

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ

**МАССОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГИИ СПАРИВАНИЯ
НУКЛОНОВ В ЯДРЕ НА ОСНОВЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Владимирова Е.В.
Ишханов Б.С.
Третьякова Т.Ю.
Дашков И.Д.

Эффект спаривания и массовые соотношения

Некоторые проявления спаривания нуклонов:

(1 – 3 MeV)

- $J^P(even - even) = 0^+$
- Повышенная стабильность even-even ядер
- **EOS-эффект:** $B_{odd}(A) < \frac{1}{2}[B_{even}(A - 1) + B_{even}(A + 1)]$, B – энергия связи ядра

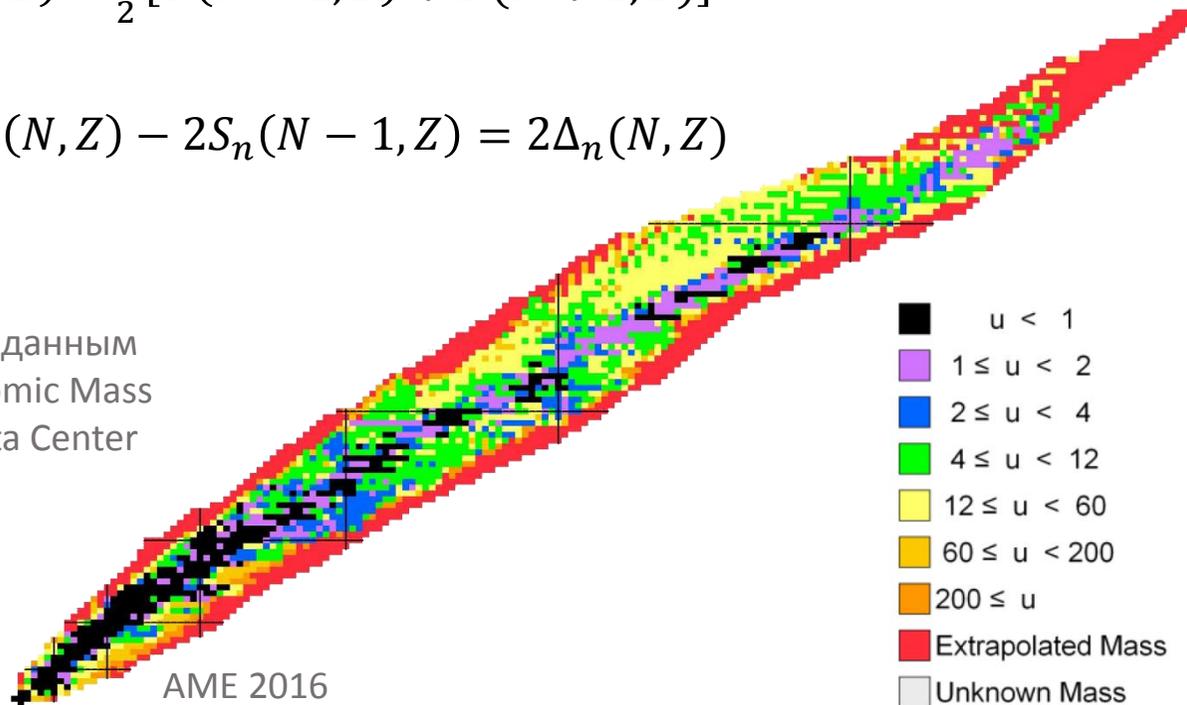
$$\Delta_n(N, Z) = B(N, Z) - \frac{1}{2}[B(N - 1, Z) + B(N + 1, Z)]$$

По определению: $\Delta_{nn}(N, Z) = S_{2n}(N, Z) - 2S_n(N - 1, Z) = 2\Delta_n(N, Z)$

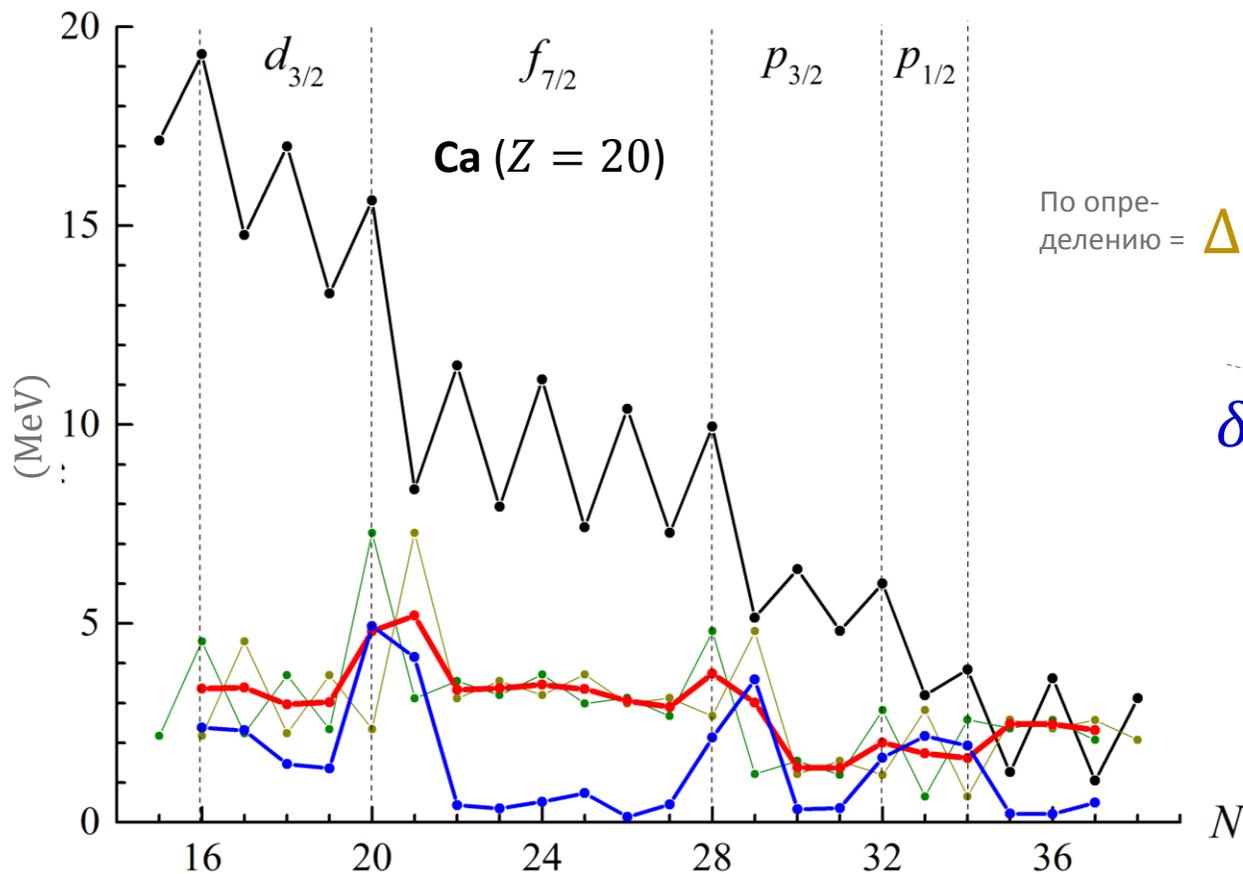
Известные массы ядер:



По данным
Atomic Mass
Data Center



Эффект спаривания и массовые соотношения



По определению =

$$\Delta_{nn}$$

$$\delta_e^n$$

$$\Delta_{nn}^{(3)}$$

$$\Delta_{nn}^{(4)}$$

[Bohr A., Mottelson B.R. // Nuclear Structure, v. 1, Benjamin, N.Y., 1969.]

