

ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ПЛОТНОСТЬ ВОЗБУЖДЁННЫХ СОСТОЯНИЙ
АТОМНЫХ ЯДЕР

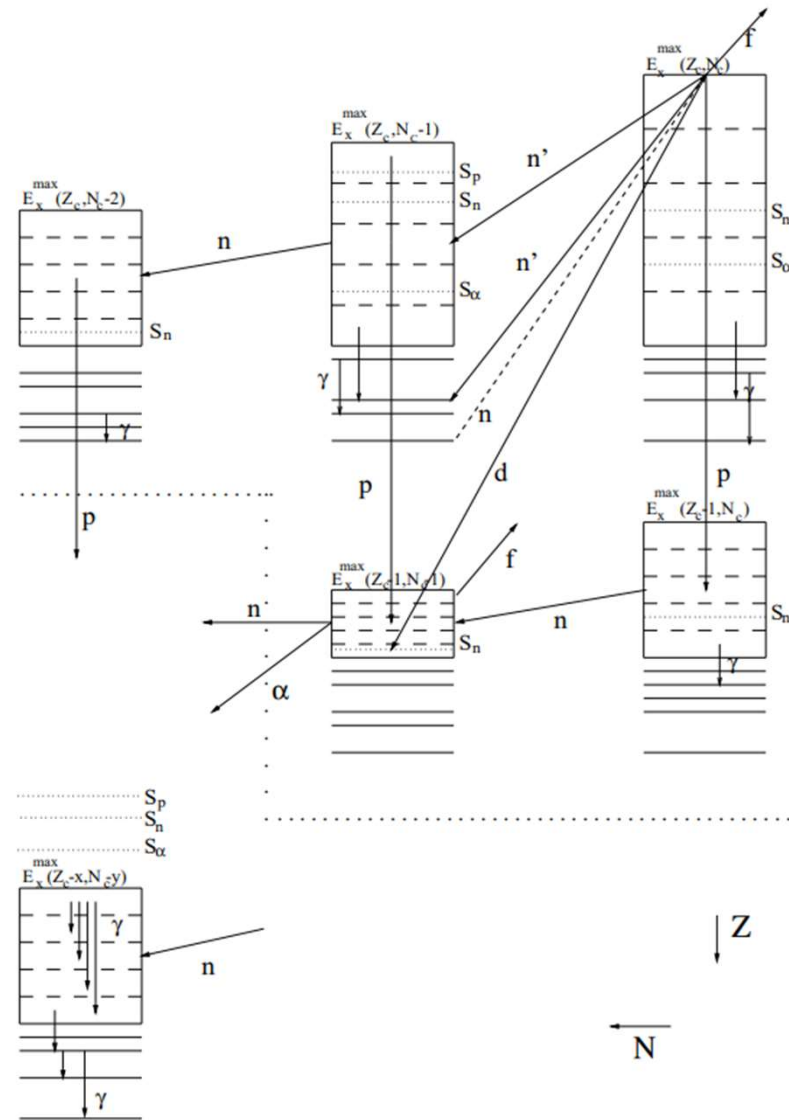
Студент

Л. Е. Трофимов

Научный руководитель
д.ф-м.н., проф

А. Л. Барабанов

Цель работы



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

Цель работы

$$\omega = \frac{\Delta N}{\Delta E} = \omega(E)$$

$$\omega(U) = \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}}$$

$$a = \frac{\pi^2}{6} g(E_F)$$

$g(E_F)$ — плотность одночастичных состояний вблизи энергии Ферми

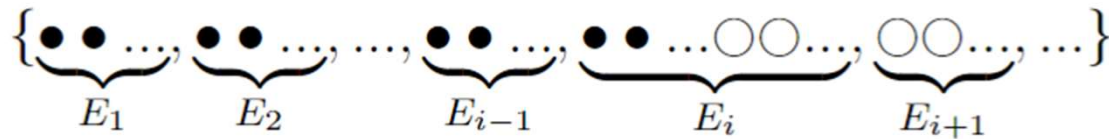
Три способа вычисления плотности возбуждённых многочастичных состояний:

1. Аналитическая формула Бете для ферми-газа.
2. Прямое вычисление многочастичных состояний.
3. Комбинаторный метод.

Моделирование возбуждённых состояний с помощью различных моделей одночастичных спектров:

1. Модель одномерного гармонического осциллятора
2. Модель трёхмерного гармонического осциллятора
3. Модель прямоугольной ямы конечной глубины

