

## Описание ССДАЭ

### «Стандарты сечений взаимодействия нейтронов с атомными ядрами»

В.Г. Проняев, Частное Учреждение «Атомстандарт»

Г.Е. Новиков, Госкорпорация «Росатом»

Стандарты разработаны международным коллективом авторов при координации МАГАТЭ. Координатором программы с 2001 по 2015 год выступал начальник центра ядерных данных секции ядерных данных МАГАТЭ (1997 – 2004, 2008), а затем ведущий научный сотрудник ГНЦ-РФ ФЭИ (2005 – 2015) Проняев В.Г., а с 2015 года – сотрудник секции ядерных данных МАГАТЭ – Р. Капотэ Ной.

Оценка стандартов выполнялась в 4 этапа.

На первом этапе была выполнена оценка сечения упругого рассеяния нейтронов на водороде. В R-матричном подходе было проведено описание методом наименьших квадратов всех доступных экспериментальных данных по сечениям и другим наблюдаемым для реакций, идущих с образованием составного ядра  $^2\text{H}$ . Также, в рамках R-матричного подхода, были выполнены оценки сечений реакций  $^6\text{Li}(n,t)$ ,  $^6\text{Li}(n,n)$  и  $^6\text{Li}(n,tot)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$ ,  $^{10}\text{B}(n,n)$  и  $^{10}\text{B}(n,tot)$ ,  $^{12}\text{C}(n,n)$  и  $^{13}\text{C}(n,n)$  и других реакций проходящих соответственно с образованием составных ядер  $^7\text{Li}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$ .

На втором этапе, все экспериментальные данные, полученные с использованием реакции упругого рассеяния нейтронов на водороде в качестве монитора нейтронного потока, были перенормированы на новые значения стандарта  $^1\text{H}(n,n)$ .

На третьем этапе было проведено совместное описание обобщённым методом наименьших квадратов (программа GMA) около 450 наборов экспериментальных данных. Программа реализует безмодельное описание экспериментальных данных для абсолютных сечений, абсолютных отношений сечений, измерений формы сечений и измерений формы отношений сечений для 9 реакций ( $^6\text{Li}(n,n)$ ,  $^6\text{Li}(n,t)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$ ,  $^{10}\text{B}(n,n)$ ,  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$ ,  $^{238}\text{U}(n,\gamma)$ ,  $^{238}\text{U}(n,f)$ ,  $^{235}\text{U}(n,f)$  и  $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ). Сечения  $^6\text{Li}(n,t)$ ,  $^6\text{Li}(n,n)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$  и  $^{10}\text{B}(n,n)$ , оцененные на первом этапе в R-матричном подходе, использовались в объединённом описании GMA в качестве преоценённых данных.

На четвёртом этапе было выполнено повторное описание в R-матричном подходе сечений реакций с образованием составных ядер  $^7\text{Li}$  и  $^{11}\text{B}$  и включением соответственно сечений  $^6\text{Li}(n,t)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$  и  $^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$  оценённых в объединённом описании GMA. Это позволило получить гладкое описание в большем числе точек для стандартных сечений  $^6\text{Li}(n,t)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$  и  $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ , согласующимся при этом с оценкой GMA.

В Таблице 1 приведены реакции, использовавшиеся в объединённой оценке стандартов программой GMA, а также области энергий нейтронов для реакций, рекомендованных к использованию в качестве стандартов.

Таблица 1. Реакции, использовавшиеся в объединённой оценке стандартов и области энергий нейтронов, рекомендованные к использованию в качестве стандартов.

Реакция	Область энергии нейтронов, используемая в совместном описании	Область энергии нейтронов, где данная реакция рекомендована к использованию как стандарт
${}^6\text{Li}(n,n)$	0,0253 эВ – 2,8 МэВ	-
${}^6\text{Li}(n,t)$	0,0253 эВ – 2,8 МэВ	0,0253 эВ – 1 МэВ
${}^{10}\text{B}(n,n)$	0,0253 эВ – 1 МэВ	-
${}^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$	0,0253 эВ – 1 МэВ	-
${}^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$	0,0253 эВ – 1,0 МэВ	0,0253 эВ – 1 МэВ
${}^{10}\text{B}(n,\alpha)$ , сумма сечений реакций ${}^{10}\text{B}(n,\alpha_0)$ и ${}^{10}\text{B}(n,\alpha_1)$	0,0253 эВ – 1,0 МэВ	0,0253 эВ – 1 МэВ
${}^{197}\text{Au}(n,\gamma)$	0,0253 эВ, 2,5 кэВ – 2,8 МэВ	0,0253 эВ, 0,2 – 2,5 МэВ, сечение усреднённое по спектру Максвелла с температурой 30 кэВ
${}^{238}\text{U}(n,\gamma)$	0,0253 эВ, 1,5 кэВ – 2,8 МэВ	-
${}^{238}\text{U}(n,f)$	0,0253 эВ, 0,5 МэВ – 200 МэВ	2 МэВ – 200 МэВ
${}^{235}\text{U}(n,f)$	0,0253 эВ, 7,8 – 11 эВ, 0,15 кэВ – 200 МэВ	0,0253 эВ, 7,8 – 11 эВ, 0,15 – 200 МэВ
${}^{239}\text{Pu}(n,f)$	0,0253 эВ, 0,15 кэВ – 200 МэВ	-

В Таблице 2 приведены реакции, оцененные в R-матричном подходе и указаны области энергий нейтронов, где эти реакции рекомендованы к использованию в качестве стандартов.

Таблица 2. Реакции, оцененные исключительно в R-матричном подходе и области энергий, где они рекомендованы к использованию в качестве стандартов.

Реакция	Область энергии нейтронов, где данная реакция рекомендована к использованию как стандарт
${}^1\text{H}(n,n)$	1 кэВ – 20 МэВ
${}^{\text{nat}}\text{C}(n,n)$	10 эВ – 1,8 МэВ

Погрешности для стандартов, представленных в табличном виде, приведены в виде полных процентных погрешностей, оцененных в рамках статистического описания данных с добавленной непризнанной систематической погрешностью. Непризнанная систематическая погрешность оценивалась по отклонению экспериментальных данных для каждой реакции от её апостериорной оценки. В файлах данных, представленных в

формате ЕНДФ-6, приведены оценённые сечения для всех реакций и всей области энергий, использующихся в совместном описании данных программой GMA. В файле приведены полные ковариационные матрицы погрешностей, включающие две отдельно представленные компоненты погрешностей: компоненту, оцененную при совместном описании экспериментальных данных программой GMA, и компоненту непризнанной систематической погрешности.

Детальное описание стандартных справочных данных «Стандарты сечений взаимодействия нейтронов с атомными ядрами» приведено в верификационном отчёте и статьи подготовленной к публикации в журнале Nuclear Data Sheets, volume. 147, 2018.