

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра общей ядерной физики



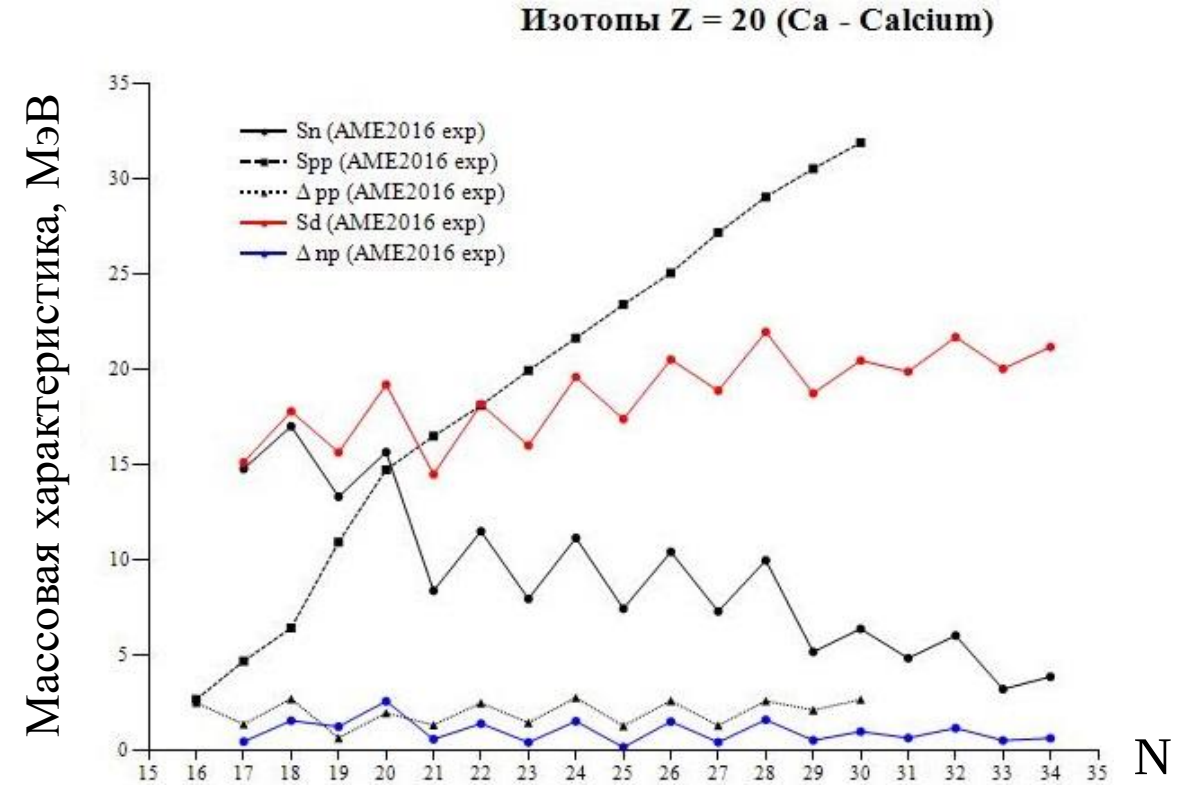
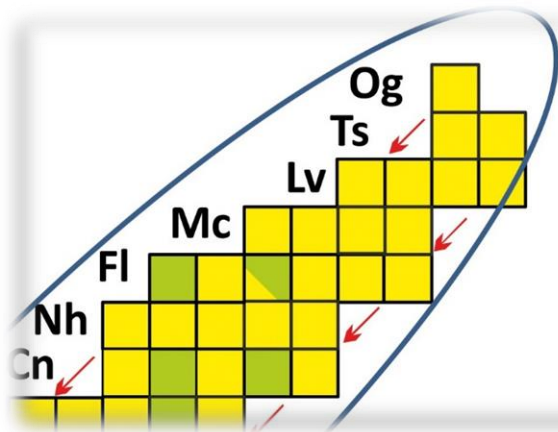
Нуклонные корреляции и характеристики трансфермиевых элементов

Бакалаврская работа

Симонов Макар Валерьевич, студент 413 группы
Научный руководитель: с. н. с., к. ф.-м. н. Третьякова Т.Ю.

Актуальность работы

Расчет энергии связи, энергий реакций и **массовых характеристик**, отражающих спаривание и четно-нечетные эффекты, требует разработки точных **вычислительных методов** с приемлемой трудоемкостью.



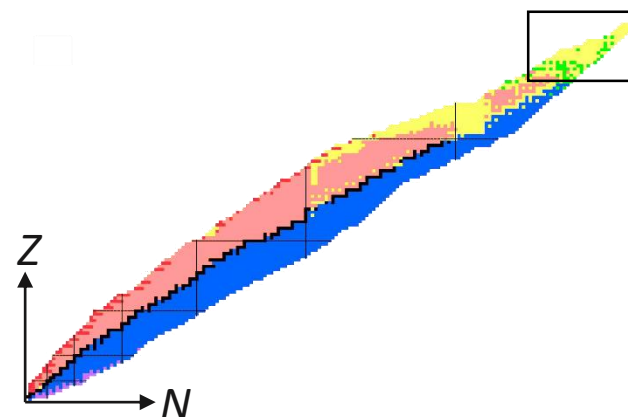
Для **сверхтяжелых элементов (SHE)** важными величинами является энергия связи и энергия α -распада.

Цели и задачи

Цель работы – изучение массовых соотношений, отражающих протон-нейтронные корреляции.

Задачи

- Поиск массовых соотношений с регулярным поведением
- Расчет характеристик SHE с использованием **массовых соотношений**:
 - Энергия связи
 - Энергия α -распада
 - Период полураспада по α -каналу

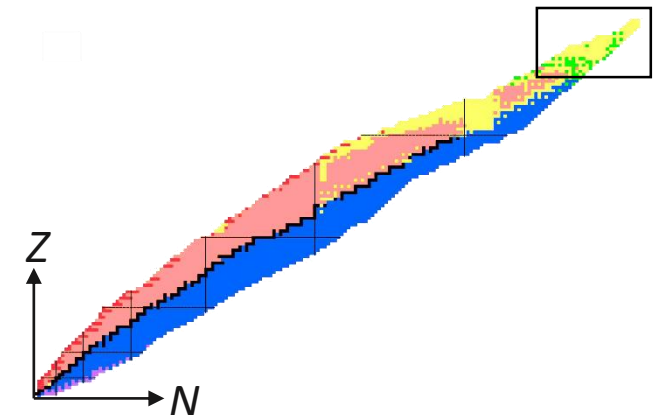
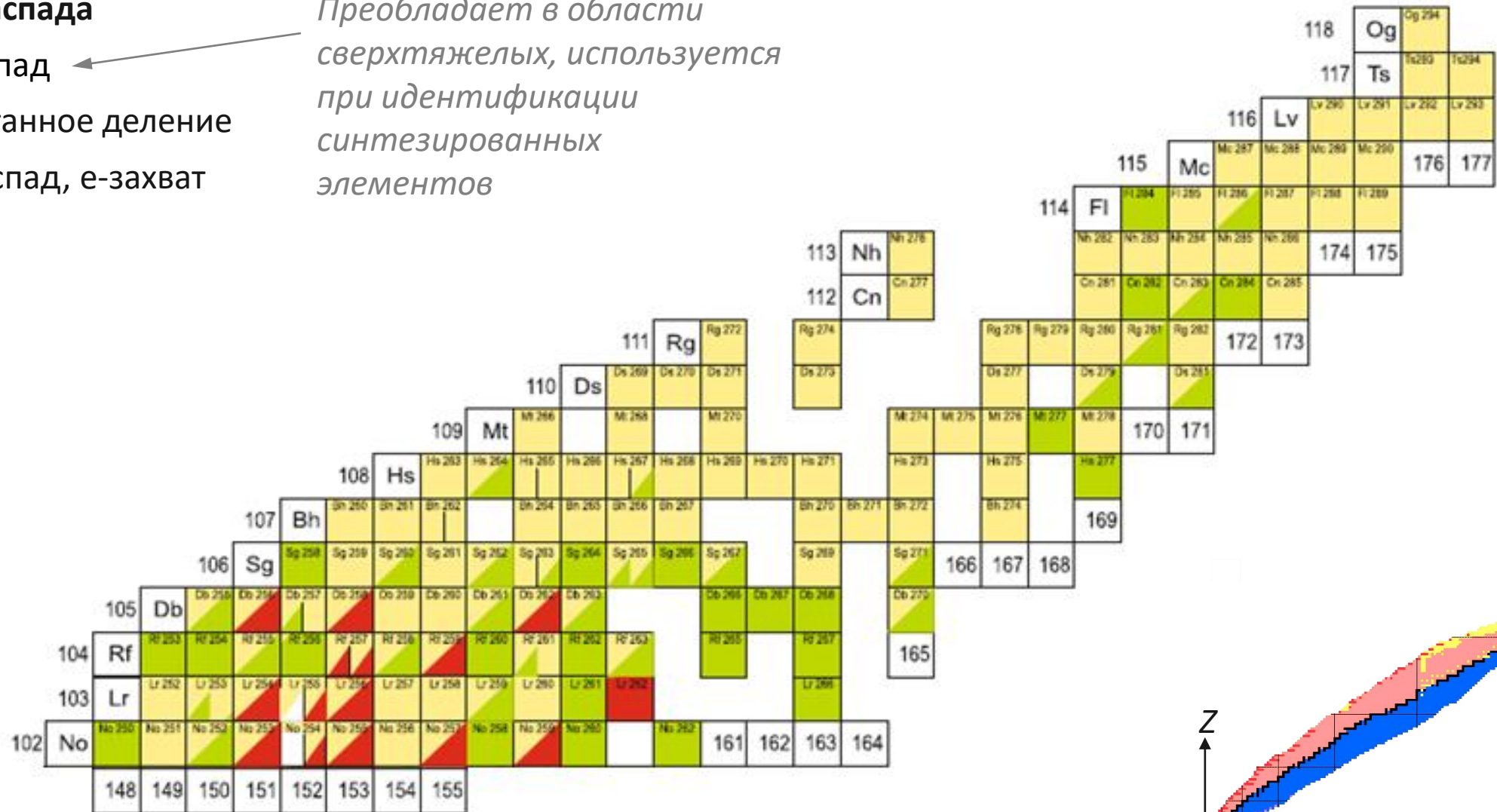


