 -9.97470-15**

**4.0000e-2 -4.409267-5 -1.016332-9 -5.42402-12 -2.14051-14 1.75016-14 -1.13023-14**

**4.5000e-2 -4.928122-5 -1.618313-9 -7.83201-12 -2.36388-14 1.95426-14 -1.26363-14**

**5.0000e-2 -5.440306-5 -2.402603-9 -1.08859-11 -2.56756-14 2.15653-14 -1.39521-14**

**5.5000e-2 -5.945963-5 -3.390617-9 -1.46714-11 -2.74934-14 2.35905-14 -1.52465-14**

**6.0000e-2 -6.445230-5 -4.603223-9 -1.92771-11 -2.89971-14 2.55568-14 -1.65544-14**

**6.5000e-2 -6.938244-5 -6.060758-9 -2.47937-11 -3.02566-14 2.75327-14 -1.77913-14**

**7.0000e-2 -7.425139-5 -7.783040-9 -3.13146-11 -3.10564-14 2.94591-14 -1.90442-14**

**7.5000e-2 -7.906043-5 -9.789385-9 -3.89353-11 -3.13643-14 3.13730-14 -2.03028-14**

**8.0000e-2 -8.381084-5 -1.209862-8 -4.77535-11 -3.11830-14 3.31893-14 -2.14958-14**

**8.5000e-2 -8.850385-5 -1.472910-8 -5.78693-11 -3.03251-14 3.50796-14 -2.27158-14**

**9.0000e-2 -9.314068-5 -1.769871-8 -6.93847-11 -2.88279-14 3.69310-14 -2.38997-14**

**9.5000e-2 -9.772252-5 -2.102490-8 -8.24038-11 -2.64819-14 3.87081-14 -2.50416-14**

**1.0000e-1 -1.022505-4 -2.472465-8 -9.70327-11 -2.31553-14 4.04868-14 -2.62146-14**

**1.1000e-1 -1.111495-4 -3.331078-8 -1.31554-10 -1.33051-14 4.40083-14 -2.85057-14**

**1.2000e-1 -1.198464-4 -4.358478-8 -1.73834-10 1.81491-15 4.74578-14 -3.07288-14**

**1.3000e-1 -1.283496-4 -5.566809-8 -2.24788-10 2.34530-14 5.08149-14 -3.28943-14**

**1.4000e-1 -1.366672-4 -6.967613-8 -2.85357-10 5.29696-14 5.40996-14 -3.50124-14**

**1.5000e-1 -1.448067-4 -8.571871-8 -3.56506-10 9.19190-14 5.72977-14 -3.70889-14**

**1.6000e-1 -1.527756-4 -1.039003-7 -4.39226-10 1.42079-13 6.04493-14 -3.91015-14**

**1.7000e-1 -1.605810-4 -1.243201-7 -5.34528-10 2.05327-13 6.35257-14 -4.10940-14**

**1.8000e-1 -1.682296-4 -1.470727-7 -6.43445-10 2.83822-13 6.65596-14 -4.30240-14**

**1.9000e-1 -1.757278-4 -1.722479-7 -7.67030-10 3.79850-13 6.95286-14 -4.49126-14**

**2.0000e-1 -1.830820-4 -1.999313-7 -9.06354-10 4.96011-13 7.24668-14 -4.67556-14**

**2.2000e-1 -1.973816-4 -2.631439-7 -1.236595-9 7.99758-13 7.82016-14 -5.03458-14**

**2.4000e-1 -2.111735-4 -3.373146-7 -1.643075-9 1.21966-12 8.37970-14 -5.37851-14**

**2.6000e-1 -2.244990-4 -4.229897-7 -2.134942-9 1.78404-12 8.93639-14 -5.70931-14**

**2.8000e-1 -2.373966-4 -5.206634-7 -2.721555-9 2.52502-12 9.48876-14 -6.02762-14**

**3.0000e-1 -2.499016-4 -6.307819-7 -3.412460-9 3.47882-12 1.00489-13 -6.33224-14**

**3.2000e-1 -2.620469-4 -7.537477-7 -4.217375-9 4.68587-12 1.06214-13 -6.62852-14**

**3.4000e-1 -2.738630-4 -8.899236-7 -5.146165-9 6.19084-12 1.12159-13 -6.91361-14**

**3.6000e-1 -2.853780-4 -1.039636-6 -6.208828-9 8.04300-12 1.18442-13 -7.18778-14**

**3.8000e-1 -2.966183-4 -1.203178-6 -7.415482-9 1.02962-11 1.25174-13 -7.45254-14**

**4.0000e-1 -3.076081-4 -1.380812-6 -8.776345-9 1.30090-11 1.32454-13 -7.70889-14**

**4.2000e-1 -3.183702-4 -1.572772-6 -1.030173-8 1.62449-11 1.40501-13 -7.95733-14**

**4.4000e-1 -3.289258-4 -1.779266-6 -1.200203-8 2.00725-11 1.49399-13 -8.19664-14**

**4.6000e-1 -3.392946-4 -2.000479-6 -1.388771-8 2.45654-11 1.59389-13 -8.42941-14**

**4.8000e-1 -3.494949-4 -2.236572-6 -1.596929-8 2.98026-11 1.70661-13 -8.65420-14**

**5.0000e-1 -3.595440-4 -2.487689-6 -1.825734-8 3.58684-11 1.83457-13 -8.87292-14**

**5.5000e-1 -3.841076-4 -3.181972-6 -2.495062-8 5.52610-11 2.23787-13 -9.38422-14**

**6.0000e-1 -4.080469-4 -3.972346-6 -3.316775-8 8.19679-11 2.79972-13 -9.85255-14**

**6.5000e-1 -4.315517-4 -4.859717-6 -4.307654-8 1.17777-10 3.57923-13 -1.02759-13**

**7.0000e-1 -4.547834-4 -5.844524-6 -5.484526-8 1.64717-10 4.64886-13 -1.06422-13**

**7.5000e-1 -4.778799-4 -6.926807-6 -6.864221-8 2.25063-10 6.09670-13 -1.09479-13**

**8.0000e-1 -5.009592-4 -8.106276-6 -8.463549-8 3.01353-10 8.02695-13 -1.11759-13**

**8.5000e-1 -5.241224-4 -9.382358-6 -1.029927-7 3.96388-10 1.05638-12 -1.13095-13**

**9.0000e-1 -5.474563-4 -1.075425-5 -1.238806-7 5.13248-10 1.38518-12 -1.13248-13**

**9.5000e-1 -5.710355-4 -1.222092-5 -1.474653-7 6.55297-10 1.80581-12 -1.11901-13**

**1.0000e+0 -5.949241-4 -1.378120-5 -1.739117-7 8.26192-10 2.33759-12 -1.08658-13**

**1.1000e+0 -6.438425-4 -1.717710-5 -2.360433-7 1.270662-9 3.82498-12 -9.46691-14**

**1.2000e+0 -6.945653-4 -2.092982-5 -3.115701-7 1.882080-9 6.05917-12 -6.64083-14**

**1.3000e+0 -7.473521-4 -2.502567-5 -4.017639-7 2.701052-9 9.30571-12 -1.72235-14**

**1.4000e+0 -8.023906-4 -2.944984-5 -5.078719-7 3.773611-9 1.38914-11 6.18766-14**

**1.5000e+0 -8.598134-4 -3.418663-5 -6.311154-7 5.151432-9 2.02118-11 1.82739-13**

**1.6000e+0 -9.197107-4 -3.921969-5 -7.726886-7 6.892053-9 2.87395-11 3.60427-13**

**1.7000e+0 -9.821394-4 -4.453217-5 -9.337580-7 9.059075-9 4.00319-11 6.14177-13**

**1.8000e+0 -1.047130-3 -5.010688-5 -1.115462-6 