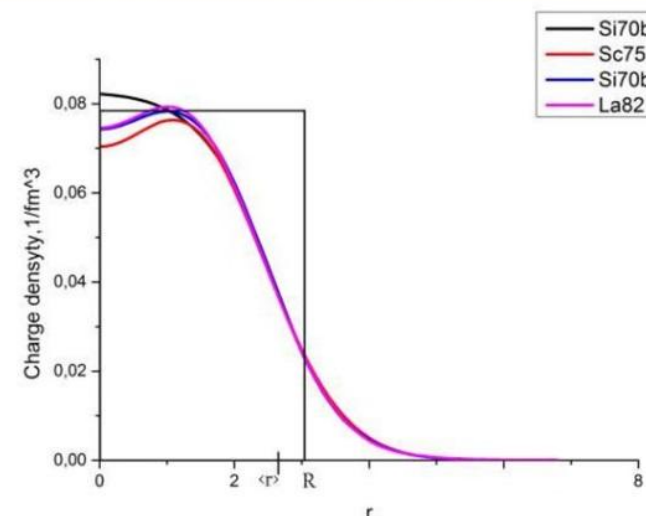


Плотность распределения заряда в атомном ядре (пример из NRV)

$\langle r^2 \rangle_{ch}^{1/2}$ - среднеквадратичный зарядовый радиус,

$$\langle r^2 \rangle_{ch} = \int d^3r r^2 \rho(r) = 4\pi \int_0^R \frac{3r^4 dr}{4\pi R^3} = \frac{3}{5} R^2, \text{ где } R - \text{радиус ядра}$$



[3] & Deformation [4]

6991 ± 0.0052 fm [3]

ity Distribution [6]

(keV)

talic [4]

-7161.90

-15417.22

-11442.94

-10420.94

-12127.44

-22334.89

-15663.91

-28887.06

-28723.09

2n - sep.en.

2p - decay

Семинар №11

Ядерные модели. Радиоактивность.

Кубышкин А.В. – осень 2020

Цифры и термины, в которых нужно ориентироваться на ГКЭ



Размеры ядер и кинетическая энергия нуклонов

$$R_0 \approx 1.1 \dots 1.3 \sqrt[3]{A} \text{ фм}$$

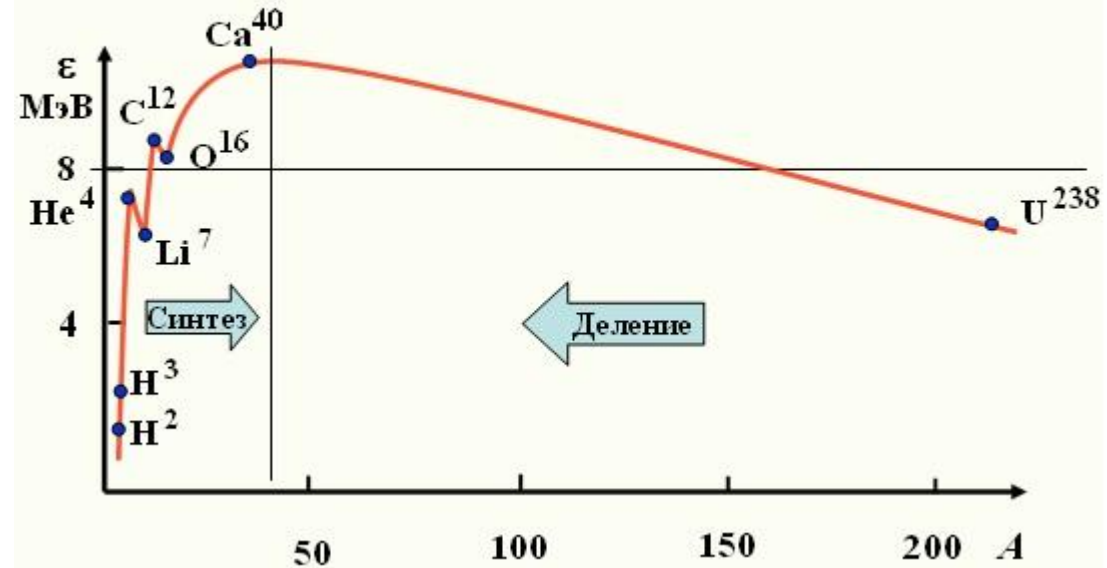
$$E_p \sim \frac{p^2}{2M} \sim \frac{\hbar^2}{8MR_0} \sim R_y \frac{m}{M} \left(\frac{a_B}{R_0} \right)^2 \sim 6 \text{ МэВ}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_p = 1.0072 \text{ а. е. м.} \\ M_n = 1.0086 \text{ а. е. м.} \end{array} \right\} \sim 940 \text{ МэВ} \sim 1.67 \times 10^{-24} \text{ г}$$