Трансфермиевые, или сверхтяжелые, элементы (SNE)

Моды распада

- α -распад
- Spонтанное деление
- β^+ -распад, e-захват

Преобладает в области сверхтяжелых, используется при идентификации синтезированных элементов



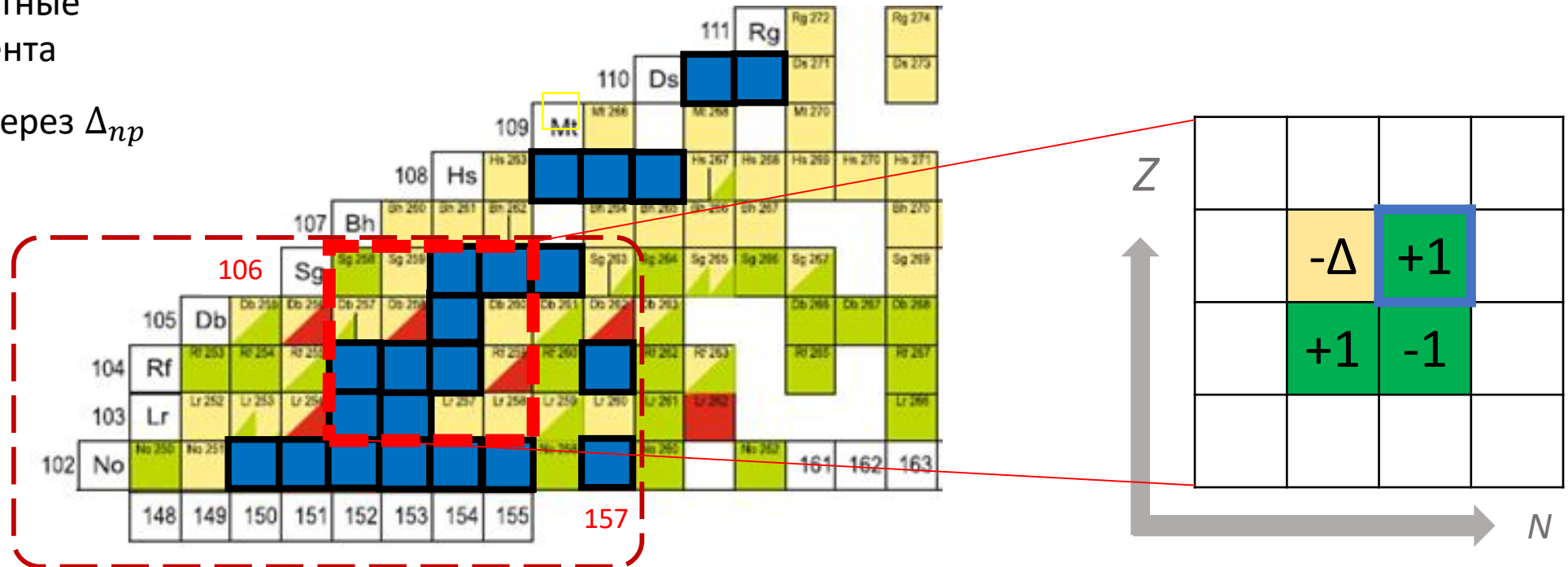
Массовые соотношения

Массовая разностная характеристика для оценки np -корреляций:

$$\Delta_{np}(Z, N) = [S_{np}(Z, N) - S_p(Z, N - 1) - S_n(Z - 1, N)] =$$

$$= [B(Z, N) - B(Z, N - 1)] - [B(Z - 1, N) - B(Z - 1, N - 1)]$$

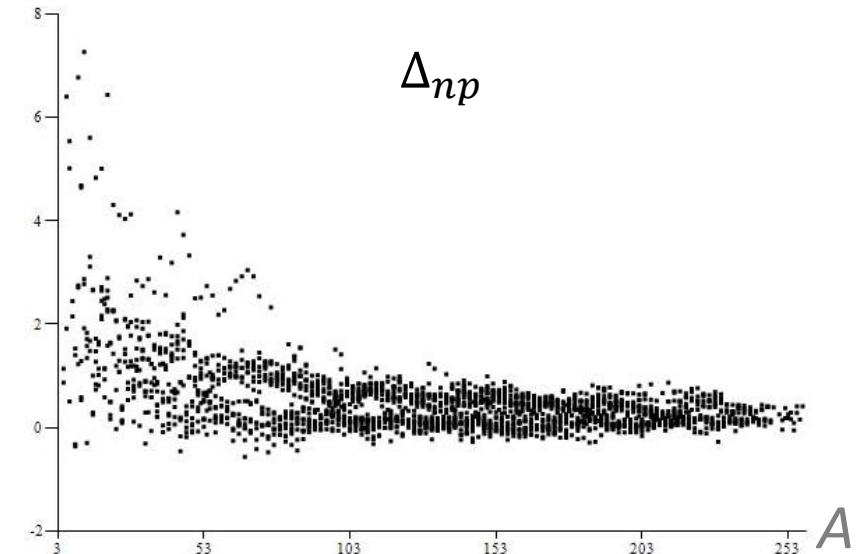
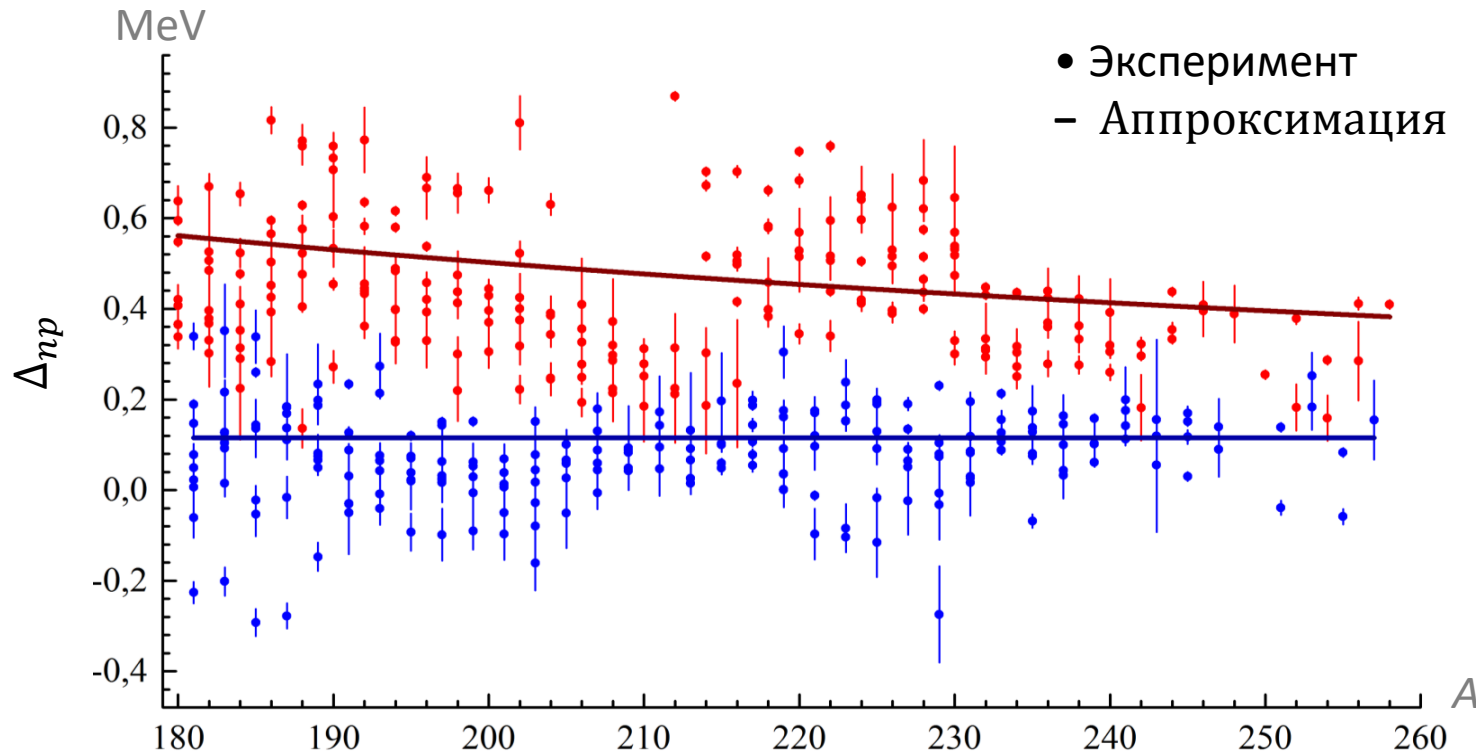
-  Массы, известные из эксперимента
-  Расчет масс через Δ_{np}