1.172236-8 5.47398-11 9.67731-13**

**1.9000e+0 -1.114694-3 -5.592634-5 -1.318910-6 1.495823-8 7.36160-11 1.45037-12**

**2.0000e+0 -1.184825-3 -6.197290-5 -1.545183-6 1.884963-8 9.75237-11 2.09769-12**

**2.2000e+0 -1.332704-3 -7.467609-5 -2.070384-6 2.896495-8 1.64494-10 4.06558-12**

**2.4000e+0 -1.490512-3 -8.807343-5 -2.699131-6 4.287077-8 2.65110-10 7.31839-12**

**2.6000e+0 -1.657886-3 -1.020217-4 -3.439029-6 6.148568-8 4.11178-10 1.24706-11**

**2.8000e+0 -1.834403-3 -1.163783-4 -4.297226-6 8.584875-8 6.17152-10 2.03452-11**

**3.0000e+0 -2.019599-3 -1.310016-4 -5.280414-6 1.171233-7 9.00424-10 3.20204-11**

**3.2000e+0 -2.212991-3 -1.457513-4 -6.394844-6 1.566001-7 1.281627-9 4.88819-11**

**3.4000e+0 -2.414087-3 -1.604889-4 -7.646330-6 2.057005-7 1.784923-9 7.26818-11**

**3.6000e+0 -2.622393-3 -1.750776-4 -9.040262-6 2.659783-7 2.438297-9 1.05604-10**

**3.8000e+0 -2.837417-3 -1.893824-4 -1.058161-5 3.391218-7 3.273828-9 1.50334-10**

**4.0000e+0 -3.058676-3 -2.032704-4 -1.227496-5 4.269555-7 4.327968-9 2.10138-10**

**4.2000e+0 -3.285696-3 -2.166107-4 -1.412449-5 5.314405-7 5.641793-9 2.88951-10**

**4.4000e+0 -3.518013-3 -2.292743-4 -1.613402-5 6.546753-7 7.261251-9 3.91462-10**

**4.6000e+0 -3.755174-3 -2.411346-4 -1.830698-5 7.988960-7 9.237388-9 5.23218-10**

**4.8000e+0 -3.996738-3 -2.520669-4 -2.064650-5 9.664757-7 1.162656-8 6.90730-10**

**5.0000e+0 -4.242277-3 -2.619485-4 -2.315533-5 1.159924-6 1.449061-8 9.01584-10**

**5.2000e+0 -4.491374-3 -2.706590-4 -2.583595-5 1.381884-6 1.789708-8 1.164564-9**

**5.4000e+0 -4.743623-3 -2.780801-4 -2.869050-5 1.635136-6 2.191928-8 1.489781-9**

**5.6000e+0 -4.998632-3 -2.840956-4 -3.172087-5 1.922589-6 2.663651-8 1.888806-9**

**5.8000e+0 -5.256019-3 -2.885913-4 -3.492866-5 2.247281-6 3.213405-8 2.374816-9**

**6.0000e+0 -5.515414-3 -2.914554-4 -3.831524-5 2.612380-6 3.850333-8 2.962745-9**

**6.2000e+0 -5.776457-3 -2.925779-4 -4.188175-5 3.021175-6 4.584191-8 3.669441-9**

**6.4000e+0 -6.038800-3 -2.918512-4 -4.562908-5 3.477077-6 5.425349-8 4.513834-9**

**6.6000e+0 -6.302103-3 -2.891697-4 -4.955797-5 3.983612-6 6.384792-8 5.517106-9**

**6.8000e+0 -6.566040-3 -2.844301-4 -5.366896-5 4.544422-6 7.474116-8 6.702880-9**

**7.0000e+0 -6.830292-3 -2.775308-4 -5.796242-5 5.163256-6 8.705515-8 8.097399-9**

**7.5000e+0 -7.490297-3 -2.501897-4 -6.949561-5 6.989730-6 1.249091-7 1.269520-8**

**8.0000e+0 -8.145803-3 -2.072477-4 -8.217097-5 9.266060-6 1.746083-7 1.932885-8**

**8.5000e+0 -8.792596-3 -1.472998-4 -9.598586-5 1.205849-5 2.385068-7 2.867912-8**

**9.0000e+0 -9.426801-3 -6.902659-5 -1.109361-4 1.543614-5 3.191329-7 4.158916-8**

**9.5000e+0 -1.004487-2 2.880446-5 -1.270177-4 1.947040-5 4.191518-7 5.908902-8**

**1.0000e+1 -1.064356-2 1.473377-4 -1.442281-4 2.423436-5 5.413201-7 8.242175-8**

**1.0500e+1 -1.121995-2 2.876282-4 -1.625681-4 2.980216-5 6.884312-7 1.130710-7**

**1.1000e+1 -1.177142-2 4.506402-4 -1.820425-4 3.624842-5 8.632534-7 1.527899-7**

**1.1500e+1 -1.229564-2 6.372463-4 -2.026620-4 4.364756-5 1.068460-6 2.036315-7**

**1.2000e+1 -1.279057-2 8.482258-4 -2.244438-4 5.207324-5 1.306554-6 2.679803-7**

**1.2500e+1 -1.325446-2 1.084264-3 -2.474127-4 6.159778-5 1.579782-6 3.485844-7**

**1.3000e+1 -1.368587-2 1.345951-3 -2.716015-4 7.229158-5 1.890050-6 4.485896-7**

**1.3500e+1 -1.408360-2 1.633782-3 -2.970518-4 8.422266-5 2.238830-6 5.715733-7**

**1.4000e+1 -1.444675-2 1.948155-3 -3.238143-4 9.745618-5 2.627058-6 7.215796-7**

**1.4500e+1 -1.477470-2 2.289372-3 -3.519488-4 1.120541-4 3.055044-6 9.031553-7**

**1.5000e+1 -1.506708-2 2.657640-3 -3.815239-4 1.280747-4 3.522365-6 1.121386-6**

**1.5500e+1 -1.532378-2 3.053070-3 -4.126174-4 1.455727-4 4.027769-6 1.381933-6**

**1.6000e+1 -1.554496-2 3.475677-3 -4.453150-4 1.645984-4 4.569070-6 1.691070-6**

**1.6500e+1 -1.573101-2 3.925383-3 -4.797104-4 1.851985-4 5.143058-6 2.055720-6**

**1.7000e+1 -1.588255-2 4.402021-3 -5.159036-4 2.074152-4 5.745397-6 2.483493-6**

**1.7500e+1 -1.600045-2 4.905330-3 -5.540007-4 2.312868-4 6.370542-6 2.982727-6**

**1.8000e+1 -1.608578-2 5.434964-3 -5.941119-4 2.568478-4 7.011651-6 3.562518-6**

**1.8500e+1 -1.613981-2 5.990493-3 -6.363509-4 2.841290-4 7.660509-6 4.232764-6**

**1.9000e+1 -1.616401-2 6.571401-3 -6.808325-4 3.131579-4 8.307460-6 5.004201-6**

**1.9500e+1 -1.616003-2 7.177100-3 -7.276719-4 3.439591-4 8.941345-6 5.888439-6**

**2.0000e+1 -1.612968-2 7.806923-3 -7.769820-4 3.765550-4 9.549454-6 6.898001-6**

Сечения реакции 1H(n,p) под углами вылета протонов в 0 и 30 градусов в лабораторной системе координат. Относительная (процентная) погрешность сечений под данным углом определяется погрешностью интегрального сечения при данной энергии и является одинаковой для всех углов при данной энергии.