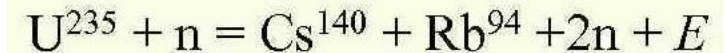
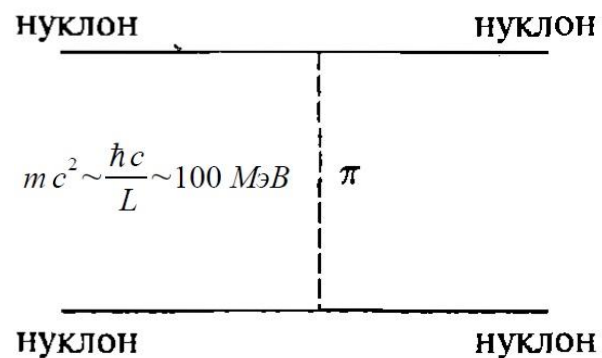
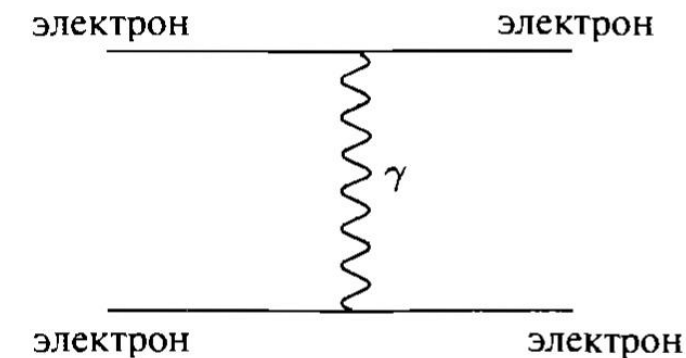
$$\Delta M \sim 2.5 m_e \rightarrow$$



