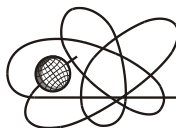




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2008-04

Preprint IBRAE-2008-04

**А. И. Блохин, Е. Ф. Митенкова, Д. А. Блохин, Н. Н. Булеева, В. Н. Манохин,
И. В. Сипачев**

АТЛАС НЕЙТРОННЫХ ЯДЕРНЫХ СЕЧЕНИЙ ДЛЯ АКТИНИДОВ

**Часть 1. Описание рекомендованных нейтронных сечений для
актинидов**

Москва
2008

Moscow
2008

Блохин, А.И. Атлас нейтронных ядерных сечений для актинидов. Часть 1. Описание рекомендованных нейтронных сечений для актинидов. / А.И. Блохин, Е.Ф. Митенкова, Д.А. Блохин, Н.Н. Булеева, В.Н. Манохин, И.В. Сипачев — (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № ИБРАЕ-2008-04). — М. : ИБРАЭ РАН, 2008. — 20 с. — Библиогр.: 11 назв. — 80 экз.

Аннотация

В данной работе приведены результаты сравнительного анализа сечений взаимодействия нейтронов с ядрами актинидов, представленными в различных библиотеках оцененных ядерных данных БРОНД-2.2(3) (Россия), ENDF/B-VI.8 и ENDF/B-VII.0 (США), JENDL-3.3 (Япония), JEFF-3.1 (Западная Европа). Показано, что имеющиеся различия в величинах нейтронных сечений выходят за пределы требуемых точностей по знанию оцененных нейтронных данных как для топливных элементов, так и, в большей мере, для минорных актинидов. В первой части препринта приводится список изотопов актинидов с перечнем ядерных реакций и соответствующими пояснениями к представленному выбору анализируемых ядерных данных. Во второй части препринта представлены собственно графики зависимостей нейтронных сечений ядерных реакций от энергии налетающего нейтрона в диапазоне от 0 до 20 МэВ.

©ИБРАЭ РАН, 2008

Blokhin, A. The atlas of neutron nuclear cross sections for actinides. Part 1. The description of recommended neutron cross-sections for actinides./ A.I. Blokhin, E.F. Mitenkova, D.A. Blokhin, N.N. Buleeva, V.N. Manokhin, I.V. Sipachev. — (Preprint / Nuclear Safety Institute RAS, September 2008, № ИБРАЕ-2008-04). — Moscow : NSI RAS, 2008. — 20 p. — Bibliogr.: 11 items.

Abstract

In this paper results of intercomparison of nuclear neutron cross sections for actinides from different evaluated nuclear data libraries such as BROND-2.2(3) (Russia), ENDF/B-VI.8 and ENDF/B-VII.0 (USA), JENDL-3.3 (Japan), JEFF-3.1 (the Western Europe) are presented. It is shown, that the differences existing between nuclear data from BROND-2.2(3), ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 libraries are outside the required accuracies on knowledge of the evaluated neutron data as for fuel elements, and, in a greater measure, for minor actinides. In the first part of this paper the list of isotopes of actinides with analyzed nuclear reactions and appropriate explanations of such choice are resulted. In the second part of the paper the neutron cross-sections curves are presented from different evaluated nuclear data libraries in the nuclear energy field from 0 to 20 Mev.

©Nuclear Safety Institute, 2008

Атлас нейтронных ядерных сечений для актинидов

А.И.Блохин, Е.Ф.Митенкова, Д.А.Блохин, Н.Н.Булеева, В.Н.Манохин, И.В.Сипачев

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52

тел.: (095) 955-22-02, факс: (095) 955-20-29, эл. почта: mit@ibrae.ac.ru

Работа выполнена при частичном финансировании по гранту
РФФИ 05-08-012191

При решении задач глубокого выгорания топлива в различных энергетических ядерных реакторах возникает необходимость учета накопления минорных актинидов. В работе [1] показано, что в условиях глубокого выгорания топлива накопление минорных актинидов становится существенным как с точки зрения кинетики, так и с точки зрения обращения с отработавшим топливом. Приведен перечень всех значимых для расчета кинетики высокотемпературного гелиевого реактора (ВТТР) минорных актинидов с периодами полураспада (колонки 1 и 2, соответственно), образующихся при работе реактора ВТТР с плутониевой загрузкой [1].

Практически для всех указанных ядер имеются файлы оцененных нейтронных данных, созданные в разных странах в разное время, которые могут быть использованы для проведения соответствующих расчетов.