Таблица А.3 – Стандартное дифференциальное сечение упругого рассеяния нейтронов на водороде под углами 0 и 30 градусов в лабораторной системе координат

**Энергия Сечение Сечение**

**нейтронов под 0 град. под 30 град**

**МэВ барн/стер барн/стер**

**0.001500 6.4415 5.5780**

**0.002500 6.3999 5.5420**

**0.003500 6.3590 5.5065**

**0.004500 6.3186 5.4716**

**0.005500 6.2789 5.4371**

**0.006500 6.2397 5.4032**

**0.007500 6.2010 5.3697**

**0.008500 6.1629 5.3367**

**0.009500 6.1253 5.3042**

**0.015000 5.9278 5.1331**

**0.020000 5.7606 4.9882**

**0.024000 5.6344 4.8789**

**0.030000 5.4567 4.7250**

**0.045000 5.0649 4.3856**

**0.055000 4.8382 4.1893**

**0.065000 4.6343 4.0127**

**0.075000 4.4500 3.8530**

**0.085000 4.2823 3.7078**

**0.095000 4.1293 3.5753**

**0.100000 4.0577 3.5132**

**0.12000 3.7992 3.2893**

**0.15000 3.4790 3.0120**

**0.17000 3.3003 2.8572**

**0.18000 3.2194 2.7871**

**0.19000 3.1433 2.7213**

**0.20000 3.0718 2.6593**

**0.21000 3.0043 2.6008**

**0.22000 2.9405 2.5456**

**0.23000 2.8802 2.4933**

**0.23500 2.8512 2.4682**

**0.24000 2.8230 2.4438**

**0.24500 2.7955 2.4200**

**0.25000 2.7687 2.3968**

**0.26000 2.7171 2.3521**

**0.27000 2.6679 2.3095**

**0.28000 2.6211 2.2689**

**0.30000 2.5337 2.1940**

**0.32500 2.4348 2.1083**

**0.35000 2.3457 2.0311**

**0.37500 2.2650 1.9612**

**0.40000 2.1915 1.8976**

**0.42500 2.1243 1.8393**

**0.45000 2.0633 1.7857**

**0.47500 2.0062 1.7363**

**0.50000 1.9534 1.6906**

**0.52000 1.9139 1.6563**

**0.54000 1.8765 1.6240**

**0.57000 1.8241 1.5786**

**0.60000 1.7757 1.5367**

**0.65000 1.7025 1.4733**

**0.70000 1.6373 1.4168**

**0.75000 1.5788 1.3661**

**0.80000 1.5258 1.3203**

**0.85000 1.4776 1.2786**

**0.90000 1.4335 1.2404**

**0.94000 1.4008 1.2120**

**0.96000 1.3853 1.1986**

**0.98000 1.3702 1.1855**

**1.0000 1.3555 1.1728**

**1.1000 1.2884 1.1146**

**1.2500 1.2031 1.0408**

**1.4000 1.1317 0.97889**

**1.6000 1.0526 0.90999**

**1.8000 0.98617 0.85278**

**2.0000 0.92952 0.80368**

**2.2000 0.88034 0.76104**

**2.4000 0.83739 0.72349**

**2.6000 0.79882 0.69005**

**2.8000 0.76416 0.66021**

**3.0000 0.73277 0.63296**

**3.6000 0.65394 0.56425**

**4.0000 0.61069 0.52666**

**4.5000 0.56466 0.48658**

**4.7000 0.54813 0.47218**

**5.0000 0.52533 0.45230**

**5.3000 0.50421 0.43388**

**5.5000 0.49125 0.42241**

**5.8000 0.47277 0.40628**

**6.0000 0.46120 0.39632**

**6.2000 0.45037 0.38670**

**6.5000 0.43480 0.37308**

**7.0000 0.41109 0.35233**

**7.5000 0.38996 0.33367**

**7.7500 0.38011 0.32514**

**8.0000 0.37089 0.31691**

**8.5000 0.35343 0.30167**

**9.0000 0.33766 0.28765**

**10.000 0.30969 0.26294**

**11.000 0.28603 0.24193**

**11.500 0.27555 0.23258**

**12.000 0.26590 0.22386**

**13.000 0.24813 0.20793**

**14.000 0.23265 0.19397**

**14.500 0.22566 0.18762**

**15.000 0.21917 0.**18163

**16.000 0.20695 0.17048**

**17.000 0.19611 0.16050**

**18.000 0.18639 0.15148**

**19.000 0.17763 0.14327**

**20.000 0.16976 0.13574**

**Реакция 6Li(n,t)**

Оценка стандартного сечения **6**Li(n,t) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2017 году Джеральдом Хейлом (программа EDA, G.Hale, LANL, USA) и Женпенг Ченом (программа RAC, Zhenpeng Chen, Tsinghua University, China) в рамках проекта МАГАТЭ с использованием R-матричного описания всех имеющихся экспериментальных данных для реакций, ведущих к образованию составной системы 3-Li-7. Результаты оценок отличались в первую очередь из-за разного учёта погрешностей экспериментальных данных в статистическом описании. Как результат R-матричного описания, была выбрано простое арифметическое среднее между описаниями EDA и RAC, а ковариационная матрица погрешности полученная, при R-матричном описании программой RAC была добавлена компонента учитывающая разность между двумя описаниями. Оценка стандарта была получена объединённым описанием с другими сечениями программой GMA, результата R-матричного описания, использованного как псевдо-экспериментальный набор данных. На последнем этапе, для получения гладкой оценки в любом количестве точек по энергии, было проведено R-матричное описание результатов GMA с использованием программы EDA. Рекомендуется использовать log-log (линейную в логарифмических шкалах энергии-сечения) интерполяцию сечений до энергии в 85 кэВ и lin-lin (линейную в линейных шкалах энергии и сечения) интерполяцию сечений для энергий выше 85 кэВ. Погрешность включает 0,5% непризнанной систематической компоненты погрешности.

Таблица А.4 – Стандартное сечение реакции 6Li(n,t)

