

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДРА

Р.М. Джилкибаев



ПОТЕНЦИАЛ ЮКАВЫ

- Потенциал неподвижного заряда $\psi(r)$
- Пуассона ур-е: $\Delta\psi(r) = -4\pi e \varrho(r)$; $\psi(r) = e/r$
- Ядерное поле (кванты поля π - мезоны)
- $(\Delta - m^2)\psi(r) = -4\pi g_N \varrho(r)$; $\psi(r) = -g_N e^{-r/a}/r$
- $a = \hbar/mc$ - радиус взаимодействия
- Энергия взаимодействия двух ядерных зарядов
- $g_N \psi(r) = -g_N^2 e^{-r/a}/r$

ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕЙТРОНА

- $D + \gamma = p + n$, ^{231}Th , $E_\gamma = 2.62 \text{ MeV}$, $W = E_\gamma - 2E_p$
- $W = 2.19 \pm 0.03 \text{ MeV}$

$$\nabla^2 \psi(r, \theta, \varphi) + \frac{2m}{\hbar^2} [E - V(r)] \psi(r, \theta, \varphi) = 0,$$

где r — расстояния между нейтроном и протоном,
 m — приведенная масса:

$$m = \frac{M_n M_p}{M_n + M_p} \approx \frac{1}{2} M \text{ (протона или нейтрона).}$$

ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕЙТРОНА

- $\psi(r) = u(r) / r$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{M}{\hbar^2} [E - V(r)] u = 0.$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{M}{\hbar^2} (V_0 - W) u = 0 \quad \text{при } r < a,$$

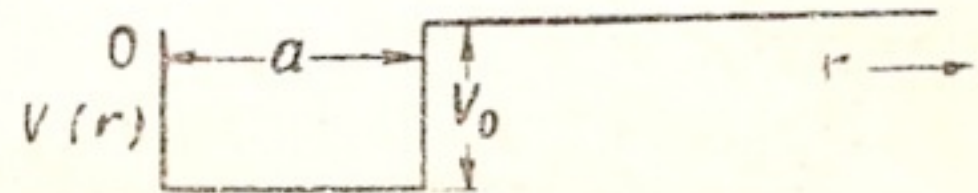
$$\frac{d^2 u}{dr^2} - \frac{M}{\hbar^2} W u = 0 \quad \text{при } r > a.$$