Алгоритмы перебора состояний



1. Алгоритм полного перебора

2. Алгоритм через числа сочетаний

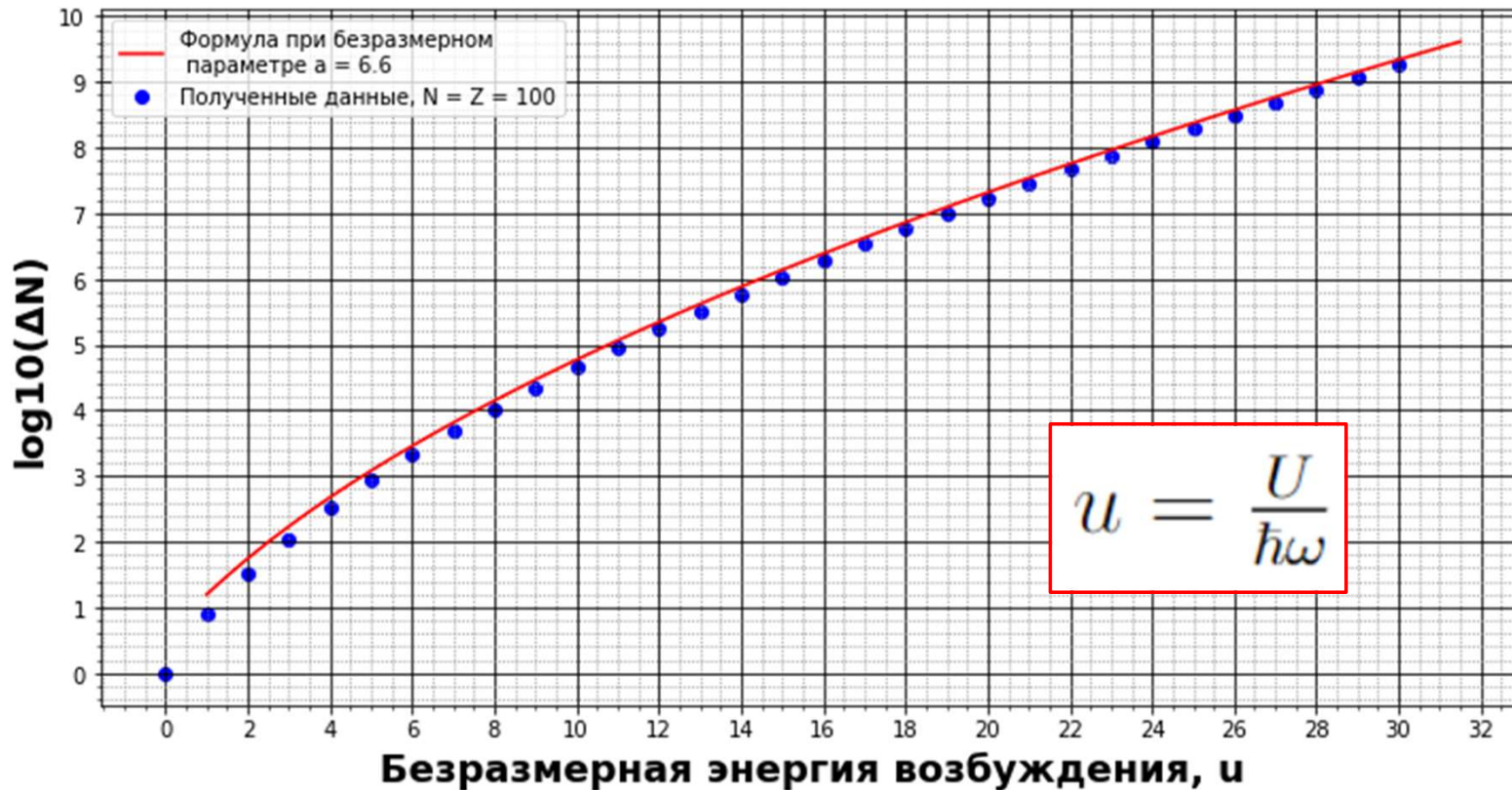
$$\mathcal{K}_n(u = \bar{0}) = C_{N_i}^{\mathcal{N}}$$

$$\mathcal{K}_n(u = 1) = N_{i+1} \cdot C_{N_i}^{\mathcal{N}-1} + N_{i-1} \cdot C_{N_i}^{\mathcal{N}+1}$$

$$\mathcal{K}_n(u = 2) = C_{N_{i+2}}^1 C_{N_i}^{\mathcal{N}-1} + C_{N_{i+1}}^2 C_{N_i}^{\mathcal{N}-2} + N_{i+1} \cdot C_{N_i}^{\mathcal{N}} \cdot N_{i-1} + C_{N_i}^{\mathcal{N}+2} C_{N_{i-1}}^{N_{i-1}-2} + C_{N_i}^{\mathcal{N}+1} C_{N_{i-2}}^{N_{i-2}-1}$$

