

# Образование аксионов в ядерных переходах осколков деления в активной зоне реактора

Задорожная С.А., студентка 3 курса  
ИЯФИТ НИЯУ МИФИ

Научный руководитель:  
Литвинович Е.А., доц., к.ф.-м.н

Москва, 2025



# Введение



**Цель работы:** Изучение и обзор гипотезы о рождении аксионов в M1-переходах осколков деления U-235 в активной зоне ядерного реактора путём отбора и анализа соответствующих осколков деления.

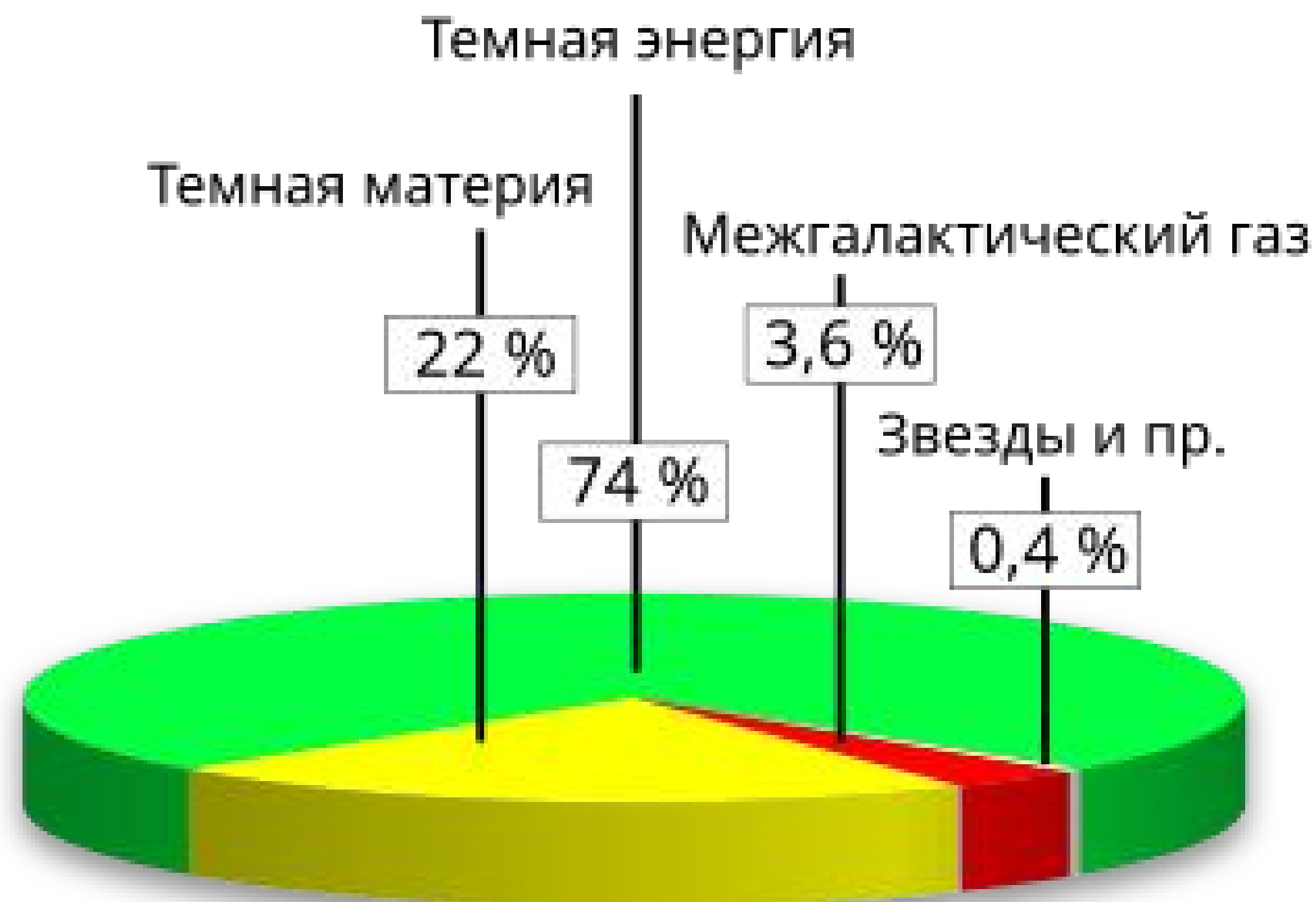
## Задачи:

1. Изучение возможности образования аксиона в M1-переходах осколков деления в активной зоне реактора.
2. Изучение ядерной международной базы данных ENDF для работы с осколками: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>
3. Отбор и анализ осколков деления U-235 тепловыми нейтронами, которые испытывают M1-переходы.

# Проблемы скрытой массы



**Тёмная материя** — гипотетическая форма материи, не участвующая в электромагнитном взаимодействии и поэтому недоступная прямому наблюдению.



# Проблемы скрытой массы



## Барионная ТМ

1. Межзвёздный/  
межгалактический газ
2. Коричневые карлики
3. Другие компактные  
объекты (нейтронные  
звёзды, белые карлики,  
чёрные дыры)

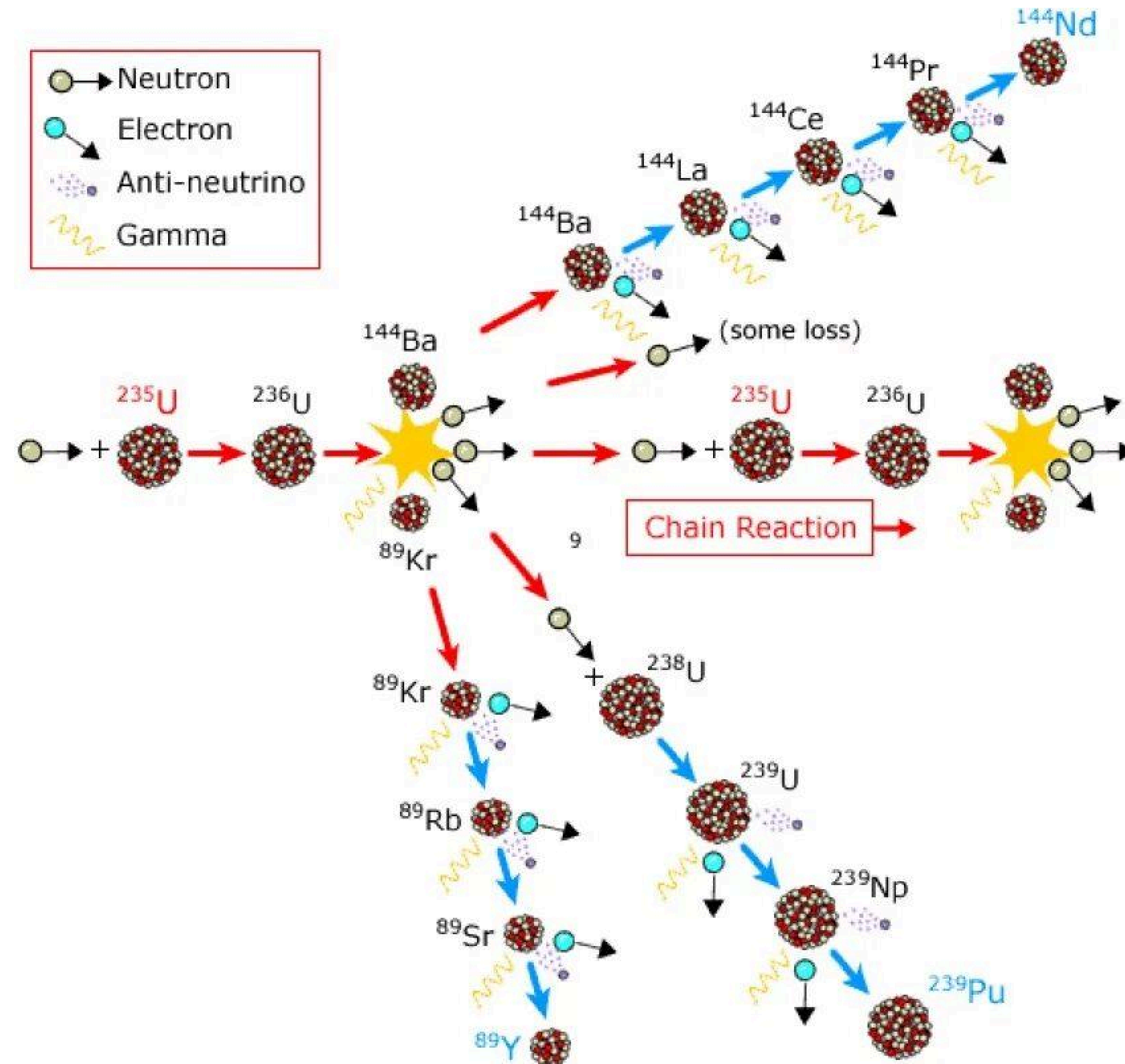
## Небарионная ТМ

1. WIMP'ы
2. Тяжёлые нейтрино
3. Суперсимметричные  
частицы
4. Аксионы

# Процессы в активной зоне ядерного реактора



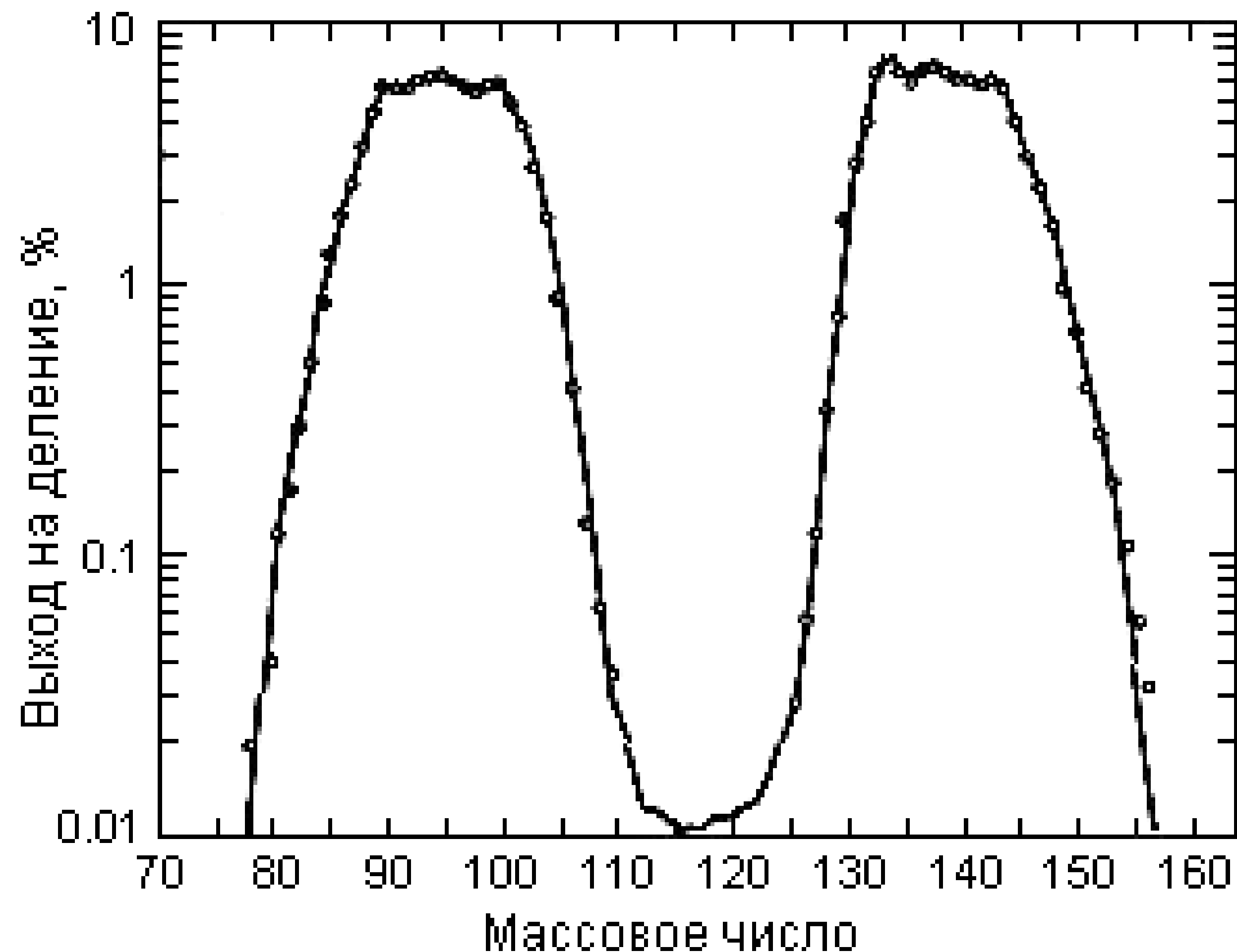
Схема реакции  
деления урана-235  
нейтронами