$$u = A \sin kr \quad \text{при } r < a,$$

$$u = B e^{-\alpha r} \quad \text{при } r > a,$$

$$k = \sqrt{M(V_0 - W)} / \hbar,$$

$$\alpha = \sqrt{MW} / \hbar.$$



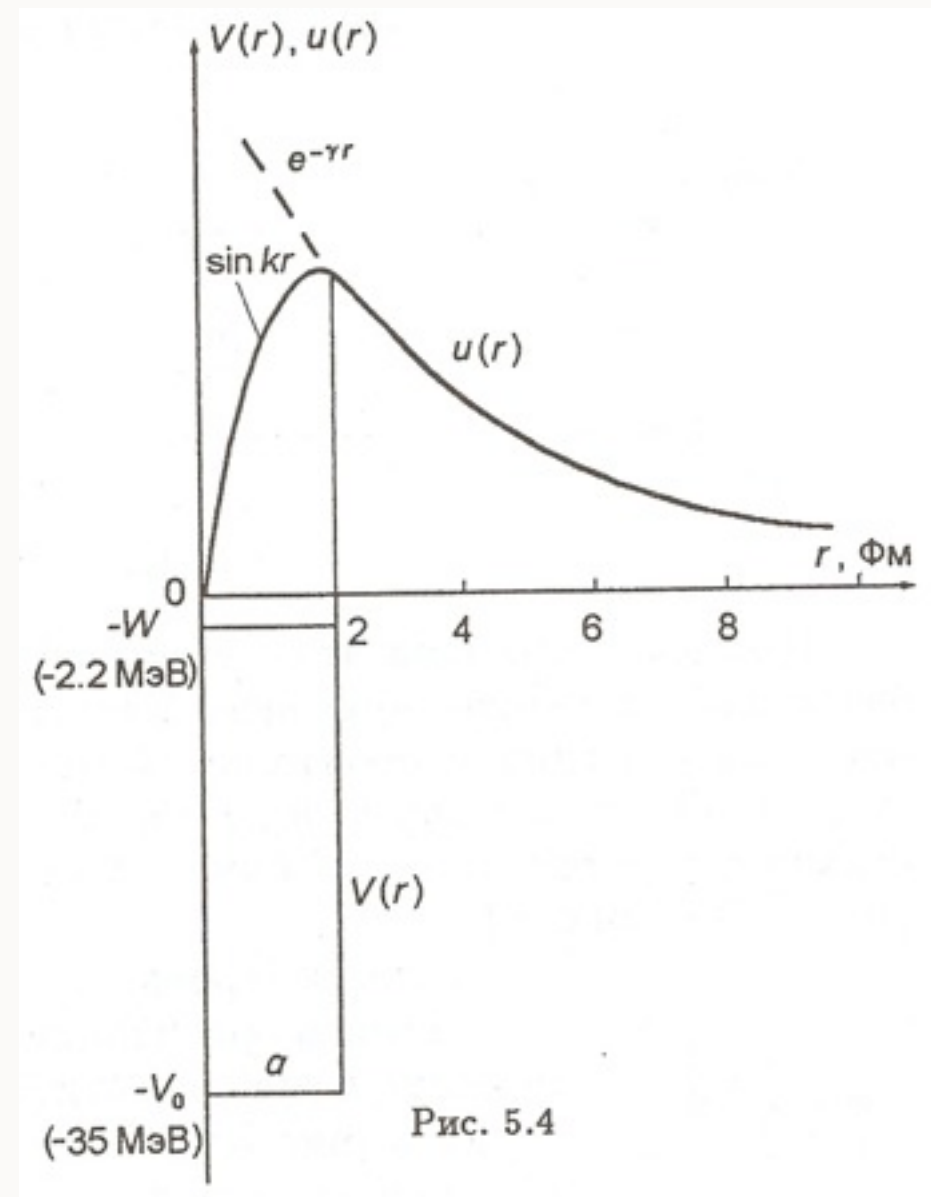
Фиг. 5. Потенциальная „яма“ дейтрона.

$$\operatorname{ctg} ka = -\alpha / k \approx -\sqrt{W / V_0}.$$

- $1 / \alpha \gg a$; условие непрерывности волн. ф-ции u на границе

ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕЙТРОНА

- $\psi(r) = u(r)/r Y_{Lm}(\theta, \varphi)$
- $W = -2.2 \text{ MeV}$
- $V_0 = -35 \text{ MeV}$
- $a = 2 \text{ fm}$
- $1/\alpha = 4.3 \text{ fm}$
- $R_A \sim 4.3 \text{ fm}, A = 40-50$