В настоящее время в мире имеется несколько региональных и национальных библиотек ядерных данных общего назначения, таких как БРОНД-2.2 [3], БРОНД-3 [4] (Россия), ENDF/B-VI.8 [5] и ENDF/B-VII.0 [6] (США), JENDL-3.3 [7] (Япония), JEFF-3.1 [8] (Западная Европа), CENDL-2 [9] (Китай), в которых отражено современное состояние с оцененными ядерными данными для области актинидов. В Таблице 1 представлен статус ядерных данных для актинидов, указанных в Таблице 2 [1], в различных национальных библиотеках оцененных ядерных данных [3–9].

Отметим, что для большинства минорных актинидов отсутствуют прямые экспериментальные данные, поэтому при формировании оцененных данных широко используются различные теоретические модели для описания сечений взаимодействия нейтронов с ядрами. Отсутствие данных по сечениям и/или данных по резонансным параметрам, применение различных модельных представлений и входных параметров в расчетных программах, приводят во многих случаях к существенным расхождениям результатов различных расчетов, и, в конечном итоге, к большим различиям в числовых данных для нейтронных сечений. Для исключения ошибок и отбора наиболее надежных оцененных данных необходимы критерии в виде интегральных экспериментов (в подавляющем большинстве случаев они отсутствуют) или физические соображения в виде выявленных систематических тенденций поведения тех или/и иных характерных параметров функций возбуждения ядерных реакций, основанные на имеющихся немногочисленных экспериментальных данных и предсказаниях теории ядерных реакций.

В данной работе проведен сравнительный анализ оцененных сечений реакций деления (n,f), радиационного захвата (n,g), реакций ($n,2n$) и ($n,3n$) для всех делящихся изотопов от тория до берклия в диапазоне энергий падающих нейтронов от тепловой точки до 20 МэВ с целью отбора наиболее достоверных наборов (файлов) оцененных ядерных данных из библиотек оцененных нейтронных данных общего назначения БРОНД-2.2(3), ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 и широко используемой для расчета трансмутации и активации Европейской библиотеки активационных данных EAF-99 [10] и EAF-2001[11].

Следует заметить, что поскольку отбор анализируемых реакций проводился для целей расчета процессов трансмутации, сечения неупругого рассеяния не анализировались. Сечения реакций с выходом заряженных частиц в исследуемой области ядер имеют малую величину (несколько мбарн) по сравнению с сечениями указанных выше реакций и в процессы трансмутации актинидов в нейтронных полях реакторов деления заметного вклада не вносят.

В основу представленного сравнения и последующего анализа сечений деления и реакции ($n,2n$) делящихся ядер положены эмпирические систематики, разработанные в работе [2] для области энергий быстрых нейтронов. Систематики основаны на имеющихся экспериментальных данных и результатах теоретических расчетов по моделям ядерных реакций и включают нижеследующие положения:

- Зависимости сечений деления в области энергий нейтронов выше 1 МэВ с хорошим приближением подобны и имеют экстремумы в одних и тех же интервалах энергии: максимумы в интервалах энергий нейтронов $2\div 3$ МэВ и $8\div 9$ МэВ и минимумы в интервалах энергий нейтронов $5\div 6$ МэВ и

11÷12 МэВ. На Рисунках 1 и 3 показаны зависимости сечений деления изотопов протактиния, тория, урана, нептуния, плутония и америция в областях минимумов функций возбуждения деления при энергиях нейтронов 5,5 и 11÷12 МэВ, что демонстрирует подобие и линейную зависимость сечений деления от атомного веса изотопов.

- В области энергий нейтронов 11÷12 МэВ лежит максимум реакции (n,2n) и минимум в сечении деления. Сумма сечений указанных двух реакций постоянна и равна 2550 ± 50 мбарн и практически не зависит от атомного веса изотопов.

- На основе имеющихся экспериментальных данных установлено, что сечение деления (n,f) для изотопов данного элемента в области энергий нейтронов 5,5 и 11÷12 МэВ практически линейно убывают с ростом атомного веса, что продемонстрировано на Рисунках 1 и 3, соответственно.

- На Рисунке 2 представлена зависимость от атомного веса изотопов данного элемента сечения реакции (n,2n) в области энергий нейтронов 5,5 и 11÷12 МэВ, основанная как на экспериментальных данных, так на расчетных данных. Как известно, в этой области энергий располагается максимум реакции (n,2n). Отметим, что сечения реакций (n,2n) линейно возрастают с ростом атомного веса.

- Сечение реакции (n,3n) по абсолютной величине в максимуме функции возбуждения (при энергии нейтронов около 20 МэВ) ниже сечения реакции (n,2n) в области ее максимума (11÷12 МэВ). Из расчетных данных следует, что сечение реакции (n,3n) в области максимума линейно возрастает с ростом атомного веса.