# Массовое распределение осколков



Массовое распределение осколков деления U-235  
тепловыми нейтронами



# База данных ENDF: осколки урана-235



Ground State isomers	Levels	Gammas	Decay Radiation	Nuclear Moments	Neutron Capture	<b>Fission Yields</b>	Schema Plot
----------------------	--------	--------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------	-------------

See the Fission Yields 3D plot

Source: JEFF3.1.1 • Definitions & Sources CSV Data API

Cumulative Fission Yield					
Total number of atoms produced over all time after one fission					
Nuclide	Parent	Thermal	Fast	14 MeV	
$^1_0\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.711E-05 1.8479E-06	2.6891E-05 4.3831E-06	2.6369E-05 4.4564E-06	
$^2_1\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	8.4E-06 1.5036E-06	8.2182E-06 1.1998E-06	8.0587E-06 1.233E-06	
$^3_1\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.08E-04 3.996E-06	1.08E-04 3.996E-06	1.742E-04 3.6059E-05	
$^3_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.08E-04 3.996E-06	1.08E-04 3.996E-06	1.742E-04 3.6059E-05	
$^4_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.7021E-03 4.93E-05	1.7E-03 4.93E-05	1.667E-03 8.8351E-05	
$^6_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.668E-05 1.8409E-06			
$^6_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.668E-05 1.8409E-06			
$^8_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	7.292E-07 1.1813E-07			
$^9_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	4.071E-07 2.8497E-08			
$^8_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.3418E-06 1.1813E-07			
$^9_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	6.1268E-07 2.8497E-08			
$^{10}_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	5.201E-06 2.5485E-07			
$^{12}_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.261E-07 3.0138E-08			
$^9_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	4.071E-07 2.8497E-08			
$^{10}_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	5.201E-06 2.5485E-07			
$^{12}_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.522E-07 3.0138E-08			
$^{12}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.4822E-07 3.0138E-08			
$^{14}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.578E-06 2.4301E-07			
$^{15}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.528E-07 3.2358E-08			