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

1. Модель одномерного гармонического осциллятора



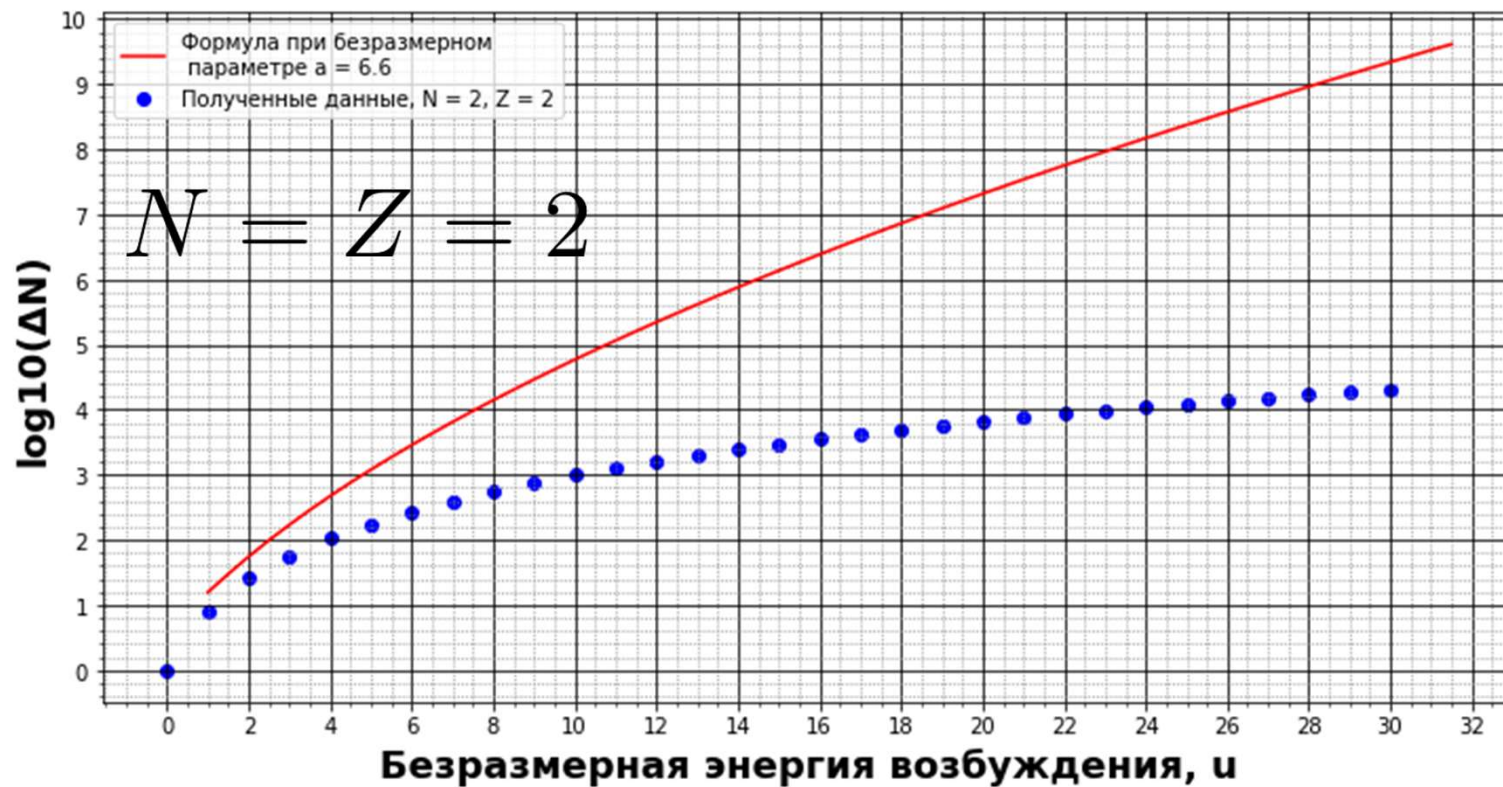
$$a = \frac{\pi^2}{6} g(E_F)$$

$$a_{\text{безразм}} = \frac{\pi^2}{6} \cdot 4$$

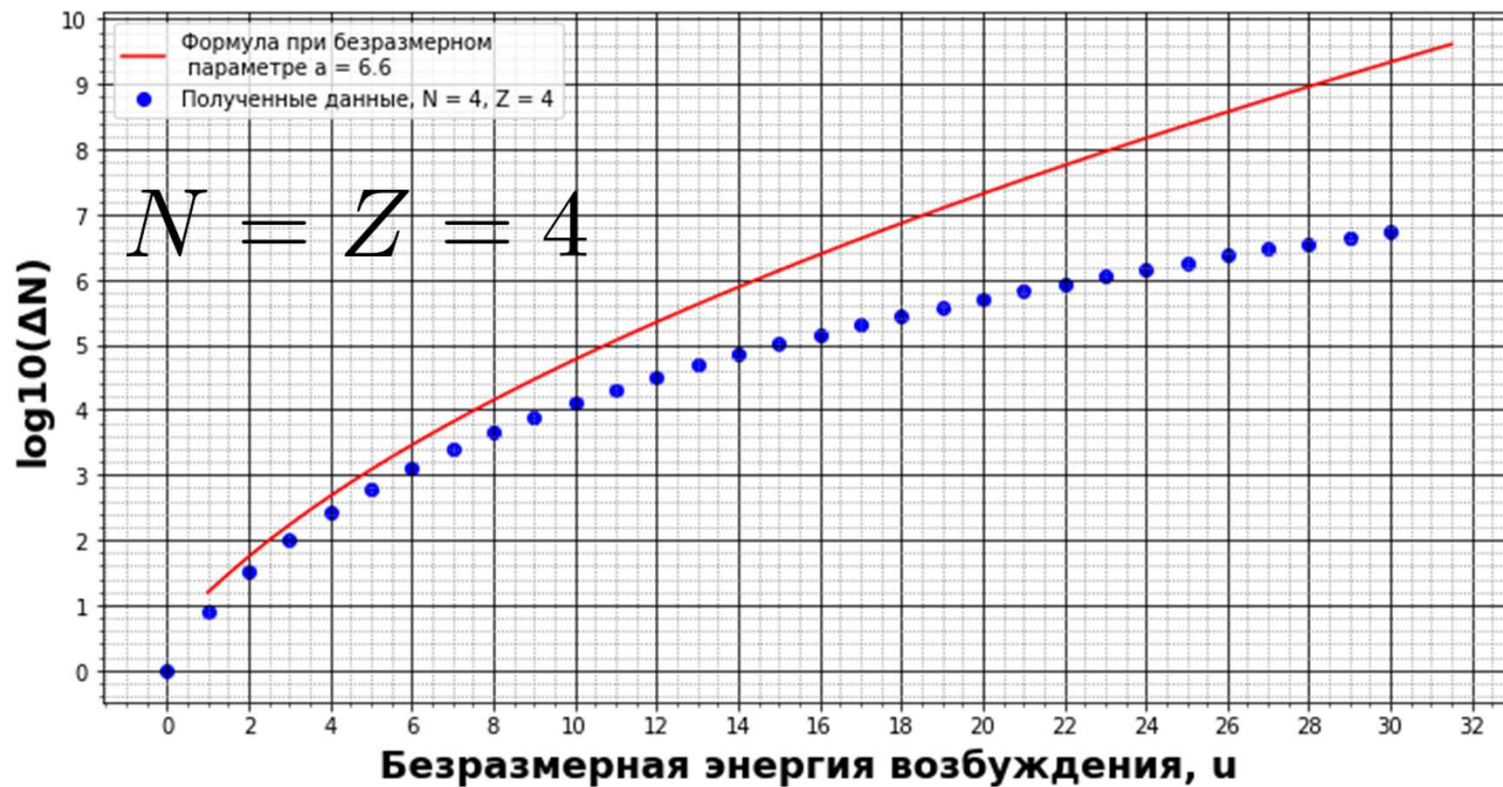
$$\frac{\pi^2}{6} \cdot 4 \approx 6.58$$

