

Деление ядер нейтронами: современные подходы и результаты
моделирования сечения реакции

$^{238}\text{U}(n,f)$

Студент:

А.А. Несынов, Б23-102

Научный руководитель:

А.Л. Барабанов, д. ф.-м. н., доц., проф. каф. № 40

Москва, 2026

Задача, цель, актуальность

Задача

Моделирование зависимости сечения деления ядра ^{232}Th от энергий налетающих нейтронов; Попытка воспроизведения экспериментальных данных базы данных EXFOR.

Цель

изучение механизма деления ядра ^{238}U нейтронами в диапазоне энергий от 0.1 до 50 МэВ.

Актуальность

определение полного сечения для дальнейшего определения дифференциального сечения рассеяния деления в реакции $^{238}\text{U}(n,f)$.

Используемые модели

Модель двугорбного барьера:

Задаются высоты и ширины барьеров. Использовалась модель экспериментальных барьеров деления (fismodel 1)

Модели плотности уровней

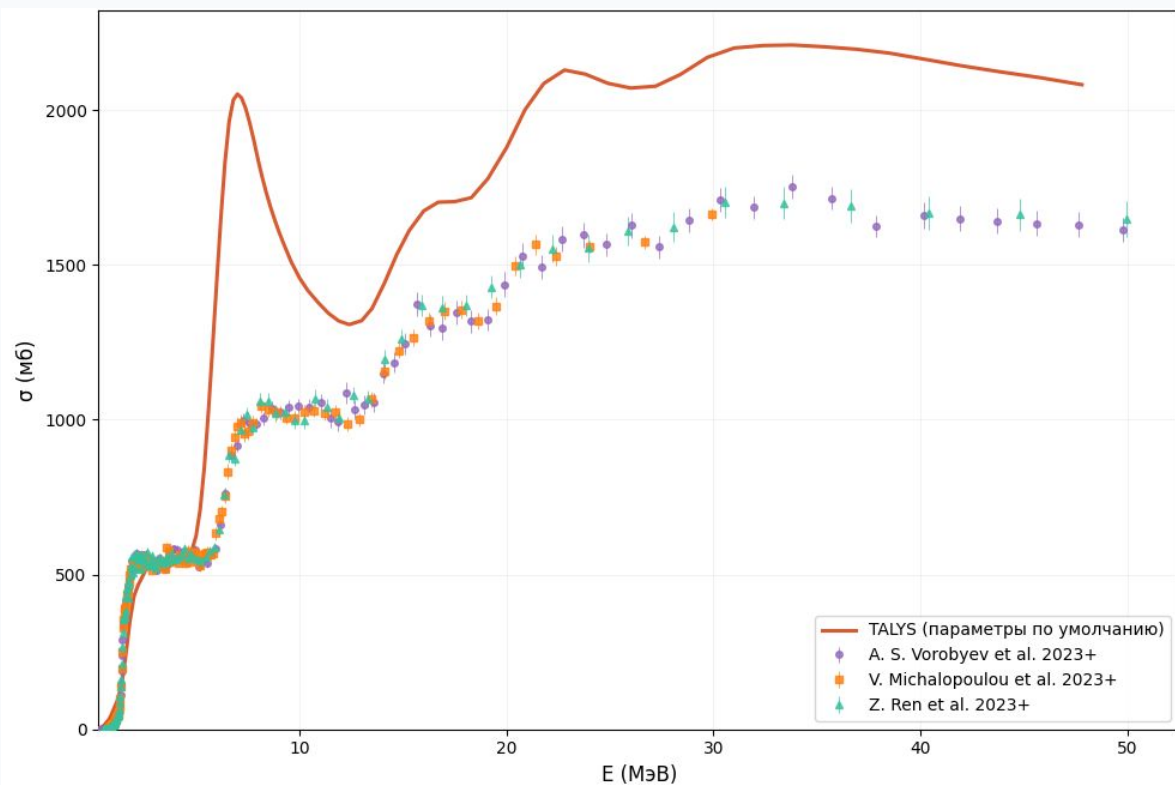
1. Модель постоянной температуры + ферми-газа (СТМ)
2. Модель ферми-газа со сдвигом назад (BFM)
5. Комбинаторные плотности уровней Скирма-Хартри-Фока-Боголюбова из численных таблиц

$$\rho^{\text{tot}}(E_x) = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right), \quad E_x < E^*,$$