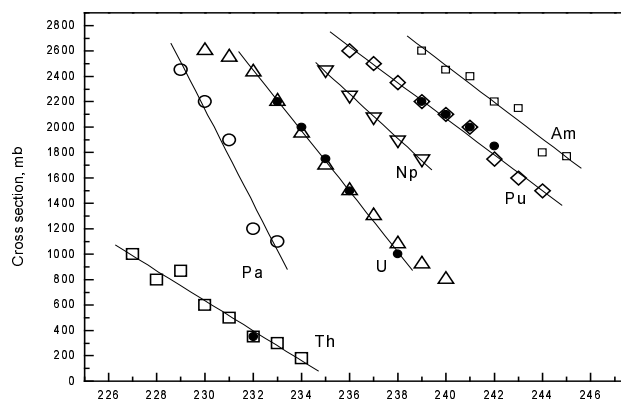


Рис. 1. Сечение деления в области 11÷12 МэВ в зависимости от атомного веса изотопа. Темные символы – эксперимент, светлые – оцененные данные

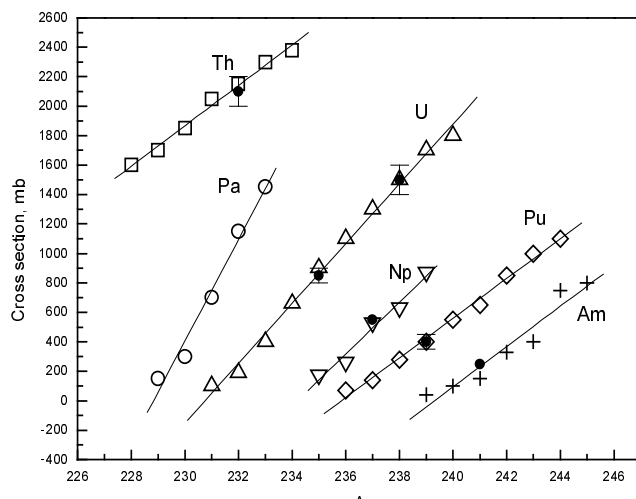


Рис. 2. Сечение реакции (n,2n) в области энергий нейтронов 12÷13 МэВ в зависимости от атомного веса изотопов

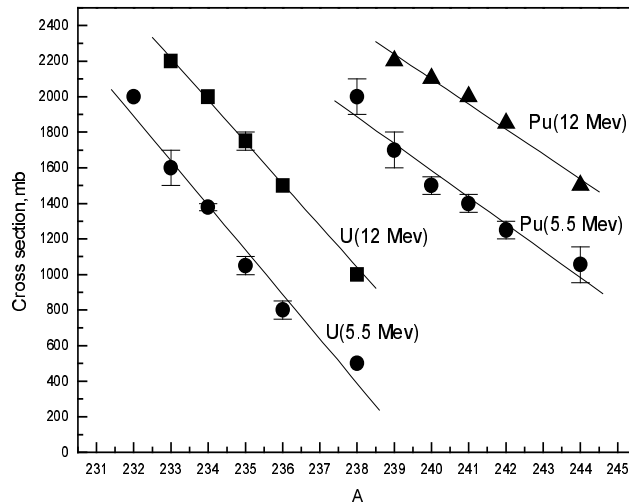


Рис. 3. Сечение деления изотопов урана и плутония при энергии нейтронов в области 5,5 МэВ и 11÷12 МэВ

Использование перечисленных положений позволяет исключить данные, существенно противоречащие физическим представлениям и/или являющиеся просто ошибочными.

К сожалению указанные систематики дают возможность отбора данных только в области энергий быстрых нейтронов. Поэтому они были использованы в диапазоне энергий нейтронов 1÷20 МэВ. В области энергий нейтронов ниже 1 МэВ предпочтение было отдано более современным данным с резонансной структурой в резонансной области. На приведенных рисунках видно, что в ряде случаев этой структуры нет, что связано с отсутствием необходимой для расчета экспериментальной информации о параметрах нейтронных резонансов.

На представленных в Приложении А рисунках 1-361 приведены данные по сечениям реакций деления (n,f), радиационного захвата (n,g), реакций (n,2n) и (n,3n), имеющихся в библиотеках оцененных нейтронных данных БРОНД-2.2(3), ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 и EAF-99 (Таблица 2). В большинстве случаев эти сечения в разумных пределах согласуются с систематиками и могут быть использованы в расчетах. Однако достаточно большое количество реакций нуждаются в существенной корректировке.