$$a_{\text{безразм. модел.}} = 6.6$$

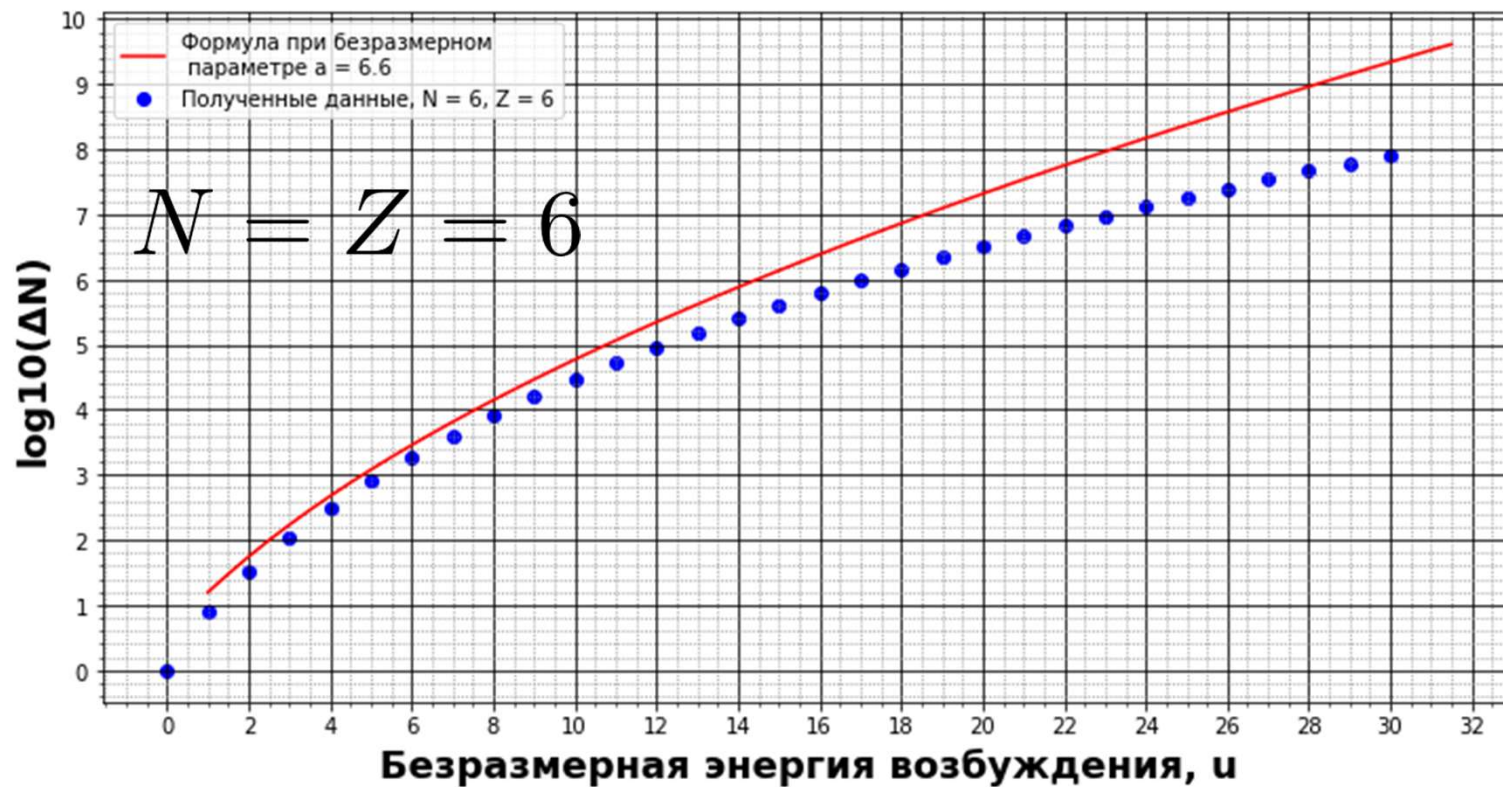
1. Модель одномерного гармонического осциллятора. Ограничения аналитической формулы



