

ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ И ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР ПРИ
НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЯХ И ПРОБЛЕМА
ПЛОТНОСТИ ЯДЕРНЫХ УРОВНЕЙ**

Студент

Л. Е. Трофимов

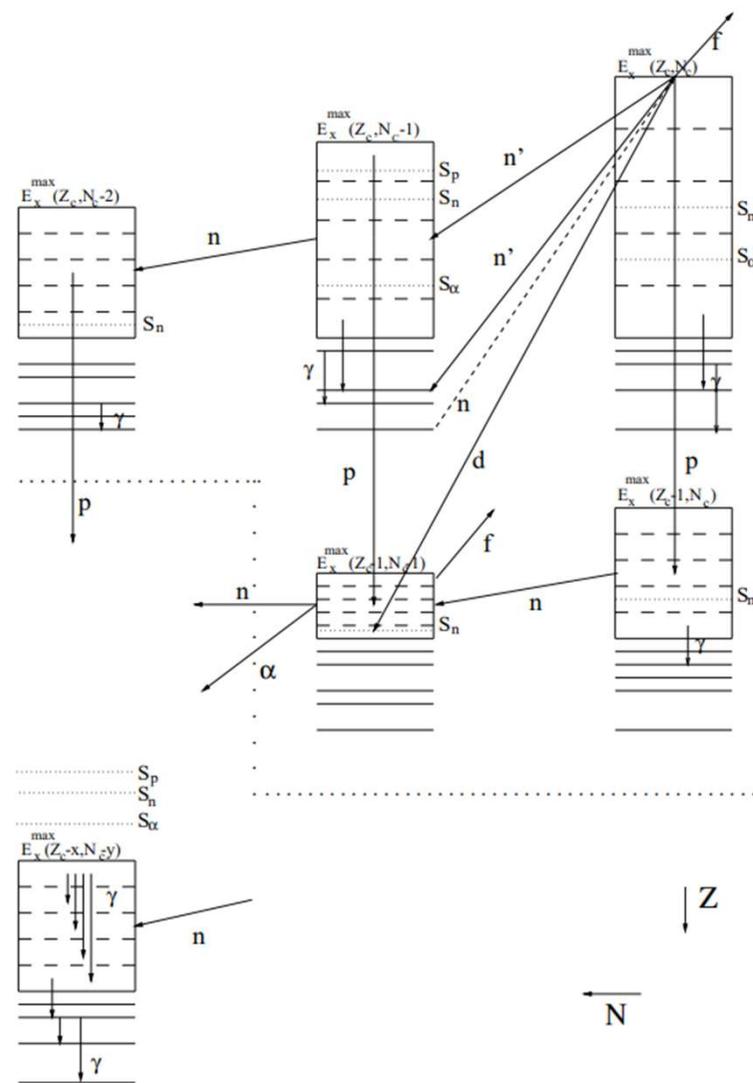
Научный руководитель
д.ф-м.н., проф.

А. Л. Барабанов

Цель работы

Плотность ядерных
уровней

Моделирование ядерных
реакций



A.Koning et al. TALYS-1.9. A nuclear reaction program, 2017.

Talys

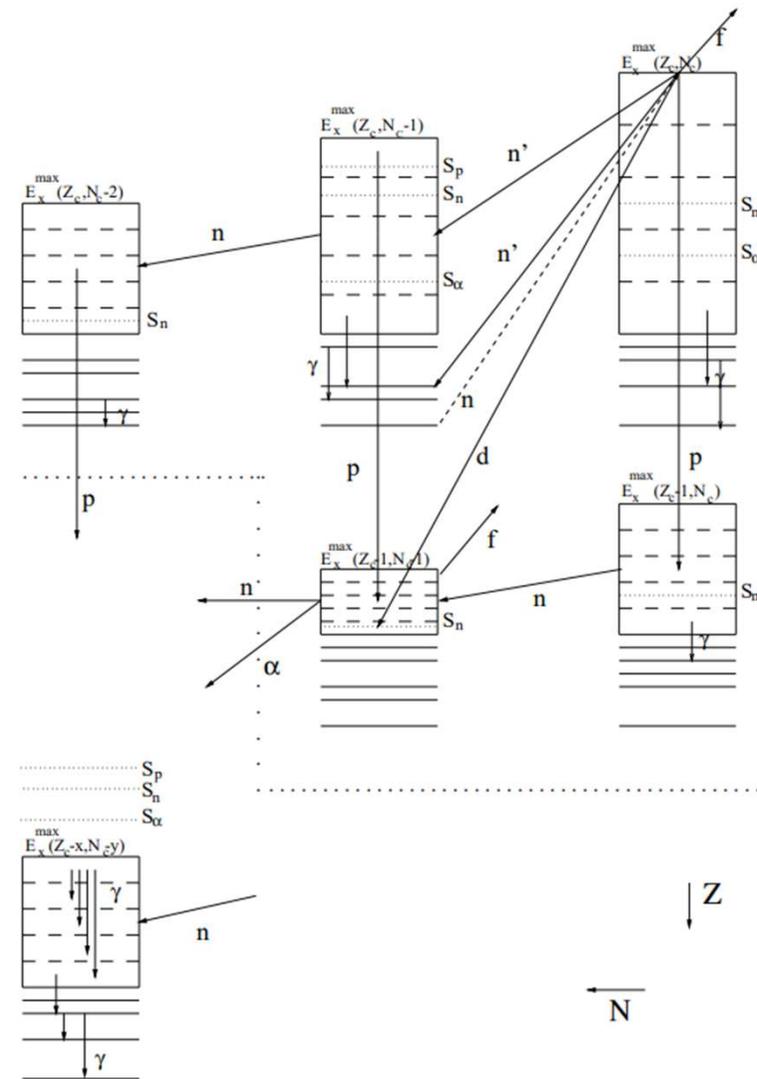
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$

$^{59}\text{Co}(n,2n)^{58}\text{Co}$

$^{112}\text{Cd}(n,2n)^{111}\text{Cd}$

$^{113}\text{In}(n,n')^{113}\text{In}$

- Основное состояние
- Изомерное состояние



A.Koning et al. TALYS-1.9. A nuclear reaction program, 2017.

Talys: модели ядерных уровней

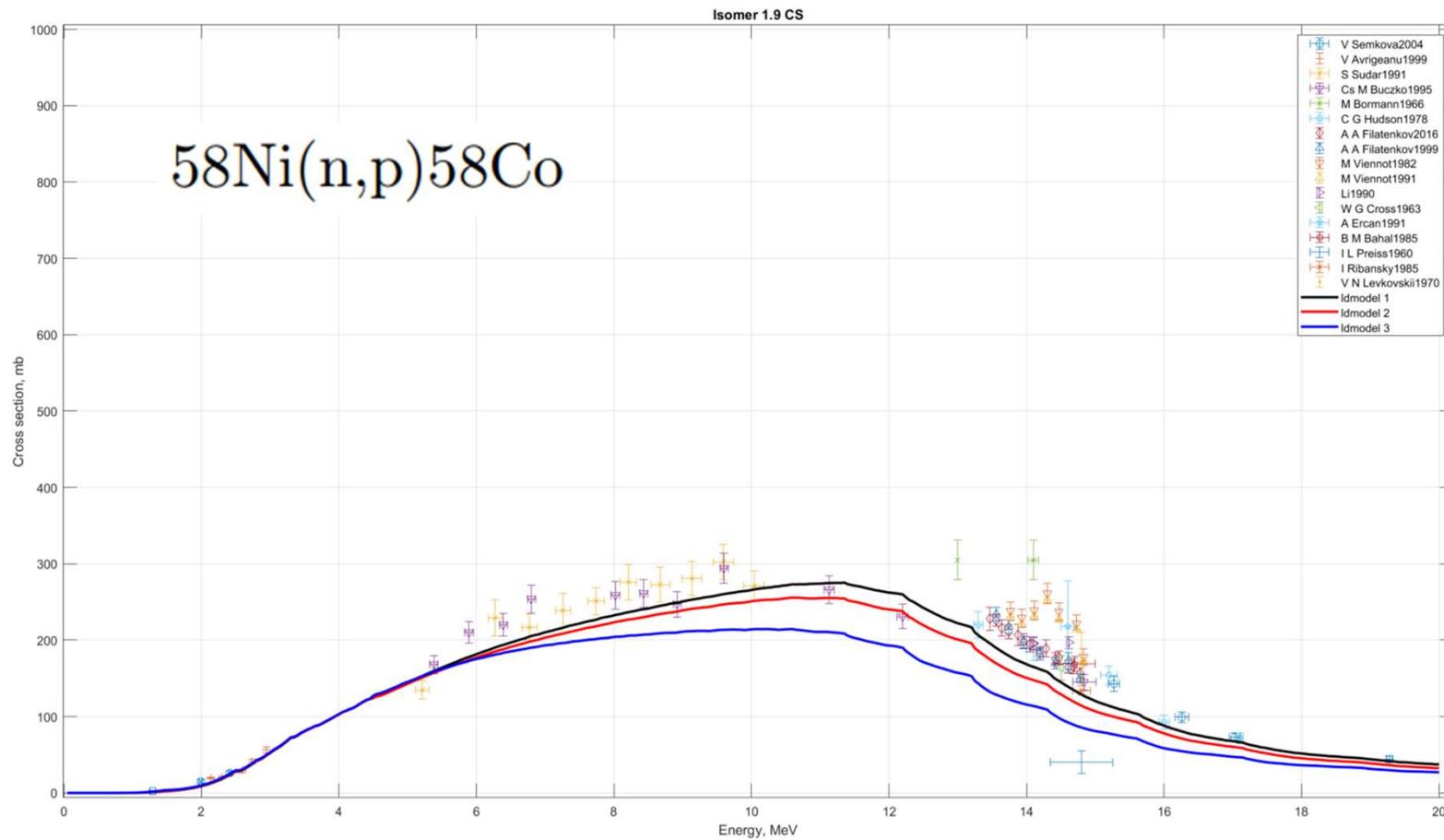
- Модель ферми-газа с постоянной температурой
- Ферми-газ с обратным смещением
- Сверхтекучая модель.