Остаточное пр-взаимодействие Δ_{np}

Массовая разностная характеристика для оценки np -корреляций:

$$\Delta_{np}(Z, N) = [S_{np}(Z, N) - S_p(Z, N - 1) - S_n(Z - 1, N)] = \\ = [B(Z, N) - B(Z, N - 1)] - [B(Z - 1, N) - B(Z - 1, N - 1)]$$

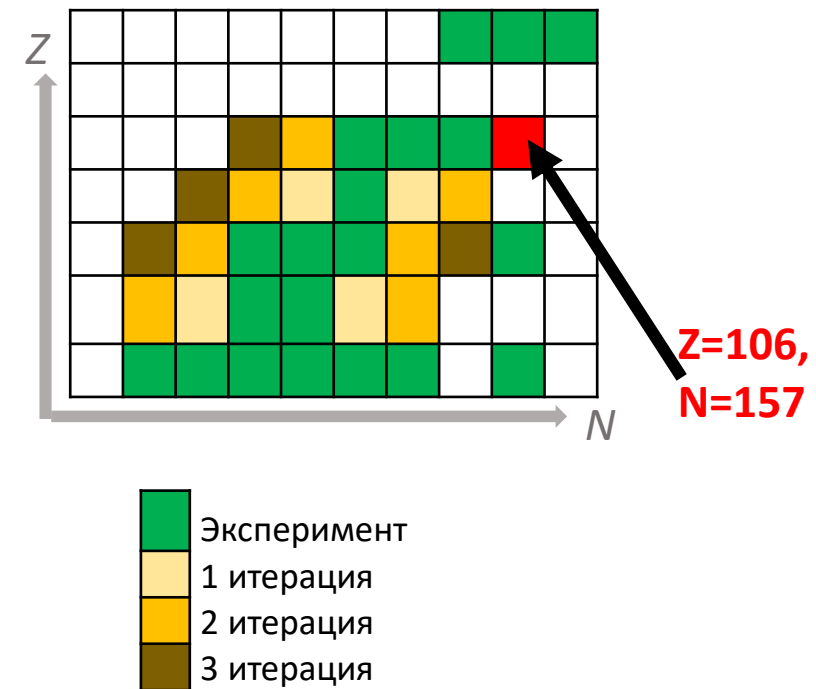
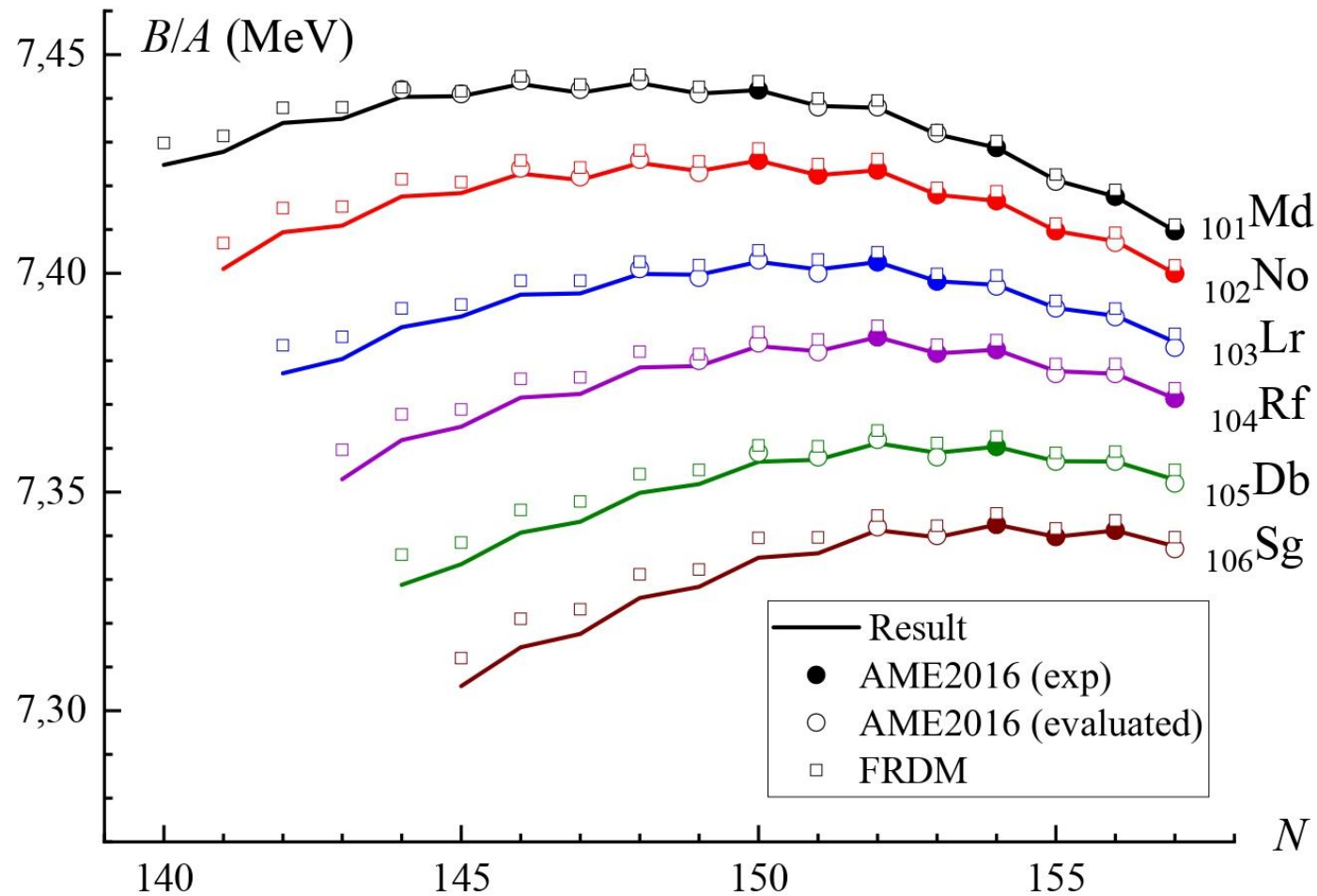


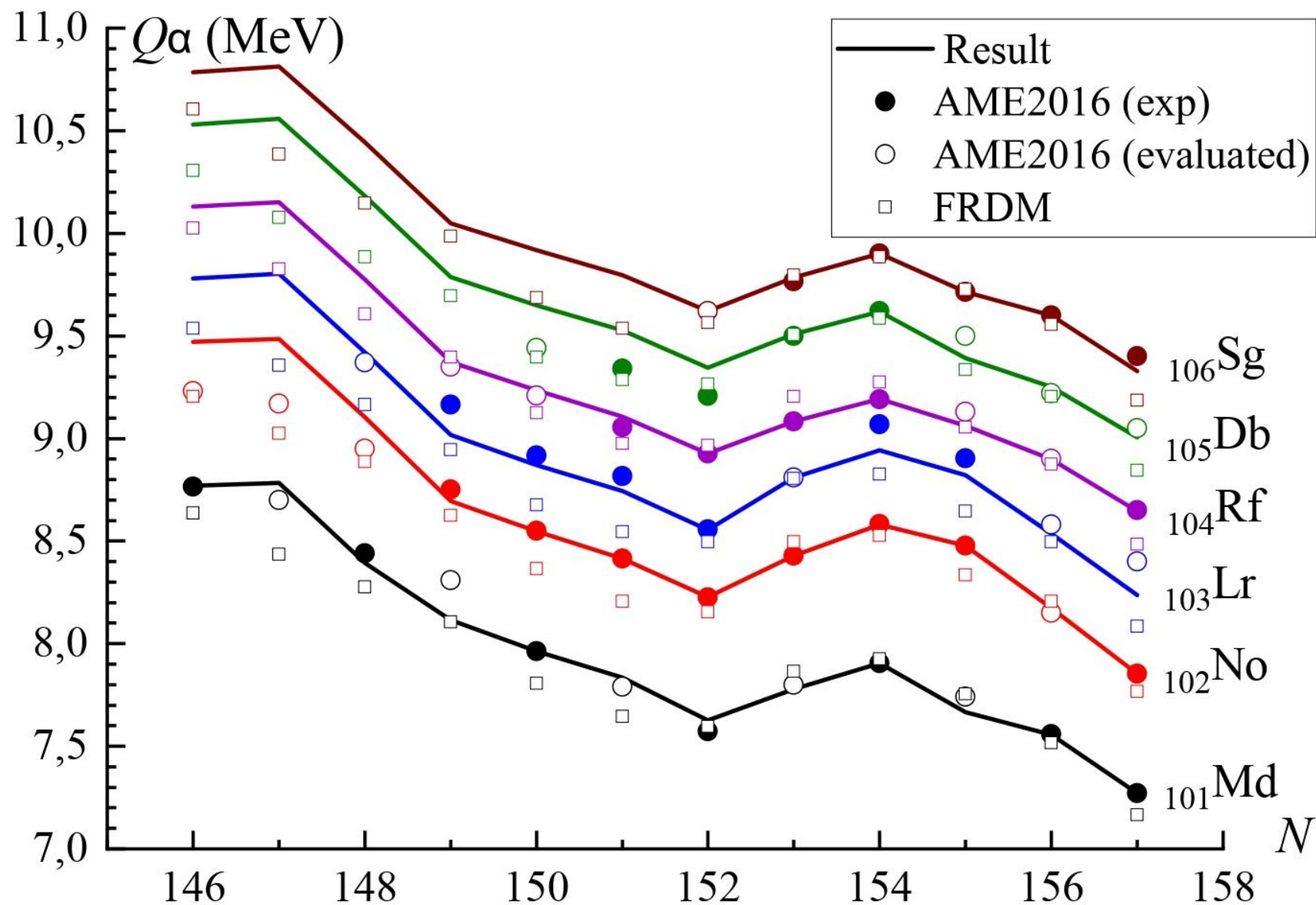
$$\Delta_{np}^{cal} = \begin{cases} 0,116 \text{ МэВ,} & \text{для нечетных } A \\ -0,03 + \frac{107}{A} \text{ МэВ,} & \text{для четных } A \end{cases}$$