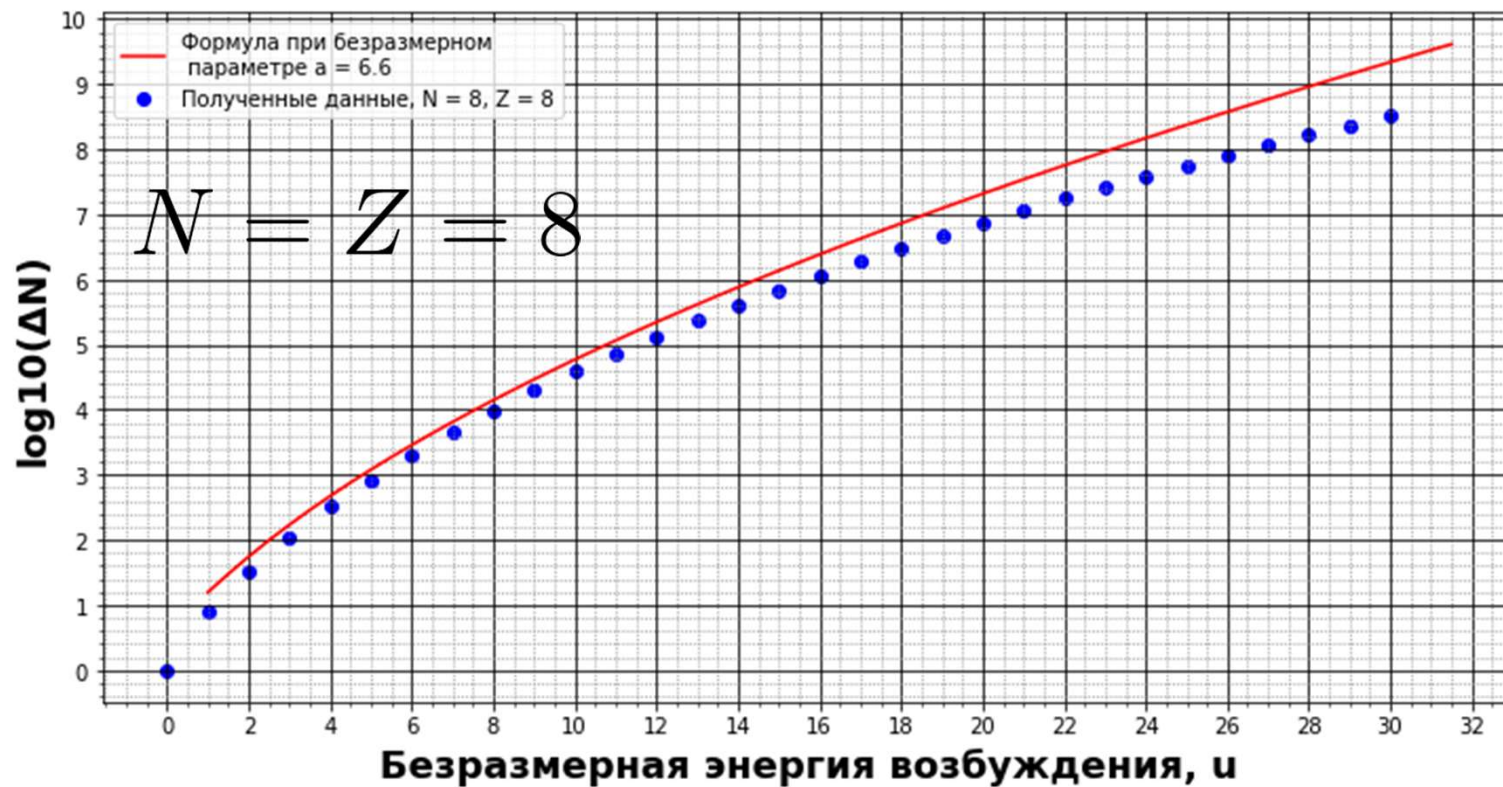
1. Модель одномерного гармонического осциллятора. Ограничения аналитической формулы