$$\sigma_{\text{av}}(E) = \frac{L_1(E) + L_2(E) + L_3(E)}{3}$$

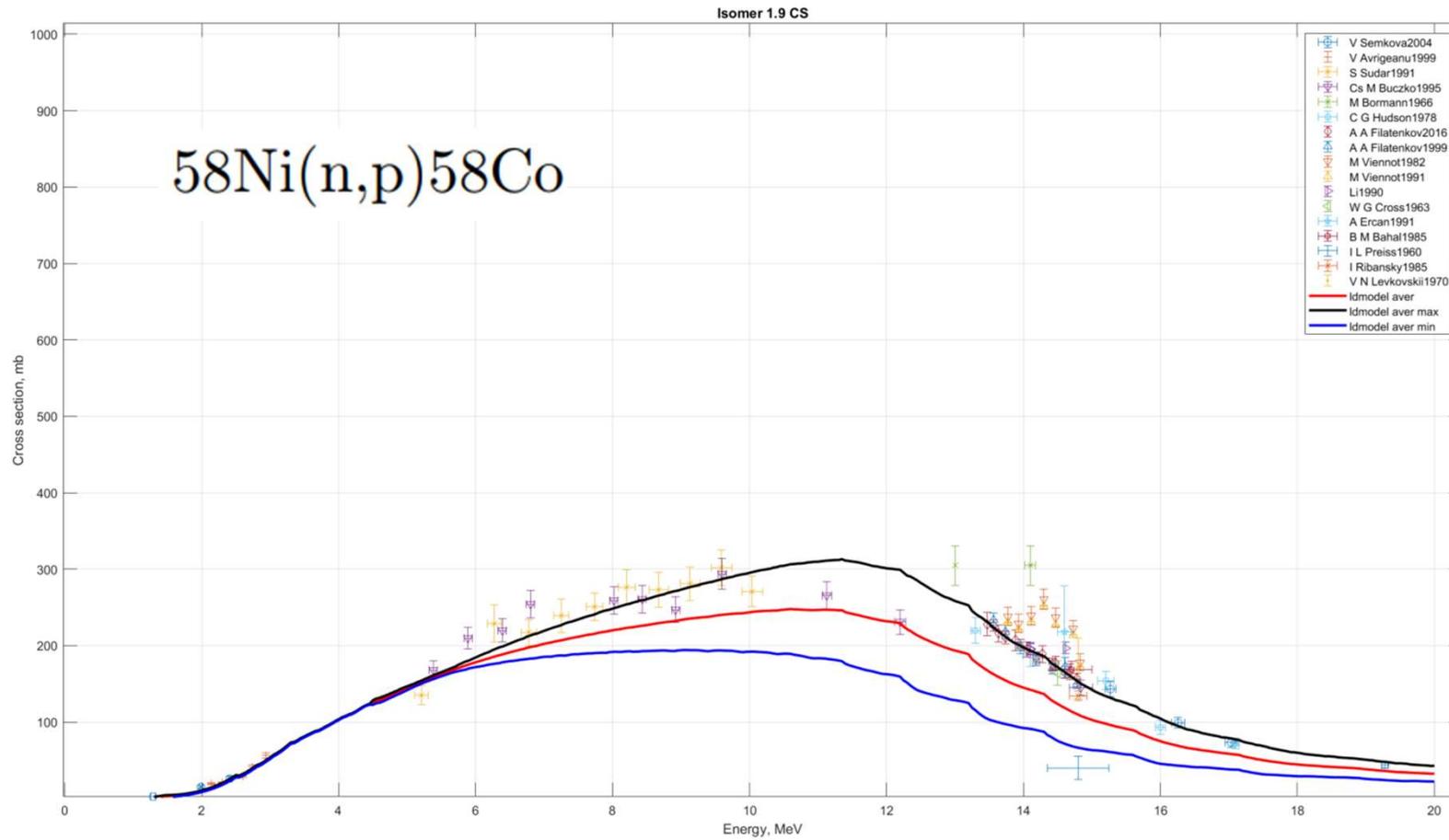
$$\Delta\sigma(E) = \max(|L_1 - L_2|, |L_1 - L_3|, |L_2 - L_3|)$$

$$\sigma_{\text{max}}(E) = \sigma_{\text{av}}(E) + \Delta\sigma(E), \quad \sigma_{\text{min}}(E) = \sigma_{\text{av}}(E) - \Delta\sigma(E)$$

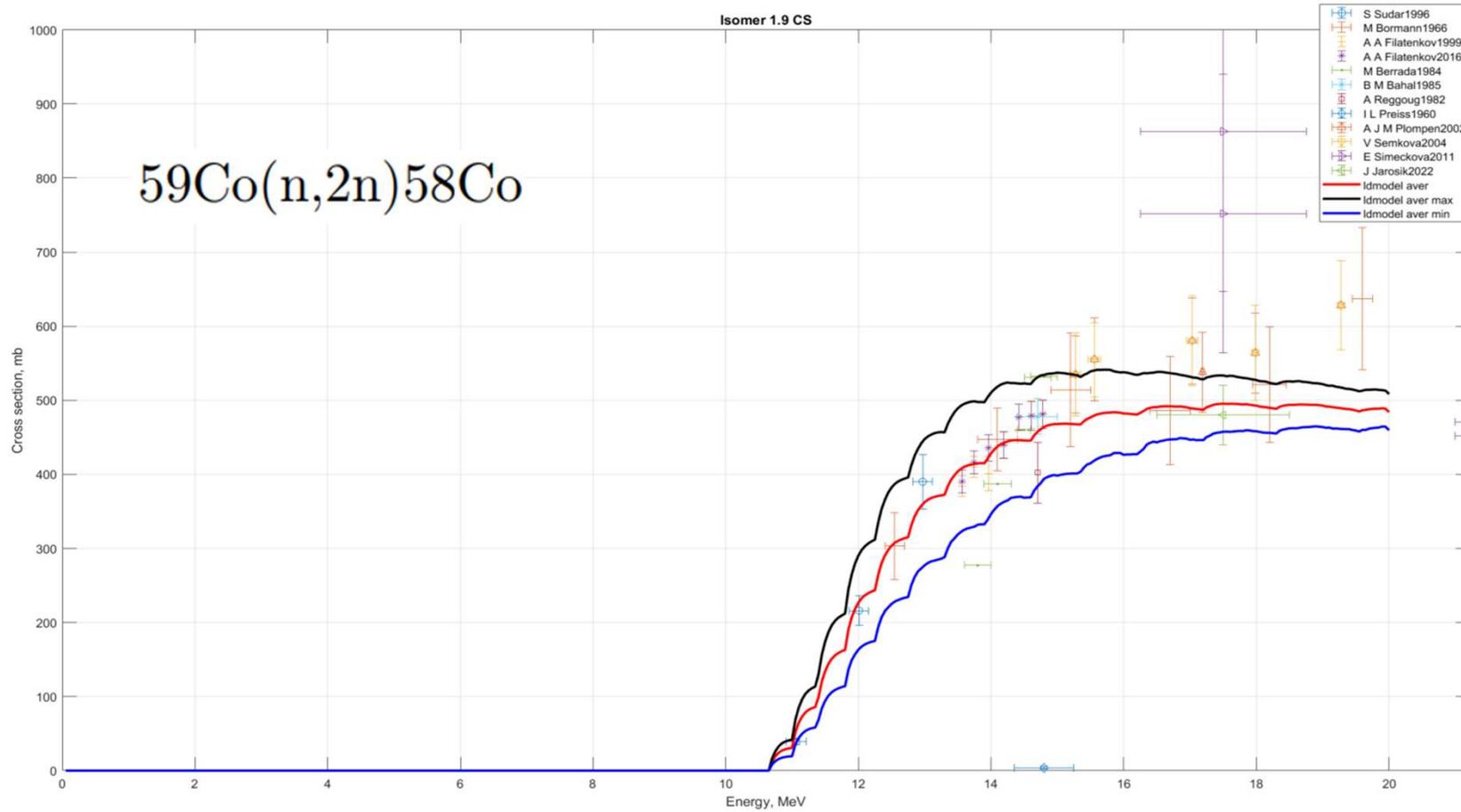
^{58}Ni , изомерное состояние. Кривые “ldmodel”