Графики по данным AME2016

[Wang M., Audi G., Kondev F.G. et al. // Chin. Phys. C 2016 . 41. 030003.]

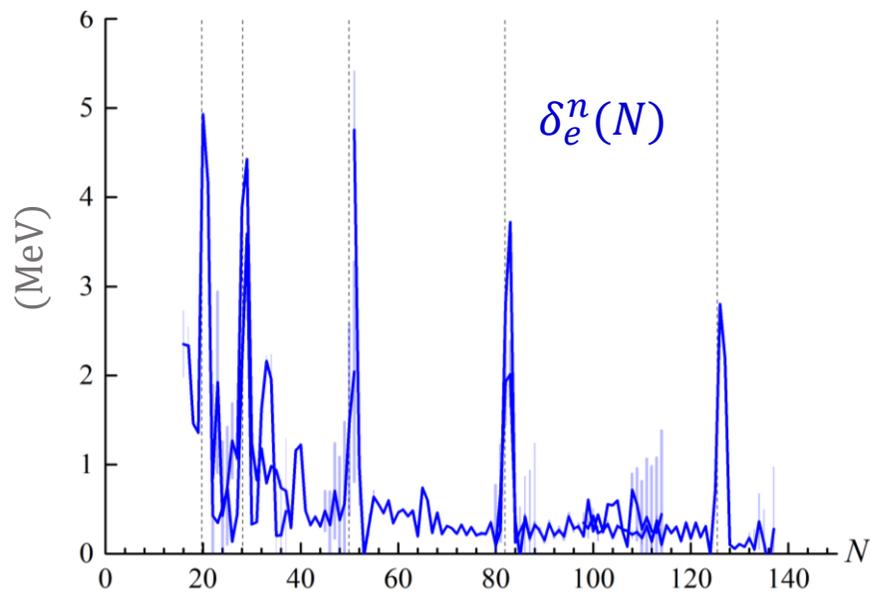
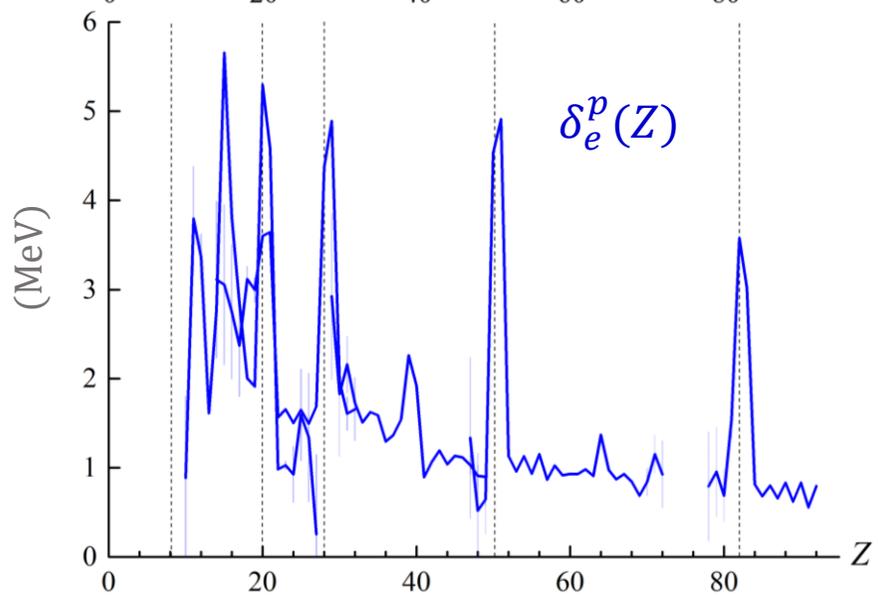
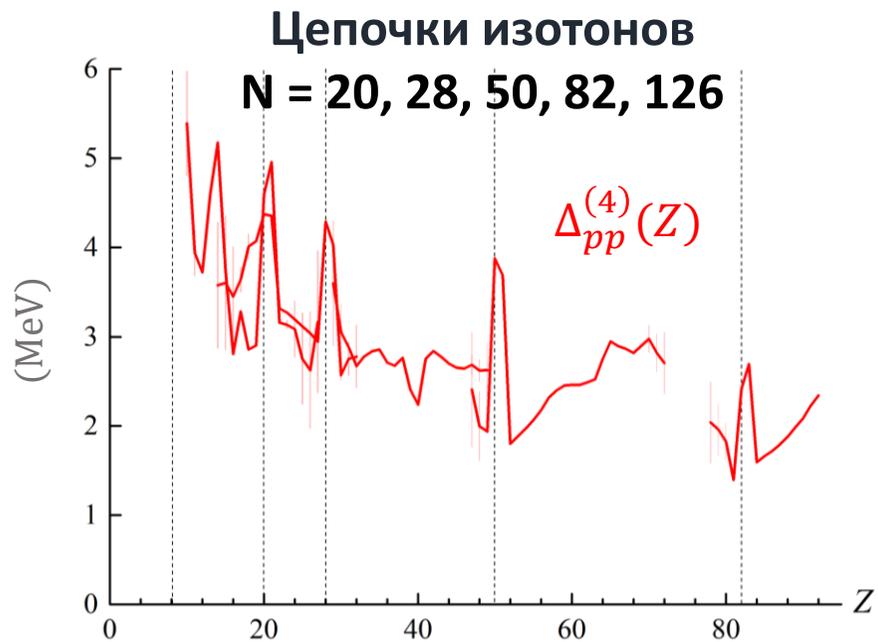
$$S_n(N, Z) = B(N, Z) - B(N-1, Z)$$