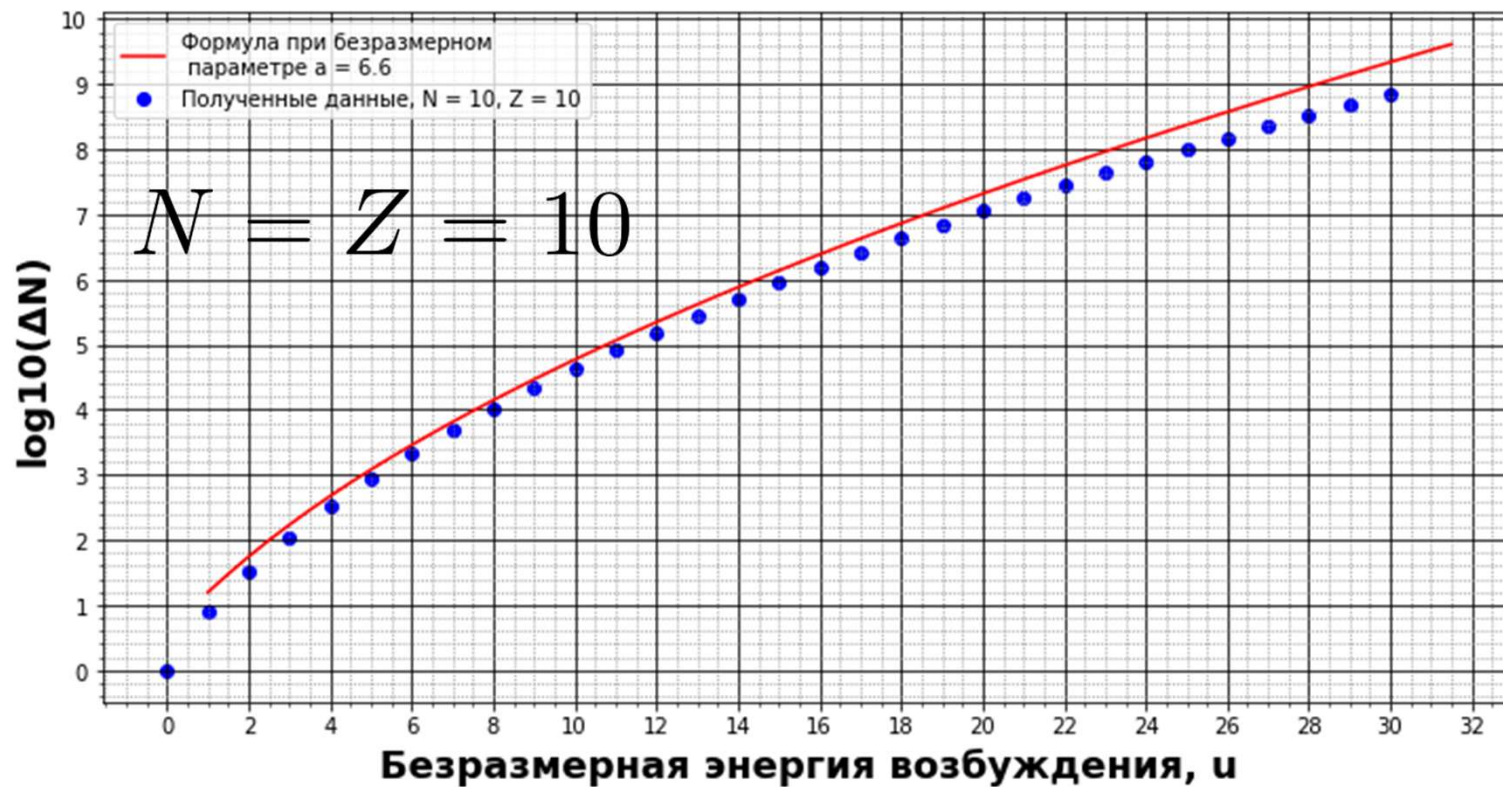
1. Модель одномерного гармонического осциллятора. Ограничения аналитической формулы



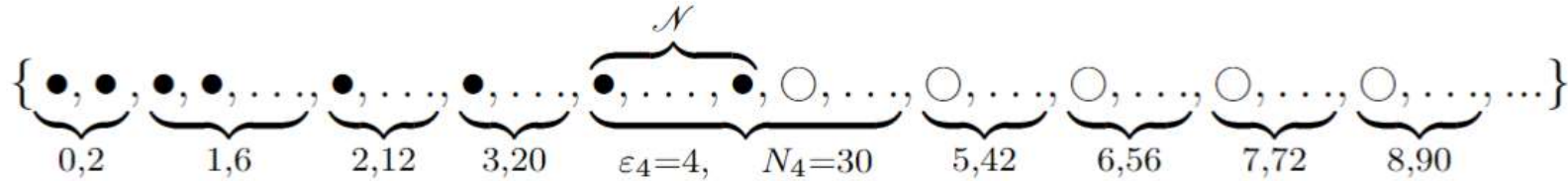
1. Модель одномерного гармонического осциллятора. Ограничения аналитической формулы



1. Модель одномерного гармонического осциллятора. Ограничения аналитической формулы