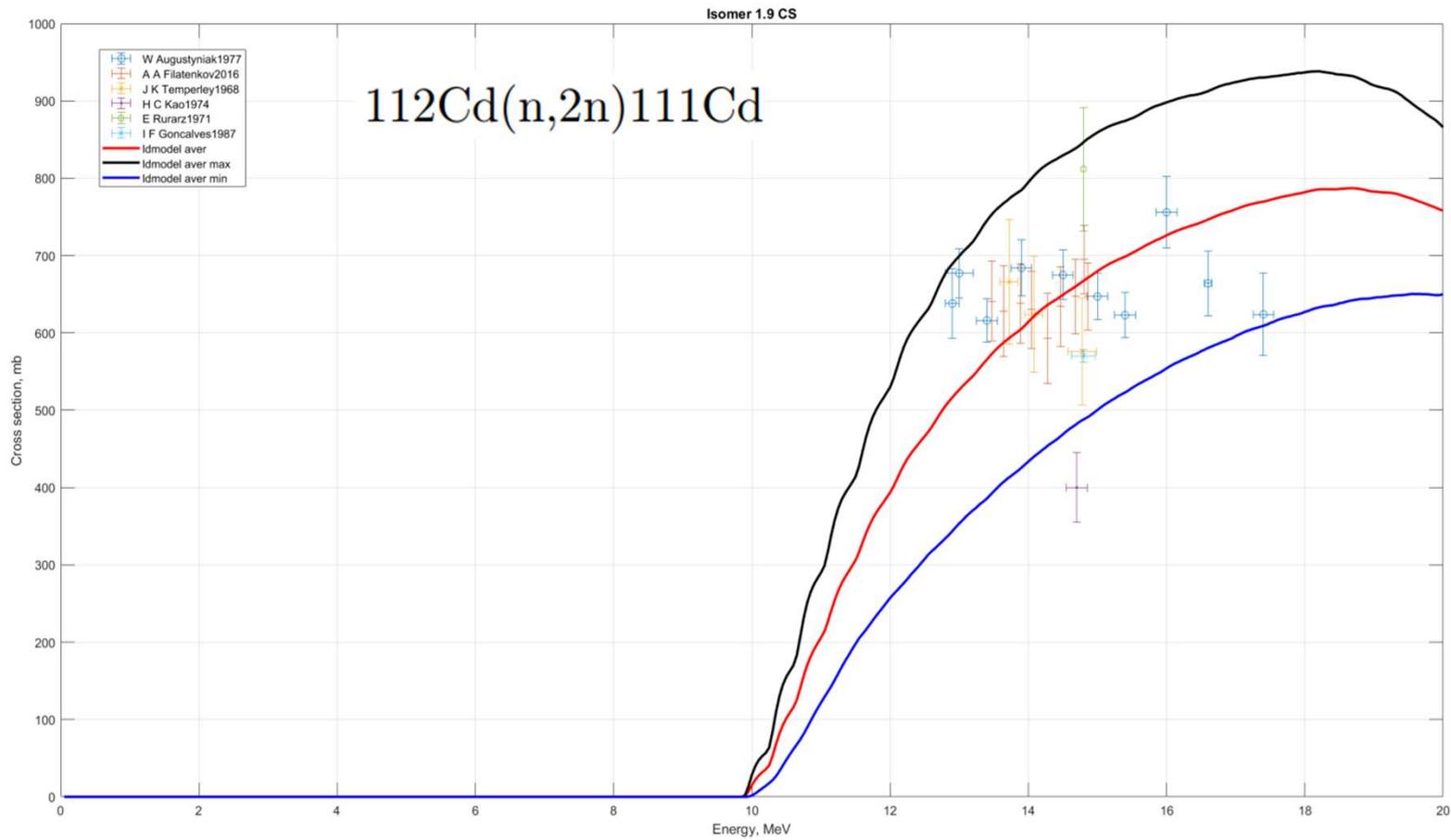
^{58}Ni , изомерное состояние. σ_{av} , σ_{max} , σ_{min}



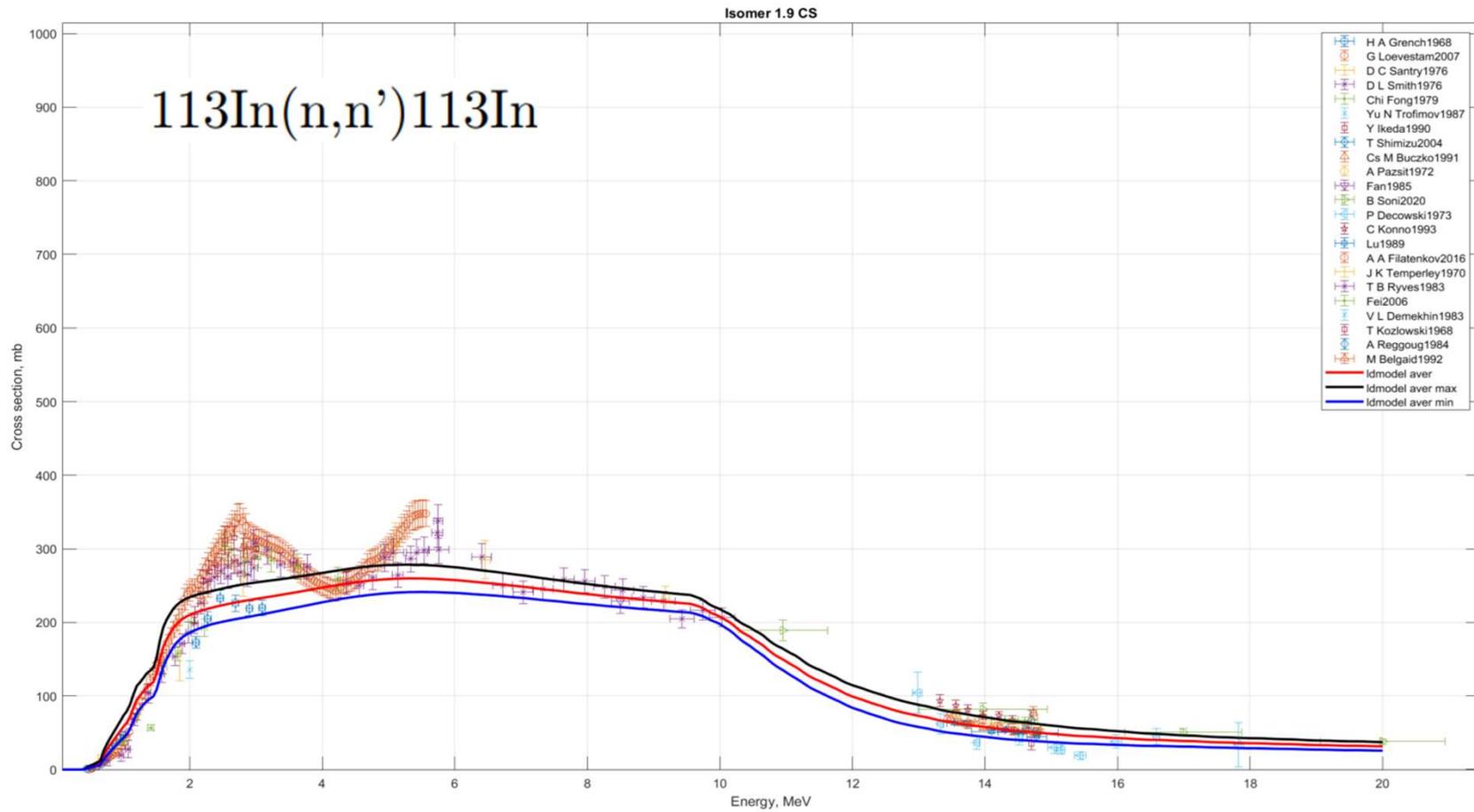
^{59}Co , изомерное состояние. σ_{av} , σ_{max} , σ_{min}