Удельная энергия связи



Кулоновские и ядерные силы

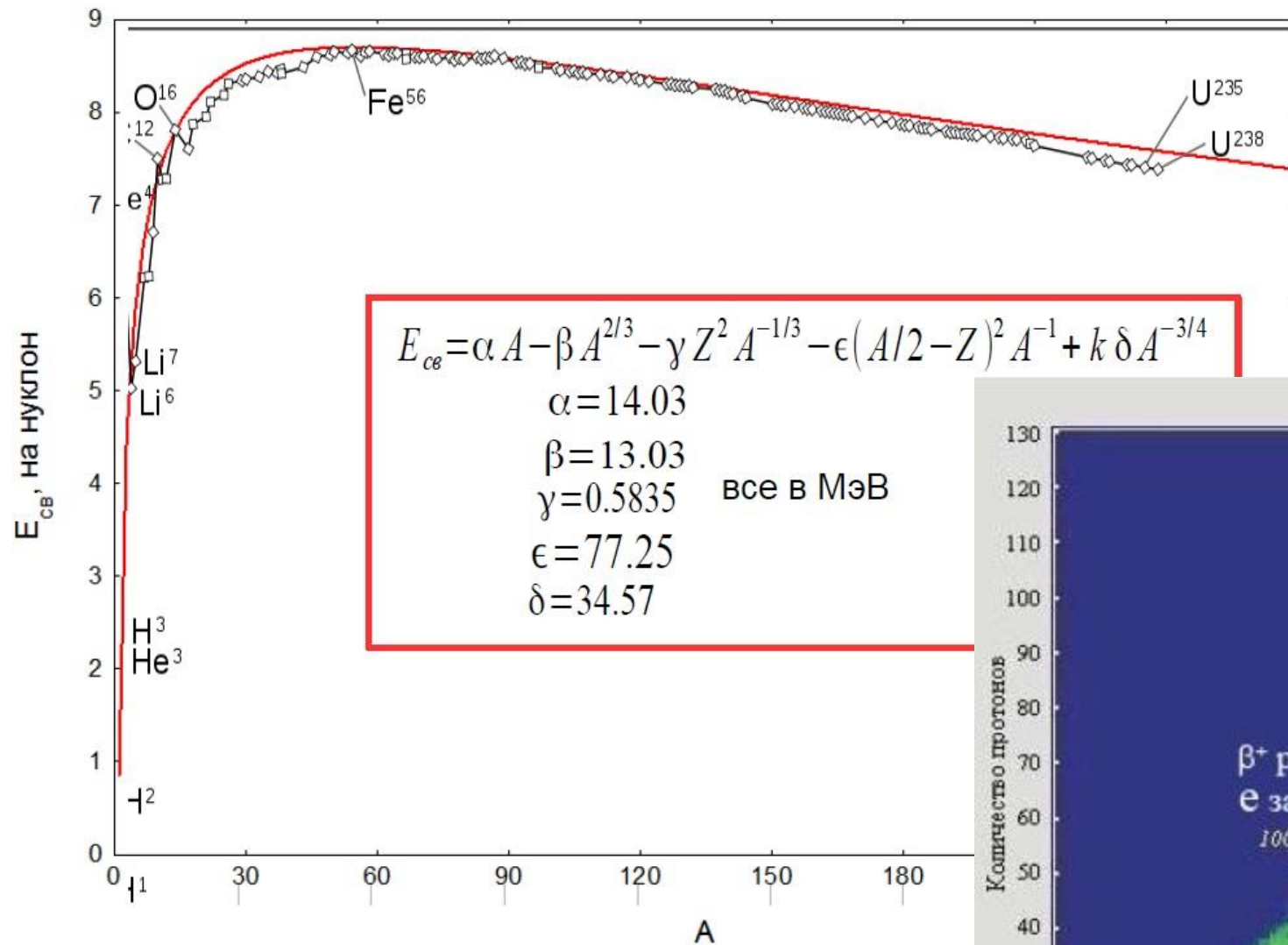


$$E/A = 0,85 \text{ МэВ/нуклон.}$$



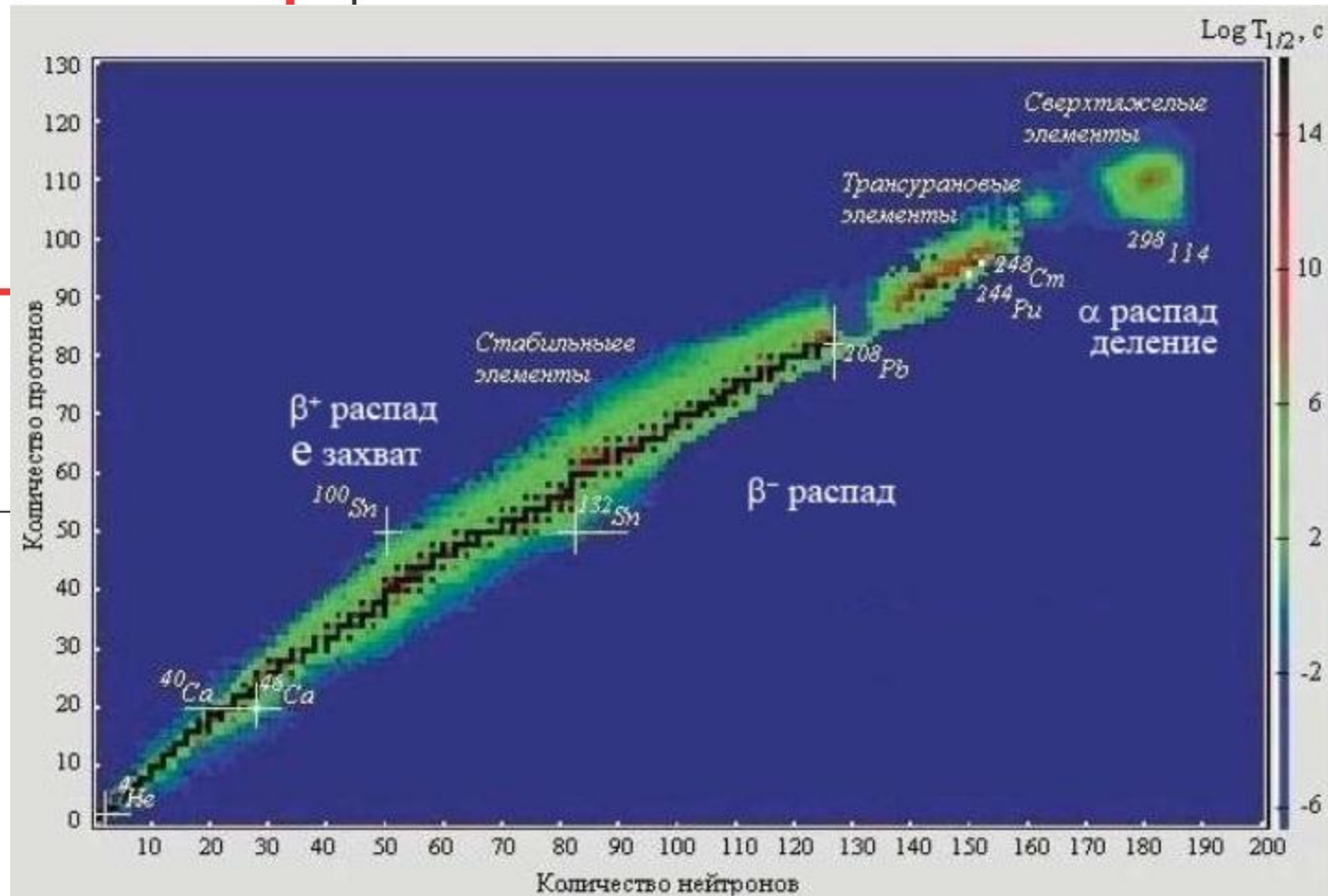
$$E/A = 3,5 \text{ МэВ/нуклон.}$$

Капельная модель ядра (Weizsäcker, 1935) и долина стабильности



Устойчивый изобар $\frac{\partial E_{св}}{\partial Z} = 0$:

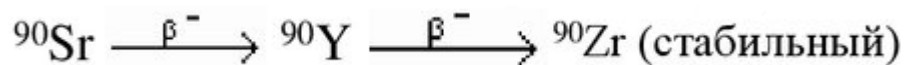
$$Z = \frac{A}{2} \times \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\epsilon} A^{2/3}} \simeq \frac{A}{2} \times \frac{1}{1 + 0.0075 A^{2/3}}$$



Единицы радиоактивности и геологическая датировка

Характеристика	Ед.измерений в системе СИ	Внесистемная единица
Активность радионуклида	Беккерель (Бк) 1Бк=1 расп./сек	кюри (Ки): 1 Ки = $3.7 \cdot 10^{10}$ расп/с. ²
Экспозиционная доза	Кулон/кг (Кл/кг)	Рентген (Р) 1Р = 0.258 мКл/кг =0.87 рад
Поглощенная доза	Грей (Гр) 1 Гр = 1 Дж/кг	рад 1 рад = 0.01 Гр = 100 эрг/г
Эквивалентная доза	Зиверт (Зв) 1 Зв = 1 Гр/ W_R	Бэр 1Бэр = 0.01 Зв
Эффективная доза	Зиверт (Зв)	Бэр
Коллективная эффективная доза	Человеко-Зиверт (чел-Зв)	Человеко-Бэр (чел-Бэр) 1 чел-Бэр = 0,01 чел-Зв

Равновесие при радиоактивном распаде



$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1, \quad \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2, \quad N_2 = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{02} e^{-\lambda_2 t}$$



$$0.12\% \text{ } ^{40}\text{K} \rightarrow \begin{cases} ^{40}\text{Ar} (11\%, \text{К-захват}) \\ ^{40}\text{Ca} (89\%, \text{электронный}) \end{cases}$$