2. Модель трёхмерного осциллятора

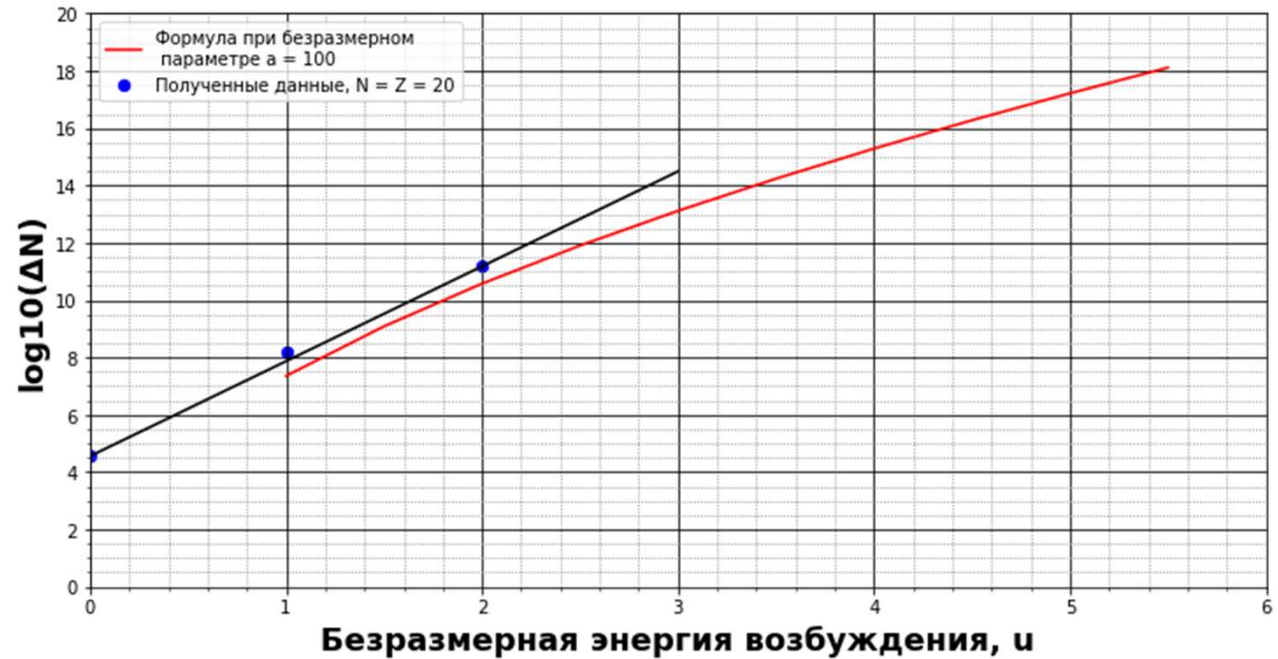


Алгоритм через числа сочетаний

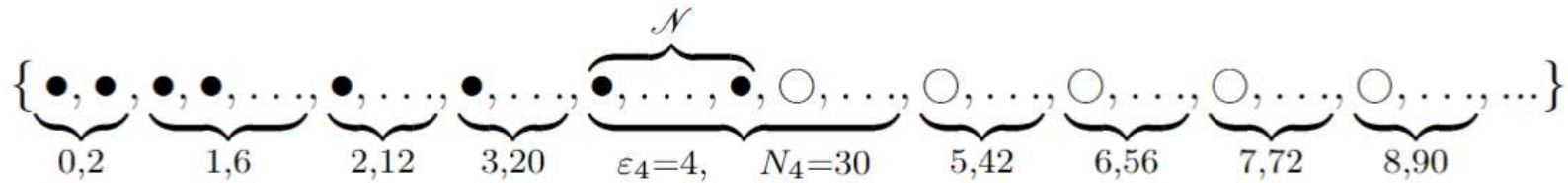
$$a = 6.8 \text{ МэВ}^{-1}$$

$$a(^{40}\text{Ar}) = 6.70 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a(^{40}\text{K}) = 5.34 \text{ МэВ}^{-1}$$

$$a(^{41}\text{Ca}) = 5.44 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a(^{42}\text{Ca}) = 6.58 \text{ МэВ}^{-1}$$



2. Модель трёхмерного осциллятора



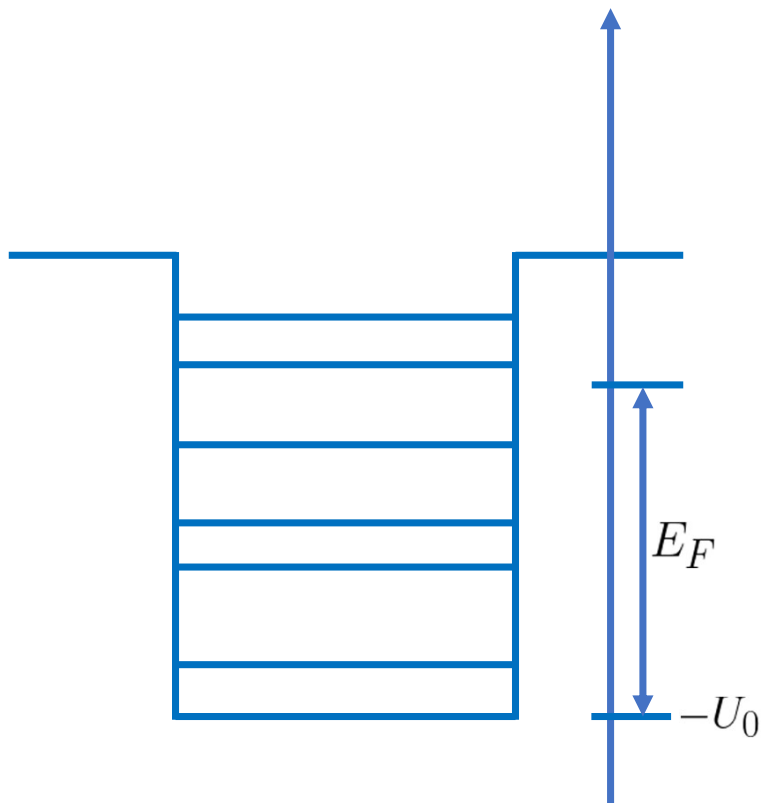
$${}_{15}^{30}\text{P} : \quad a_{\text{бездр}} = 70, \quad \hbar\omega = 16.22 \text{ МэВ}, \quad a = 4.3 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a_{\text{раб}}({}_{15}^{30}\text{P}) = 3.47 \text{ МэВ}^{-1}$$

$${}_{25}^{50}\text{Mn} : \quad a_{\text{бездр}} = 105, \quad \hbar\omega = 13.68 \text{ МэВ}, \quad a = 7.7 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a_{\text{раб}}({}_{25}^{51}\text{Mn}) = 6.29 \text{ МэВ}^{-1}$$

$${}_{30}^{60}\text{Zn} : \quad a_{\text{бездр}} = 110, \quad \hbar\omega = 12.87 \text{ МэВ}, \quad a = 8.5 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a_{\text{раб}}({}_{30}^{63}\text{Zn}) = 7.45 \text{ МэВ}^{-1}$$