В Таблицах 3–11 для элементов и их изотопов от тория до берклия представлена информация о содержании в базовых библиотеках БРОНД-2.2 [3], БРОНД-3 [4] (Россия), ENDF/B-VI.8 [5] и ENDF/B-VII.0 [6] (США), JENDL-3.3 [7] (Япония), JEFF-3.1 [8] (Западная Европа) таких нейтронных сечений как (n,2n), (n,3n), (n,f) и (n,g), являющихся основными в задаче трансмутации актиноидов. Также сделан вывод о наиболее достоверных оцененных ядерных данных, которые мы рекомендуем для практических расчетов. В ряде случаев указаны рекомендации о необходимости проведения работ как по корректировке данных (отмечено как «*»), так и по проведению исследований по подготовке принципиально новых данных (отмечено как «**»). Заметим, что в настоящее время выше отмеченные выше данные по ядерным реакциям могут быть использованы в практических расчетах только в качестве начального приближения. Для всех отмеченных изотопов рекомендуется проведение дополнительных работ по анализу ядерных данных и формированию новых наборов рекомендованных оцененных ядерных данных. Также и для реакций, не отмеченных звездочками, во многих случаях необходимы уточнения и корректировки (прежде всего это относится к определенным диапазонам энергий для соответствующих ядерных реакций).

Определенная работа над устранением отмеченных выше недостатков ведется в рамках создания новой версии российской национальной библиотеки рекомендованных оцененных данных БРОНД-3 [4], что позволит существенно повысить уровень надежности оцененных ядерно-физических данных и в значительной степени будет способствовать повышению качества расчетных исследований разрабатываемых ядерно-энергетических установок с новыми композициями топлива.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант №05-08-01291 в рамках проекта «Развитие специализированных библиотек ядерно-физических данных для обеспечения прецизионных расчетов глубокого выгорания в энергетических реакторах с плутоний содержащим топливом

Таблица 1. Статус различных ядерных данных актинидов в национальных библиотеках оцененных ядерных данных.

Нуклид	Период полураспада (год)	Ядерные данные для транспортных расчетов				
		JEFF-3.1	JENDL-3.3	ENDF-VI.8	ENDF-VII.0	BROND-2.2
1	2	3	4	5	6	7
Th-227	0.051	Th-227			Th-227	
Th-228	1.912	Th-228	Th-228		Th-228	
Th-229	7340	Th-229	Th-229		Th-229	
Th-230	75437	Th-230	Th-230	Th-230	Th-230	
Th-231	0.0029		Th-231			
Th-232	1.406E10	Th-232	Th-232	Th-232	Th-232	
Th-233		Th-233			Th-233	Th-232
Th-234	0.067	Th-234	Th-234		Th-234	
Pa-231	32787	Pa-231	Pa-231	Pa-231	Pa-231	
Pa-232	0.0036	Pa-232	Pa-232	Pa-232	Pa-232	Pa-231
Pa-233	0.07398	Pa-233	Pa-233	Pa-233	Pa-233	
Pa-234	7.74E-4		Pa-234			Pa-233
U -232	69.866	U -232	U -232	U -232	U -232	
U -233	159373	U -233	U -233	U -233	U -233	
U -234	245877	U -234	U -234	U -234	U -234	U-233
U -235	7.042E8	U -235	U -235	U -235	U -235	
U -235m	4.946E-5		U -235m			U-235
U -236	2.3435E7	U -236	U -236	U -236	U -236	
U -237	0.01849	U -237	U -237	U -237	U -237	U-236
U -238	4.471E9	U -238	U -238	U -238	U -238	
U -239	4.464E-5		U -239			U-238
U -240	0.0016		U -240			
Np-235	1.085	Np-235			Np-235	
Np-236	1.55E5	Np-236		Np-236	Np-236	
Np-237	2.1413E6	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237	Np-237
Np-238	0.0058	Np-238	Np-238	Np-238	Np-238	
Np-239	0.0065	Np-239	Np-239	Np-239	Np-239	
Np-240	1.2367E-4		Np-240			
Np-240m	1.4079E-5		Np-240m			
Pu-236	2.858	Pu-236		Pu-236	Pu-236	
Pu-237	0.12411	Pu-237	Pu-237	Pu-237	Pu-237	
Pu-238	87.7727	Pu-238	Pu-238	Pu-238	Pu-238	Pu-238
Pu-239	24110	Pu-239	Pu-239	Pu-239	Pu-239	Pu-239
Pu-240	6564	Pu-240	Pu-240	Pu-240	Pu-240	Pu-240
Pu-241	14.29	Pu-241	Pu-241	Pu-241	Pu-241	Pu-241
Pu-242	373858	Pu-242	Pu-242	Pu-242	Pu-242	Pu-242
Pu-243	5.657E-4	Pu-243	Pu-243	Pu-243	Pu-243	
Pu-244	8.0072E7	Pu-244	Pu-244	Pu-244	Pu-244	
Pu-245	0.0012		Pu-245			
Pu-246	0.0297	Pu-246			Pu-246	
Am-240	0.0058		Am-240			
Am-241	433.16	Am-241	Am-241	Am-241	Am-241	Am-241
Am-242g	0.0018	Am-242g	Am-242g	Am-242g	Am-242g	Am-242g
Am-242m	141.11	Am-242m	Am-242m	Am-242m	Am-242m	Am-242m
Am-243	7369.36	Am-243	Am-243	Am-243	Am-243	Am-243
Am-244	0.00115	Am-244	Am-244		Am-244	
Am-244m	4.947E-5	Am-244m	Am-244m		Am-244m	