See the Fission Yields 3D plot

Source: JEFF3.1.1 • Definitions & Sources CSV Data API

Independent Fission Yield					
Number of atoms produced directly from one fission after prompt n emission					
Nuclide	Parent	Thermal	Fast	14 MeV	
$^1_0\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.711E-05 2.9483E-06	2.6891E-05 9.1812E-06	2.6369E-05 9.0796E-06	
$^2_1\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	8.4E-06 2.4389E-06	8.2182E-06 2.7419E-06	8.0587E-06 2.7139E-06	
$^3_1\text{H}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.08E-04 5.8635E-06	1.08E-04 1.5035E-05	1.742E-04 6.2493E-05	
$^3_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	0.E+00 0.E+00	0.E+00 0.E+00	0.E+00 0.E+00	
$^4_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.7E-03 8.1347E-05	1.7E-03 1.7553E-04	1.667E-03 1.4144E-04	
$^6_2\text{He}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.668E-05 4.8784E-06			
$^6_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	0.E+00 0.E+00			
$^8_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	7.292E-07 2.368E-07			
$^9_3\text{Li}$	$^{235}_{92}\text{U}$	4.071E-07 1.0491E-07			
$^8_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	7.292E-07 1.6507E-07			
$^9_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	4.071E-07 1.6535E-07			
$^{10}_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	5.201E-06 9.0853E-07			
$^{12}_4\text{Be}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.261E-07 4.4982E-08			
$^9_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	4.071E-07 1.1018E-07			
$^{10}_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	5.201E-06 8.9948E-07			
$^{12}_5\text{B}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.261E-07 5.5747E-08			
$^{12}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	0.E+00 0.E+00			
$^{14}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	1.578E-06 4.7597E-07			
$^{15}_6\text{C}$	$^{235}_{92}\text{U}$	2.528E-07 4.9177E-08			

# 10 осколков деления урана-235



<b>Z доч.</b>	<b>A доч.</b>	<b>Элемент</b>	<b>Z род.</b>	<b>A род.</b>	<b>Элемент род.</b>	<b>Thermal FY</b>
54	134	Xe	92	235	U	0.07785
53	134	I	92	235	U	0.07743
52	134	Te	92	235	U	0.067872
56	138	Ba	92	235	U	0.06724
55	138	Cs	92	235	U	0.06685
55	135	Cs	92	235	U	0.066218
54	135	Xe	92	235	U	0.06614
54	133	Xe	92	235	U	0.065963
55	133	Cs	92	235	U	0.065963
53	133	I	92	235	U	0.065948

# База данных ENDF: M1-переходы



Ground State isomers	Levels	Gammas	Decay Radiation	Nuclear Moments	Neutron Capture	Fission Yields	Schema Plot
----------------------	--------	--------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-------------