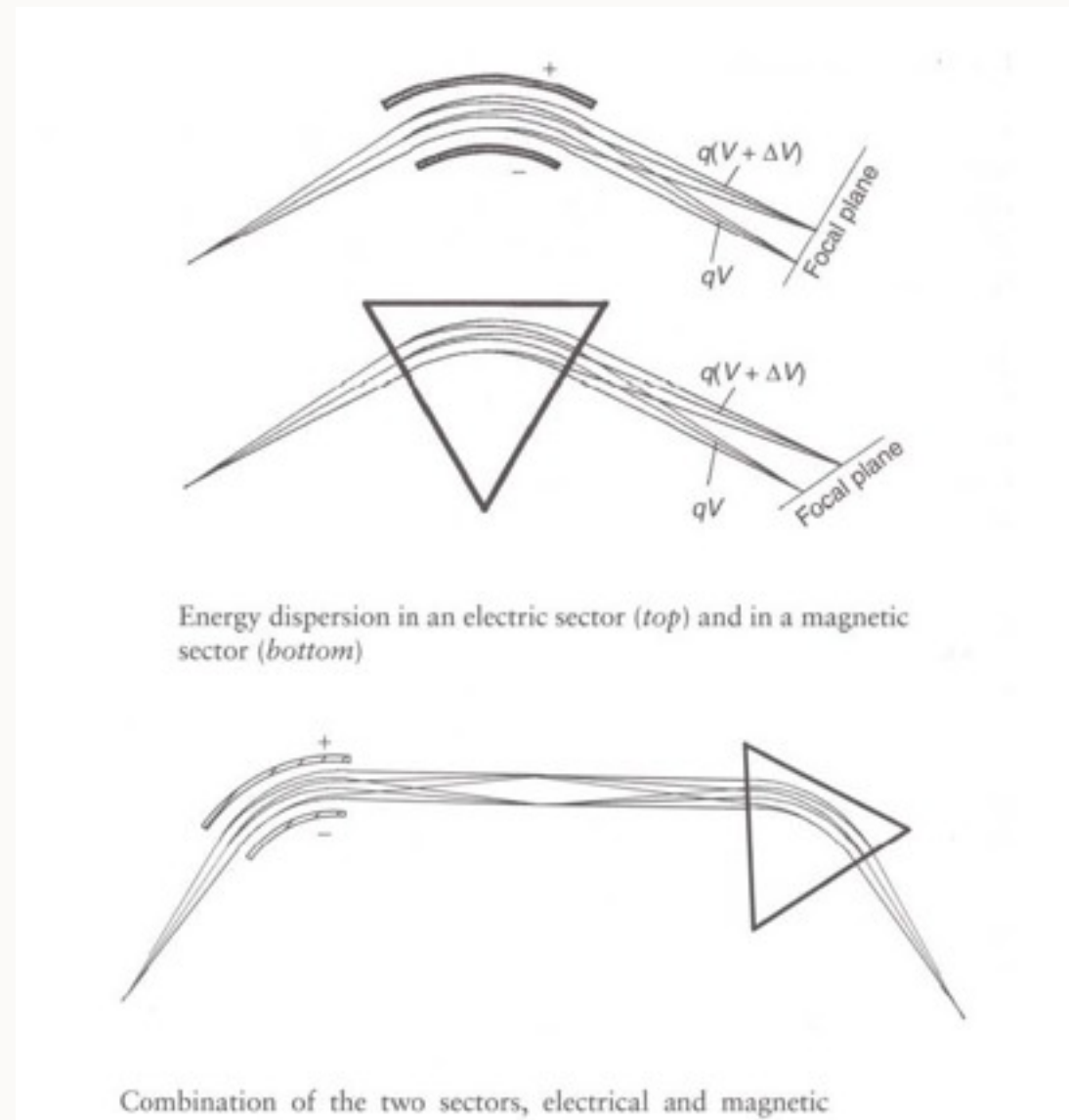


ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДРА

- Ядро $\rightarrow W(A,Z) = Zm_p + (A-Z)m_n - M(A,Z)$
- Энергия отделения нуклона $B_n : n \ (A,Z) \rightarrow (A-1,Z) + n$
- $B_n = M(A-1,Z) + m_p - M(A,Z) = W(A,Z) - W(A-1,Z)$
- $B_p = W(A,Z) - W(A-1,Z-1)$
- $B_x = W(A,Z) - W(A-a,Z-z) - W(a,z)$
-

ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ЯДЕР

- $mv^2/2 = ZV$
- $v = \sqrt{(2ZV/m)}$
- $mv^2/R = ZvB$
- $R = mv/(ZB)$
- $R = \sqrt{(2mV/Z)}/B$
- $m/Z = B^2R^2/(2V)$



ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДРА

- Удельная энергия связи $\varepsilon = W(A,Z) / A$

- Синтез легких ядер

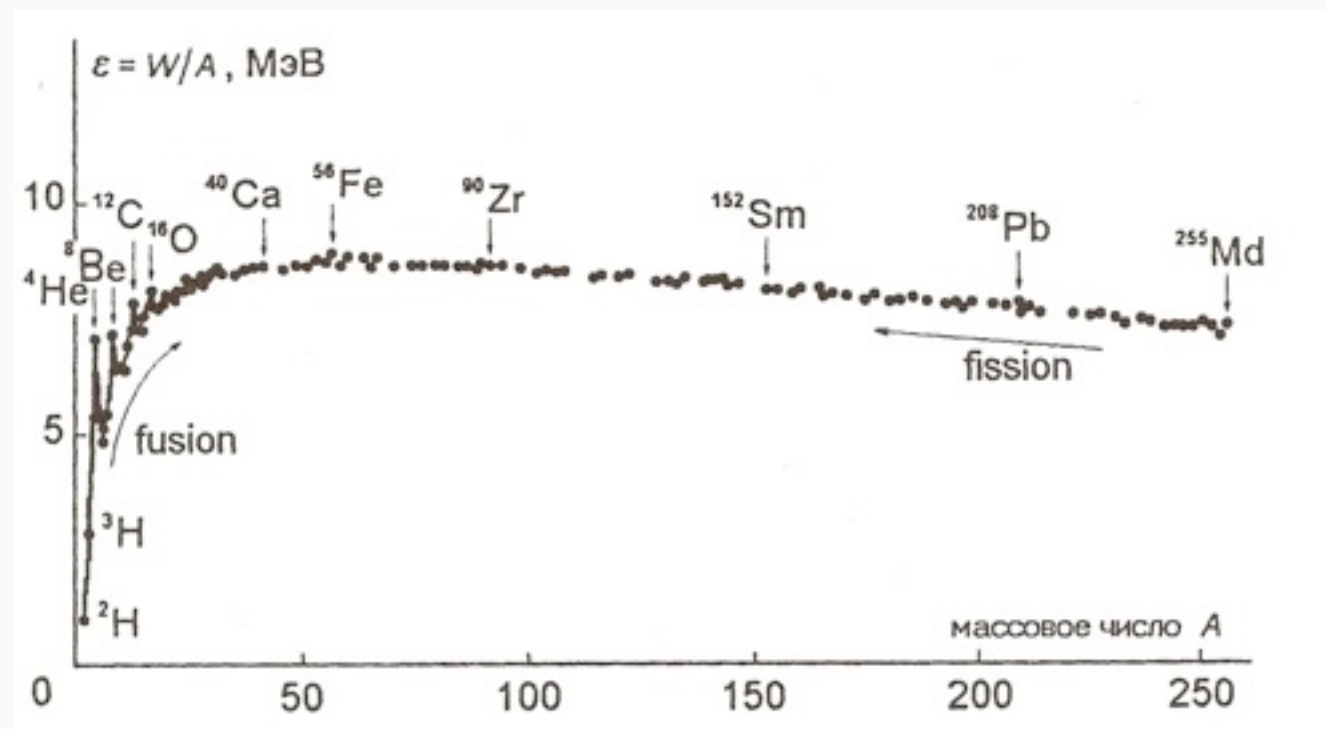
- Деление тяжелых ядер

- $240(7.6) \rightarrow 2 \times 120(8.5)$

- $240(8.5 - 7.6) = 220 \text{ MeV}$

- Объемная энергия $E_v = a_v A$

- Поверхностная энергия $E_s = -a_s A^{2/3}$

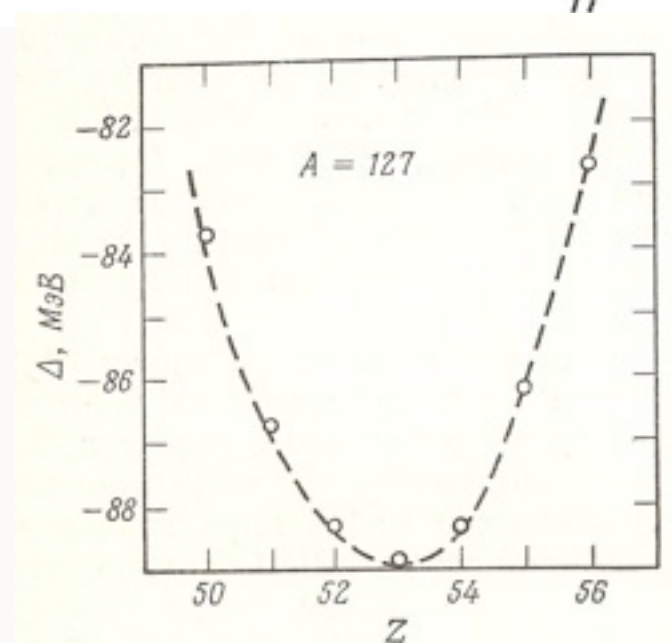
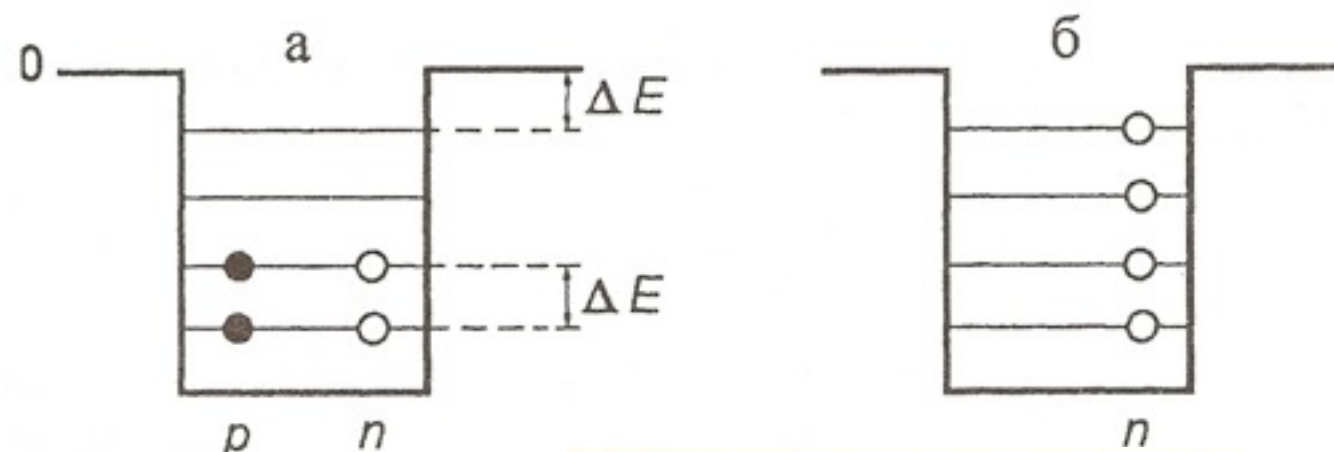


КУЛОНОВСКАЯ ЭНЕРГИЯ

- $E_{\text{кул}} = - 3 Z^2 e^2 / (5R) = -a_c Z^2 A^{-1/3}$
- $a_c = 0.72 \text{ MeV}$
- Модель жидкой капли
- $W(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3}$
- $\varepsilon = a_v - a_s A^{-1/3} - a_c A^{2/3} / 4, \quad Z \sim A / 2$

ЭНЕРГИЯ СИММЕТРИИ

- $2p + 2n$
- $4n$
- $W_a = -14 \Delta E$
- $W_b = -10 \Delta E$
- $E_{\text{sym}} = -a_{\text{sym}}(N - Z)^2 / A$