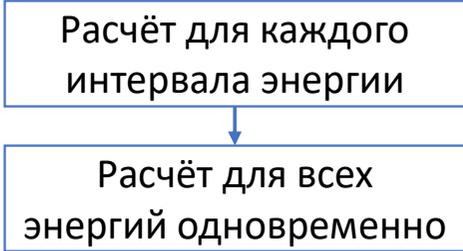
^{112}Cd , изомерное состояние. σ_{av} , σ_{max} , σ_{min}



^{113}In , изомерное состояние. σ_{av} , σ_{max} , σ_{min}



Алгоритм перебора многочастичных состояний



Переход от плотности состояний к плотности уровней

$$\rho(u, J, P) = \omega(u, J_z, P) - \omega(u, J_z + 1, P), \quad J = J_z \geq 0$$

ρ – плотность уровней. ω – плотность состояний

$$\rho(U, I) \approx \frac{2I + 1}{12} \sqrt{a} \left(\frac{\hbar^2}{2J} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\exp\left(2\sqrt{a\left(U - \frac{I(I+1)\hbar^2}{2J}\right)}\right)}{\left(U - \frac{I(I+1)\hbar^2}{2J}\right)^2}$$

$$\rho(U) \approx \sqrt{\frac{\hbar^2}{2J}} \cdot \frac{\exp\left(2\sqrt{aU}\right)}{12U^{3/2}}$$

a – параметр плотности.

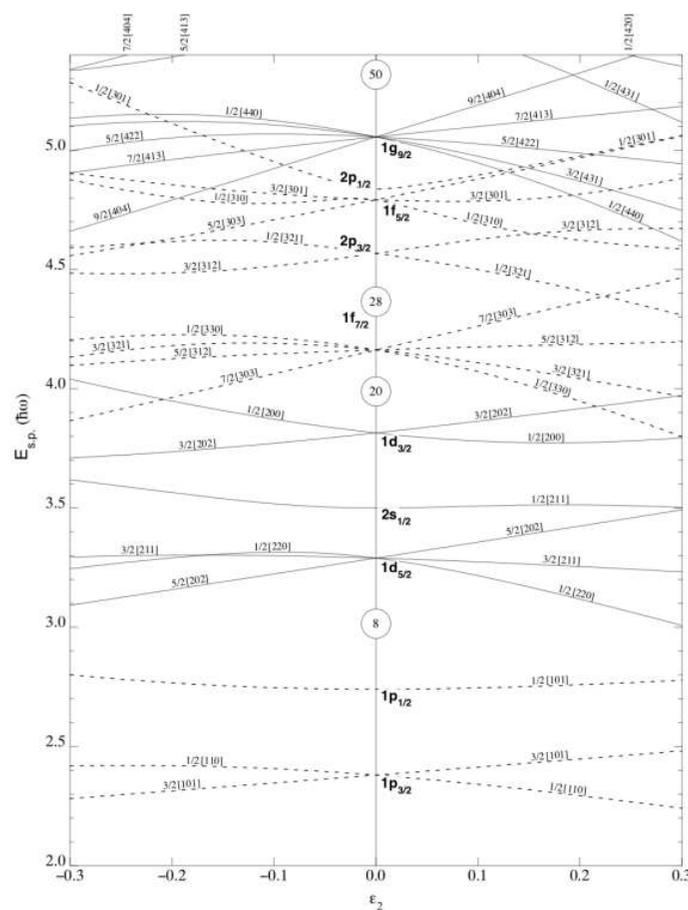
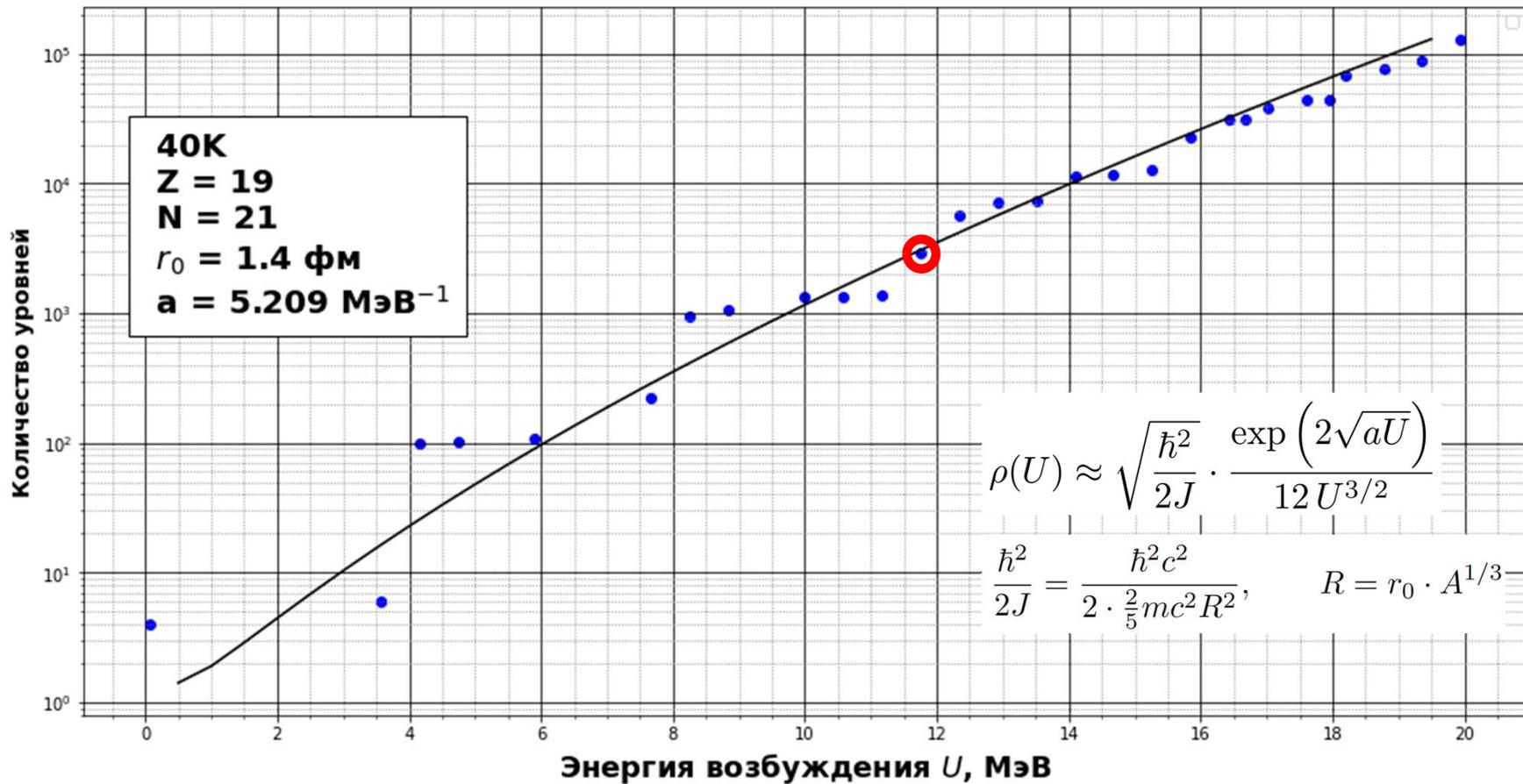