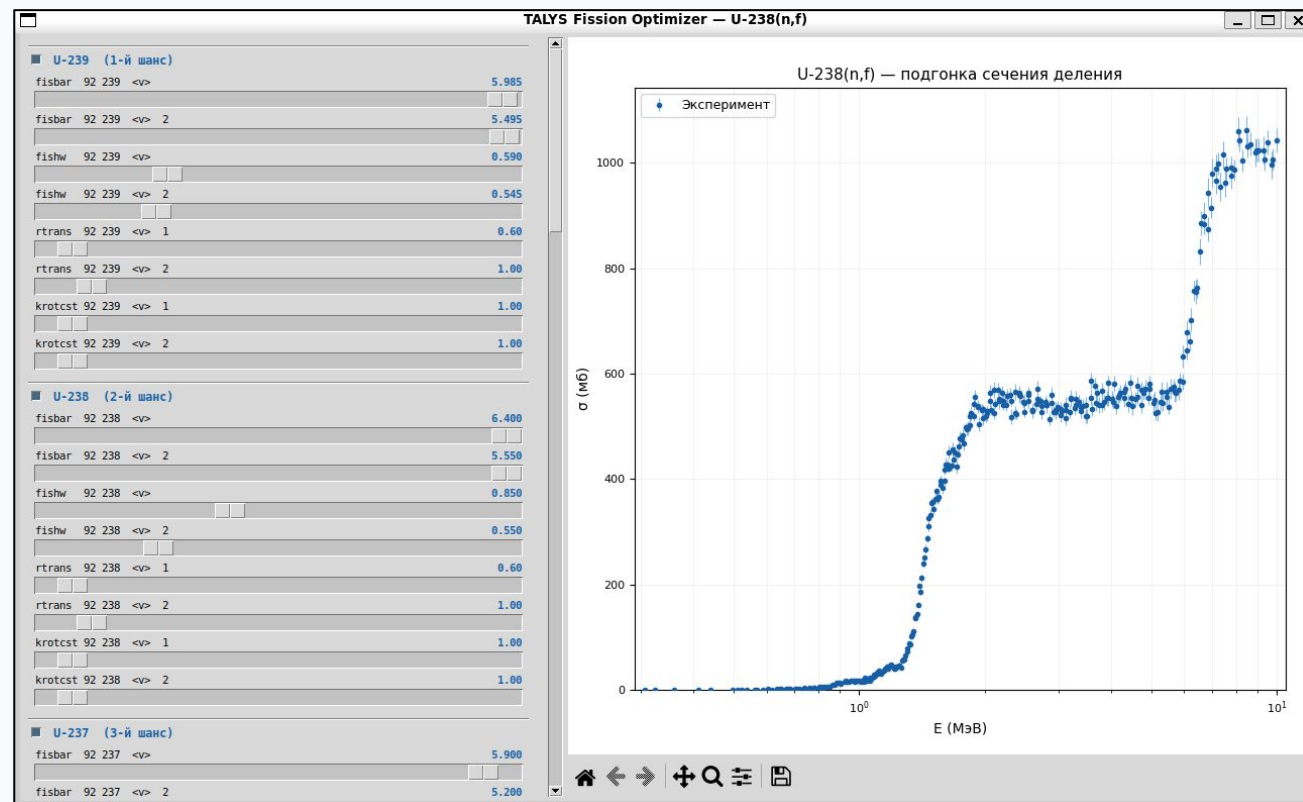
$$\rho(E_x) \propto \frac{\exp(2\sqrt{aU})}{a^{1/4} U^{5/4}}, \quad U = E_x - \Delta_{\text{BFG}}.$$

Моделирование

Стандартные параметры



Графический интерфейс



preeqmode

Экситонная модель

На высоких энергиях ядро еще не успевает прийти к равновесию; часть частиц может вылететь раньше.