Нуклид	Период полураспада (год)	Ядерные данные для транспортных расчетов
--------	--------------------------	--

		JEFF-3.1	JENDL-3.3	ENDF-VI.8	ENDF-VII.0	BROND-2.2
1	2	3	4	5	6	7
Am-245	2.34E-4		Am-245			
Cm-240		Cm-240	Cm-242	Cm-241	Cm-240	
Cm-241	0.074	Cm-241	Cm-243	Cm-242	Cm-241	
Cm-242	0.0899	Cm-242	Cm-244	Cm-243	Cm-242	Cm-242
Cm-243	0.4465	Cm-243	Cm-245	Cm-244	Cm-243	Cm-243
Cm-244	30.0197	Cm-244	Cm-246	Cm-245	Cm-244	Cm-244
Cm-245	18.113	Cm-245	Cm-247	Cm-246	Cm-245	Np-235
Cm-246	8504	Cm-246	Cm-248	Cm-247	Cm-246	
Cm-247	4734	Cm-247	Cm-249	Cm-248	Cm-247	
Cm-248	1.601E7	Cm-248			Cm-248	
Cm-249	340246	Cm-249			Cm-249	
Cm-250	1.22E-4	Cm-250	Bk-249		Cm-250	
Bk-247	8.3E3	Bk-247	Bk-250	Bk-249	Bk-247	
Bk-249	1380	Bk-249	Cf-249		Bk-249	
Bk-250	0.877	Bk-250	Cf-250	Cf-249	Bk-250	
Cf-249	3.672E-4	Cf-249	Cf-251	Cf-250	Cf-249	
Cf-250	351.34	Cf-250	Cf-252	Cf-251	Cf-250	
Cf-251	13.09	Cf-251	Cf-253	Cf-252	Cf-251	
Cf-252	898.66	Cf-252		Cf-253	Cf-252	
Cf-253	2.6468					
Cf-254	0.049	Cf-254		Es-253	Cf-254	
Es-253	0.1658	Es-253			Es-253	
Es-254	0.056	Es-254			Es-254	
Es-255	0.7553	Es-255			Es-255	
Fm-255	0.109	Fm-255			Fm-255	
	0.0023					

Таблица 2. Перечень актинидов, ядерные данные для которых необходимы для расчета реактора ВТГР с плутониевой загрузкой и глубоким выгоранием /1/

Нуклид	Период полураспада(год)	Нуклид	Период полураспада(год)	Нуклид	Период полураспада(год)
1	2	1	2	1	2
Th-228	1.912	Np-237	2.1413E6	Cm-241	0.0899
Th-229	7340	Np-238	0.0058	Cm-242	0.4465
Th-230	75437	Np-239	0.0065	Cm-243	30.0197
Th-231	0.0029	Np-240	1.2367E-4	Cm-244	18.113
Th-232	1.406E10	Np-240m	1.4079E-5	Cm-245	8504
Th-234	0.067			Cm-246	4734
		Pu-237	0.12411	Cm-247	1.601E7
Pa-231	32787	Pu-238	87.7727	Cm-248	3.402E5
Pa-232	0.0036	Pu-239	24110	Cm-249	1.22E-4
Pa-233	0.07398	Pu-240	6564		
Pa-234	7.74E-4	Pu-241	14.29	Bk-249	0.877
		Pu-242	373858	Bk-250	3.672E-4
U -232	69.866	Pu-243	5.657E-4		
U -233	159373	Pu-244	8.0072E7	Cf-249	351.34
U -234	245877	Pu-245	0.0012	Cf-250	13.09
U -235	7.042E8			Cf-251	898.66
U -236	2.3435E7	Am-241		Cf-252	2.6468
U -237	0.01849	Am-242g		Cf-253	0.049
U -238	4.471E9	Am-242m	0.0058		
Нуклид	Период полураспада(год)	Нуклид	Период полураспада(год)	Нуклид	Период полураспада(год)
1	2	3	4	5	6

U -239	4.464E-5	Am-243	433.16		
U -240	0.0016	Am-244	0.0018		
		Am-244m	141.11		
		Am-245	7369.36		
			0.00115		
			4.947E-5		
			2.34E-4		