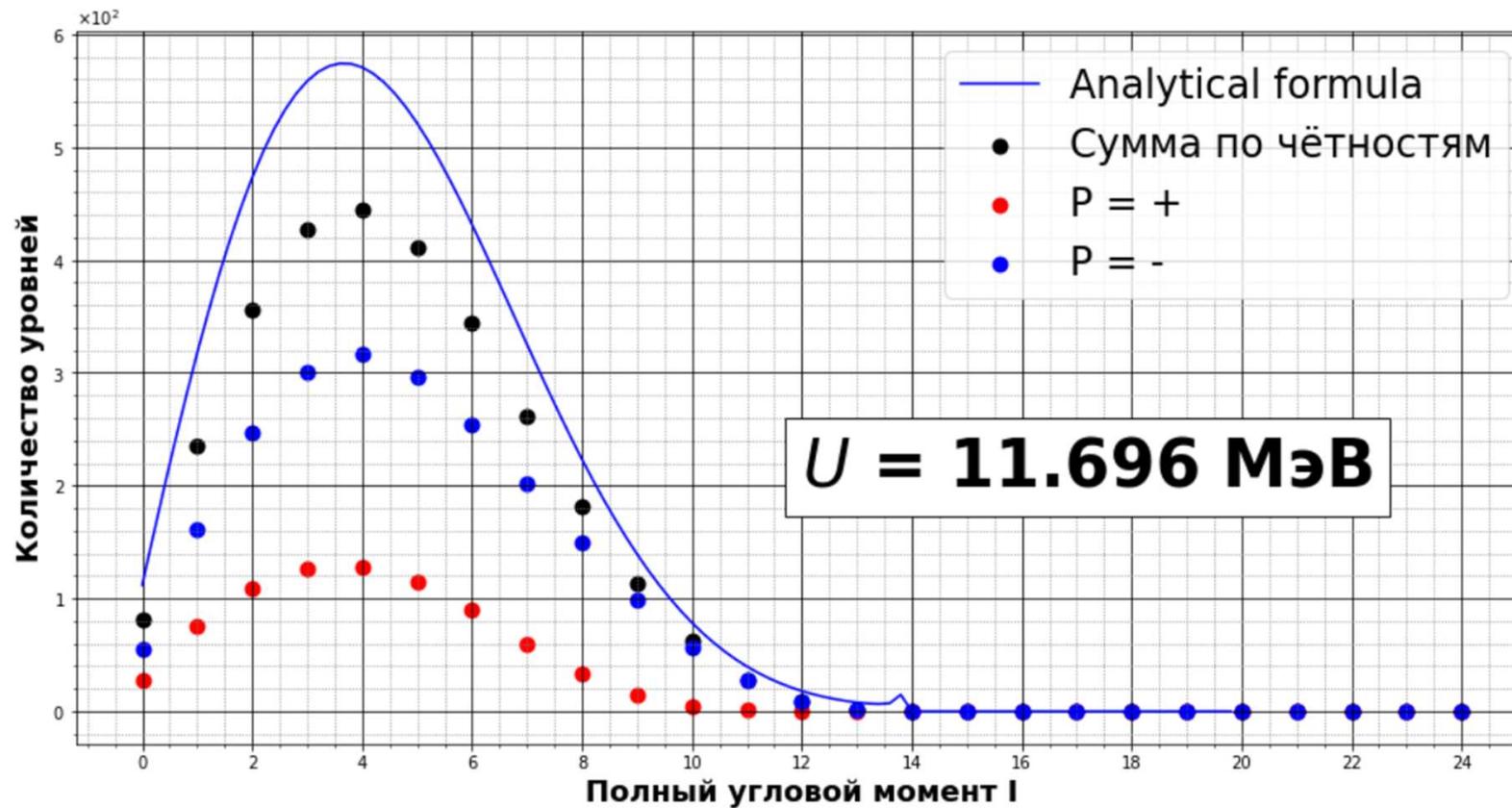
Figure 4. Nilsson diagram for protons or neutrons, Z or N = 50 ($\epsilon_4 = 0$).

- Основное состояние
- {1, 1, ..., 1, 1, 1, 0, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 1, 0, 1, 0, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 0, 1, 1, 0, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 0, 1, 1, 1, 0, 0, ...}
 - ⋮
 - {1, 0, ..., 1, 1, 1, 1, 0, 0, ...}
 - {0, 1, ..., 1, 1, 1, 1, 0, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 1, 0, 0, 1, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 0, 1, 0, 1, 0, ...}
 - ⋮
 - {0, 1, ..., 1, 1, 1, 0, 1, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 0, 0, 1, 1, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 0, 1, 0, 1, 1, 0, ...}
 - ⋮
 - {0, 1, ..., 1, 1, 0, 1, 1, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 0, 0, 1, 1, 1, 0, ...}
 - ⋮
 - {0, 0, ..., 1, 1, 1, 1, 1, 0, ...}
 - {1, 1, ..., 1, 1, 0, 0, 0, 1, ...}
 - ⋮

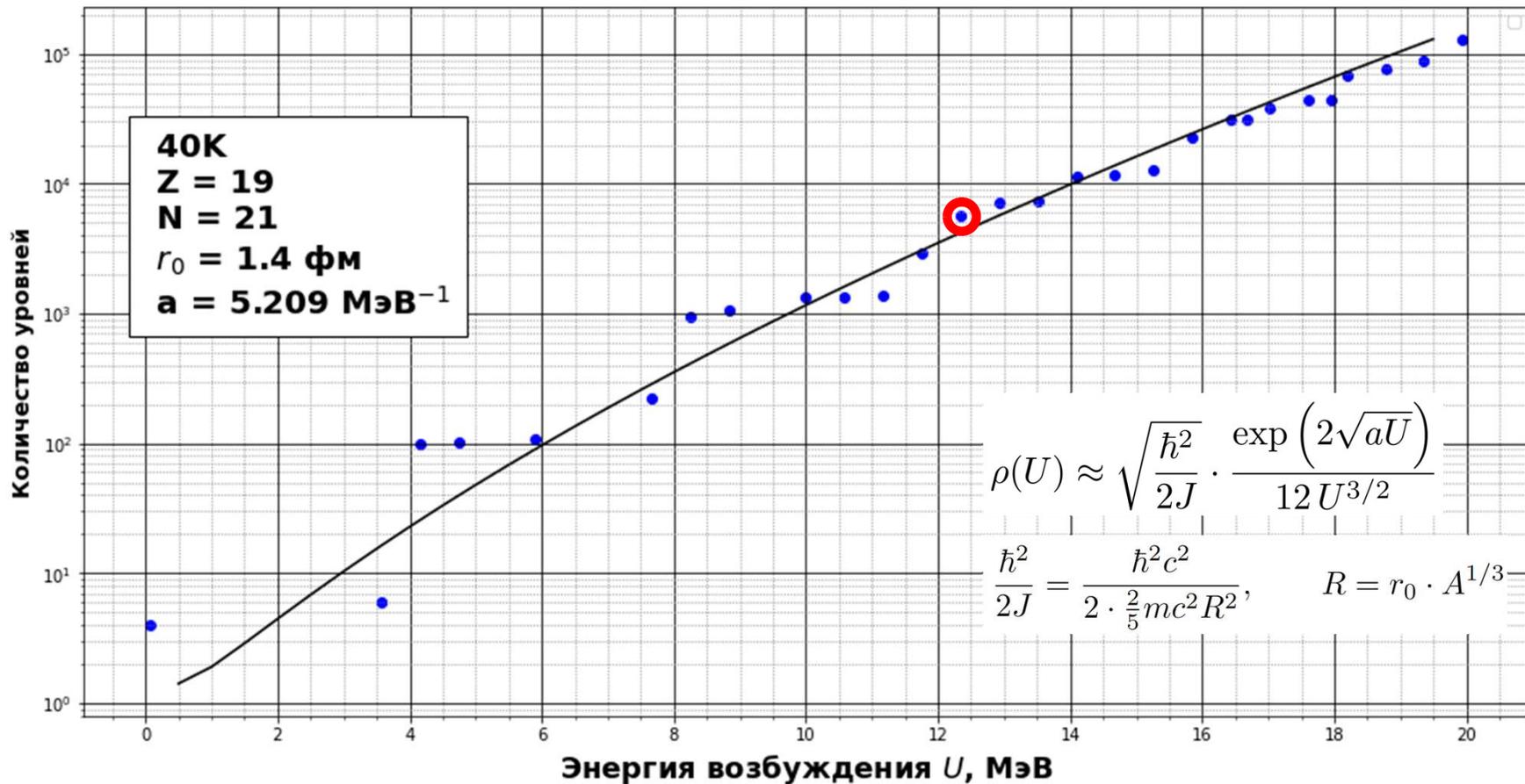
Результаты расчёта плотности уровней для 40K