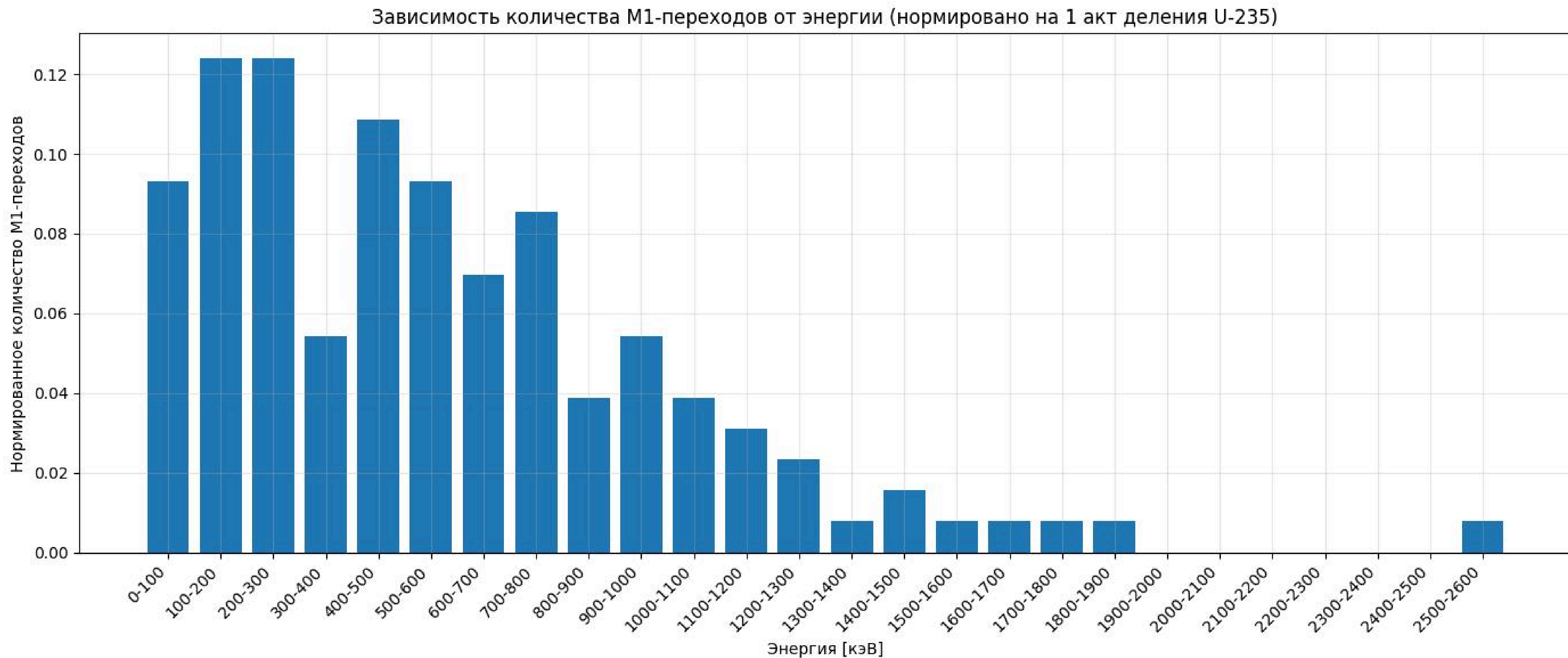
78 rows retrieved

Comments ☐ · Click on a column header to open the guide · Uncertainty for numeric values refers to the last digits of the value: 12.1 23 means  $12.1 \pm 2.3$  · Data from E  
Definitions & Sources

CSV Data API Evaluation: A.A. Sonzogni Publication cut-off: 31-Jul-2004 ENSDF insertion: 2004-10 Publication: Nuclear Data Sheets 103, 1 (2004) 10.1016/j.nds.200

#	Nuclide	Initial Level			Final Level		$E_\gamma$ [keV]	$I_\gamma$ (rel) [%]	Mult.	$\delta$	$\alpha_T$	B(EL) [W.u.]	B(ML) [W.u.]	Additional data	Comments
		$E_x$ [keV]	$J^\pi$ order	$T_{1/2}$ or Width	$E_x$ [keV]	$J^\pi$ order									
1	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	847.041 23	2+	2.08 ps 14	0.0	0+	847.025 25	100	E2		0.00237	15.3 11			
2	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1613.77 3	(2)+		847.041 23	2+	766.68 4	96 3	M1+E2	-2.4 2	0.00315 3				
3	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1613.77 3	(2)+		0.0	0+	1613.80 4	100 5	[E2]						
4	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1636.2 10	(0+)		847.041 23	2+	789.22								
5	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1731.17 3	4+	2.22 ps 14	847.041 23	2+	884.090 25	100	E2		0.00215	11.6 8			
6	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1919.60 3	3+		1731.17 3	4+	188.47 4	5.1 4	M1,E2		0.17 3				
7	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1919.60 3	3+		847.041 23	2+	1072.55 3	100 4	M1+E2	+0.16 2	0.00185				
8	<sup>134</sup> <sub>54</sub> Xe <sub>80</sub>	1946.8 7			847.041 23	2+	1099.77								

# Полученные результаты



# Заключение



1. Проведен обзор имеющихся решений проблемы скрытой массы Вселенной.
2. Изучена база ядерных данных МАГАТЭ ENDF.
3. На основе анализа БД проведён отбор части M1-переходов осколков деления U-235 в активной зоне реактора, в которых могут образовываться аксионы — частицы-кандидаты на роль скрытой массы.

**Вывод:** Энергия большинства рассмотренных M1-переходов не превышает 1 МэВ, что соответствует области естественной радиоактивности материалов.

Это создает существенные сложности для регистрации таких переходов из-за высокого фонового сигнала и необходимости применения высокочувствительного оборудования с эффективной системой подавления фона.

**Спасибо за внимание!**