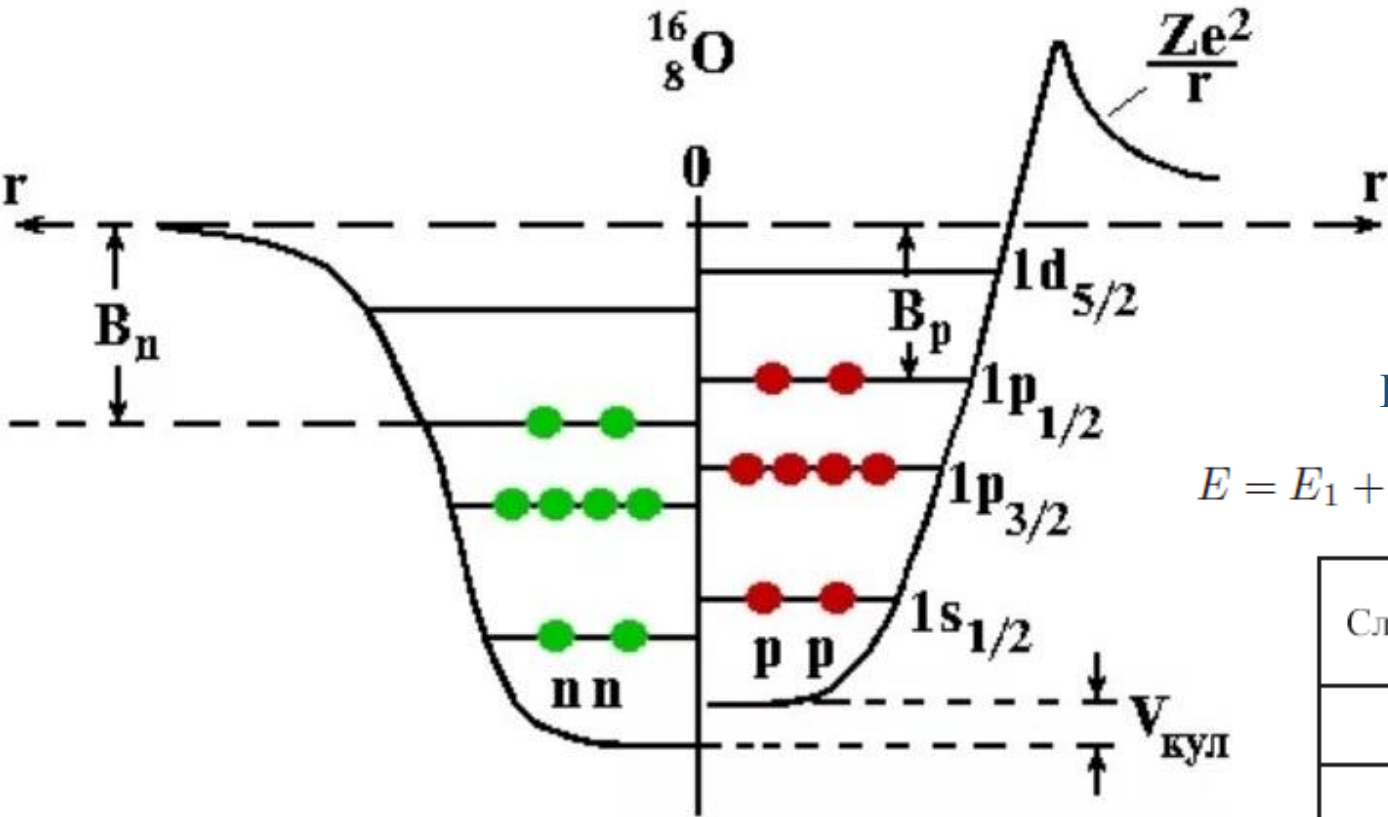
$$\frac{dN_K}{dt} = -\lambda_{Ar} N_K - \lambda_{Ca} N_K$$

$$\frac{\lambda_{Ca}}{\lambda_{Ar}} = \frac{89}{11}, \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda_{Ar} + \lambda_{Ca}} \approx 1.3 \text{ млрд.лет}$$

$$\begin{cases} N_{Ar} + N_{Ca} = N_K^{(0)} (1 - \exp(-(\lambda_{Ar} + \lambda_{Ca})t)) \\ N_K = N_K^{(0)} \exp(-(\lambda_{Ar} + \lambda_{Ca})t) \\ \frac{N_{Ar}}{N_{Ar} + N_{Ca}} = \frac{\lambda_{Ar}}{\lambda_{Ar} + \lambda_{Ca}} = \frac{11}{100} \end{cases}$$