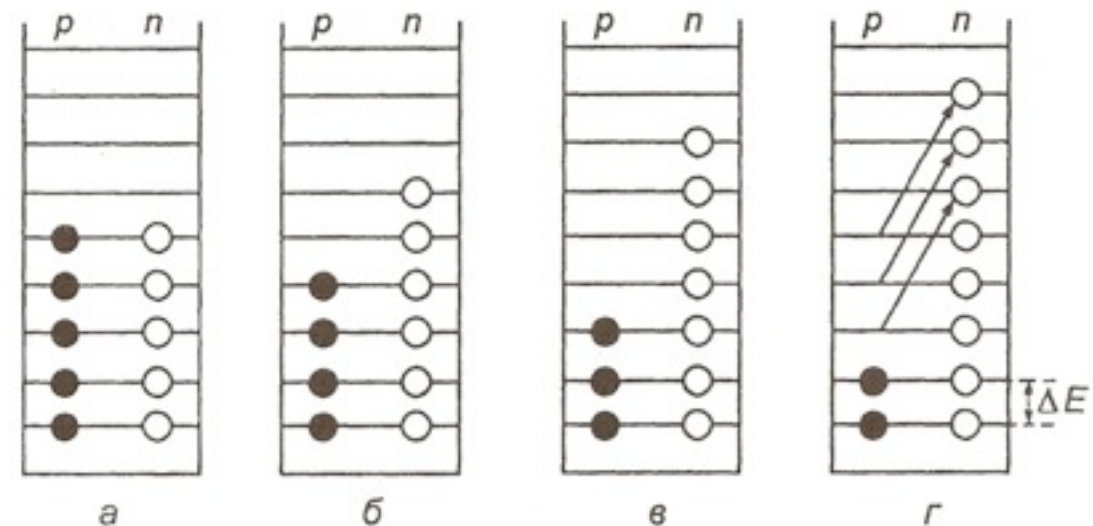


Фиг. 14.2. Зависимость дефекта массы Δ от Z для изобарных ядер с $A = 127$.