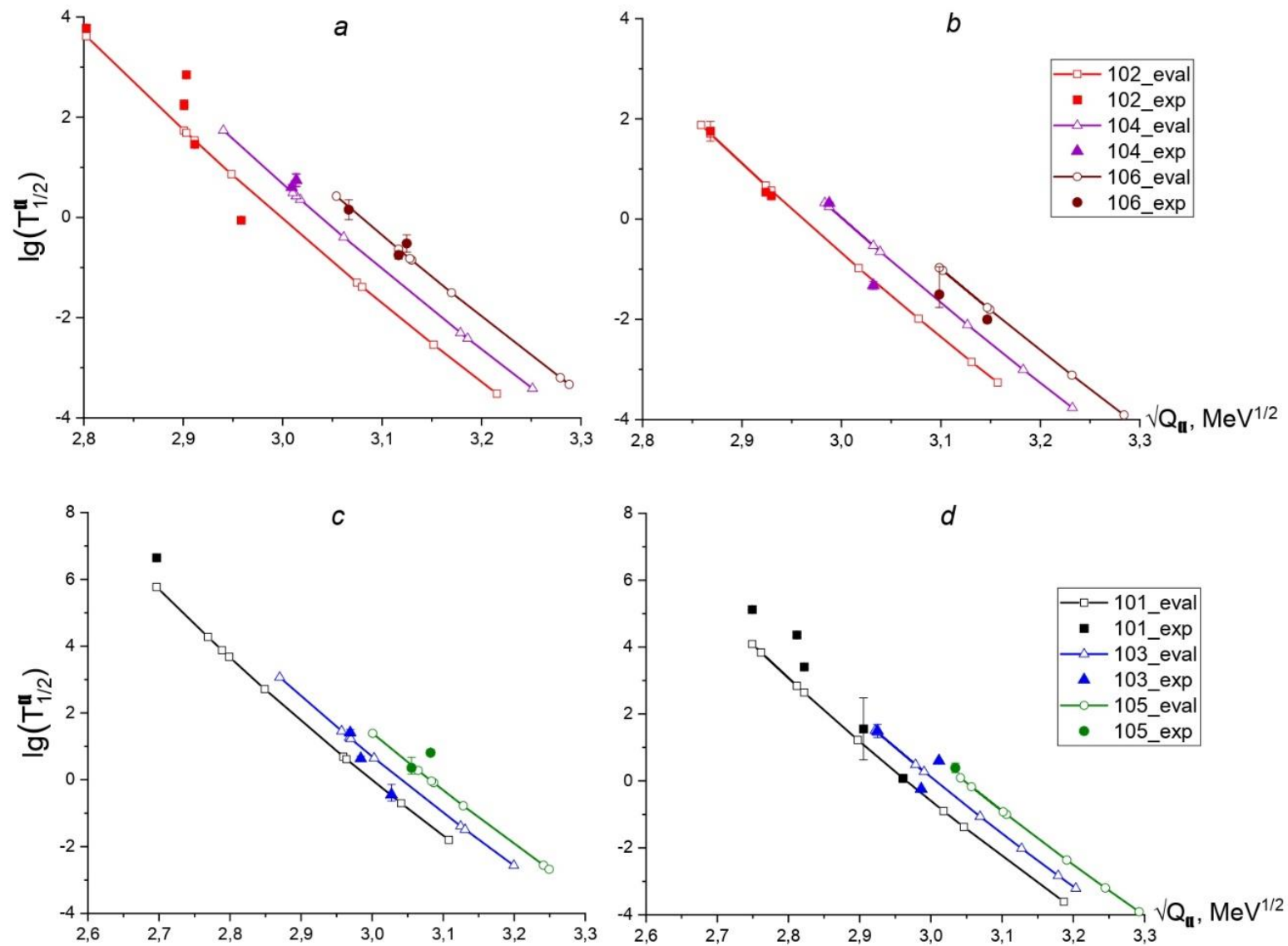
Методика вычисления. Результаты до Z=106

Предсказываемая энергия связи (1 из 4 возможных формул):

$$B_{pred}(Z, N - 1) = B(Z, N) - B(Z - 1, N) + B(Z - 1, N - 1) - \Delta_{np}^{cal}(Z, N)$$



Результаты до Z=106. Энергия α -распада


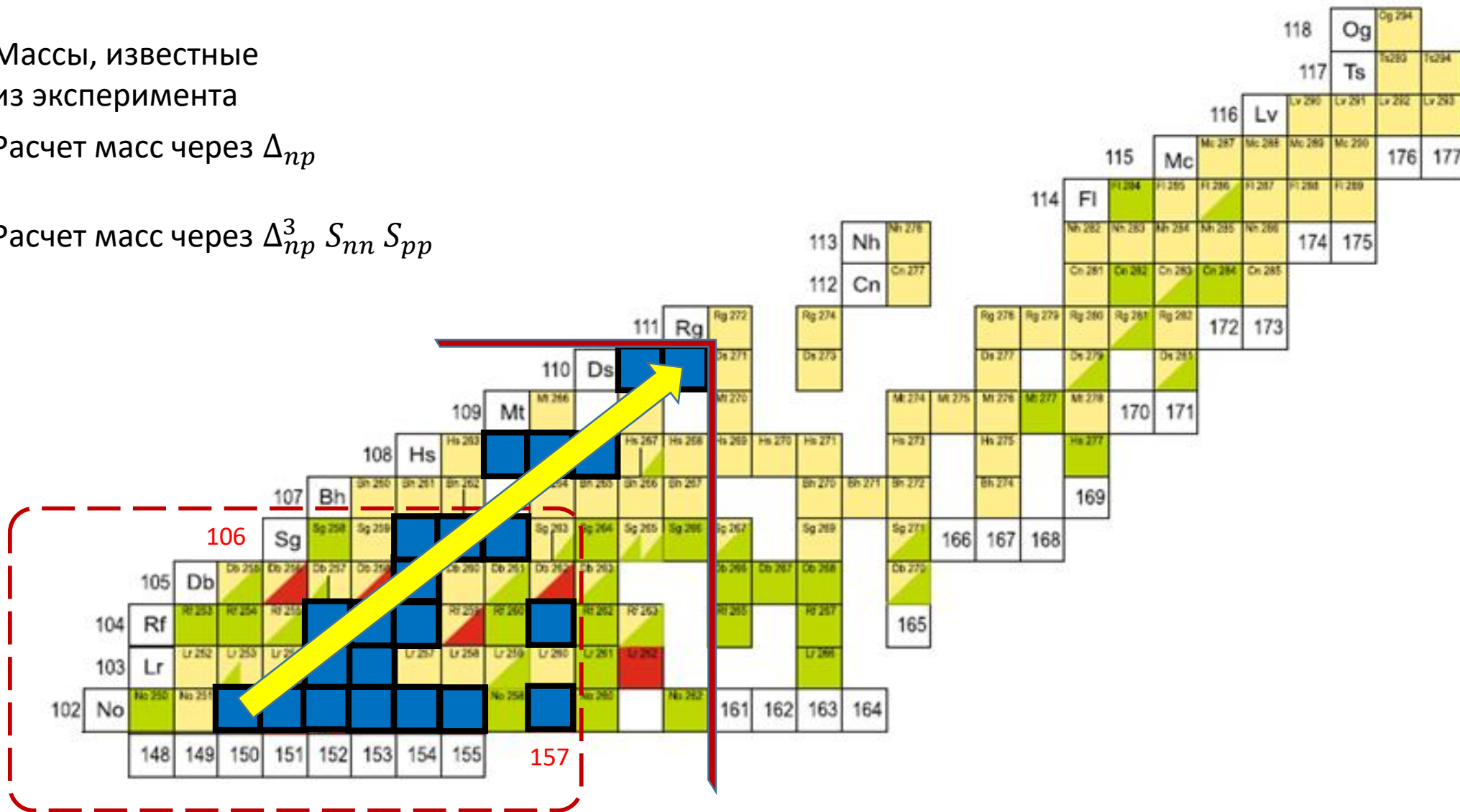
Результаты до Z=106. Период полураспада по α -каналу