**Энергия Сечение Погрешность**

**нейтронов**

**(лаб. сис.)**

**МэВ барн %**

**2.53E-08 937.998 0.51**

**9.40E-06 48.636 0.51**

**1.50E-04 12.157 0.51**

**2.50E-04 9.412 0.51**

**3.50E-04 7.951 0.51**

**4.50E-04 7.010 0.51**

**5.50E-04 6.339 0.51**

**6.50E-04 5.830 0.51**

**7.50E-04 5.427 0.51**

**8.50E-04 5.097 0.51**

**9.50E-04 4.820 0.51**

**1.50E-03 3.834 0.51**

**2.50E-03 2.969 0.51**

**3.50E-03 2.509 0.51**

**4.50E-03 2.214 0.51**

**5.50E-03 2.004 0.51**

**6.50E-03 1.844 0.51**

**7.50E-03 1.718 0.51**

**8.50E-03 1.616 0.51**

**9.50E-03 1.530 0.51**

**1.50E-02 1.226 0.52**

**2.00E-02 1.070 0.52**

**2.40E-02 0.984 0.53**

**3.00E-02 0.891 0.54**

**4.50E-02 0.755 0.59**

**5.50E-02 0.705 0.63**

**6.50E-02 0.673 0.67**

**7.50E-02 0.654 0.71**

**8.50E-02 0.646 0.75**

**9.50E-02 0.649 0.80**

**1.00E-01 0.654 0.82**

**1.20E-01 0.702 0.91**

**1.50E-01 0.893 1.0**

**1.70E-01 1.161 1.1**

**1.80E-01 1.366 1.1**

**1.90E-01 1.635 1.1**

**2.00E-01 1.976 1.1**

**2.10E-01 2.380 1.2**

**2.20E-01 2.794 1.3**

**2.30E-01 3.115 1.5**

**2.35E-01 3.201 1.6**

**2.40E-01 3.224 1.7**

**2.45E-01 3.183 1.7**

**2.50E-01 3.085 1.7**

**2.60E-01 2.771 1.7**

**2.70E-01 2.395 1.6**

**2.80E-01 2.038 1.5**

**3.00E-01 1.485 1.3**

**3.25E-01 1.062 1.1**

**3.50E-01 0.817 1.1**

**3.75E-01 0.667 1.1**

**4.00E-01 0.569 1.1**

**4.25E-01 0.502 1.1**

**4.50E-01 0.453 1.1**

**4.75E-01 0.416 1.1**

**5.00E-01 0.388 1.1**

**5.20E-01 0.369 1.1**

**5.40E-01 0.354 1.1**

**5.70E-01 0.335 1.1**

**6.00E-01 0.319 1.1**

**6.50E-01 0.300 1.0**

**7.00E-01 0.285 1.0**

**7.50E-01 0.274 1.0**

**8.00E-01 0.266 1.0**

**8.50E-01 0.259 1.0**

**9.00E-01 0.253 1.0**

**9.40E-01 0.249 1.0**

**9.60E-01 0.248 1.0**

**9.80E-01 0.246 1.0**

**1.00E+00 0.245 1.0**

**Реакции10B(n,1) и10B(n,)**

Оценка стандартных сечений 10B(n,1) и 10B(n,) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2017 году Джеральдом Хейлом (программа EDA, G. Hale, LANL, USA) и Женпенг Ченом (программа RAC, Zhenpeng Chen, Tsinghua University, China) в рамках проекта МАГАТЭ с использованием R-матричного описания всех имеющихся экспериментальных данных для реакций, идущих с образованием составной системы 11B. Результаты оценок отличались в первую очередь из-за разного учёта погрешностей экспериментальных данных в статистическом описании. В качестве оценки было выбрано описание EDA, так как в описании RAC, с итерационным изменением систематической компоненты погрешности экспериментальных данных, прослеживалась неустойчивость в получении оценённого значения. Оценка стандарта была получена совместным описанием с другими сечениями при использовании программы GMA, где результат R-матричного описания рассматривался как псевдо-экспериментальный набор данных. На последнем этапе, для получения гладкой оценки в любом количестве точек по энергии, было проведено R-матричное описание результатов GMA с использованием программы EDA. Рекомендуется использовать log-log интерполяционную схему (линейную интерполяцию в логарифмических шкалах по энергии и сечениям) во всей области энергий, рекомендованной к использованию в качестве стандартов (0,0253 эВ - 1 МэВ). Погрешность включает 0.8% непризнанной систематической погрешности.

Таблица А.5 – Стандартные сечение реакций 10B(n,1) и 10B(n,)

**Энергия, Сечение, Погрешность, Сечение, Погрешность,**

**(лаб. сист.) 10B(n,a1) 10B(n,a1) 10B(n,a) 10B(n,a)**

**МэВ барн % барн %**

**2.53E-08 3602.029 0.83 3844.121 0.82**

**9.40E-06 186.598 0.83 199.140 0.82**

**1.50E-04 46.504 0.82 49.630 0.82**

**2.50E-04 35.963 0.82 38.379 0.82**

**3.50E-04 30.354 0.82 32.394 0.82**

**4.50E-04 26.740 0.82 28.537 0.82**

**5.50E-04 24.164 0.82 25.787 0.82**

**6.50E-04 22.208 0.82 23.700 0.82**

**7.50E-04 20.658 0.82 22.046 0.82**

**8.50E-04 19.391 0.82 20.693 0.82**

**9.50E-04 18.329 0.82 19.561 0.82**

**1.50E-03 14.542 0.82 15.519 0.82**

**2.50E-03 11.219 0.82 11.972 0.82**

**3.50E-03 9.454 0.82 10.089 0.82**

**4.50E-03 8.319 0.82 8.877 0.82**

**5.50E-03 7.511 0.82 8.015 0.82**

**6.50E-03 6.898 0.83 7.362 0.82**

**7.50E-03 6.414 0.83 6.845 0.83**

**8.50E-03 6.018 0.83 6.423 0.83**

**9.50E-03 5.688 0.84 6.070 0.83**

**1.50E-02 4.515 0.87 4.819 0.86**

**2.00E-02 3.908 0.90 4.172 0.89**

**2.40E-02 3.570 0.92 3.812 0.91**

**3.00E-02 3.199 0.95 3.417 0.94**

**4.50E-02 2.634 1.0 2.815 0.98**

**5.50E-02 2.400 1.0 2.567 1.0**

**6.50E-02 2.225 1.0 2.381 1.0**

**7.50E-02 2.088 1.1 2.237 1.0**

**8.50E-02 1.977 1.1 2.121 1.1**

**9.50E-02 1.885 1.2 2.025 1.1**

**1.00E-01 1.845 1.2 1.983 1.1**

**1.20E-01 1.707 1.3 1.842 1.3**

**1.50E-01 1.545 1.4 1.680 1.3**

**1.70E-01 1.450 1.4 1.587 1.3**

**1.80E-01 1.404 1.4 1.542 1.3**

**1.90E-01 1.357 1.3 1.497 1.2**

**2.00E-01 1.311 1.3 1.452 1.2**

**2.10E-01 1.265 1.2 1.407 1.2**

**2.20E-01 1.219 1.2 1.361 1.1**

**2.30E-01 1.172 1.2 1.316 1.1**

**2.35E-01 1.149 1.2 1.293 1.1**

**2.40E-01 1.127 1.2 1.270 1.1**

**2.45E-01 1.104 1.2 1.247 1.2**

**2.50E-01 1.082 1.2 1.225 1.2**

**2.60E-01 1.039 1.3 1.181 1.2**

**2.70E-01 0.997 1.3 1.139 1.2**

**2.80E-01 0.958 1.4 1.099 1.3**

**3.00E-01 0.887 1.4 1.026 1.3**

**3.25E-01 0.813 1.5 0.952 1.4**

**3.50E-01 0.758 1.5 0.899 1.4**

**3.75E-01 0.720 1.6 0.867 1.4**

**4.00E-01 0.697 1.7 0.855 1.5**

**4.25E-01 0.684 1.7 0.857 1.5**

**4.50E-01 0.671 1.6 0.860 1.4**

**4.75E-01 0.648 1.6 0.847 1.4**

**5.00E-01 0.605 1.6 0.806 1.4**

**5.20E-01 0.561 1.5 0.755 1.3**

**5.40E-01 0.512 1.5 0.696 1.3**

**5.70E-01 0.443 1.6 0.609 1.4**

**6.00E-01 0.384 1.6 0.534 1.4**

**6.50E-01 0.310 1.7 0.440 1.4**

**7.00E-01 0.258 1.8 0.375 1.5**

**7.50E-01 0.221 1.8 0.329 1.5**

**8.00E-01 0.192 1.8 0.296 1.6**

**8.50E-01 0.169 1.9 0.270 1.6**

**9.00E-01 0.151 2.0 0.249 1.7**

**9.40E-01 0.138 2.0 0.236 1.9**

**9.60E-01 0.133 2.0 0.230 2.1**

**9.80E-01 0.127 2.3 0.225 2.4**

**1.00E+00 0.122 2.9 0.220 3.0**

**Реакция natC(n,n)**

Угловые распределения сечение упругого рассеяния нейтронов на естественном углероде являются стандартами для измерения сечений в области энергий от 10 эВ до 1,8 МэВ. Оценка основывается на R-матричном описании всех реакций, проходящих с образованием составных ядер 13C и 14C и выполнена Дж. Хейлом (J. Hale, LANL) в 2015 году. Оценка для природного углерода (сечения и погрешности) получена с учётом вклада изотопов в естественную смесь, а именно, 0,9893 для 12С и 0,0107 для 13С.Приведены только некоррелированные по энергии погрешности для интегрального сечения упругого рассеяния, которые представляют некоррелированную по энергии компоненту погрешности для упругого рассеяния при всех углах при данной энергии. Погрешности формы угловых распределений, определяемые ковариационной матрицей погрешности коэффициентов Лежандра для разложения углового распределения при данной энергии, отсутствуют. Известно, что относительные погрешности угловых распределений, особенно под задними углами существенно превышают погрешности интегральных сечений (сечений нормировки упругого рассеяния). Предполагается линейная интерполяция сечений и коэффициентов разложения по полиномам Лежандра в зависимости от энергии нейтронов. Погрешность включает 0,65% непризнанной систематической погрешности.