Таблица 3. Выбор ядерных данных для изотопов ТОРИЯ

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-2001	Рекомендация
Th-228	n,f	-	+	+	+	+	EAF-99 (*)
	n,g	-	+	+	+	+	EAF-99 (*)
	n,2n	-	+	+	+	+	EAF-99 (*)
	n,3n	-	+	+	+	+	EAF-99 (*)
Th-230	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (*)
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
Th-232	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
Th-233	n,f	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,g	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,2n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,3n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
Th-234	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3

Таблица 4. Выбор ядерных данных для изотопов ПРОТАКТИНИЯ

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-99	Рекомендация
Pa-231	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
Pa-232	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	+	+	+	EAF-99= ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	EAF-99= ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3
Pa-233	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (*)
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3~ ENDF/B-VII.0 (**)
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (**)

Таблица 5. Выбор ядерных данных для изотопов УРАНА

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-99	Рекомендация
U-230	n,f	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)

U-231	n,g	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,2n	-	-	-	-	+	EAF-99
	n,3n	-	-	-	-	+	EAF-99
	n,f	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,g	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,2n	-	-	-	-	+	EAF-99
U-232	n,3n	-	-	-	-	+	EAF-99
	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
U-233	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
U-234	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1
U-235	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
U-236	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3, ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	JEFF-3.1, ENDF/B-VII.0
U-237	n,3n	+	+	+	+	+	JEFF-3.1, ENDF/B-VII.0
	n,f	-	+	+	+	+	0-0.1 ENDF/B-VII.0, 0.1+20 JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	0-1.0 JENDL-3.3, 1+20 ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	+	+	+	JEFF-3.1, ENDF/B-VII.0
U-238	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	JEFF-3.1, ENDF/B-VII.0
U-239	n,3n	+	+	-	-	-	JENDL-3.3
	n,f	-	+	-	-	-	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	-	-	-	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	-	-	-	ENDF/B-VII.0
U-240	n,3n	-	+	-	-	-	ENDF/B-VII.0
	n,f	-	+	-	-	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	-	-	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	-	-	+	ENDF/B-VII.0
	n,3n	-	+	-	-	+	ENDF/B-VII.0

Таблица 6. Выбор ядерных данных для изотопов НЕПТУНИЯ

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-99	Рекомендация
Np-234	n,f	-	-	-	-	+	EAF-99
	n,g	-	-	-	-	+	EAF-99
	n,2n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,3n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
Np-235	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3
Np-236	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (*)
	n,2n	-	+	+	+	+	EAF-99
	n,3n	-	+	+	+	+	EAF-99
Np-237	n,f	+	+	+	+	+	BROND-2
	n,g	+	+	+	+	+	BROND-2
	n,2n	+	+	+	+	+	BROND-2
	n,3n	+	+	+	+	+	BROND-2
Np-238	n,f		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3 (*)
	n,g		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3 (*)
	n,2n		+	+	+	+	JENDL-3.3 (*)
	n,3n		+	+	+	+	JENDL-3.3
Np-239	n,f		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3 (**)
	n,g		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3 (**)
	n,2n		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3 (**)
	n,3n		+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3 (**)

Таблица 7. Выбор ядерных данных для изотопов ПЛУТОНИЯ

Изотоп	Реакция	BROND- 2.2(3)	ENDF- VII.0	JENDL- 3.3	JEFF- 3.1	EAF- 99	Рекомендация
Pu-236	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
Pu-237	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
Pu-238	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3, ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3, ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
Pu-239	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3, ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
Pu-240	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
Pu-241	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (*)
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 (*)
Pu-242	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	+	+	+	+	+	JEFF-3.1
	n,3n	+	+	+	+	+	JEFF-3.1
Pu-243	n,f	-	+	-	+	-	ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3
	n,g	-	+	-	+	-	ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3
	n,2n	-	+	-	+	-	ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3 (**)
	n,3n	-	+	-	+	-	ENDF/B-VII.0= JENDL-3.3 (**)
Pu-244	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
Pu-246	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3 (*)
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3 (*)
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= EAF-99= JENDL-3.3

Таблица 8. Выбор ядерных данных для изотопов АМЕРИЦИЯ

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-99	Рекомендация
Am-240	n,f					+	EAF-99 (**)
	n,g					+	EAF-99 (**)
	n,2n					+	EAF-99 (**)
	n,3n					+	EAF-99 (**)
Am-241	n,f	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,g	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,2n	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,3n	+	+	+	+	+	BROND-3
Am-242g	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
Am-242m	n,f	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,g	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,2n	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,3n	+	+	+	+	+	BROND-3
Am-243	n,f	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,g	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,2n	+	+	+	+	+	BROND-3
	n,3n	+	+	+	+	+	BROND-3
Am-244	n,f	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,g	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,2n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
	n,3n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (**)
Am-244m	n,f	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0
	n,3n	-	+	+	+	-	ENDF/B-VII.0