$$\Delta_{nn} = (-1)^N [S_n(N) - S_n(N-1)]$$

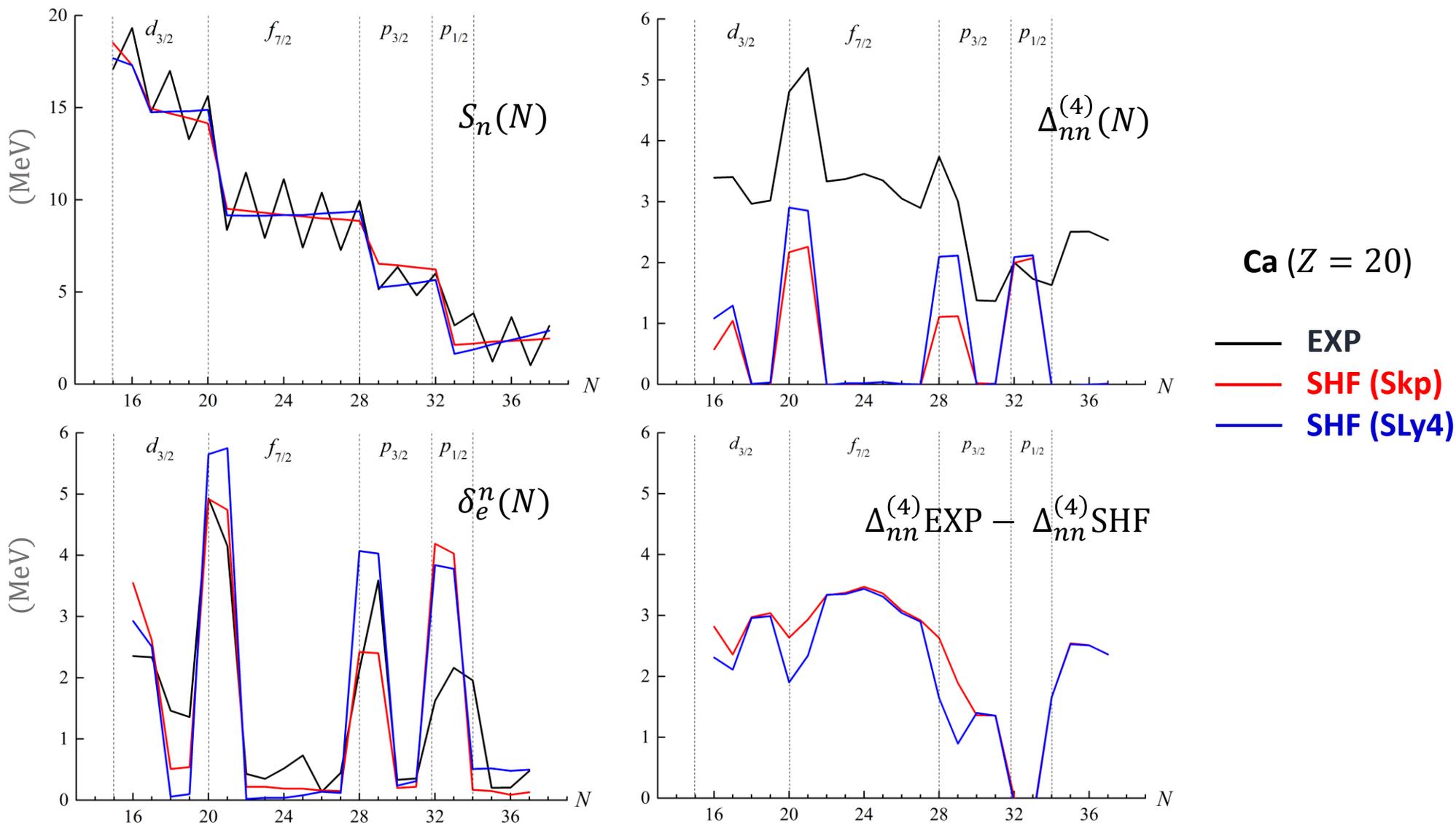
$$\Delta_{nn}^{(3)} = (-1)^N [S_n(N) - S_n(N+1)]$$

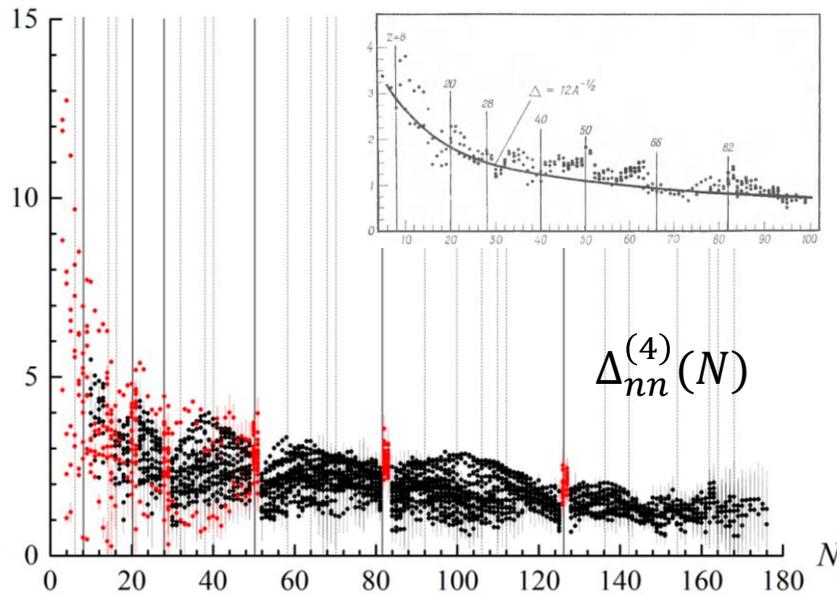
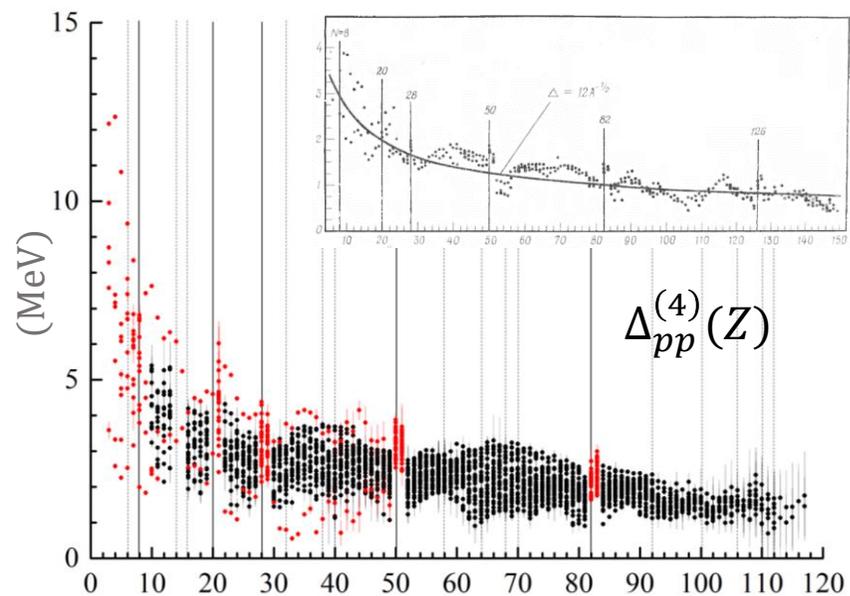
$$\Delta_{nn}^{(4)} = \frac{1}{2} [\Delta_{nn}(N) + \Delta_{nn}^{(3)}(N)]$$

$$\delta_e = \Delta_{nn}^{(3)}(N) - \Delta_{nn}(N)$$



Сравнение с модельными данными (микроскопическое моделирование SHF)





[Bohr A., Mottelson B.R. // Nuclear Structure, v. 1, Benjamin, N.Y., 1969.]

Для $\Delta_{pp}^{(4)}(Z)$
и $\delta_e^p(Z)$

выделены

точки:

$Z < 8, N < 8$

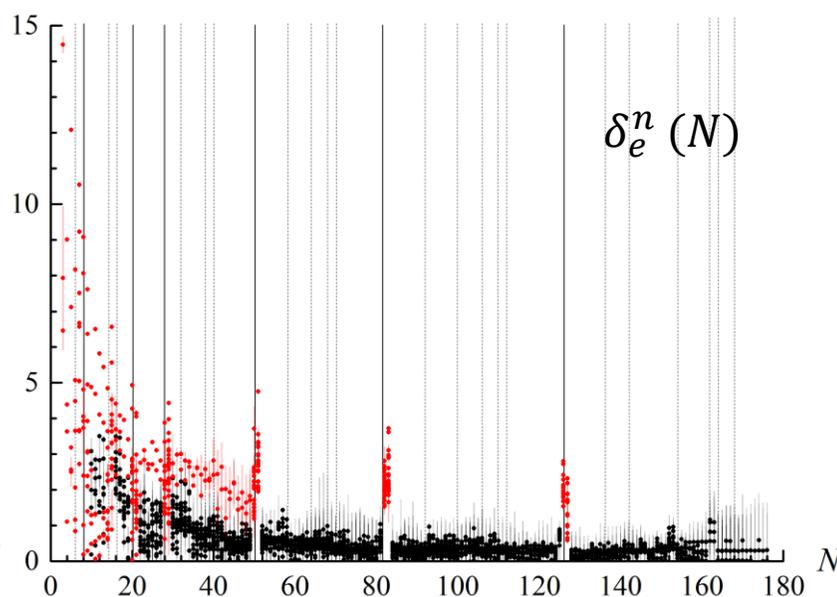
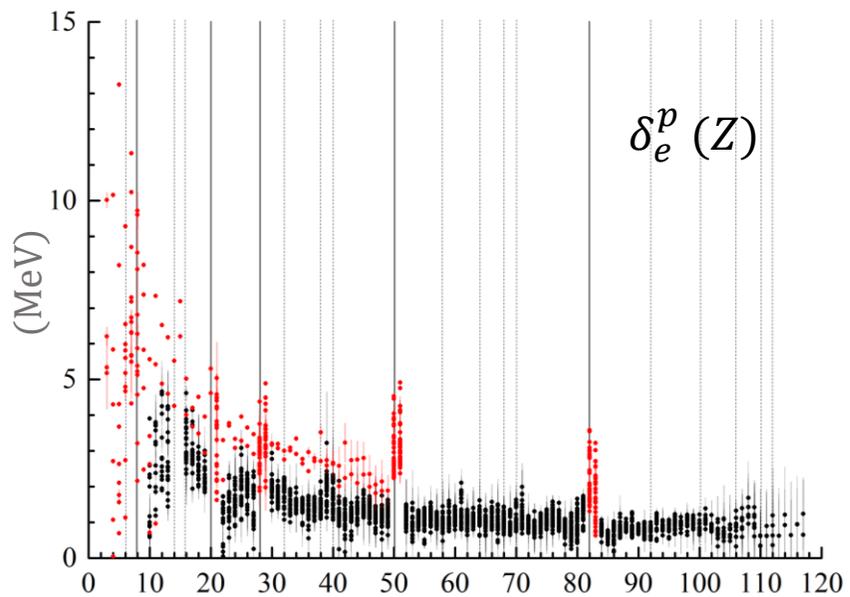
$Z = \text{маг.ч.}$

$Z+1 = \text{маг.ч.}$

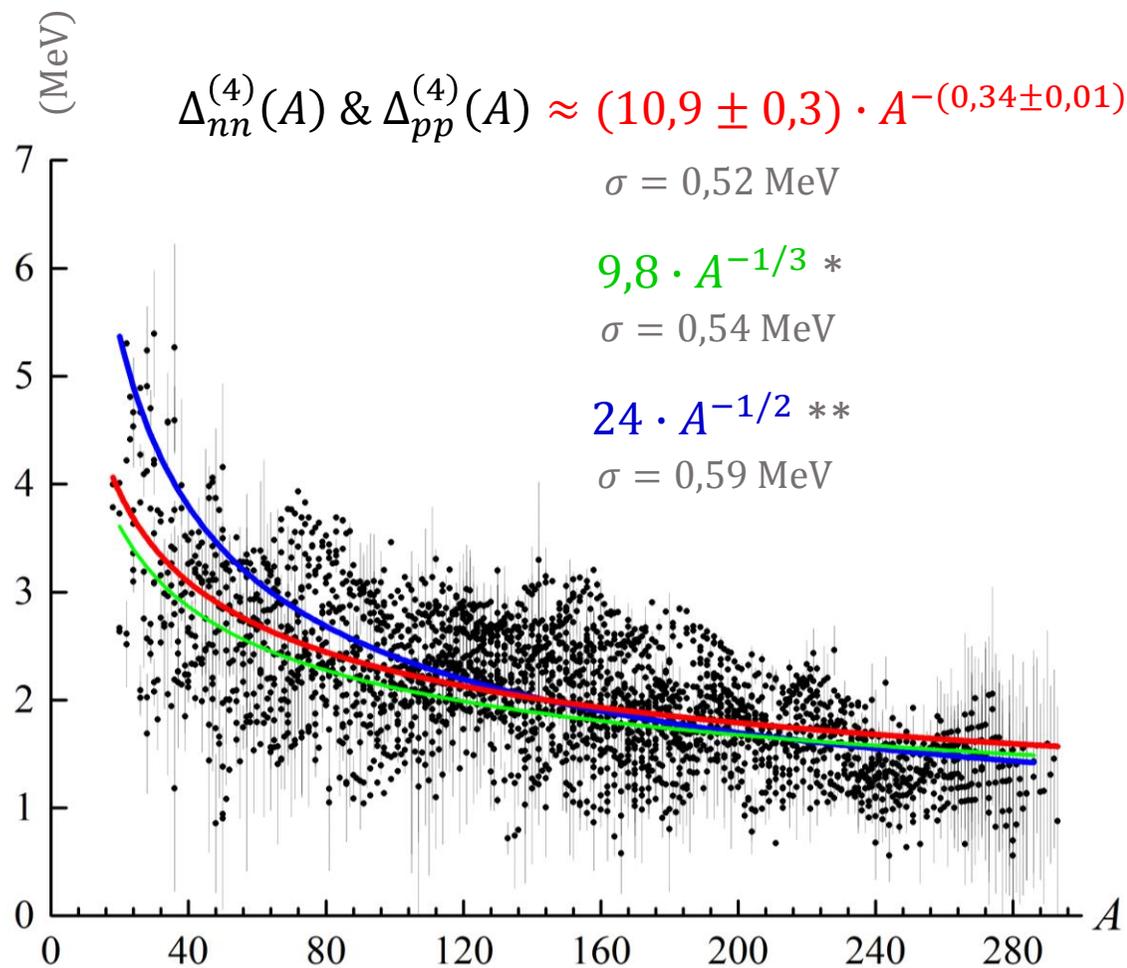
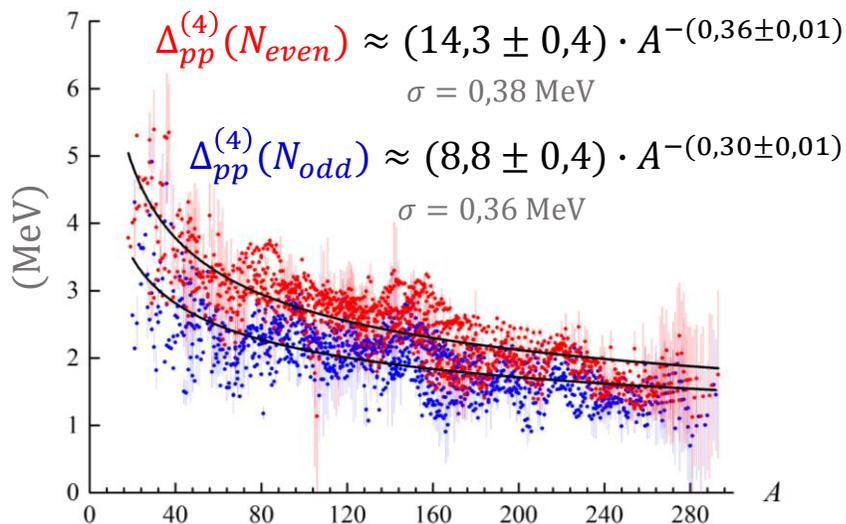
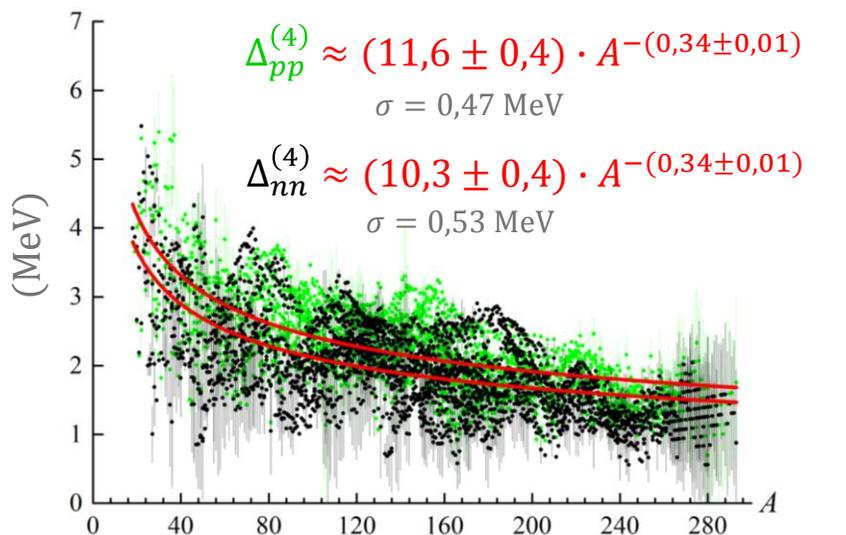
$Z = N$