Таблица А.6 – Стандартные сечение реакций упругого рассеяния нейтронов на природном углероде - natC(n,n)

**Энергия, Сечение, Погрешность,**

**(лаб. сист.)**

**МэВ барн %**

**1.00E-07 4.759 0.71**

**1.00E-05 4.759 0.71**

**1.00E-03 4.755 0.71**

**5.00E-03 4.742 0.71**

**1.00E-02 4.726 0.70**

**2.00E-02 4.692 0.70**

**5.00E-02 4.595 0.70**

**1.00E-01 4.439 0.70**

**1.50E-01 4.304 0.70**

**2.00E-01 4.149 0.69**

**2.50E-01 4.014 0.69**

**3.00E-01 3.886 0.69**

**3.50E-01 3.765 0.69**

**4.00E-01 3.649 0.69**

**4.50E-01 3.538 0.69**

**5.00E-01 3.433 0.68**

**5.50E-01 3.333 0.68**

**6.00E-01 3.237 0.68**

**6.50E-01 3.146 0.68**

**7.00E-01 3.058 0.68**

**7.50E-01 2.974 0.68**

**8.00E-01 2.894 0.68**

**8.50E-01 2.818 0.68**

**9.00E-01 2.744 0.68**

**9.50E-01 2.674 0.68**

**1.00E+00 2.606 0.68**

**1.10E+00 2.479 0.68**

**1.20E+00 2.362 0.68**

**1.30E+00 2.254 0.68**

**1.40E+00 2.154 0.68**

**1.50E+00 2.062 0.69**

**1.60E+00 1.977 0.69**

**1.70E+00 1.899 0.69**

**1.80E+00 1.830 0.69**

Угловые распределения упругого рассеяния нейтронов на углероде представлены относительными коэффициентами разложения по полиномам Лежандра в системе центра масс. Относительная (процентная) погрешность угловых распределений определяется погрешностью интегрального сечения при данной энергии и является одинаковой для всех углов при данной энергии.

Таблица А.7 – Стандартное дифференциальное сечение упругого рассеяния нейтронов на природном углероде, представленное в виде относительных коэффициентов разложения по полиномам Лежандра в системе центра масс