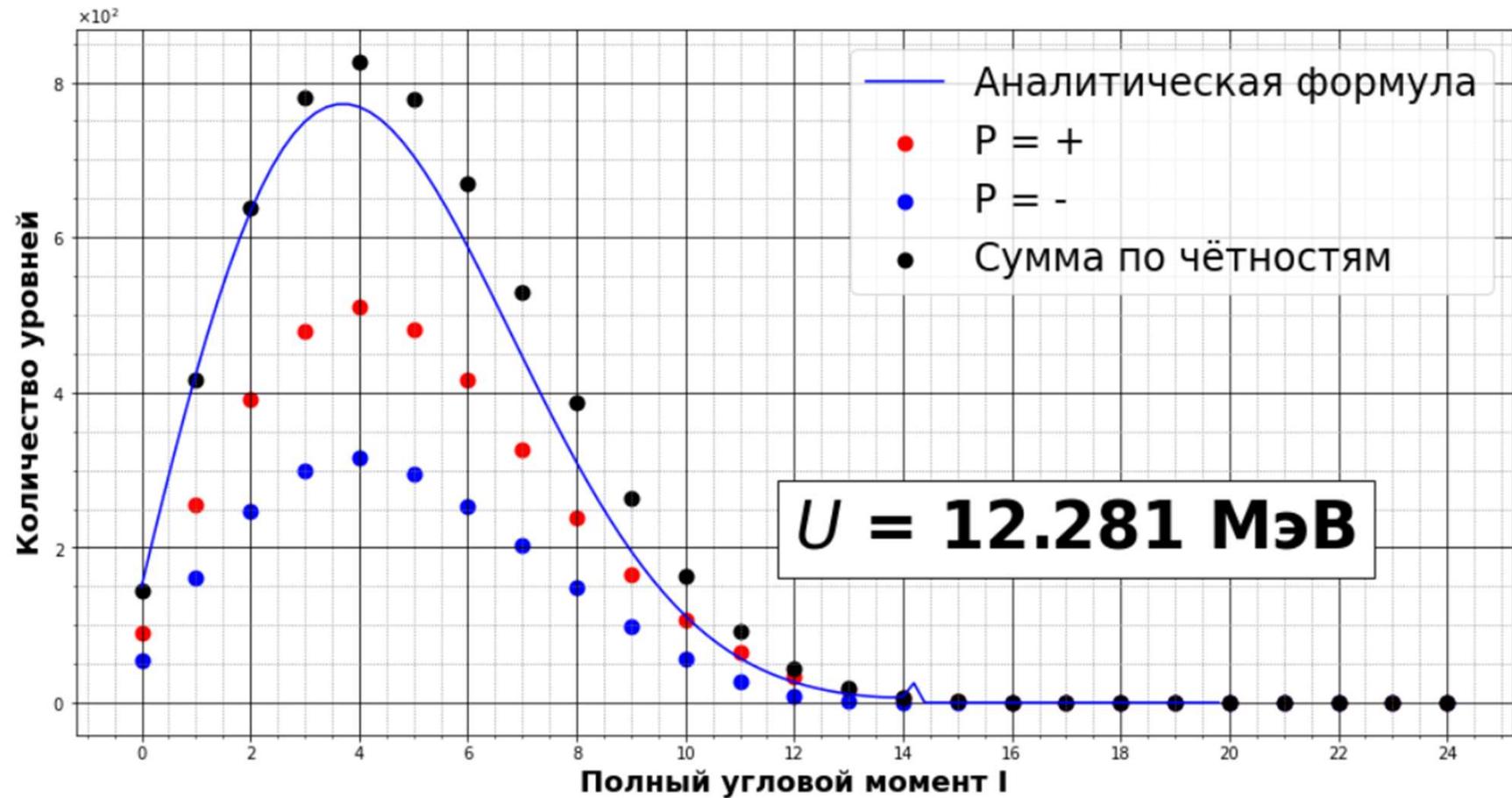
Результаты расчёта плотности уровней для 40К



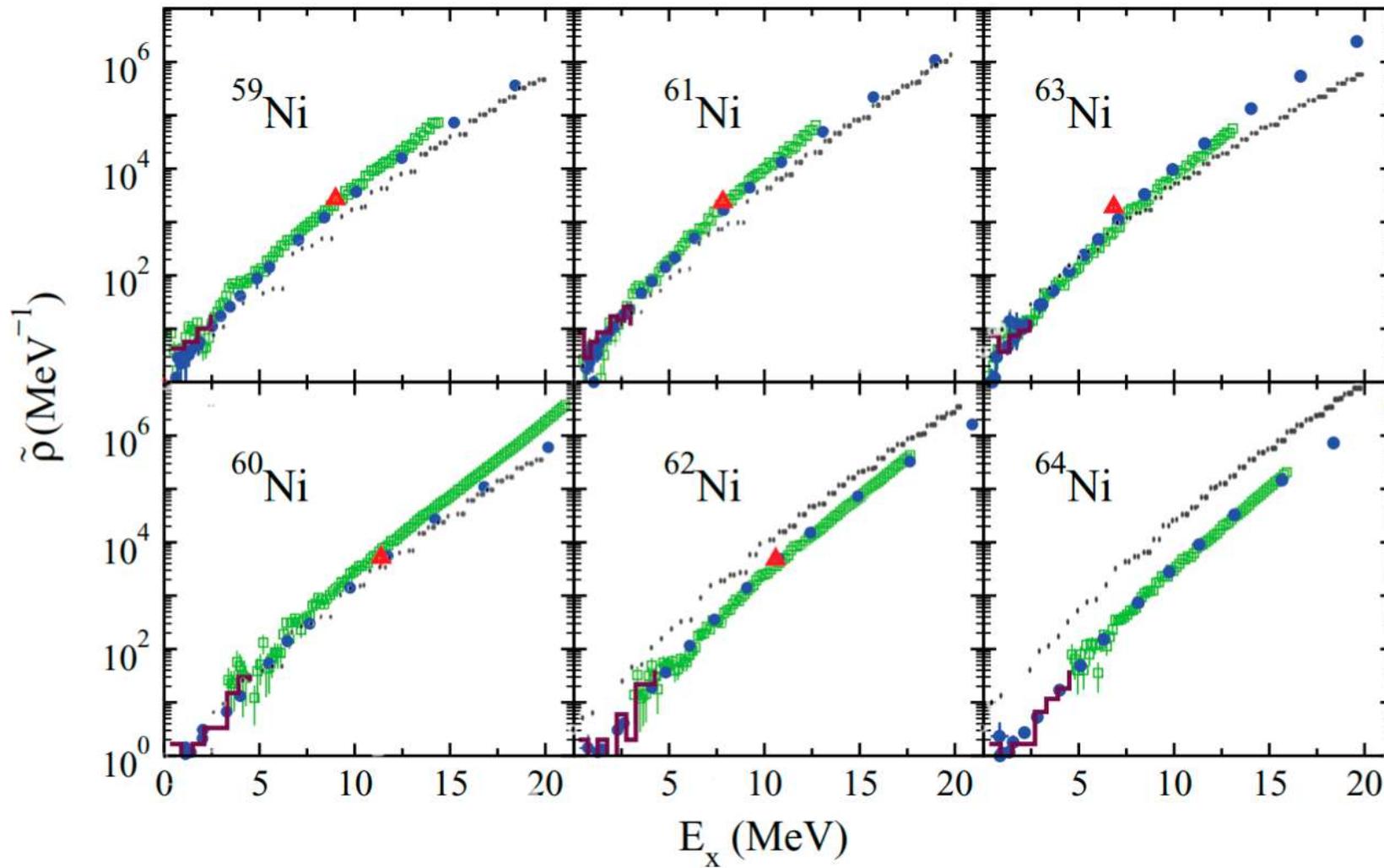
Результаты расчёта плотности уровней для 40K