$Z+1 = N$

Аналогично
для
нейтронов



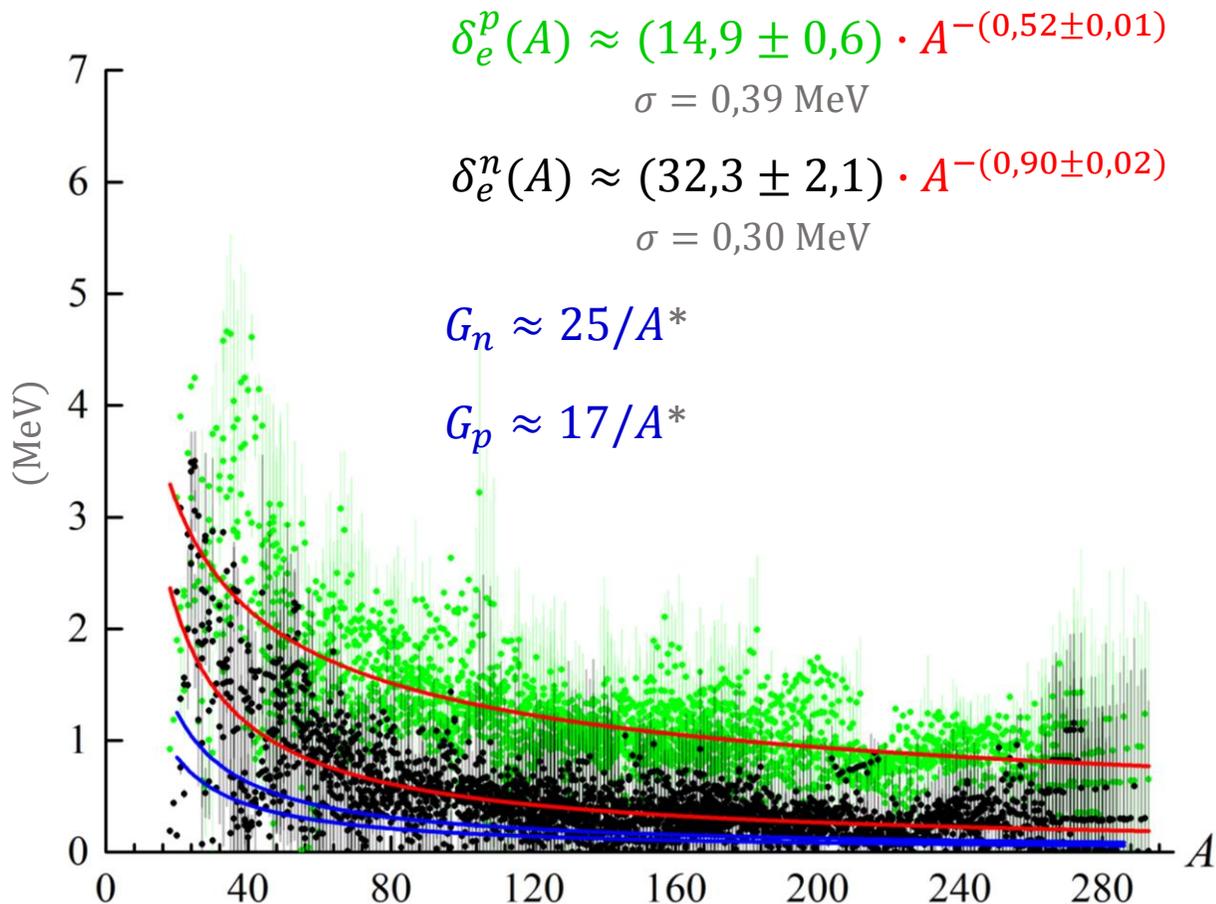
Аппроксимация $\Delta_{\tau\tau}^{(4)}(A) = a \cdot A^{-b}$



*[S. Hilaire, etc. // Phys. Let. B, v. 531, Issues 1–2, 2002, pp. 61-66]

**[Moller P., Nix J.R. // Nucl. Phys. 1992. A536. P. 20.]

Разностная характеристика δ_e^n



[P. Vogel, B. Jonson, P.G. Hansen. // Phys. Lett. B, v. 139, Issue 4, 1984, pp 227-230.]

* [Bohr A., Mottelson B.R. // Nuclear Structure, v. 1, Benjamin, N.Y., 1969.]

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_{pair}$$

$$\hat{H}_{pair} = -G\hat{P}^+\hat{P}$$

G – параметр спаривания

$$E(n, \nu) =$$

$$-\frac{1}{4}G(n - \nu)(2\Omega - \nu - n + 2)$$

ν – сеньорити (кол-во несп.),

n – нуклонов на $2\Omega=2j+1$

$$\Rightarrow \Delta_{\tau\tau} = \begin{cases} G\Omega, & n \text{ even} \\ G\Omega+G, & n \text{ odd} \end{cases}$$