**Энергия a1 a2 a3 a4 a5 a6 а7 а8**

**нейтронов**

**(лаб. сист.)**

**МэВ**

**1.0000e-5 1.785147-6 2.38817-10 2.14210-14 8.32683-16 -4.87872-16 3.03685-16 -3.19116-16 2.33149-16**

**1.0000e-4 1.785281-5 2.386342-9 2.15389-13 8.34158-15 -4.89586-15 3.03959-15 -3.19480-15 2.34107-15**

**1.0000e-3 1.786755-4 2.314302-8 2.82584-12 8.34730-14 -4.90167-14 3.04235-14 -3.19812-14 2.34396-14**

**2.0000e-3 3.579772-4 3.838265-8 7.59423-11 1.34970-13 -9.82217-14 6.09617-14 -6.40827-14 4.69678-14**

**5.0000e-3 8.932158-4 2.634752-7 3.57135-10 2.53625-13 -2.44903-13 1.51926-13 -1.59671-13 1.17094-13**

**1.0000e-2 1.779205-3 1.115034-6 1.222761-9 -3.85703-14 -4.86827-13 3.02030-13 -3.17464-13 2.32849-13**

**2.0000e-2 3.564705-3 3.712279-6 4.916465-8 -1.94242-10 -1.13318-12 6.03880-13 -6.34786-13 4.65636-13**

**5.0000e-2 8.748635-3 2.541518-5 2.478015-7 -1.121622-9 -2.61739-12 1.46741-12 -1.54283-12 1.13192-12**

**1.0000e-1 1.683846-2 1.062391-4 9.457967-7 -8.023388-9 7.00481-12 2.78959-12 -2.91644-12 2.14030-12**

**1.0100e-1 1.698768-2 1.086679-4 9.792604-7 -8.607849-9 8.54010-12 2.81638-12 -2.94093-12 2.15830-12**

**1.0900e-1 1.819864-2 1.279104-4 1.251090-6 -1.334677-8 2.07511-11 3.03397-12 -3.14011-12 2.30471-12**

**1.1700e-1 1.944828-2 1.466435-4 1.527969-6 -1.819235-8 3.27543-11 3.25901-12 -3.34670-12 2.45656-12**

**1.2500e-1 2.075771-2 1.645331-4 1.803912-6 -2.312236-8 4.43606-11 3.49538-12 -3.56480-12 2.61684-12**

**1.3300e-1 2.218091-2 1.813385-4 2.064433-6 -2.806058-8 5.51454-11 3.75250-12 -3.80424-12 2.79277-12**

**1.4100e-1 2.390952-2 2.002928-4 2.265167-6 -3.263498-8 6.37399-11 4.05981-12 -4.09614-12 3.00721-12**

**1.4900e-1 2.744308-2 3.422353-4 2.232465-6 -3.164398-8 6.06032-11 4.55808-12 -4.59383-12 3.37387-12**

**1.4910e-1 2.753742-2 3.501805-4 2.230234-6 -3.140750-8 6.02645-11 4.56703-12 -4.60318-12 3.38081-12**

**1.4960e-1 2.806426-2 3.995262-4 2.222175-6 -2.990998-8 5.82672-11 4.61208-12 -4.65066-12 3.41615-12**

**1.5000e-1 2.857661-2 4.567201-4 2.224480-6 -2.814882-8 5.61835-11 4.64690-12 -4.68814-12 3.44423-12**

**1.5010e-1 2.870596-2 4.716311-4 2.226622-6 -2.778277-8 5.60796-11 4.65658-12 -4.69714-12 3.45101-12**

**1.5060e-1 2.950457-2 5.813282-4 2.262892-6 -2.488144-8 5.47878-11 4.69773-12 -4.73610-12 3.48076-12**

**1.5110e-1 3.054497-2 7.557035-4 2.353689-6 -2.005607-8 5.23600-11 4.71920-12 -4.75717-12 3.49805-12**

**1.5160e-1 3.194829-2 1.049657-3 2.567353-6 -1.180154-8 4.84233-11 4.69000-12 -4.73017-12 3.48129-12**

**1.5210e-1 3.389807-2 1.581094-3 3.070795-6 2.997276-9 4.27149-11 4.53066-12 -4.57664-12 3.37410-12**

**1.5260e-1 3.658155-2 2.613433-3 4.295494-6 3.095891-8 3.62157-11 4.02583-12 -4.08154-12 3.02143-12**

**1.5310e-1 3.954092-2 4.652850-3 7.285517-6 8.354933-8 3.65615-11 2.62323-12 -2.68599-12 2.01836-12**

**1.5360e-1 3.882691-2 7.644157-3 1.297844-5 1.533949-7 7.10497-11 -2.94430-13 2.61900-13 -1.13914-13**

**1.5410e-1 2.964729-2 8.157081-3 1.637441-5 1.507035-7 1.43465-10 -2.32184-12 2.38168-12 -1.66383-12**

**1.5460e-1 2.199640-2 5.668367-3 1.389095-5 7.820120-8 1.78944-10 -1.27504-12 1.39852-12 -9.67794-13**

**1.5510e-1 1.972696-2 3.622076-3 1.080008-5 2.457307-8 1.80430-10 2.68439-13 -1.26595-13 1.30378-13**

**1.5560e-1 1.958608-2 2.463090-3 8.768875-6 -4.468504-9 1.74685-10 1.34038-12 -1.19442-12 9.02077-13**

**1.5610e-1 2.000165-2 1.808558-3 7.512007-6 -2.053322-8 1.69426-10 2.03348-12 -1.88575-12 1.40268-12**

**1.5650e-1 2.041179-2 1.479775-3 6.841697-6 -2.858322-8 1.66373-10 2.41837-12 -2.26892-12 1.68050-12**

**1.5900e-1 2.239678-2 7.274372-4 5.182301-6 -4.848400-8 1.62727-10 3.50446-12 -3.33243-12 2.45341-12**

**1.6150e-1 2.353397-2 5.446442-4 4.786814-6 -5.601397-8 1.70022-10 3.91294-12 -3.70780-12 2.72723-12**

**1.7250e-1 2.614175-2 4.168396-4 4.931278-6 -7.680309-8 2.24923-10 4.67194-12 -4.29450-12 3.15767-12**

**2.0000e-1 3.018601-2 5.050870-4 7.041701-6 -1.243057-7 3.61125-10 5.79708-12 -4.93651-12 3.63287-12**

**2.5000e-1 3.686699-2 7.103822-4 1.198911-5 -3.046906-7 1.139370-9 9.65281-12 -5.91560-12 4.38084-12**

**2.7250e-1 3.958680-2 8.207424-4 1.474234-5 -4.547231-7 1.936170-9 1.32209-11 -6.25153-12 4.66926-12**

**3.0000e-1 4.284700-2 9.771274-4 1.878855-5 -6.372935-7 2.828627-9 1.77854-11 -6.63003-12 5.00004-12**

**3.5000e-1 4.820083-2 1.298255-3 2.732914-5 -1.209152-6 6.177504-9 3.38634-11 -6.97256-12 5.50695-12**

**3.7250e-1 5.036555-2 1.457275-3 3.164342-5 -1.618901-6 8.869724-9 4.66462-11 -6.86975-12 5.69744-12**

**4.0000e-1 5.308101-2 1.659357-3 3.752443-5 -2.116497-6 1.199782-8 6.31396-11 -6.73727-12 5.93552-12**

**4.5000e-1 5.751641-2 2.057823-3 4.909292-5 -3.501574-6 2.164276-8 1.11145-10 -5.49544-12 6.29931-12**

**4.7250e-1 5.929818-2 2.249292-3 5.453430-5 -4.407370-6 2.841297-8 1.42792-10 -4.18668-12 6.44104-12**

**5.0000e-1 6.153410-2 2.491322-3 6.176717-5 -5.516792-6 3.643637-8 1.83696-10 -2.53690-12 6.61849-12**

**5.5000e-1 6.515711-2 2.957974-3 7.505263-5 -8.372572-6 5.845673-8 2.82839-10 3.24718-12 6.92383-12**

**5.7250e-1 6.659845-2 3.178394-3 8.082774-5 -1.012739-5 7.261407-8 3.36378-10 7.78952-12 7.07458-12**

**6.0000e-1 6.840543-2 3.456355-3 8.841465-5 -1.229406-5 8.959253-8 4.06168-10 1.35058-11 7.26342-12**

**6.5000e-1 7.129798-2 3.985291-3 1.011005-4 -1.757342-5 1.327111-7 5.37641-10 3.05968-11 7.71202-12**

**6.7250e-1 7.243150-2 4.232663-3 1.059308-4 -2.067447-5 1.587676-7 5.83459-10 4.26410-11 8.00958-12**

**7.0000e-1 7.385093-2 4.544118-3 1.122702-4 -2.452553-5 1.902584-7 6.46042-10 5.77816-11 8.38286-12**

**7.5000e-1 7.607977-2 5.132435-3 1.208617-4 -3.353860-5 2.658855-7 6.67344-10 9.94453-11 9.44426-12**

**7.7250e-1 7.693190-2 5.406179-3 1.229002-4 -3.865573-5 3.095127-7 5.89980-10 1.26880-10 