Выход за Z=106

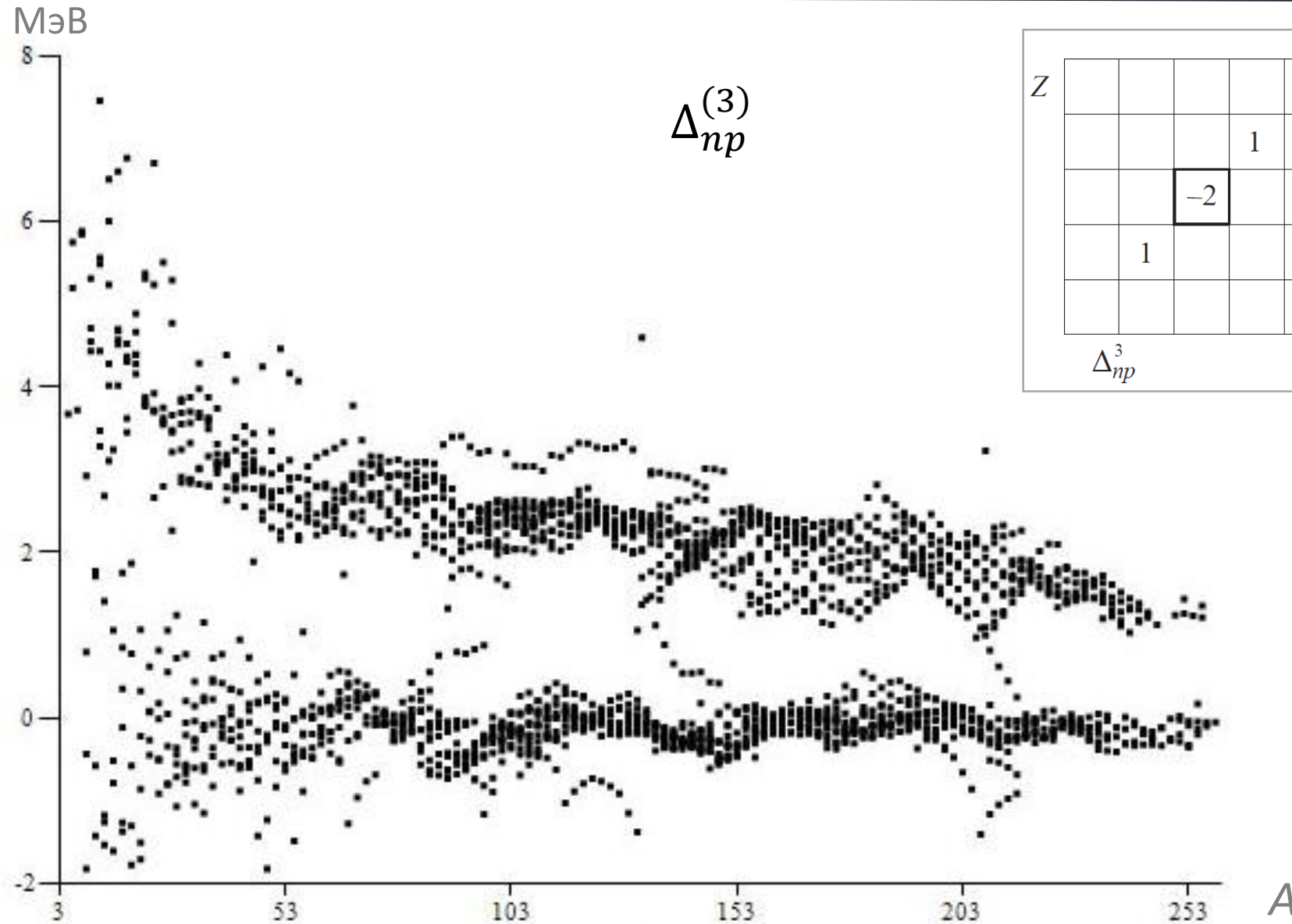
 Массы, известные из эксперимента

 Расчет масс через Δ_{np}

 Расчет масс через $\Delta_{np}^3 S_{nn} S_{pp}$



Расслоение массовой поверхности



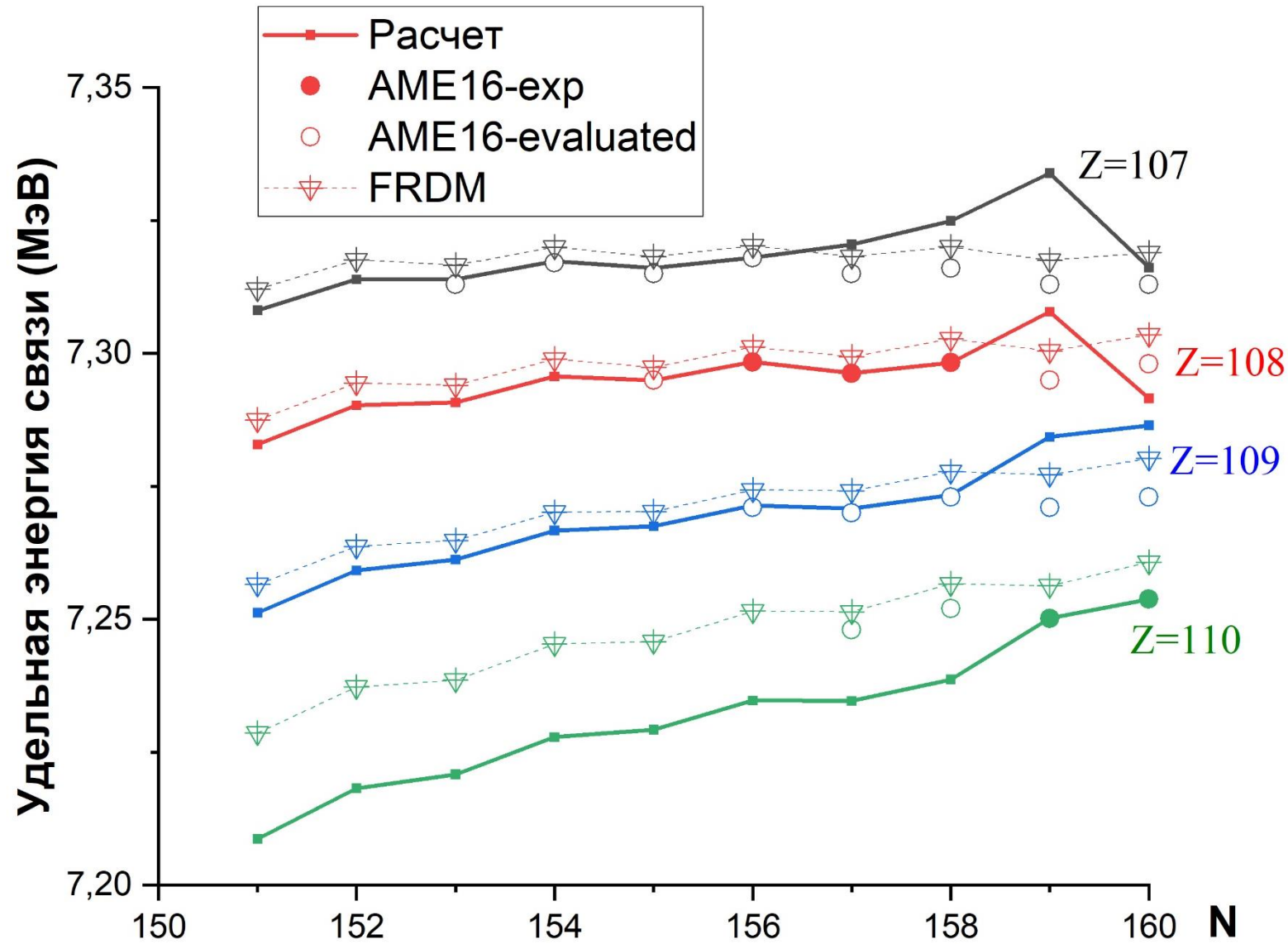
$b)$

z					
				1	
			-2		
		1			
					N
					Δ_{np}^3

$c)$

z					
				1	
			-3		
		3			
	-1				
					N
					Δ_{np}^4

Результаты для Z=107-110. Удельная энергия связи через $\Delta_{np}^{(3)}$