Результаты расчёта плотности уровней для 40К



Сравнение с экспериментальными данными



Заключение

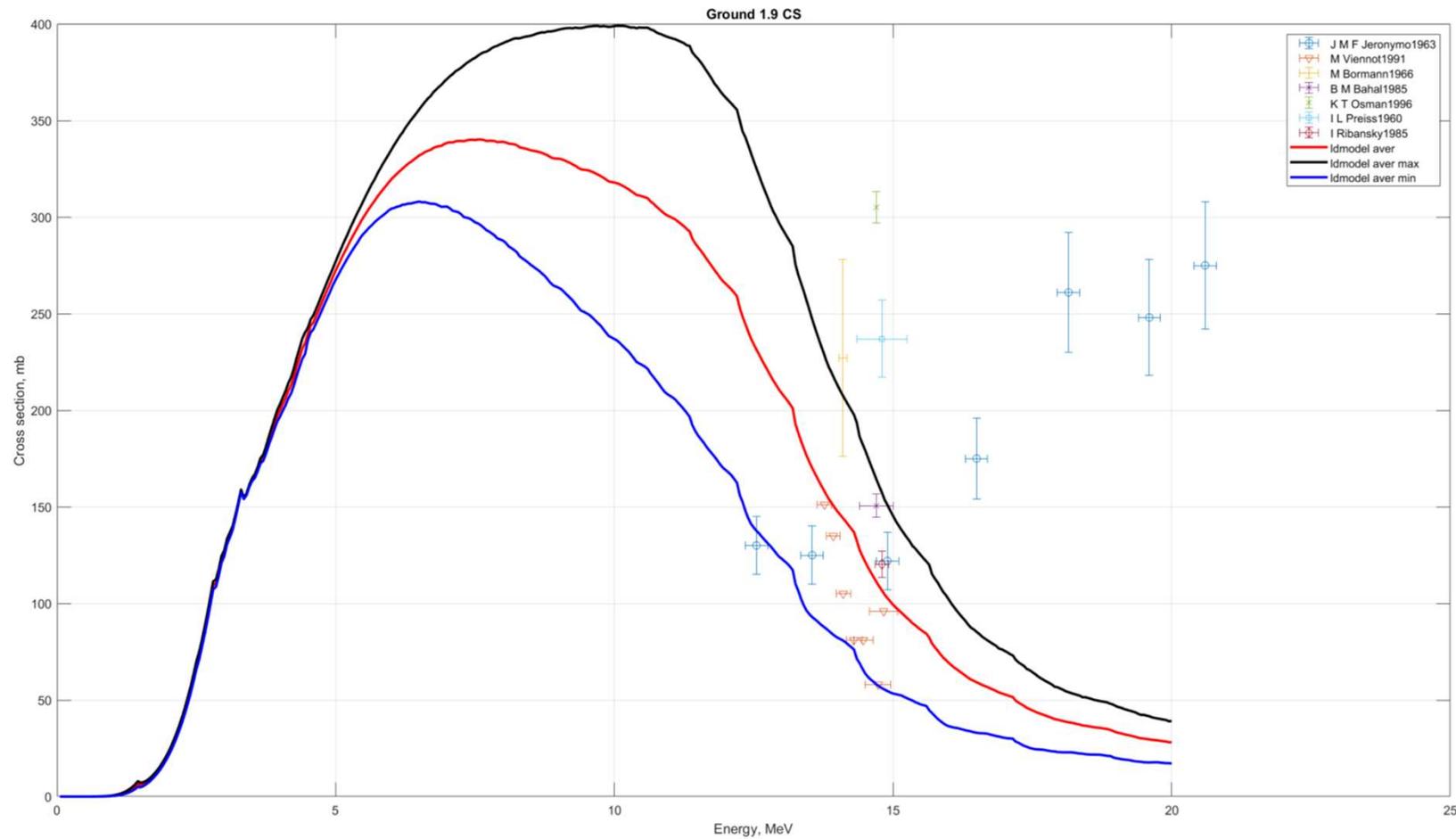
- Предложена методика использования программы Talys для оценки сечений реакций с образованием ядер в изомерных (долгоживущих) состояниях.
- Оптимизирован алгоритм перебора многочастичных состояний.
- Ранее разработанный алгоритм вычисления плотности состояний дополнен алгоритмом вычисления плотности уровней, изучено распределение плотности уровней в зависимости от спина и энергии.
- Продемонстрировано согласие разработанного алгоритма подсчёта плотности уровней с экспериментальными данными.

Планы на будущее

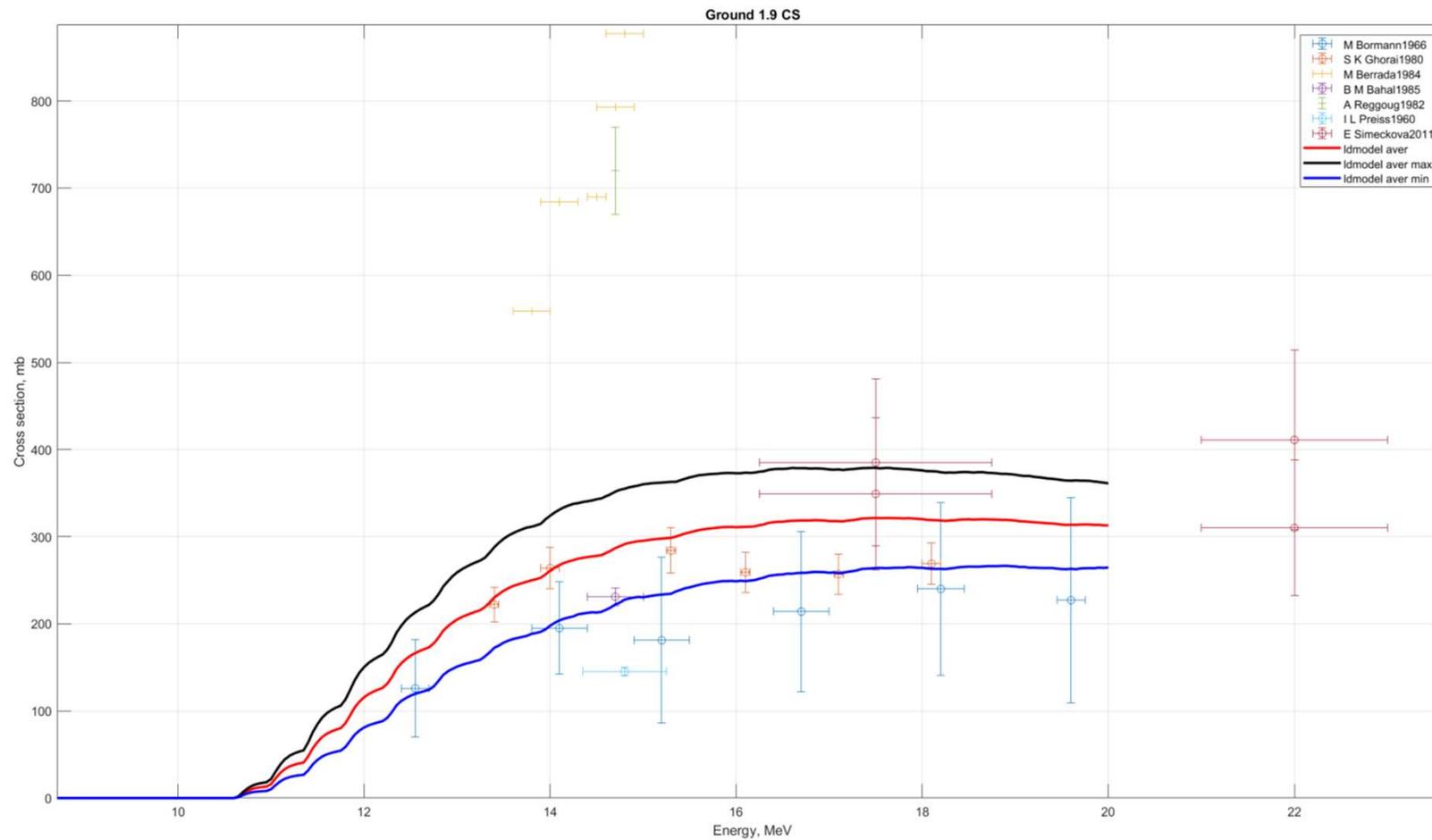
- Усовершенствование модели для алгоритма перебора многочастичных состояний и использование его в Talys для моделирования ядерных реакций.