$$G(N, Z) =$$

$$= \Delta_{nn}(N+1, Z) - \Delta_{nn}(N, Z)$$

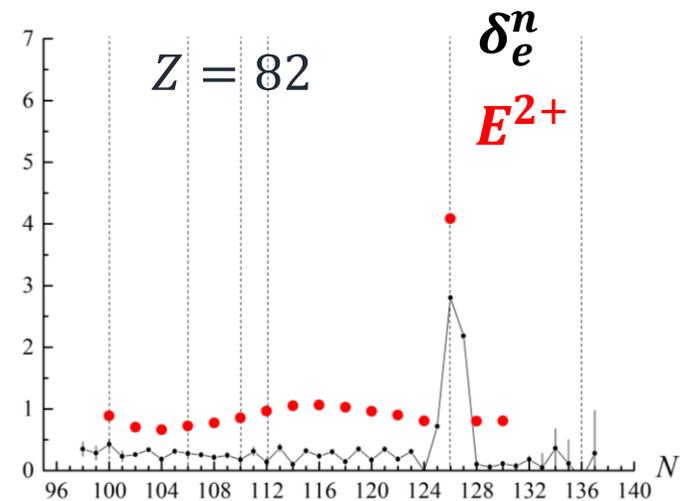
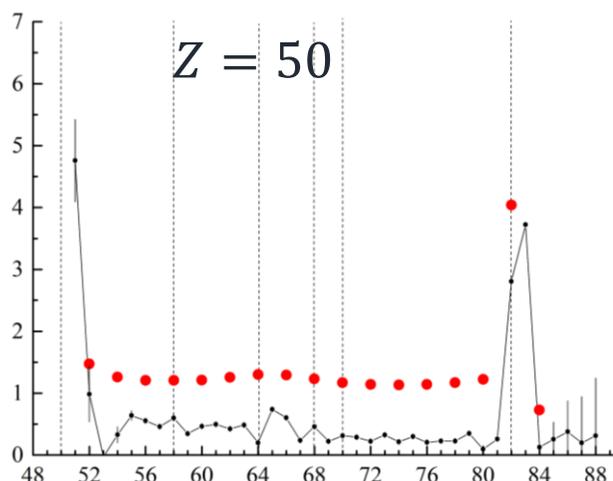
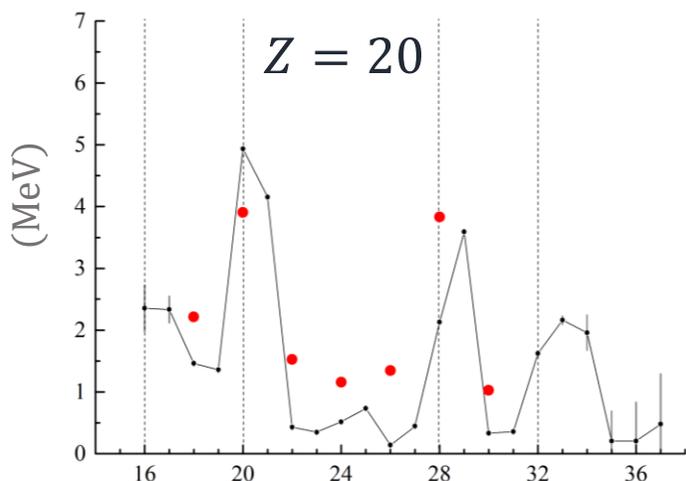
$$= \Delta_{nn}^{(3)}(N, Z) - \Delta_{nn}(N, Z)$$

$$= \delta_e^n(N, Z)$$

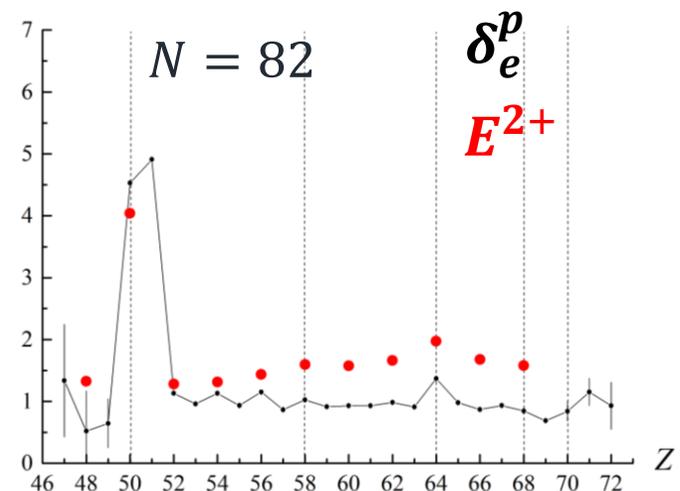
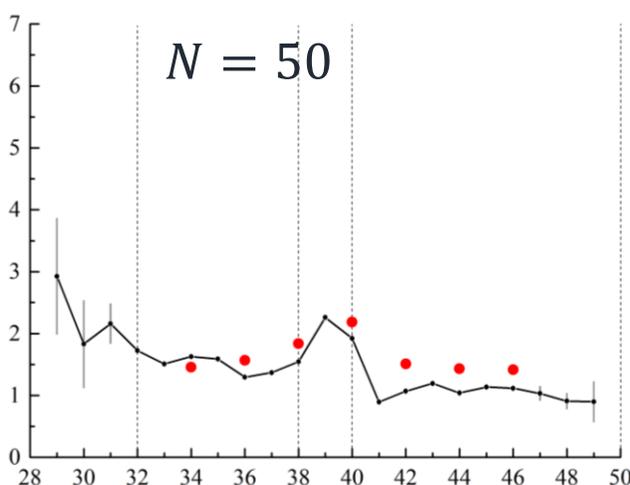
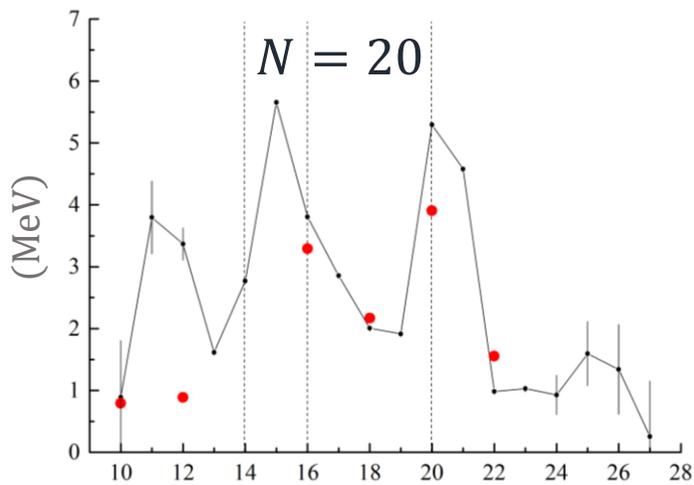
[Ishkhanov B.S., Sidorov S.V., Tretyakova T.Yu., Vladimirova E.V. // Chin. Phys. C 2017. 41. 094101.]

Разностная характеристика δ_e^n

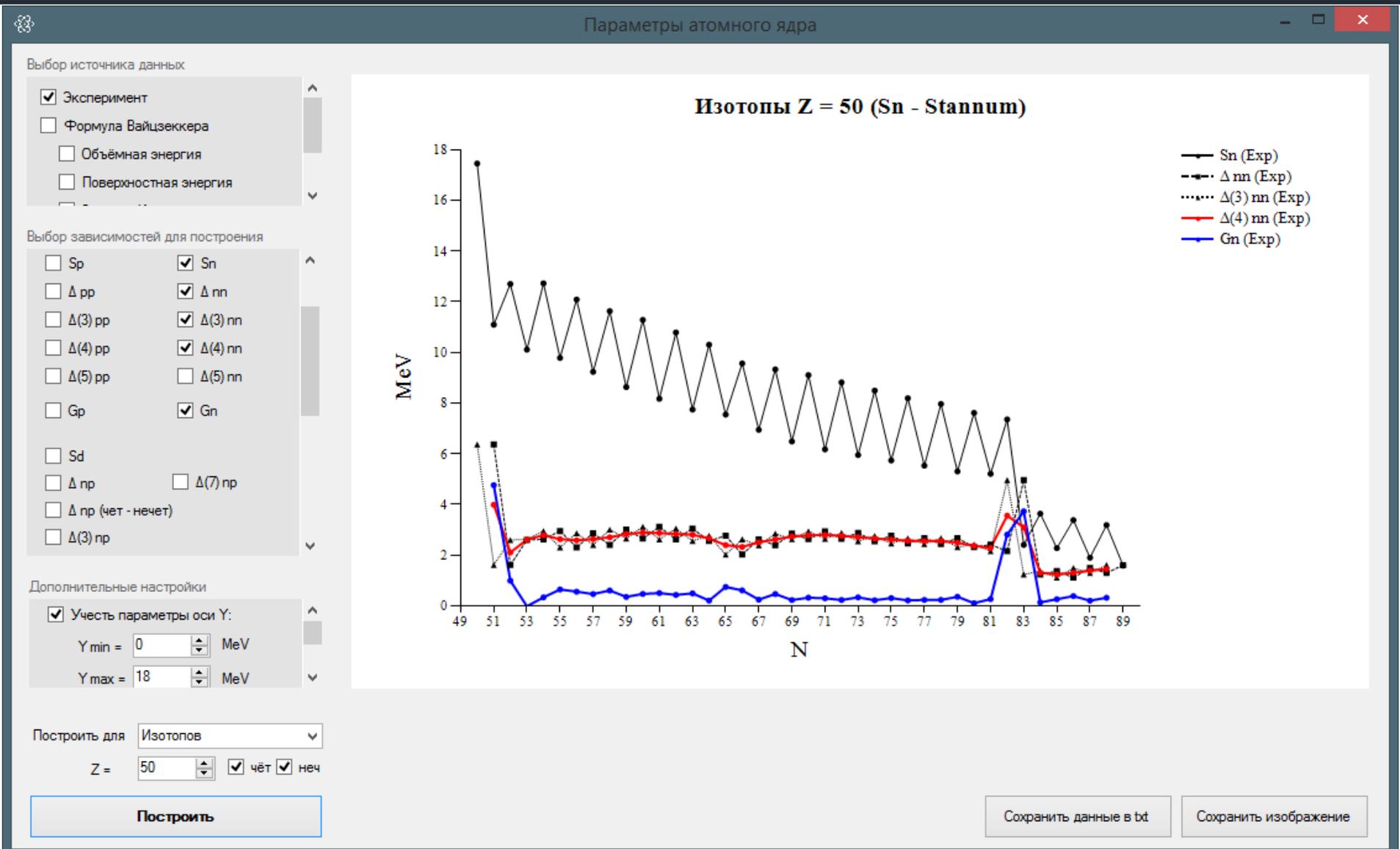
Цепочки изотопов:



Цепочки изотонов:

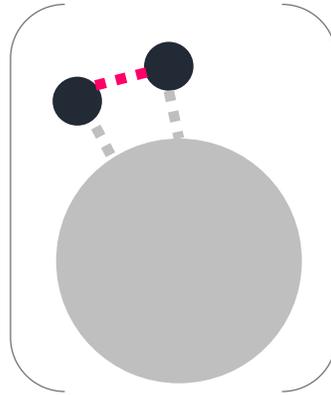


«MSU MaRel» (Mass Relations) – программа для построения разностных характеристик



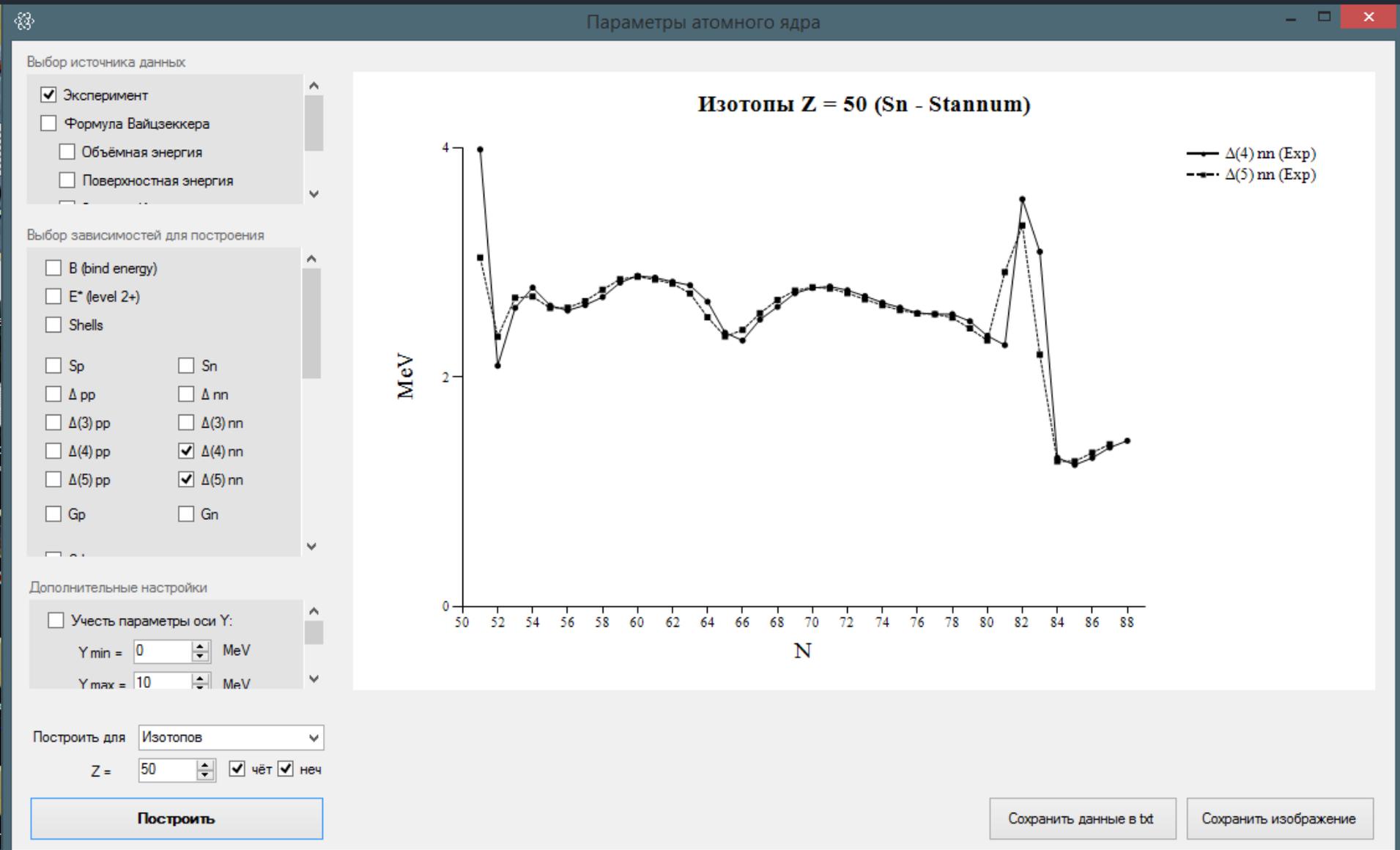
Выводы

- Проанализировано поведение основных характеристик спаривания тождественных нуклонов ($\Delta_{\tau\tau}, \Delta_{\tau\tau}^{(3)}, \Delta_{\tau\tau}^{(4)}, \delta_e$). Показана чувствительность характеристик к микроскопическим оболочечным эффектам.
- Проведено сравнение поведения характеристик, полученных на основе экспериментальных данных и микроскопического моделирования SHF.
- Проведены аппроксимации характеристик $\Delta_{\tau\tau}^{(4)}$ и δ_e .
- Разработана программа «**MSU MaRel**» (Mass Relations), позволяющая рассчитывать и строить основные массовые разностные характеристики для произвольных цепочек ядер.