Выход за Z=106

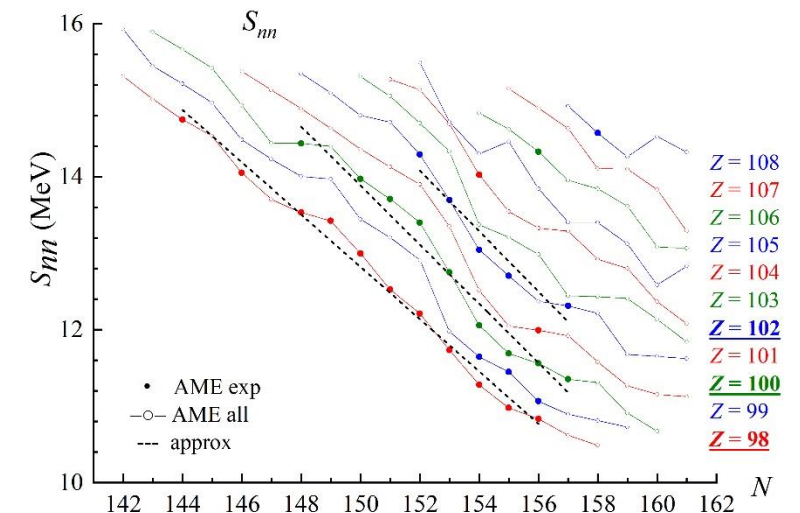
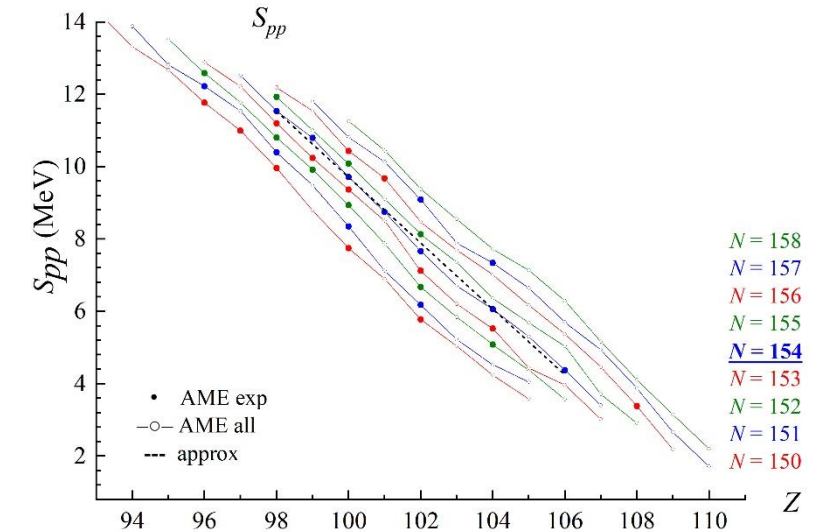
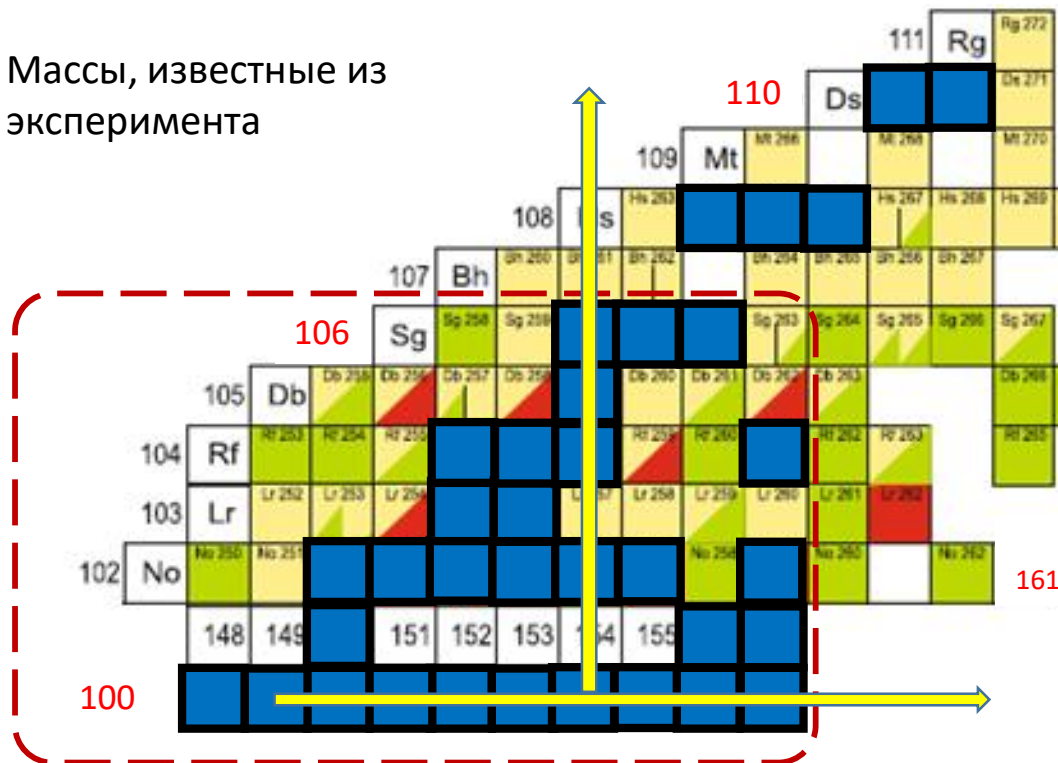
Энергия отделения 2-х протонов и нейтронов:

$$S_{pp}(Z, N) = B(Z, N) - B(Z - 2, N),$$

$$S_{nn}(Z, N) = B(Z, N) - B(Z, N - 2)$$

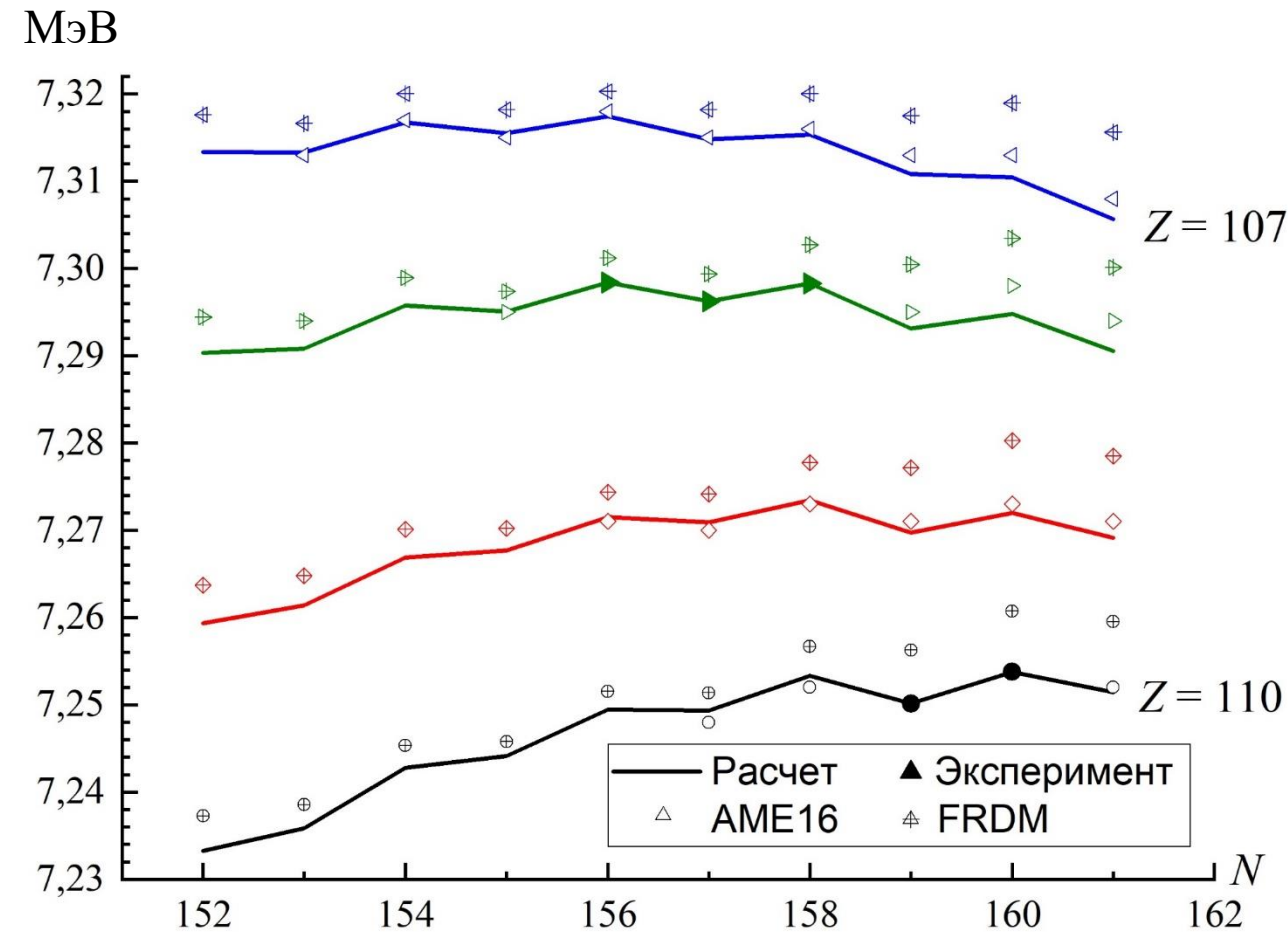
$$\sigma(S_{pp}(N = 154)) = 0,12 \text{ МэВ}, \quad \sigma(S_{nn}(Z = 100)) = 0,20 \text{ МэВ},$$

