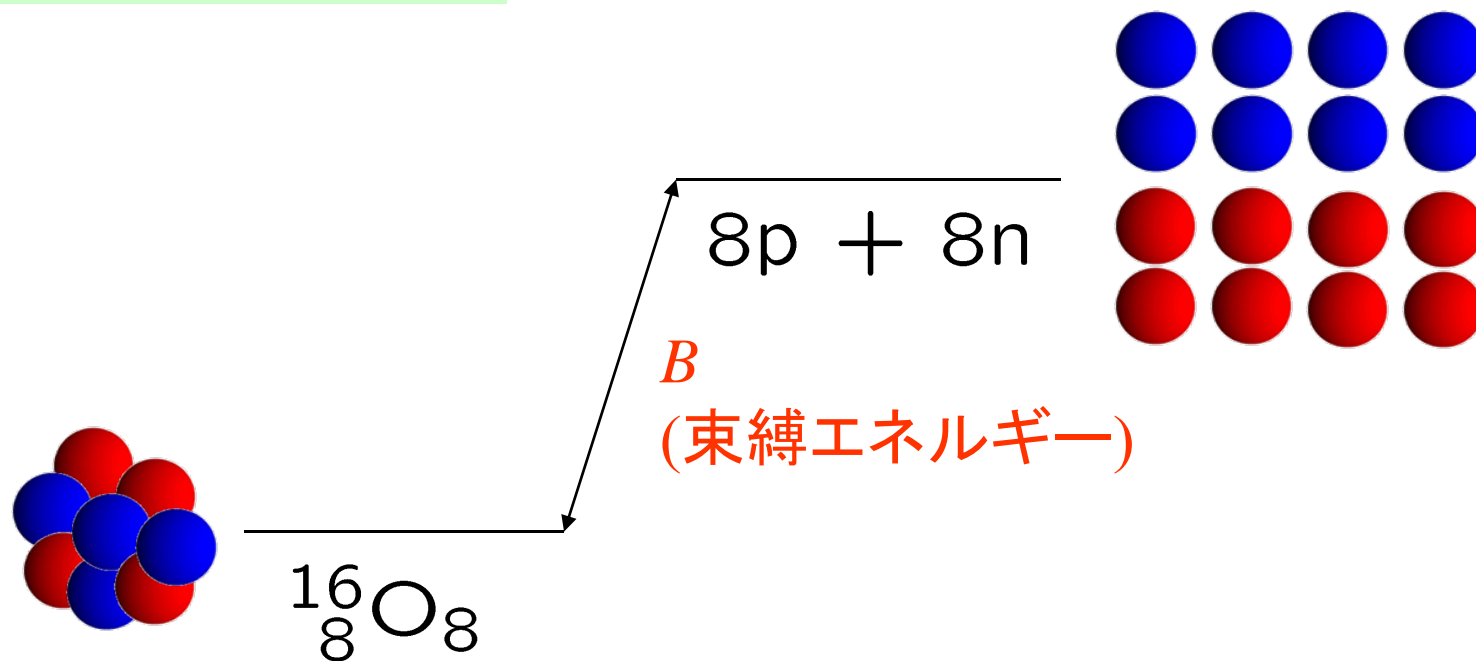
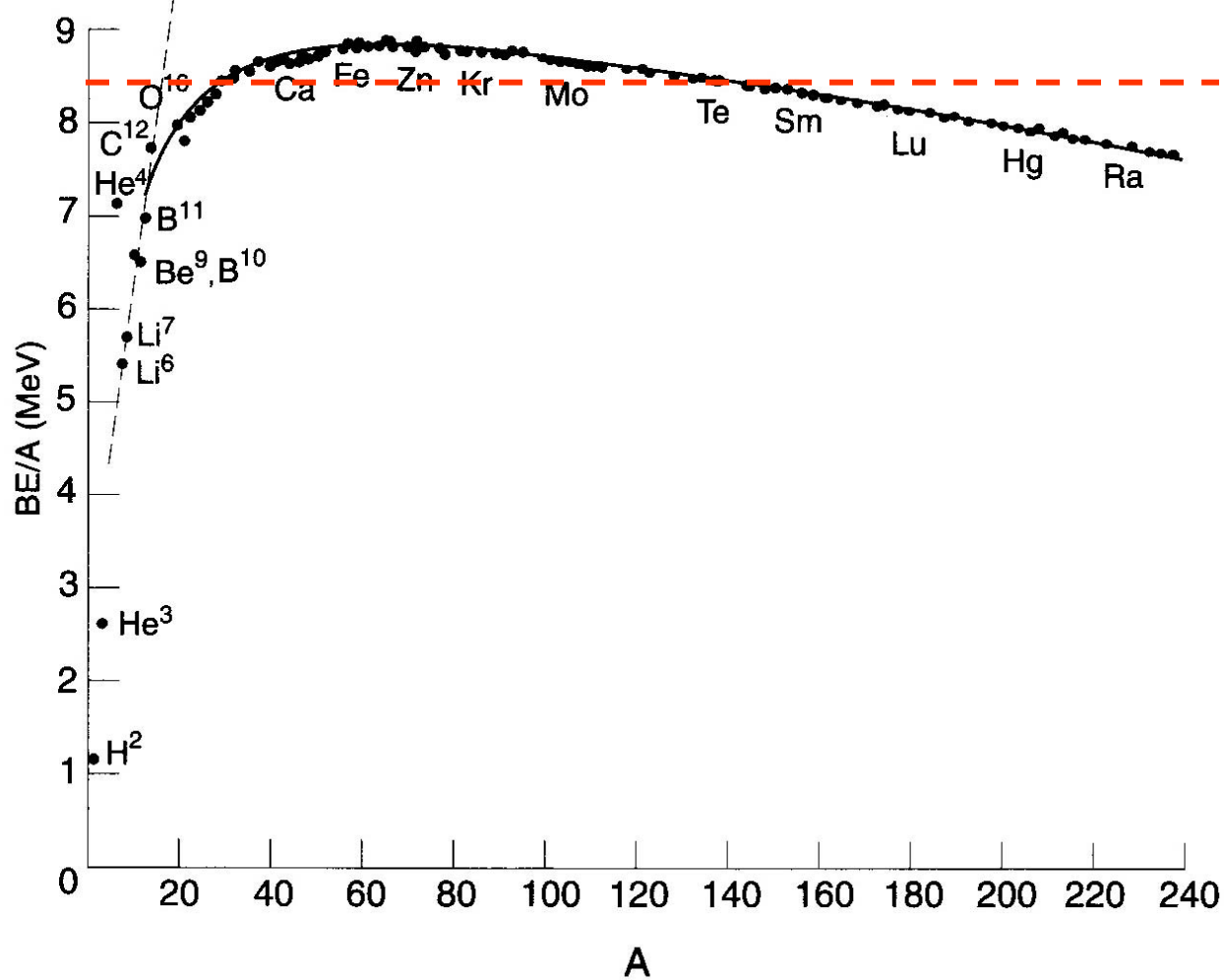