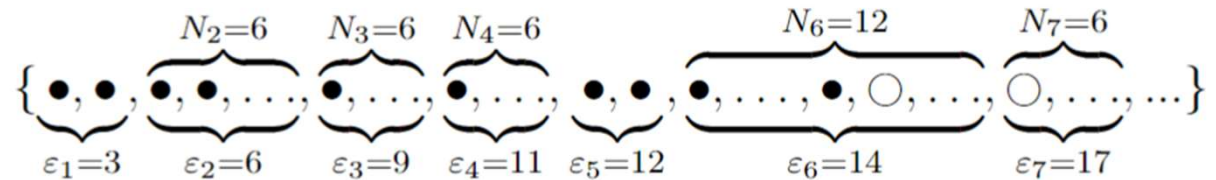
$${}_{40}^{80}\text{Zr} : \quad a_{\text{бездр}} = 140, \quad \hbar\omega = 11.70 \text{ МэВ}, \quad a = 12.0 \text{ МэВ}^{-1}, \quad a_{\text{раб}}({}_{40}^{92}\text{Zn}) = 11.17 \text{ МэВ}^{-1}$$

3. Модель трёхмерной прямоугольной ямы

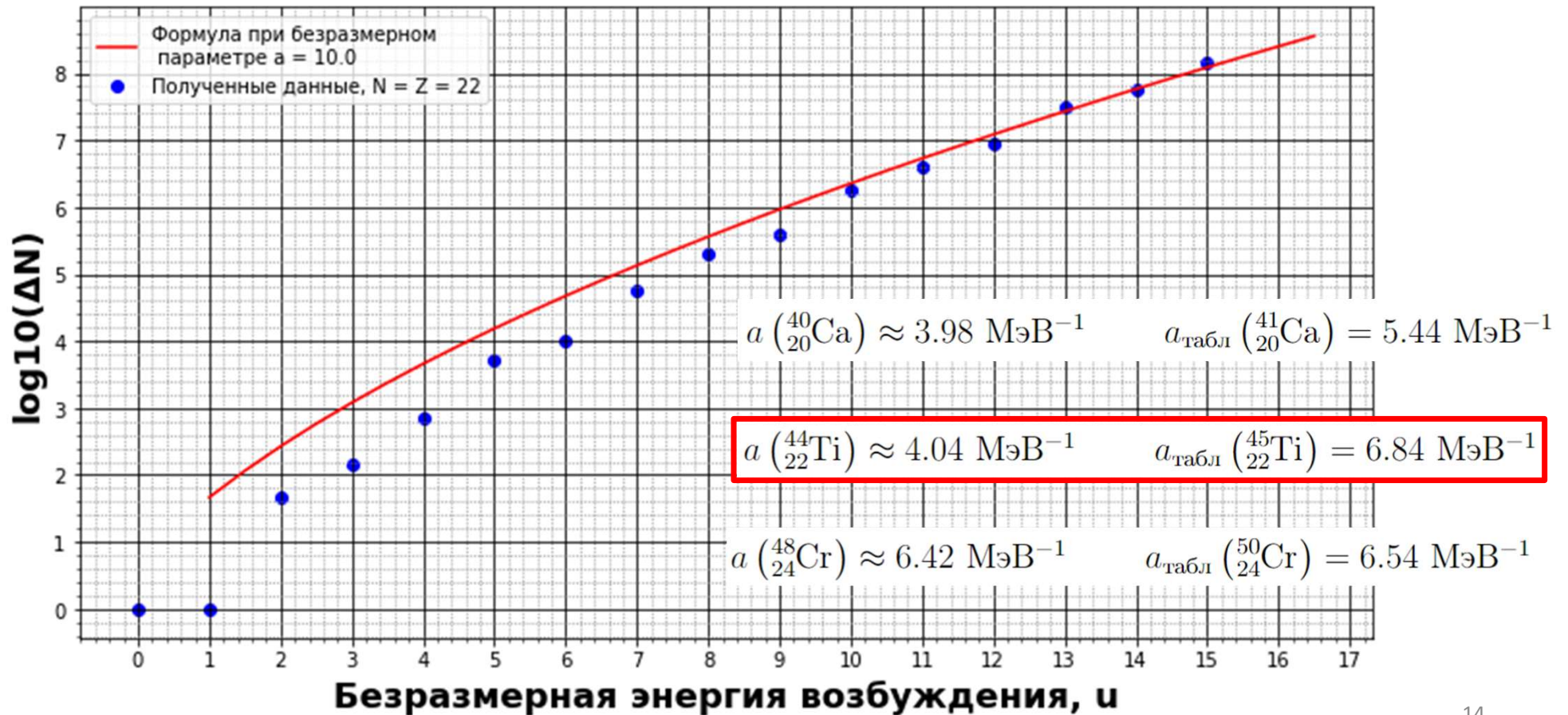


Простейшая ядерная модель оболочек:

$$U(x, y, z) = \begin{cases} -U_0, & \text{если } 0 < x < b, 0 < y < b, 0 < z < b, \\ 0, & \text{во всех остальных случаях.} \end{cases}$$



3. Модель трёхмерной прямоугольной ямы



Заключение

1. Воспроизведён вывод аналитической формулы Бете.
2. Построены алгоритмы “полного перебора” и “через числа сочетаний”.
3. Выполнены вычисления плотности уровней в следующих моделях:
 - Одномерный гармонический осциллятор
 - Трёхмерный гармонический осциллятор
 - Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины

Планы на будущее

1. Моделирование с использованием других моделей ядра
2. Учёт результирующих спинов многочастичных состояний