 Массы, известные из эксперимента

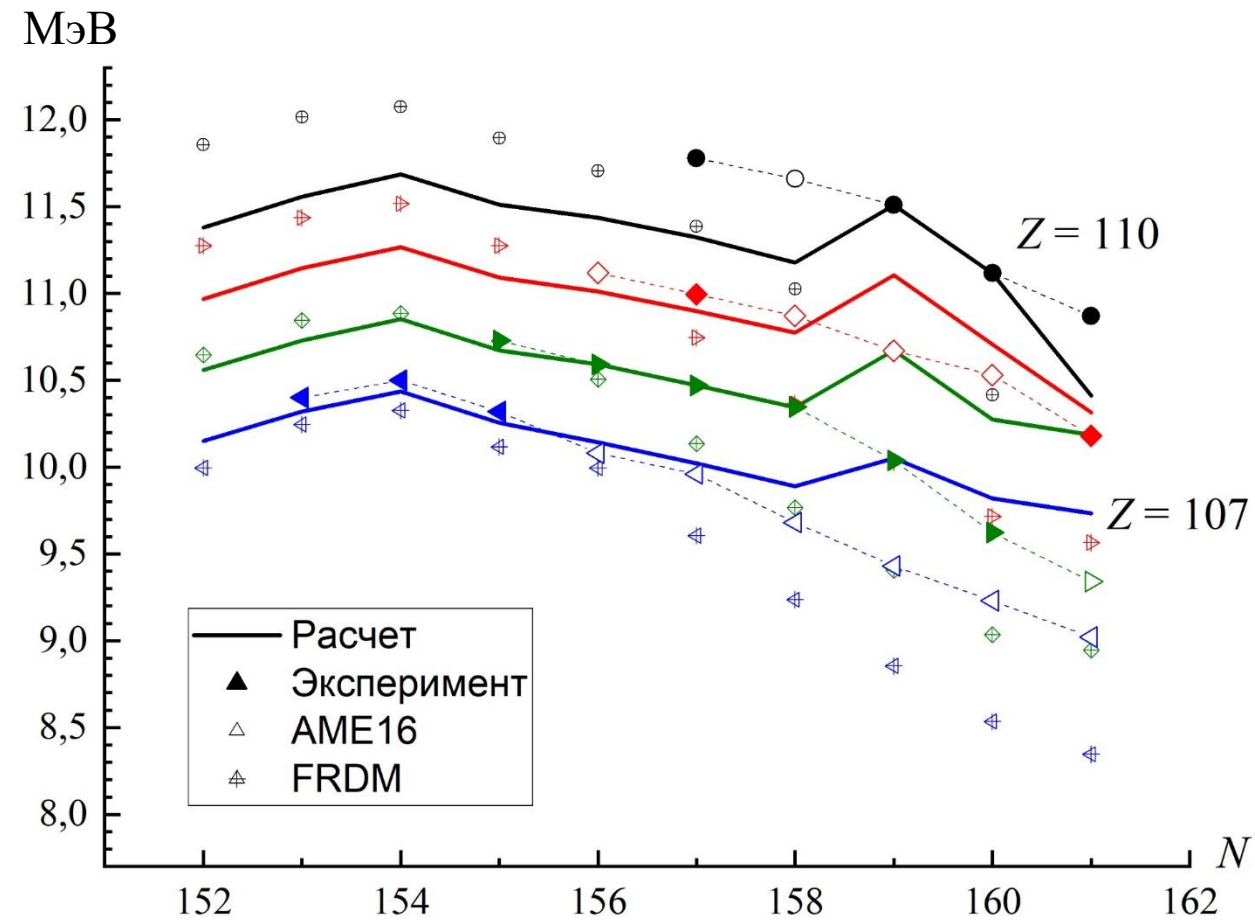


Результаты для Z=107-110. Удельная энергия связи и энергия α -распада через энергии отделения

Удельная энергия связи



Энергия α -распада



Выводы

1. Построены аппроксимации $\Delta_{np}, \Delta_{np}^3, S_{pp}, S_{nn}$ на основе экспериментальных данных AME2016
2. Получены оценки энергии связи, энергии α -распада для изотопов $Z = 101 - 110$ с числом нейтронов $N = 146 - 161$. Точность для удельной энергии связи – 15-30 кэВ, для энергии α -распада – 0,5-0,9 МэВ.
3. Для элементов $Z = 101 - 106$ получены оценки периода полураспада по α -каналу с точностью до 1,5 порядка

Заключение

1. Анализ массовых характеристик: энергий отделения S_{pp} , S_{nn} , S_α , S_d , остаточного протон-нейтронного взаимодействия Δ_{np} , характеристик расслоения массовой поверхности Δ_{np}^3 , Δ_{nn} – показал, что наиболее регулярным поведением обладают соотношения S_{pp} , S_{nn} , Δ_{np} , Δ_{np}^3 .
2. Показано, что соотношения Δ_{np} , S_{pp} , S_{nn} могут использоваться для расчета массовых характеристик в области SHE.
 - a) Δ_{np} позволяет делать предсказания в областях с небольшим количеством неизвестных ядер.
 - b) Энергии отделения S_{pp} , S_{nn} в области SHE на линиях изотонов и изотопов соотв-но ведут себя линейно, что позволяет делать предсказания вдали от массива экспериментальных данных.
 - c) Для характеристики расслоения Δ_{np}^3 ее колебания на изолиниях оказываются критическими и не позволяют получать предсказания для SHE.



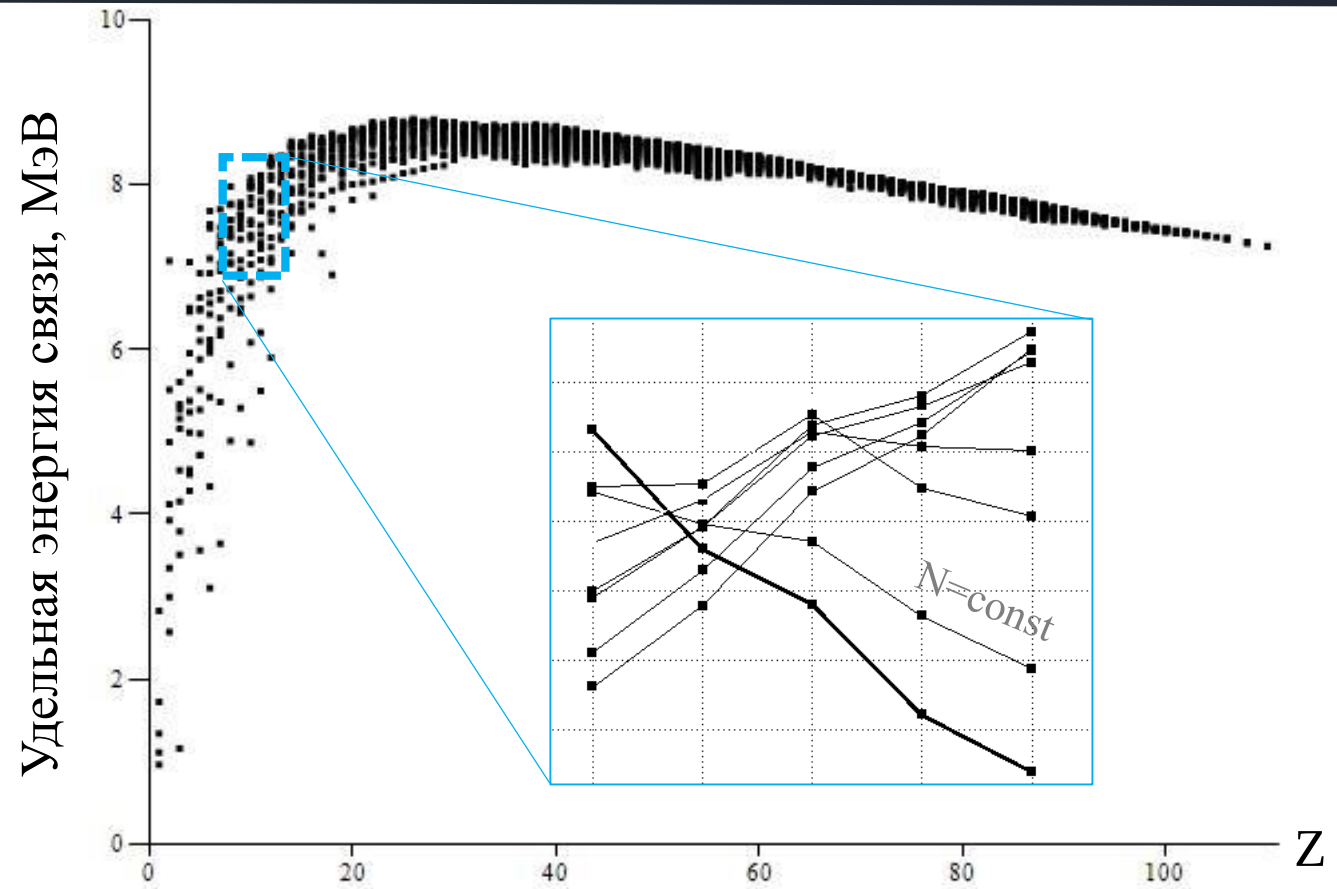
График зависимости линейного размера диплома от времени