1.01962-11**

**8.0000e-1 7.799753-2 5.750418-3 1.256825-4 -4.503449-5 3.625180-7 5.02198-10 1.61336-10 1.11399-11**

**8.5000e-1 7.961667-2 6.398537-3 1.253004-4 -5.951191-5 4.845004-7 -1.49071-11 2.50827-10 1.38157-11**

**8.7250e-1 8.020855-2 6.699652-3 1.220289-4 -6.751585-5 5.523422-7 -5.11915-10 3.06865-10 1.56504-11**

**9.0000e-1 8.094742-2 7.077933-3 1.181091-4 -7.751620-5 6.350803-7 -1.119092-9 3.77182-10 1.79520-11**

**9.5000e-1 8.199943-2 7.790087-3 1.022305-4 -9.966971-5 8.191072-7 -3.165841-9 5.51828-10 2.42056-11**

**9.7250e-1 8.234737-2 8.121406-3 9.032808-5 -1.116575-4 9.184270-7 -4.717448-9 6.56890-10 2.83109-11**

**1.0000e+0 8.278037-2 8.537271-3 7.556180-5 -1.266548-4 1.039905-6 -6.635388-9 7.88614-10 3.34574-11**

**1.0725e+0 8.333664-2 9.688876-3 7.106491-6 -1.778181-4 1.449914-6 -1.678782-8 1.309724-9 5.67051-11**

**1.1000e+0 8.355524-2 1.014838-2 -2.013717-5 -1.982086-4 1.610012-6 -2.079381-8 1.517493-9 6.59736-11**

**1.1725e+0 8.338204-2 1.143123-2 -1.433927-4 -2.703005-4 2.160839-6 -4.332264-8 2.385329-9 1.11484-10**

**1.2000e+0 8.331038-2 1.194236-2 -1.924133-4 -2.990115-4 2.376345-6 -5.222650-8 2.730796-9 1.29600-10**

**1.2725e+0 8.241941-2 1.338851-2 -3.922023-4 -3.975719-4 3.085338-6 -9.780972-8 4.098964-9 2.13698-10**

**1.3000e+0 8.206299-2 1.396390-2 -4.715563-4 -4.367838-4 3.363547-6 -1.158308-7 4.642757-9 2.47124-10**

**1.3725e+0 8.044918-2 1.561725-2 -7.764956-4 -5.675399-4 4.238967-6 -2.022841-7 6.694460-9 3.95162-10**

**1.4000e+0 7.980683-2 1.627429-2 -8.974114-4 -6.194944-4 4.584793-6 -2.364512-7 7.508670-9 4.53911-10**

**1.4725e+0 7.744422-2 1.819353-2 -1.346612-3 -7.871417-4 5.620454-6 -3.929892-7 1.044219-8 7.03870-10**

**1.5000e+0 7.650632-2 1.895590-2 -1.524332-3 -8.536440-4 6.038772-6 -4.548097-7 1.160459-8 8.02914-10**

**1.5725e+0 7.333820-2 2.121855-2 -2.174980-3 -1.058621-3 7.212959-6 -7.295358-7 1.560268-8 1.209938-9**

**1.6000e+0 7.207773-2 2.212541-2 -2.430966-3 -1.139538-3 7.757223-6 -8.379386-7 1.718502-8 1.371004-9**

**1.6725e+0 6.797838-2 2.485017-2 -3.376019-3 -1.368413-3 9.135533-6 -1.313330-6 2.236076-8 2.013030-9**

**1.7000e+0 6.629818-2 2.603723-2 -3.741698-3 -1.455527-3 1.014180-5 -1.500889-6 2.440600-8 2.266608-9**

**1.7100e+0 6.556893-2 2.651703-2 -3.932463-3 -1.480859-3 1.045266-5 -1.613166-6 2.525406-8 2.399068-9**

**1.7200e+0 6.477361-2 2.715349-2 -4.117131-3 -1.501587-3 1.114080-5 -1.725949-6 2.610414-8 2.531971-9**

**1.7300e+0 6.385984-2 2.822138-2 -4.287641-3 -1.508799-3 1.240286-5 -1.838150-6 2.694051-8 2.663482-9**

**1.7400e+0 6.265841-2 3.163201-2 -4.413172-3 -1.438178-3 1.352786-5 -1.940602-6 2.763659-8 2.778871-9**

**1.7430e+0 6.248227-2 3.302374-2 -4.475190-3 -1.401874-3 1.125294-5 -1.967863-6 2.779768-8 2.808152-9**

**1.7455e+0 6.261336-2 3.278985-2 -4.571739-3 -1.416408-3 8.033111-6 -1.995914-6 2.800600-8 2.841328-9**

**1.7550e+0 6.249409-2 2.921070-2 -4.873551-3 -1.571895-3 5.789538-6 -2.122527-6 2.906604-8 2.998238-9**

**1.7650e+0 6.159999-2 2.880485-2 -5.077469-3 -1.628228-3 7.122590-6 -2.243670-6 3.000701-8 3.143065-9**

**1.8000e+0 5.897714-2 3.039006-2 -5.787821-3 -1.730411-3 8.088742-6 -2.658398-6 3.313802-8 3.633082-9**

**Реакция 197Au(n,)**

Оценка стандартных сечений 197Au(n,) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2017 году в рамках проекта МАГАТЭ с использованием программы GMA. Рекомендуется использовать log-log интерполяционную схему (линейную интерполяцию в логарифмических шкалах по энергии и сечениям) во всей области энергий, рекомендованной к использованию в качестве стандартов (0,2 – 2,8 МэВ). Стандарт 197Au(n,) при энергии 0,0253 эВ и в области энергий нейтронов 0,2 – 2,8 МэВ. Звёздочкой (\*) помечены сглаженные значения сечений. Погрешность включает 1,7% непризнанной систематической погрешности (за исключением значения при 0,0253 эВ).

Таблица А.8 – Стандартные сечения реакции 197Au(n,)

**Энергия, Сечение, Погрешность**

**МэB барн %**

**2.53E-08 98.659 0.14**

**2.00E-01 0.258 2.0**

**2.10E-01 0.252 2.0**

**2.20E-01 0.251 2.0**

**2.30E-01 0.247 2.1**

**2.35E-01 0.242\* 2.1**

**2.40E-01 0.239\* 2.3**

**2.45E-01 0.239\* 2.1**

**2.50E-01 0.238\* 2.1**

**2.60E-01 0.237 2.1**

**2.70E-01 0.233 2.1**

**2.80E-01 0.218 2.0**

**3.00E-01 0.191 2.0**

**3.25E-01 0.192 2.0**

**3.50E-01 0.178 2.0**

**3.75E-01 0.167 2.0**

**4.00E-01 0.161 1.9**

**4.25E-01 0.155 2.0**

**4.50E-01 0.146 2.0**

**4.75E-01 0.141\* 2.0**

**5.00E-01 0.137\* 2.0**

**5.20E-01 0.130\* 2.0**

**5.40E-01 0.125 2.1**

**5.70E-01 0.120 2.3**

**6.00E-01 0.110 2.0**

**6.50E-01 0.100 2.1**

**7.00E-01 0.096 2.0**

**7.50E-01 0.095 2.1**

**8.00E-01 0.089 2.0**

**8.50E-01 0.086 2.4**

**9.00E-01 0.083 2.8**

**9.40E-01 0.086 2.6**

**9.60E-01 0.086 4.6**

**9.80E-01 0.086 3.6**

**1.00E+00 0.079 2.0**

**1.10E+00 0.079 2.2**

**1.25E+00 0.074 2.1**

**1.40E+00 0.071 2.4**

**1.60E+00 0.068 2.3**

**1.80E+00 0.060 2.6**

**2.00E+00 0.053 2.4**

**2.20E+00 0.044 2.5**

**2.40E+00 0.036 2.8**

**2.60E+00 0.032 2.8**

**2.80E+00 0.026 2.7**

**Реакция 235U(n,f)**

Оценка стандартного сечения 235U(n,f) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2017 году в рамках проекта МАГАТЭ с использованием программы GMA. Сечение является стандартом при 0,0253 эВ и в области энергий от 0,15 до 200 МэВ. Данные приведены как значения в точках по энергии с линейной интерполяцией между точками. Интегральное значение сечения (247,5±3,0) барн\*эВ может использоваться как стандарт при нормировке сечения деления 235U. Звёздочкой (\*) помечены сглаженные по энергии значения сечений. Погрешность включает 1,2% непризнанной систематической погрешности (за исключением значения при 0,0253 эВ).

Таблица А.9 – Стандартные сечения реакции 235U(n,f)