Возбужденные состояния ядра характеризуются энергией возбуждения и суммарным числом n экситонов - p возбужденных частиц над поверхностью Ферми и h дырок ($n = p + h$). При этом считается, что все способы распределения энергии возбуждения между частицами и дырками для данного n -экситонного состояния равновероятны.

preeqmode 1

Экситонная модель: аналитические скорости переходов с зависящим от энергии матричным элементом.

preeqmode 2

Экситонная модель: Численные скорости переходов с зависящим от энергии матричным элементом.

Результаты

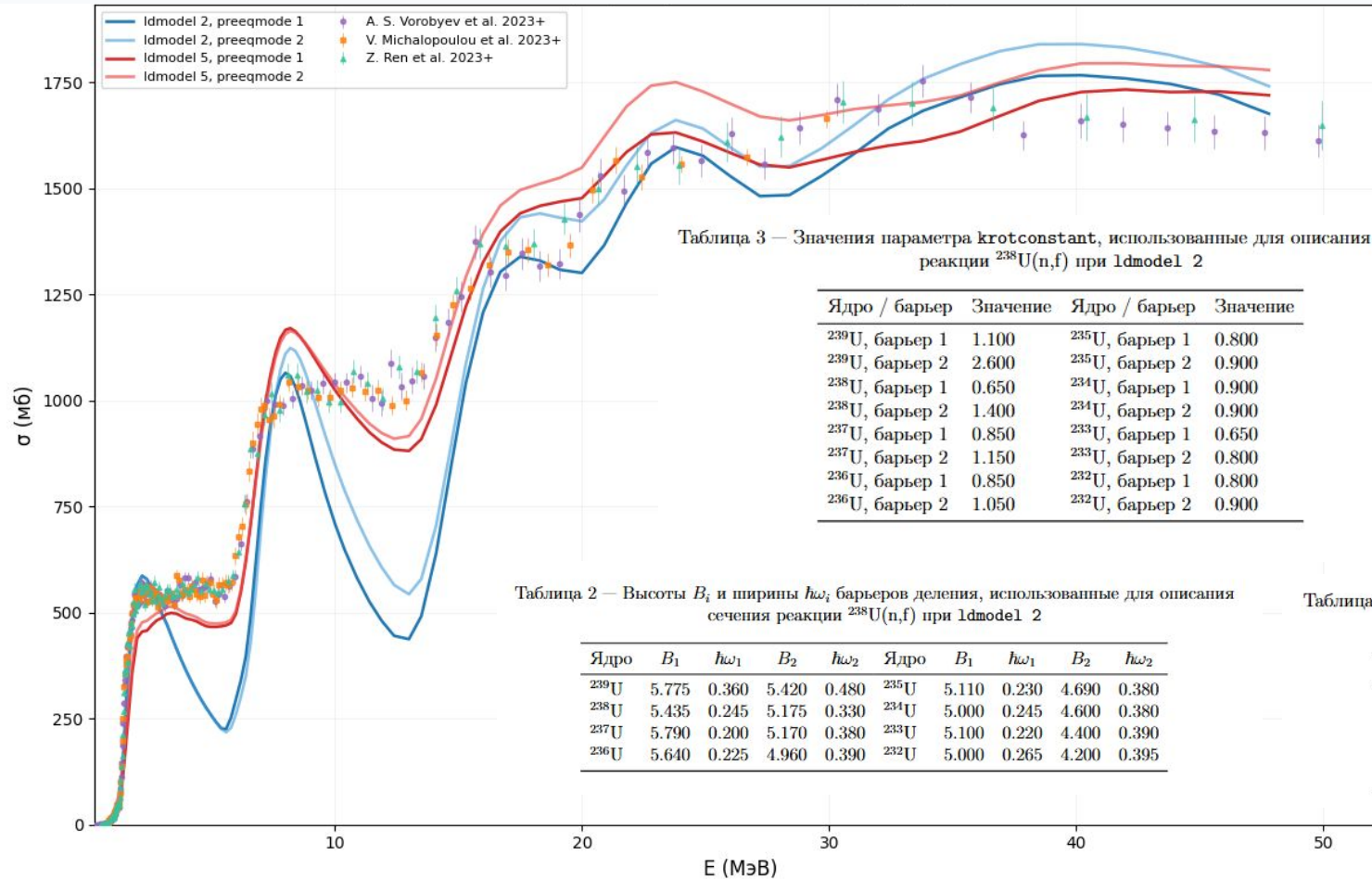


Таблица 3 — Значения параметра $krotconstant$, использованные для описания сечения реакции $^{238}\text{U}(n,f)$ при $ldmodel\ 2$