Таблица 9. Выбор ядерных данных для изотопов КЮРИЯ

Изотоп	Реакция	BROND-2.2(3)	ENDF-VII.0	JENDL-3.3	JEFF-3.1	EAF-99	Рекомендация
Cm-240	n,f	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=JENDL-3.3 (*)
	n,g	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=JENDL-3.3 (*)
	n,2n	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=JENDL-3.3, EAF-99
	n,3n	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=JENDL-3.3, EAF-99
Cm-241	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (*)
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
Cm-242	n,f	+	+	+	+	+	JENDL-3.3 (*)
	n,g	+	+	+	+	+	JENDL-3.3, EAF-99
	n,2n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	+	+	+	+	+	JENDL-3.3
Cm-243	n,f	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, BROND-3
	n,g	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, BROND-3
	n,2n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, BROND-3
	n,3n	+	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, BROND-3
Cm-244	n,f	+	+	+	+	+	BROND-3, ENDF/B-VII.0
	n,g	+	+	+	+	+	BROND-3, ENDF/B-VII.0
	n,2n	+	+	+	+	+	BROND-3, ENDF/B-VII.0
	n,3n	+	+	+	+	+	BROND-3, ENDF/B-VII.0
Cm-245	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
Cm-246	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3 (*)
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JEFF-3.1=JENDL-3.3
Cm-247	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0=JENDL-3.3
Cm-248	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
Cm-249	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 (**)
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 (*)
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B, JENDL-3.3, JEFF-3.1
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1
Cm-250	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1 (*)
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3, JEFF-3.1

Таблица 10. Выбор ядерных данных для изотопов КАЛИФОРНИЯ

Изотоп	Реакция	BROND- 2.2(3)	ENDF- VII.0	JENDL- 3.3	JEFF- 3.1	EAF-99	Рекомендация
Cf-246	n,f	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,g	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,2n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,3n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
Cf-248	n,f	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,g	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,2n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
	n,3n	-	-	-	-	+	EAF-99 (**)
Cf-249	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
Cf-250	n,f	-	+	+	+	+	JEFF-3.1=EAF-99= JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0, JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	JEFF-3.1= JENDL-3.3
Cf-251	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (**)
Cf-252	n,f	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (*)
	n,3n	-	+	+	+	+	JENDL-3.3 (*)
Cf-254	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 = JENDL-3.3 (*)
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 = JENDL-3.3 (*)
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 = JENDL-3.3 (*)
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0 = JENDL-3.3 (*)

Таблица 11. Выбор ядерных данных для изотопов БЕРКЛИЯ

Изотоп	Реакция	BROND- 2.2(3)	ENDF- VII.0	JENDL- 3.3	JEFF- 3.1	ЕАF- 99	Рекомендация
Bk-245	n,f	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,g	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,2n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,3n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
Bk-246	n,f	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,g	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,2n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,3n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
Bk-247	n,f	-	-	+	+	+	JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,g	-	-	+	+	+	JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,2n	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=ЕАF-99= JENDL-3.3
	n,3n	-	-	+	+	+	JEFF-3.1=ЕАF-99= JENDL-3.3
Bk-248	n,f	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,g	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,2n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
	n,3n	-	-	-	-	+	ЕАF-99
Bk-249	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0
Bk-250	n,f	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,g	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,2n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3
	n,3n	-	+	+	+	+	ENDF/B-VII.0= JEFF-3.1= JENDL-3.3