**Энергия, Сечение, Погрешность,**

**МэВ барн %**

**2.53E-08 587.29 0.23**

**1.50E-01 1.436 1.3**

**1.70E-01 1.402 1.4**

**1.80E-01 1.397 1.5**

**1.90E-01 1.369 1.4**

**2.00E-01 1.347 1.4**

**2.10E-01 1.349 1.4**

**2.20E-01 1.324 1.4**

**2.30E-01 1.299 1.4**

**2.35E-01 1.304 1.4**

**2.40E-01 1.294 1.4**

**2.45E-01 1.293 1.4**

**2.50E-01 1.282 1.4**

**2.60E-01 1.265 1.4**

**2.70E-01 1.250 1.4**

**2.80E-01 1.234 1.4**

**3.00E-01 1.231 1.3**

**3.25E-01 1.236 1.4**

**3.50E-01 1.216 1.3**

**3.75E-01 1.219 1.4**

**4.00E-01 1.186 1.4**

**4.25E-01 1.202 1.4**

**4.50E-01 1.165 1.4**

**4.75E-01 1.140 1.4**

**5.00E-01 1.142 1.3**

**5.20E-01 1.140 1.4**

**5.40E-01 1.123 1.4**

**5.70E-01 1.139 1.4**

**6.00E-01 1.110 1.3**

**6.50E-01 1.120 1.3**

**7.00E-01 1.117 1.3**

**7.50E-01 1.132 1.3**

**8.00E-01 1.111 1.3**

**8.50E-01 1.120 1.3**

**9.00E-01 1.144 1.3**

**9.40E-01 1.173 1.3**

**9.60E-01 1.197 1.4**

**9.80E-01 1.207 1.4**

**1.00E+00 1.203 1.3**

**1.10E+00 1.194 1.3**

**1.25E+00 1.211 1.3**

**1.40E+00 1.228 1.3**

**1.60E+00 1.255 1.3**

**1.80E+00 1.273 1.3**

**2.00E+00 1.289 1.3**

**2.20E+00 1.280 1.3**

**2.40E+00 1.266 1.3**

**2.60E+00 1.257 1.3**

**2.80E+00 1.240 1.3**

**3.00E+00 1.217 1.3**

**3.60E+00 1.165 1.3**

**4.00E+00 1.137 1.3**

**4.50E+00 1.118 1.3**

**4.70E+00 1.101 1.3**

**5.00E+00 1.073 1.3**

**5.30E+00 1.057 1.3**

**5.50E+00 1.038 1.3**

**5.80E+00 1.039 1.4**

**6.00E+00 1.092 1.4**

**6.20E+00 1.180 1.4**

**6.50E+00 1.334 1.4**

**7.00E+00 1.543 1.4**

**7.50E+00 1.701 1.4**

**7.75E+00 1.738 1.4**

**8.00E+00 1.785 1.4**

**8.50E+00 1.793 1.4**

**9.00E+00 1.779 1.4**

**1.00E+01 1.759 1.4**

**1.10E+01 1.736 1.4**

**1.15E+01 1.704 1.5**

**1.20E+01 1.721 1.4**

**1.30E+01 1.886 1.4**

**1.40E+01 2.079 1.3**

**1.45E+01 2.090 1.3**

**1.50E+01 2.126 1.4**

**1.60E+01 2.154 1.4**

**1.70E+01 2.098 1.5**

**1.80E+01 2.059 1.5**

**1.90E+01 2.032 1.4**

**2.00E+01 2.022 1.5**

**2.10E+01 2.088 1.6**

**2.20E+01 2.115 2.0**

**2.30E+01 2.145 1.7**

**2.40E+01 2.089 1.8**

**2.50E+01 2.127 1.6**

**2.60E+01 2.128 1.9**

**2.70E+01 2.108 1.8**

**2.80E+01 2.135 2.0**

**2.90E+01 2.105 1.8**

**3.00E+01 2.155 1.8**

**3.20E+01 2.139 2.2**

**3.40E+01 2.118 2.2**

**3.60E+01 2.035 2.3**

**3.80E+01 1.979 2.5**

**4.00E+01 1.997 2.5**

**4.20E+01 1.975 2.3**

**4.40E+01 1.965 2.4**

**4.60E+01 1.951 2.3**

**4.80E+01 1.921 2.6**

**5.00E+01 1.900 2.7**

**5.20E+01 1.906 3.0**

**5.40E+01 1.869 3.0**

**5.60E+01 1.891 3.0**

**5.80E+01 1.873 2.8**

**6.00E+01 1.850 2.7**

**6.40E+01 1.835 2.4**

**6.80E+01 1.770 2.4**

**7.20E+01 1.730 2.6**

**7.60E+01 1.741 2.7**

**8.00E+01 1.707 2.9**

**8.40E+01 1.700 3.6**

**8.80E+01 1.634 3.7**

**9.20E+01 1.595 3.8**

**9.60E+01 1.578\* 3.7**

**1.00E+02 1.561\* 3.8**

**1.04E+02 1.543\* 3.7**

**1.08E+02 1.541\* 4.8**

**1.12E+02 1.534\* 4.6**

**1.16E+02 1.518\* 4.6**

**1.20E+02 1.499\* 4.6**

**1.28E+02 1.479 4.4**

**1.36E+02 1.468 4.3**

**1.44E+02 1.442 4.0**

**1.52E+02 1.467 4.3**

**1.60E+02 1.447 4.4**

**1.68E+02 1.439 4.7**

**1.76E+02 1.457 4.6**

**1.84E+02 1.455 4.8**

**1.92E+02 1.443 4.5**

**2.00E+02 1.449 4.5**

**Реакция 238U(n,f)**

Оценка стандартного сечения 238U(n,f) в табличном представлении. Данные также представлены в формате ЕНДФ-6. Оценка выполнена в 2017 году в рамках проекта МАГАТЭ с использованием программы GMA. Сечение является стандартом в области энергий от 2 до 200 МэВ. Данные приведены как значения в точках по энергии с линейной интерполяцией между точками. Звёздочкой (\*) помечены сглаженные значения сечений. Погрешность включает 1,2% непризнанной систематической погрешности.

Таблица А.10 - Стандартные сечения реакции 238U(n,f)

**Энергия, Сечение, Погрешность,**

**МэВ. барн %**

**2.00E+00 0.538 1.3**

**2.20E+00 0.550 1.3**

**2.40E+00 0.547 1.3**

**2.60E+00 0.543 1.3**

**2.80E+00 0.539 1.4**

**3.00E+00 0.526 1.3**

**3.60E+00 0.550 1.3**

**4.00E+00 0.558 1.3**

**4.50E+00 0.563 1.4**

**4.70E+00 0.561 1.4**

**5.00E+00 0.549 1.4**

**5.30E+00 0.551 1.4**

**5.50E+00 0.548 1.4**

**5.80E+00 0.567 1.4**

**6.00E+00 0.611 1.4**

**6.20E+00 0.682 1.5**

**6.50E+00 0.818 1.4**

**7.00E+00 0.944 1.4**

**7.50E+00 0.994 1.4**

**7.75E+00 0.996 1.5**

**8.00E+00 1.017 1.4**

**8.50E+00 1.015 1.4**

**9.00E+00 1.017 1.4**

**1.00E+01 1.010 1.5**

**1.10E+01 1.009 1.5**

**1.15E+01 1.005 1.5**

**1.20E+01 0.988 1.5**

**1.30E+01 1.025 1.4**

**1.40E+01 1.151 1.3**

**1.45E+01 1.190 1.3**

**1.50E+01 1.242 1.4**

**1.60E+01 1.315 1.5**

**1.70E+01 1.320 1.5**

**1.80E+01 1.320 1.5**

**1.90E+01 1.357 1.5**

**2.00E+01 1.406 1.6**

**2.10E+01 1.518 1.6**

**2.20E+01 1.558 2.1**

**2.30E+01 1.599 1.8**

**2.40E+01 1.545 1.9**

**2.50E+01 1.577 1.7**

**2.60E+01 1.576 2.0**

**2.70E+01 1.563 1.8**

**2.80E+01 1.615 2.1**

**2.90E+01 1.604 1.8**

**3.00E+01 1.667 1.9**

**3.20E+01 1.684 2.2**

**3.40E+01 1.689 2.2**

**3.60E+01 1.652 2.4**

**3.80E+01 1.635 2.5**

**4.00E+01 1.663 2.5**

**4.20E+01 1.654 2.4**

**4.40E+01 1.643 2.5**

**4.60E+01 1.656 2.3**

**4.80E+01 1.637 2.7**

**5.00E+01 1.631 2.7**

**5.20E+01 1.634 3.0**

**5.40E+01 1.613 3.0**

**5.60E+01 1.632 3.0**

**5.80E+01 1.626 2.8**

**6.00E+01 1.604 2.7**

**6.40E+01 1.589 2.4**

**6.80E+01 1.529 2.5**

**7.20E+01 1.504 2.6**

**7.60E+01 1.531 2.7**

**8.00E+01 1.507 2.9**

**8.40E+01 1.496 3.7**

**8.80E+01 1.438 3.7**

**9.20E+01 1.403 3.8**

**9.60E+01 1.389\* 3.8**

**1.00E+02 1.383\* 3.8**

**1.04E+02 1.379\* 3.8**

**1.08E+02 1.375\* 4.8**

**1.12E+02 1.361\* 4.6**

**1.16E+02 1.348\* 4.6**

**1.20E+02 1.340\* 4.6**

**1.28E+02 1.324 4.4**

**1.36E+02 1.308 4.3**

**1.44E+02 1.287 4.1**

**1.52E+02 1.311 4.4**

**1.60E+02 1.305 4.4**

**1.68E+02 1.282 4.7**

**1.76E+02 1.325 4.6**

**1.84E+02 1.328 4.9**

**1.92E+02 1.311 4.5**

**2.00E+02 1.319 4.4**

**Тепловые константы (сечения и средние полные выходы нейтронов при делении) при взаимодействии нейтронов с энергией 0,0253 эВ с ядрами актинидов**

Оценка тепловых констант актинидов в табличном представлении. Оценка тепловых констант была выполнена совместно в объединённом описании всех реакций с использованием программы GMA. В оценке использовались только микроскопические данные (сечения при энергии нейтронов в 0,0253 эВ), собранные и проанализированные Акстоном [15] и дополненные результатами последних или неучтённых экспериментов. Сечения, измеренные в спектрах тепловых нейтронов (макроскопические, интегральные сечения), а также g-факторы, были исключены из оценки. В таблице приведены абсолютные погрешности. Погрешность среднего полного выхода нейтронов на одно деление включает 0,4% непризнанной систематической погрешности. Величина среднего полного выхода нейтронов спонтанного деления 252Cf, рекомендованная как стандарт, и не приведённая в таблице, равна 3,764±0,016.

Таблица А.11 – Стандартные и рекомендуемые данные для тепловых констант. Стандартными являются данные для 235U(n,f) и полный средний выход нейтронов спонтанного деления в 252Сf

**U-233 U-235 Pu-239 Pu-241**

**Сечение деления, б** 533.0±2.2 587.3±1.4 752.4±2.2 1023.6±10.8

**Сечение захвата, б** 44.9±0.9 99.5±1.3 269.8±2.5 362.3±6.1

**Сечение рассеяния, б** 12.2±0.7 14.09±0.22 7.8±1.0 11.9±2.6

**Полный выход**

**нейтронов**

**на 1 деление** 2.487±0.011 2.425±0.011 2.878±0.013 2.940±0.013

**Полный средний выход нейтронов**

**на одно спонтанное деление в 252CF - 3,764±0,016 нейтронов на деление**