Ядро / барьер	Значение	Ядро / барьер	Значение
^{239}U , барьер 1	1.100	^{235}U , барьер 1	0.800
^{239}U , барьер 2	2.600	^{235}U , барьер 2	0.900
^{238}U , барьер 1	0.650	^{234}U , барьер 1	0.900
^{238}U , барьер 2	1.400	^{234}U , барьер 2	0.900
^{237}U , барьер 1	0.850	^{233}U , барьер 1	0.650
^{237}U , барьер 2	1.150	^{233}U , барьер 2	0.800
^{236}U , барьер 1	0.850	^{232}U , барьер 1	0.800
^{236}U , барьер 2	1.050	^{232}U , барьер 2	0.900

Таблица 2 — Высоты B_i и ширины $h\omega_i$ барьеров деления, использованные для описания сечения реакции $^{238}\text{U}(n,f)$ при $ldmodel\ 2$

Ядро	B_1	$h\omega_1$	B_2	$h\omega_2$	Ядро	B_1	$h\omega_1$	B_2	$h\omega_2$
^{239}U	5.775	0.360	5.420	0.480	^{235}U	5.110	0.230	4.690	0.380
^{238}U	5.435	0.245	5.175	0.330	^{234}U	5.000	0.245	4.600	0.380
^{237}U	5.790	0.200	5.170	0.380	^{233}U	5.100	0.220	4.400	0.390
^{236}U	5.640	0.225	4.960	0.390	^{232}U	5.000	0.265	4.200	0.395

Таблица 4 — Высоты B_i и ширины $h\omega_i$ барьеров деления, использованные для описания сечения реакции $^{238}\text{U}(n,f)$ при $ldmodel\ 5$

Ядро	B_1	$h\omega_1$	B_2	$h\omega_2$	Ядро	B_1	$h\omega_1$	B_2	$h\omega_2$
^{239}U	6.000	0.465	5.500	0.405	^{235}U	6.000	0.340	5.500	0.255
^{238}U	5.950	0.375	5.500	0.245	^{234}U	5.895	0.300	5.375	0.235
^{237}U	5.885	0.390	5.345	0.310	^{233}U	6.000	0.275	5.500	0.190
^{236}U	5.960	0.250	5.500	0.190	^{232}U	6.000	0.210	5.500	0.175

До 10–12 МэВ

различия сильнее задаются барьерами и $ldmodel$, чем $preeqmode$

После ~15 МэВ

$preeqmode$ заметно меняет форму в области 3-го и 4-го шансов деления

Результаты

Энергии	Область	Основное влияние на расчетное сечение
0.1–1 МэВ	подбарьерная область	высоты и ширины барьеров первого шанса
1–6 МэВ	первое плато	барьеры + вращательное усиление, выбор Idmodel
6–12 МэВ	второй шанс	параметры второго шанса, выбор Idmodel
>15 МэВ	последующие шансы	preeqmode

Заключение

- Выполнено моделирование сечения деления ^{238}U под действием нейтронов в диапазоне энергий от 0.1 до 50 МэВ с использованием TALYS-2.2;
- Стандартные параметры TALYS-2.2 заметно расходятся с EXFOR для $^{238}\text{U}(n,f)$, особенно перед порогом новых каналов.
- Первые плато получилось описать, используя модель комбинаторных плотностей уровней Скирма-Хартри-Фока-Боголюбова из численных таблиц, на больших энергиях разница между моделями плотностей уровней незначительна.
- Выбор `rgreeqmode` становится существенным выше ~ 15 МэВ, где растет вклад третьего и последующих шансов деления.
- Удалось достигнуть гладкого воспроизведения формы сечения, дальнейшие уточнения требуют доработки.