Оболочечная модель ядра



Разделение переменных

$$\left[\frac{\psi_1''}{\psi_1} - \frac{2m}{\hbar^2} \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right] + \left[\frac{\psi_2''}{\psi_2} - \frac{2m}{\hbar^2} \frac{m\omega^2 y^2}{2} \right] + \left[\frac{\psi_3''}{\psi_3} - \frac{2m}{\hbar^2} \frac{m\omega^2 z^2}{2} \right] + E + U_0 = 0$$

Решение («магические числа» - стабильные ядра)

$$E = E_1 + E_2 + E_3 - U_0 = -U_0 + \hbar\omega \left(N + \frac{3}{2} \right), \quad N = n_1 + n_2 + n_3$$

Слой	Оболочки nl_j	N	ΣN
0	$1s_{1/2}$	2	2
1	$1p_{3/2} 1p_{1/2}$	6	8
2	$1d_{5/2} 1d_{3/2} 2s_{1/2}$	12	20
3	$1f_{7/2}$	8	28
4	$1f_{5/2} 2p_{3/2} 2p_{1/2} 1g_{9/2}$	22	50
5	$1g_{7/2} 2d_{5/2} 1h_{11/2} 2d_{3/2} 3s_{1/2}$	32	82
6	$1h_{9/2} 2f_{7/2} 1i_{13/2} 2f_{5/2} 3p_{3/2} 3p_{1/2}$	44	126