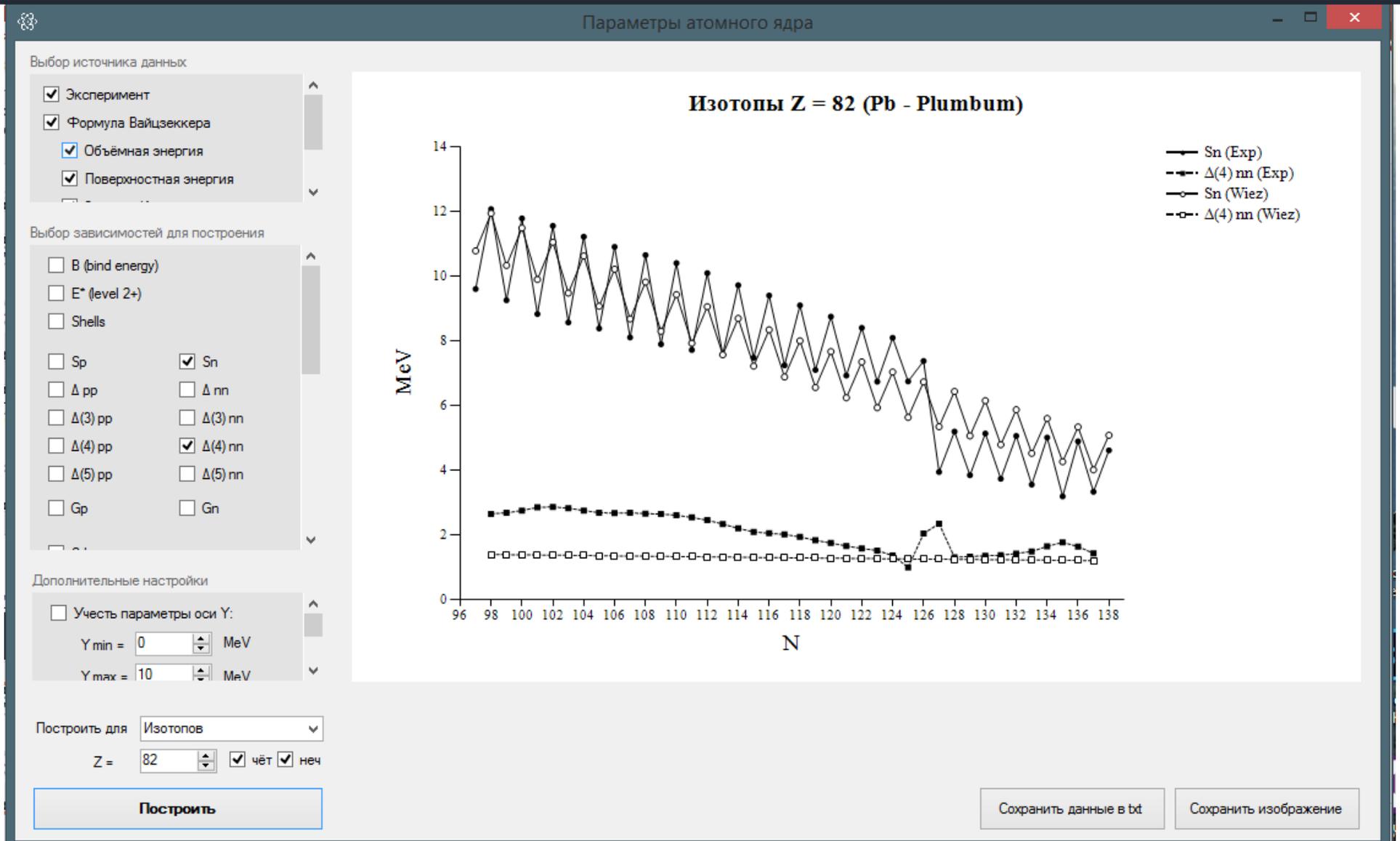


СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

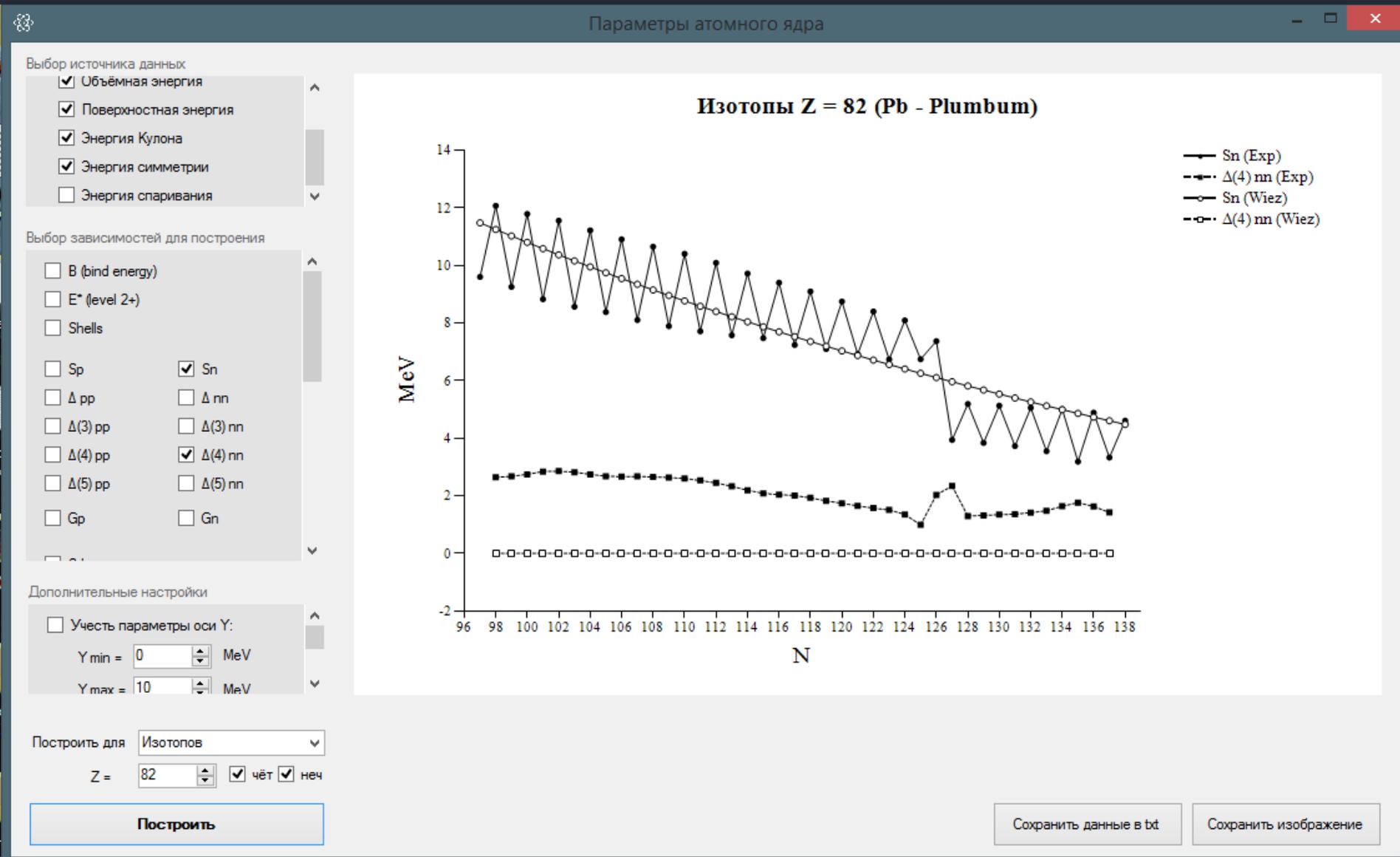
«MSU MaRel» (Mass Relations) – программа для построения разностных характеристик



«MSU MaRel» (Mass Relations) – программа для построения разностных характеристик



«MSU MaRel» (Mass Relations) – программа для построения разностных характеристик



«MSU MaRel» (Mass Relations) – программа для построения разностных характеристик