ЭНЕРГИЯ СИММЕТРИИ

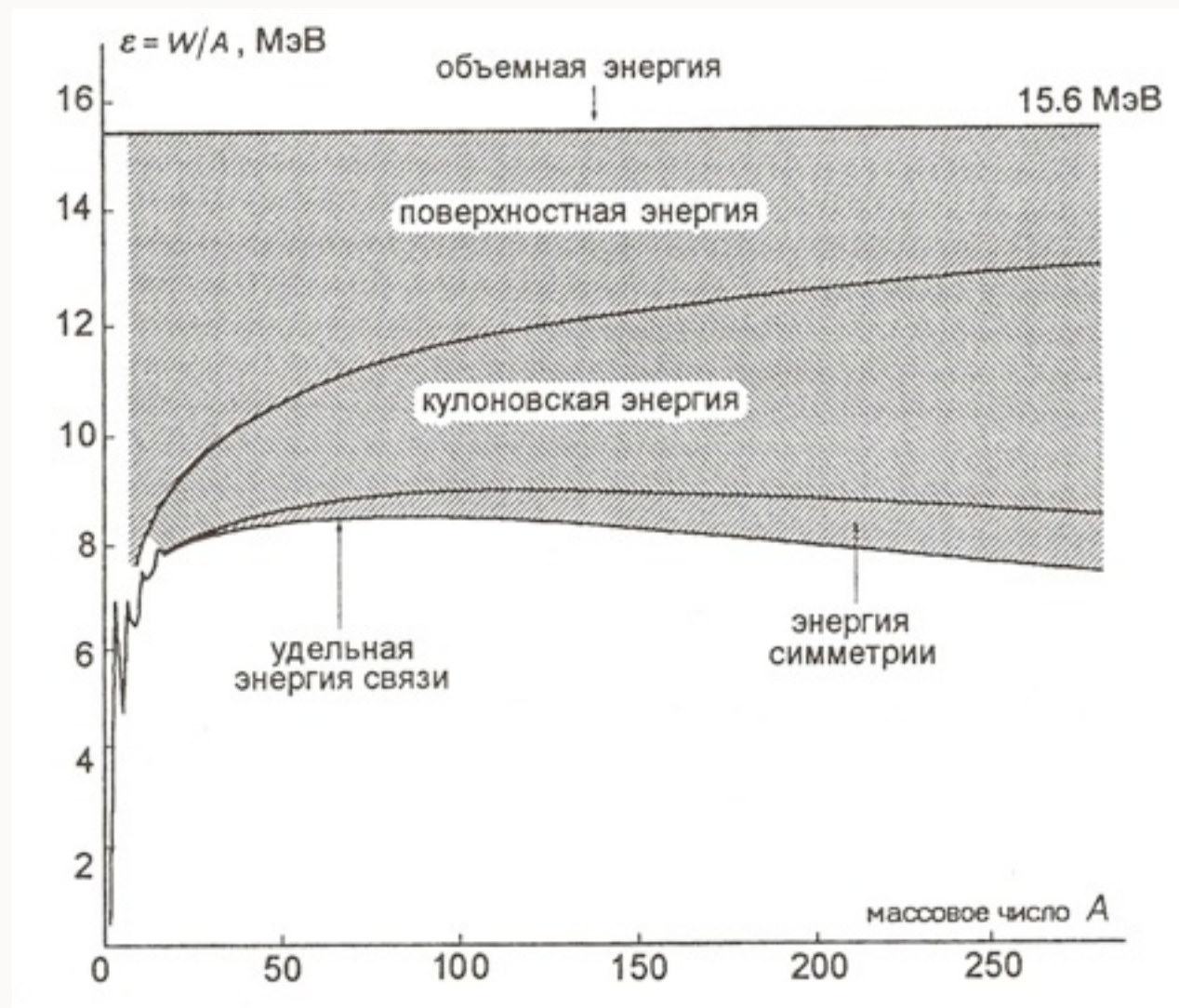
- Интервал между ядерными уровнями $\hbar\omega \sim 1/R \sim A^{-1/3}$
- Число нуклонов
- $n_s \sim R^2 \sim A^{2/3}$
- $\Delta E \ n_s \sim \hbar\omega$
- $\Delta E \sim 1/A$
- $E_{\text{sym}} = -a_{\text{sym}}(N-Z)^2/A$

$$E_{\text{симм}} = \frac{N-Z}{2} \left(\frac{N-Z}{2} \right) \Delta E = \frac{\Delta E}{4} (N-Z)^2.$$