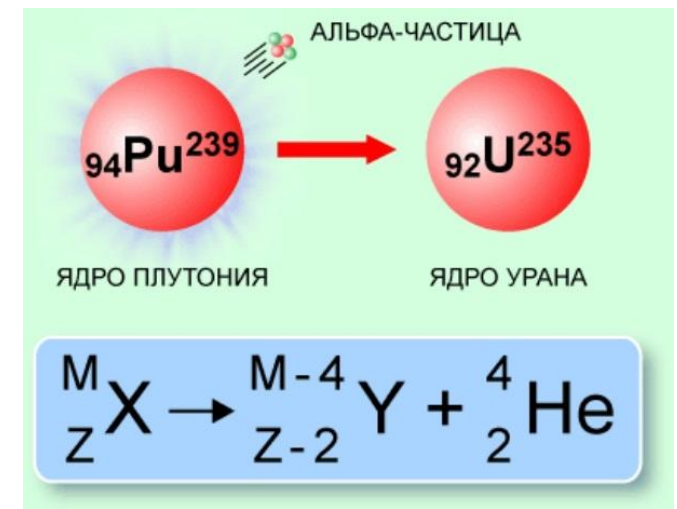
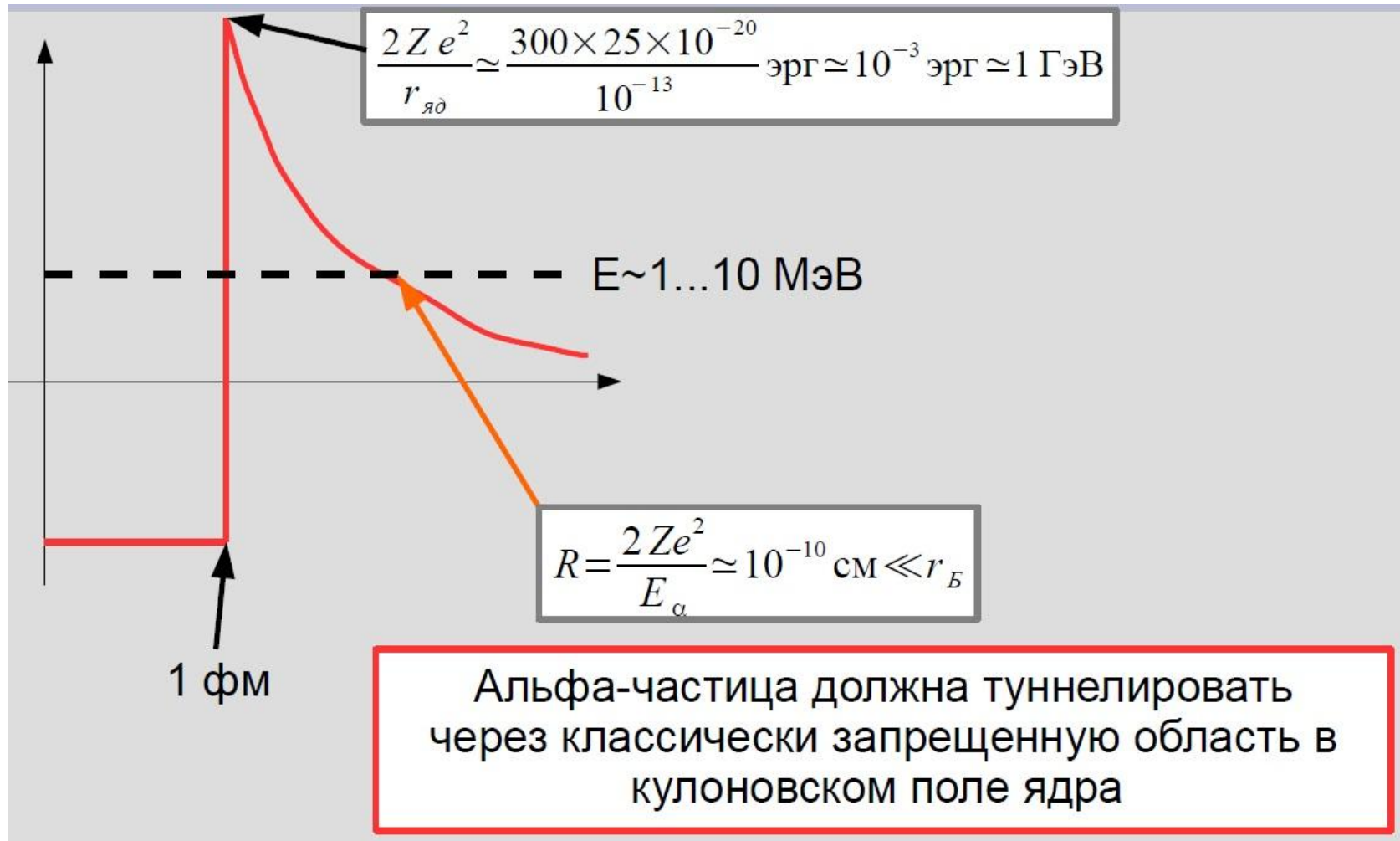
Уравнение Шредингера для нуклона

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x, y, z)] \psi = 0$$

Самосогласованное поле

$$U(x, y, z) = -U_0 + \frac{m\omega^2 r^2}{2}, \quad r^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