Остаточное взаимодействие

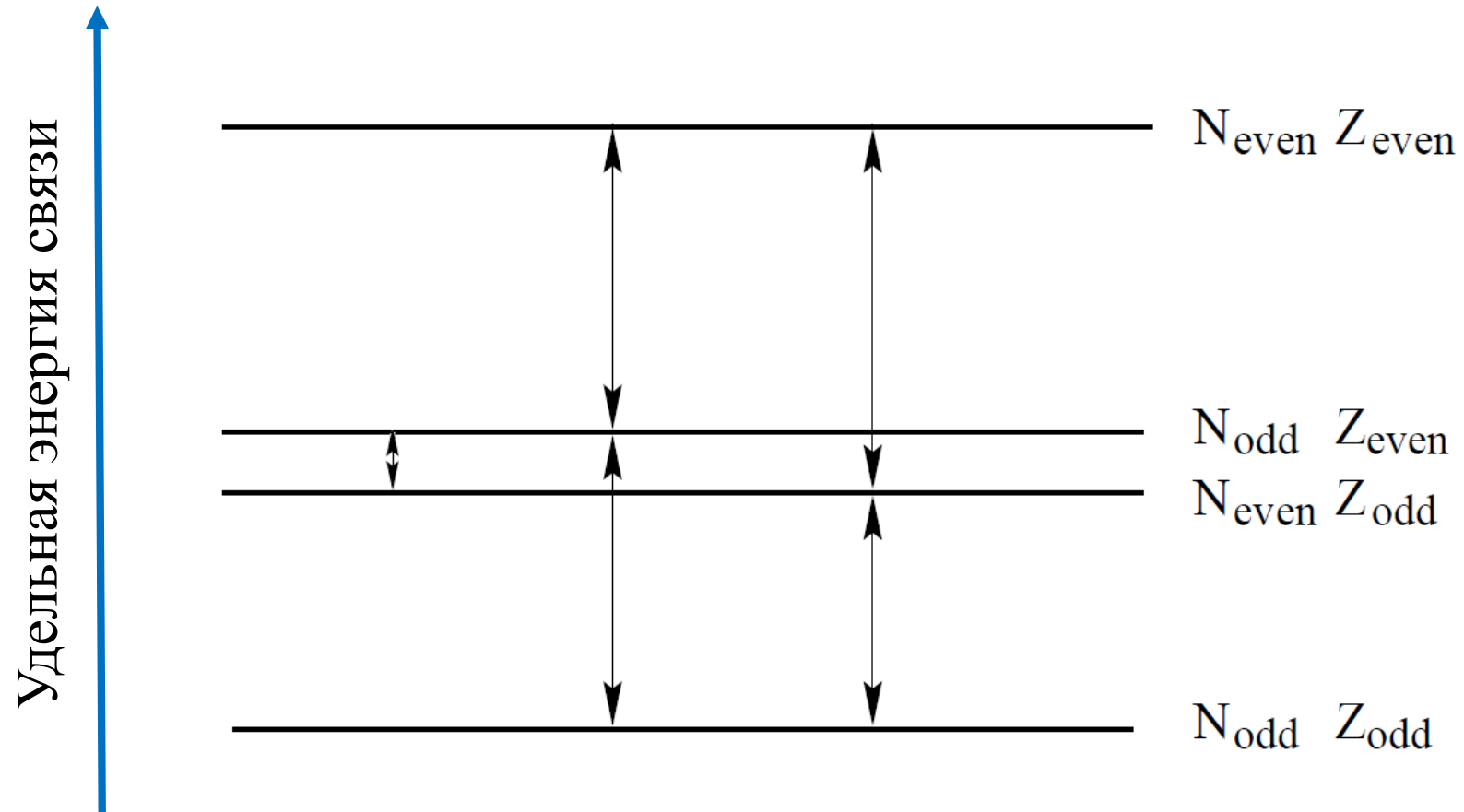
Энергия связи B – базовая характеристика ядра, на которую влияют микро- и макроскопические свойства ядра.

Общая зависимость B от Z , N известна, однако **остаточное взаимодействие** не до конца изучено.



Остаточное взаимодействие связано с **нуклонными корреляциями** и проявляется в эффектах **спаривания** нуклонов и **четно-нечетном расслоении** массовой поверхности $B(Z, N)$.

Расслоение массовой поверхности

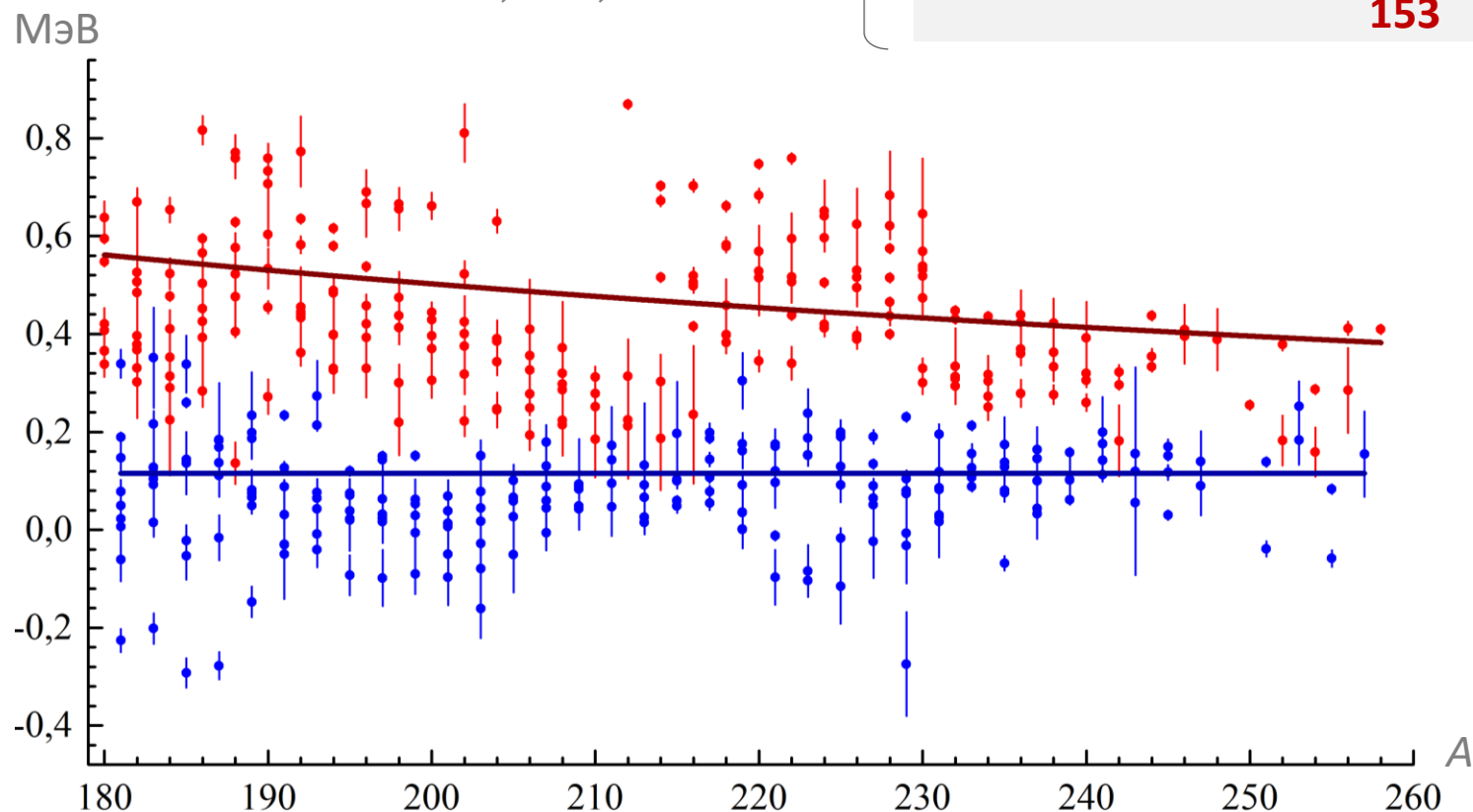


Аппроксимация

$$\Delta_{np}^{cal}(A) = C_1 + C_2 \cdot A^\gamma$$

Область: $A \geq 180$,
 исключая: $Z = 81, 82, 83$
 $N = 125, 126, 127$

	А четные	А нечетные
C_1 , кэВ	$-0,031 \pm 0,083$	$0,116 \pm 0,005$
C_2 , кэВ	$106,599 \pm 16,646$	—
γ	-1	—
Среднеквадратичное отклонение σ, кэВ		
	153	111



- Δ_{np} эксп. (AME2016)
- $\Delta_{np}^{cal}(A)$

Источник экспериментальных данных здесь и далее:
 [Wang M., Audi G., Kondev F.G. et al.// Chin. Phys. C 2016. 41. 030003.]

Результаты для Z=101-106. Погрешность

1. Погрешность для удельной энергии связи:

$$\sigma_{1step}^2 = \sum \sigma_{exp}^2 + \sigma_{approx}^2$$

Для ядер с зарядом $Z=83-110$

- $\sigma_{exp} \sim 0,1$ кэВ
- $\sigma_{approx} \sim (0,7 + 0,8)$ кэВ
- $\sigma_{1step} \sim 1,5$ кэВ; достигает для $\sigma_{10step} \sim \sqrt{4} \cdot 9 = 27$ кэВ

1. Погрешность для энергии α -распада:

- $\sigma_{\alpha} \sim \sqrt{2} \cdot \sigma_{nstep} \cdot A = 0,9$ МэВ

Результаты для Z=107-110. Погрешность

1. Погрешность для удельной энергии связи:

$$\sigma_{1step}^2 = \sum \sigma_{exp}^2 + \sigma_{approx}^2$$

Для ядер с зарядом $Z=83-110$

- $\sigma_{exp} \sim 0,1$ кэВ
- $\sigma_{approx} \sim 0,7$ кэВ
- $\sigma_{1step} \sim 0,7$ кэВ; достигает для $\sigma_{10step} \sim \sqrt{4} \cdot 9 = 13$ кэВ

1. Погрешность для энергии α -распада:

- $\sigma_{\alpha} \sim \sqrt{2} \cdot \sigma_{nstep} \cdot A = 0,5$ МэВ