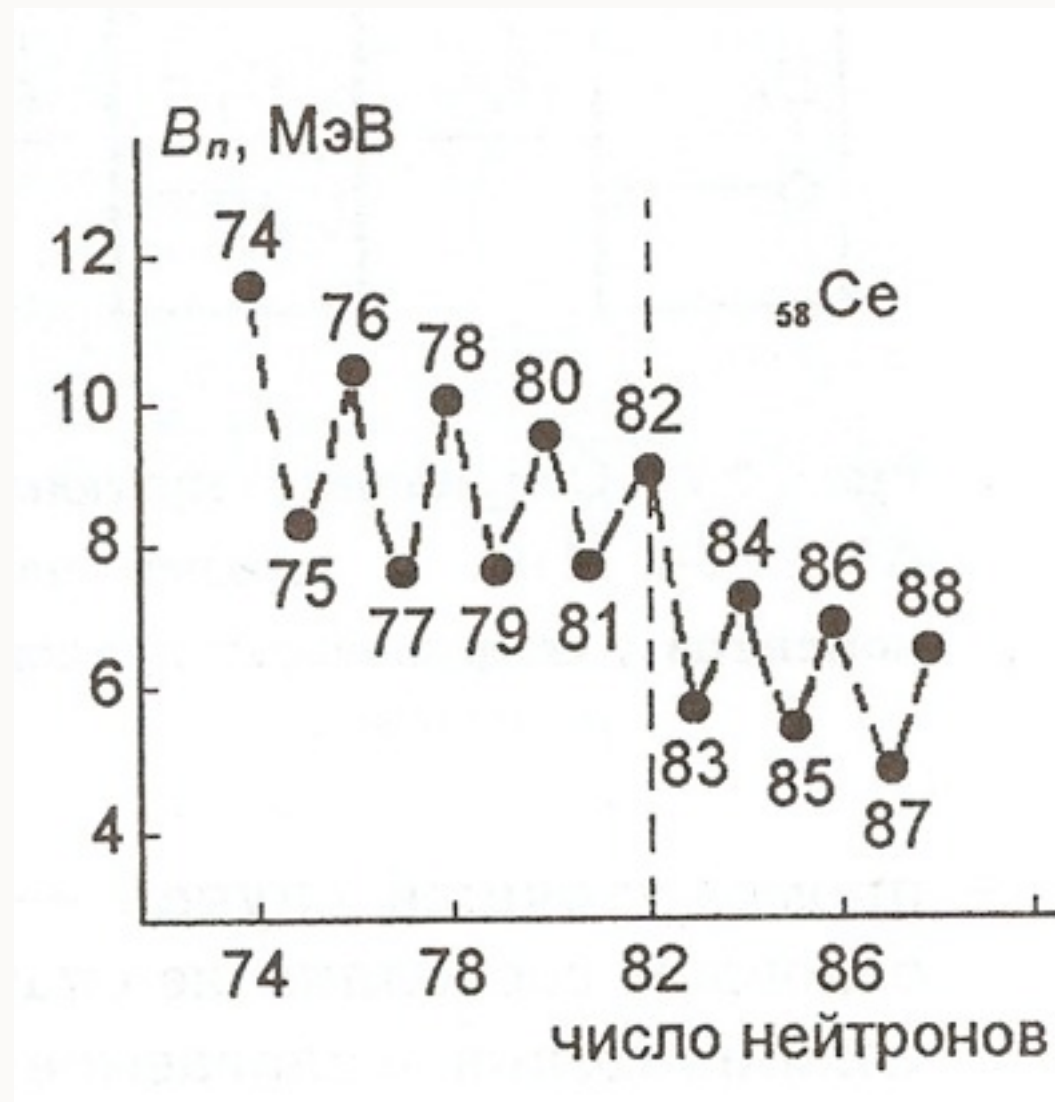
ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДРА ФОРМУЛА ВАЙЦЗЕККЕРА

- $W(A,Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_{\text{sym}}(N-Z)^2 / A + \delta_p A^{-3/4}$
- $\varepsilon = W / A$
- $a_v = 15.6 \text{ MeV}$
- $a_s = 17.2 \text{ MeV}$
- $a_c = 0.72 \text{ MeV}$
- $a_{\text{sym}} = 23.6 \text{ MeV}$
- $\delta_p = + / - 34 \text{ MeV}$



ЭФФЕКТ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ, .. ЯДЕР

- $E_{CB} = \delta_p A^{-3/4}$
- четно-четные ядра
- $\delta_p = 34 \text{ MeV}$
- нечетные $\delta = 0$
- нечетно-нечетные
- $\delta_p = -34 \text{ MeV}$



ЛИТЕРАТУРА

- Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1972
- Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. М. Мир, 1975.
- Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. УРСС, Москва 2002.
- Бете Г. Лекции по теории ядра. М. Изд-во Ин. Лит. 1949.
- Элтон Л. Размеры ядер. М. Изд-во Ин. Лит. 1962.
- Фрауенфельдер Г., Хенли Г. Субатомная физика. М. Мир, 1979.
- Бор О., Моталось Б. Структура атомного ядра. М. Мир, 1971.
- Блин-Стоил Р. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро. М. Мир 1976.