α -распад и закон Гейгера-Неттолла



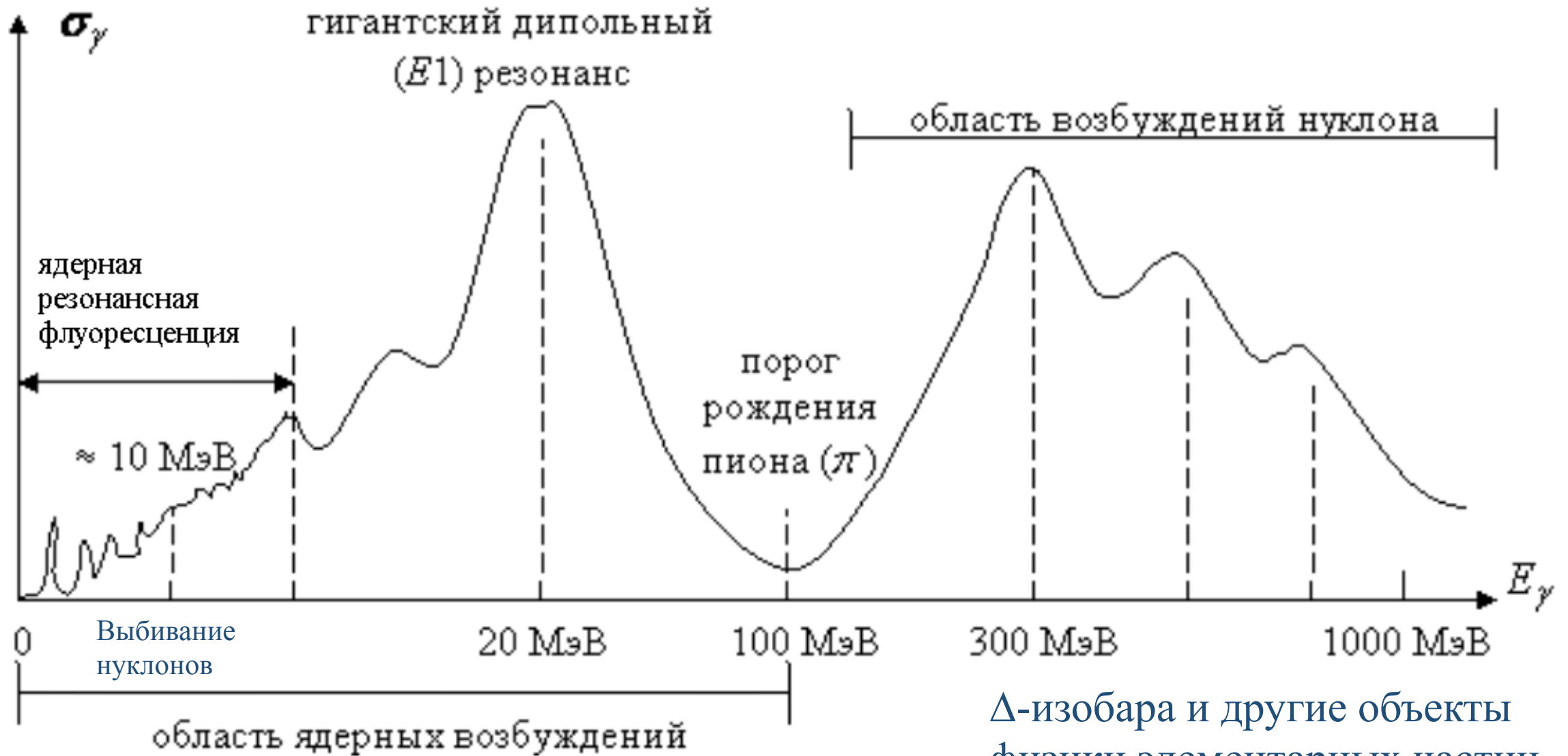
$$D \simeq \exp \left(-2 \int_{r_{\text{яд}}}^R \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} \left(\frac{4Ze^2}{r} - E \right)} dr \right) \approx \exp \left(-4 \sqrt{\frac{8mZe^2}{\hbar^2}} \sqrt{R} \right)$$

$$\ln D \propto -\frac{Z}{\sqrt{E_\alpha}}, \quad T_{1/2} \propto 1/D$$

$$\ln T_{1/2} = a \frac{Z}{\sqrt{E_\alpha}} + b$$

$$\int_{R_{\text{я}}}^{R_1} \sqrt{2m_\alpha \left[\frac{2(Z-2)e^2}{r} - E \right]} dr = \sqrt{2m_\alpha 2(Z-2)e^2} \int_{R_{\text{я}}}^{R_1} \sqrt{\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1}} dr = 2\sqrt{2m_\alpha 2(Z-2)e^2 R_1} \int_{R_{\text{я}}/R_1}^1 \sqrt{1-x^2} dx \approx \pi \sqrt{2m_\alpha 2(Z-2)e^2 R_1}$$

Полный γ -спектр ядерных и субъядерных возбуждений до 1 ГэВ



Δ -изобара и другие объекты
физики элементарных частиц