Литература

1. **Блохин, А.И.** Влияние ядерных данных на скорости накопления актинидов в реакторах ВТГР с плутониевой загрузкой / А.И. Блохин, Е.Ф. Митенкова, Н.В. Новиков // ВАНТ, сер. Ядерные константы — 2006 — Вып. 1–2 — С. 110–120.
2. **Blokhin, A.I.** Current Status of Russian Evaluated Neutron Data Libraries / A.I. Blokhin, B.I. Fursov, A.V. Ignatyuk, V.N. Koshcheev, E.V. Kulikov, B.D. Kuzminov, V.N. Manokhin and M.N. Nikolaev // Proc. International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, USA, May 9-13 — 1994 — Vol. 2 — P.695.
3. **Ignatyuk, A.V.** The latest BROND-3 developments / A.V. Ignatyuk, B.I. Fursov // Proc. International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Nice, France, April 22-27 — 2007 — Vol. 2 — 759 p.
4. **Rose, P.F.** Neutron-induced reaction file. "ENDF-201, ENDF/B-VI Summary Documentation," BNL-NCS-17541, 4th Edition (1991).
5. **Chadwick, M.B.** "ENDF/B-VII.0.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology," / M.B. Chadwick, P. Oblozinsky, M. Herman et al // Nucl. Data Sheets. — 102 — 2931 — 2006.
6. **Shibata, K.** Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3 / K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa et al // J. Nucl. Sci. Technol. — Vol. 39 — No.11 — 2002 — P. 1125–1136.
7. **Koning, A.** The JEFF-3.1 Nuclear Data Library," (Ed) A. Koning, R. Forrest, M. Kellett, R. Mills, H. Henriksson and Y. Rugama // JEFF Report 21 — 2006.
8. **Chinese Nuclear Data Center:** "Communication of Nuclear Data Progress, No. 6," INDC(CPR)-025/L (1991). See Also: Chinese Nuclear Data Center: "Communication of Nuclear Data Progress, No. 6, Supplement" INDC(CPR)-028/L — 1992.
9. **Kopecky, J.** The European Activation File: EAF-99 cross section library / J. Kopecky, J-Ch. Sublet, R.A. Forrest // UKAEA FUS 408 — 1998.
10. **Forrest, R.A** The European Activation File: EAF-2003 cross section library / R.A. Forrest., J. Kopecky, J-Ch. Sublet // UKAEA FUS 486 — 2002.
11. **Манохин, В.Н.** Систематические тенденции в поведении сечений деления и реакции (n,2n) делящихся изотопов / В.Н. Манохин, А.И. Блохин. — (Препринт / ФЭИ-2715) — 1998 — 21 с.

Приложение А

Перечень рисунков с представленными данными по сечениям деления (n,f), радиационного захвата нейтронов (n,g), реакциям (n,2n), (n,3n) для актинидов.

- Рис. 1. Сечение деления Th-230 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 2. Сечение деления Th-230 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 3. Сечение радиационного захвата Th-230 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 4. Сечение радиационного захвата Th-230 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 5. Сечение реакции (n,2n) Th-230.
- Рис. 6. Сечение реакции (n,3n)Th-230.
- Рис. 7. Сечение деления Th-232 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 8. Сечение деления Th-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 9. Сечение радиационного захвата Th-232 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 10. Сечение радиационного захвата Th-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 11. Сечение реакции (n,2n) Th-232.
- Рис. 12. Сечение реакции (n,3n)Th-232.
- Рис. 13. Сечение деления Th-233 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 14. Сечение деления Th-233 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 15. Сечение радиационного захвата Th-234 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 16. Сечение радиационного захвата Th-233 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 17. Сечение реакции (n,2n) Th-233.
- Рис. 18. Сечение реакции (n,3n)Th-233.
- Рис. 19. Сечение деления Th-234 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 20. Сечение деления Th-234 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 21. Сечение радиационного захвата Th-234 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 22. Сечение радиационного захвата Th-234 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 23. Сечение реакции (n,2n) Th-234.
- Рис. 24. Сечение реакции (n,3n)Th-234.
- Рис. 25 Сечение деления Pa-231 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 26 Сечение деления Pa-231 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 27 Сечение радиационного захвата Pa-231 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 28 Сечение радиационного захвата Pa-231 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 29 Сечение реакции (n,2n) Pa-231.
- Рис. 30 Сечение реакции (n,3n) Pa-231.
- Рис. 31 Сечение деления Pa-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис.32 Сечение радиационного захвата Pa-232 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 33 Сечение радиационного захвата Pa-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 34 Сечение реакции (n,2n) Pa-232.
- Рис. 35 Сечение реакции (n,3n) Pa-232.
- Рис. 36 Сечение деления Pa-233 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 37 Сечение деления Pa-233 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 38 Сечение радиационного захвата Pa-233 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 39 Сечение радиационного захвата Pa-233 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 40 Сечение реакции (n,2n) Pa-233.
- Рис. 41 Сечение реакции (n,3n) Pa-233.
- Рис. 42 Сечение деления U-230 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 43 Сечение радиационного захвата U-230 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 44 Сечение реакции (n,2n) U-230.
- Рис. 45 Сечение реакции (n,3n) U-230.
- Рис. 46 Сечение деления U-231 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 47 Сечение радиационного захвата U-231 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 48 Сечение реакции (n,2n) U-231.
- Рис. 49 Сечение реакции (n,3n) U-231.
- Рис. 50 Сечение деления U-232 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 51 Сечение деления U-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 52 Сечение радиационного захвата U-232 в резонансной области энергий нейтронов.
- Рис. 53 Сечение радиационного захвата U-232 в области энергий нейтронов $1 \div 20$ МэВ.
- Рис. 54 Сечение реакции (n,2n) U-232.
- Рис. 55 Сечение реакции (n,3n) U-232.