Приложения

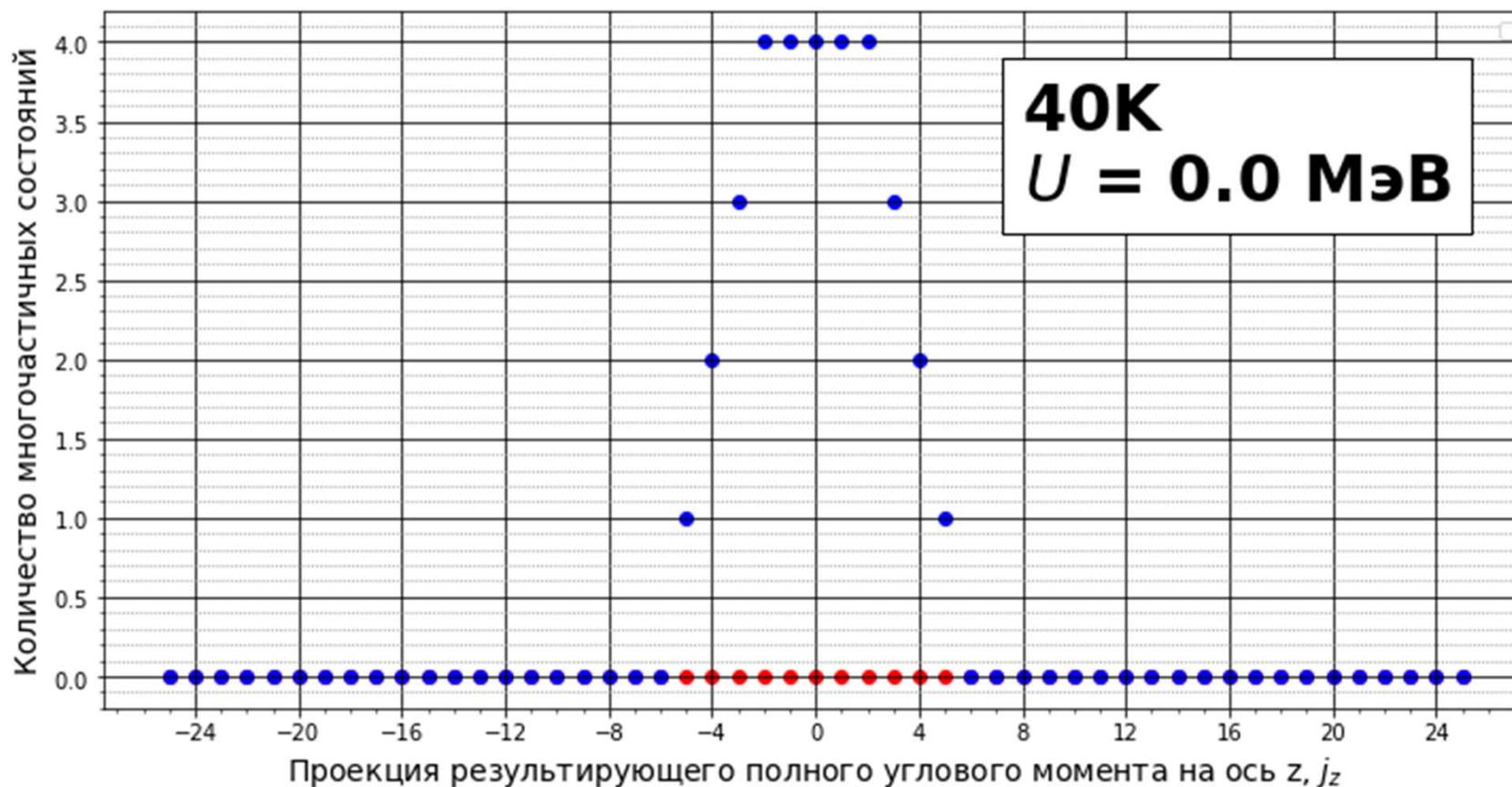
^{58}Ni , основное состояние. σ_{av} , σ_{max} , σ_{min}



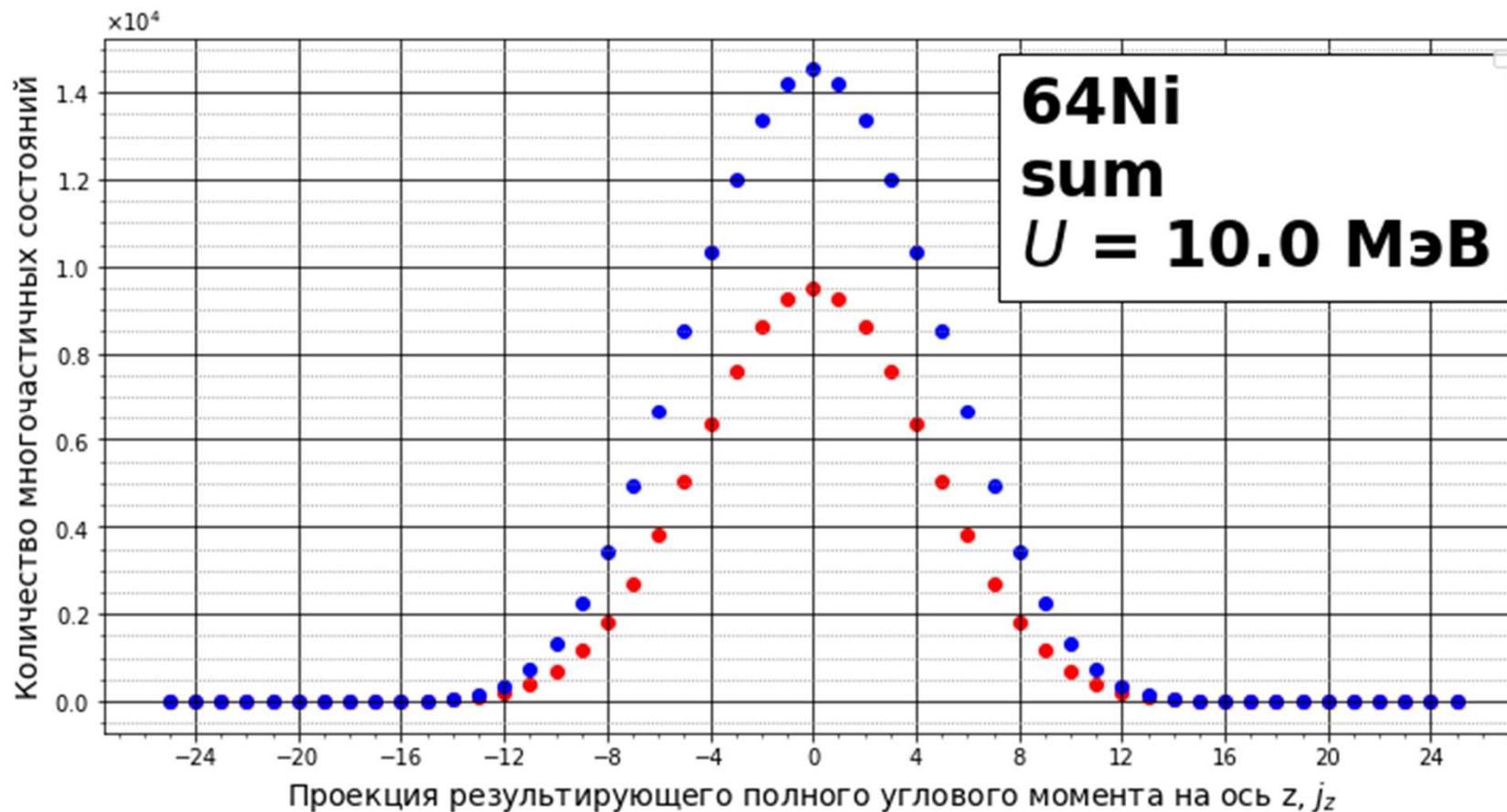
^{59}Co , основное состояние. σ_{av} , σ_{\max} , σ_{\min}



40K, плотность состояний при нулевой энергии возбуждения



^{64}Ni , плотность состояний от проекции углового момента



^{63}Ni , плотность состояний от энергии возбуждения