原子核の質量



$$m(N, Z)c^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - B$$


















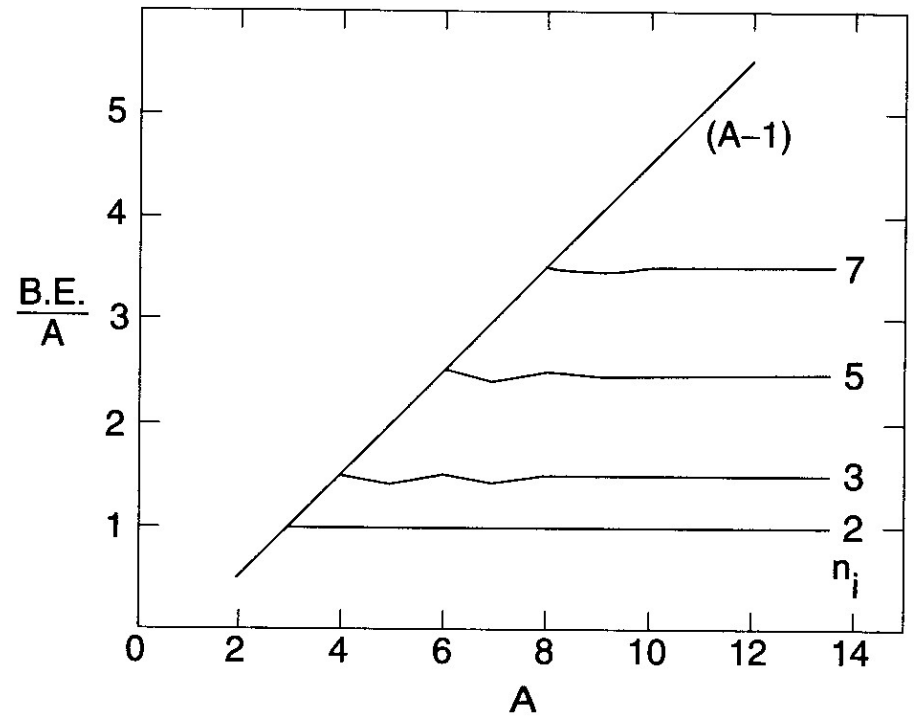
1. $B(N,Z)/A \sim 8.5 \text{ MeV} (A > 12) \iff$ 短距離力 (核子間相互作用)

長距離力 vs 短距離力

長距離力: $B \propto A(A-1)/2 \iff B/A \propto A$

短距離力: saturation (B/A が一定になる)

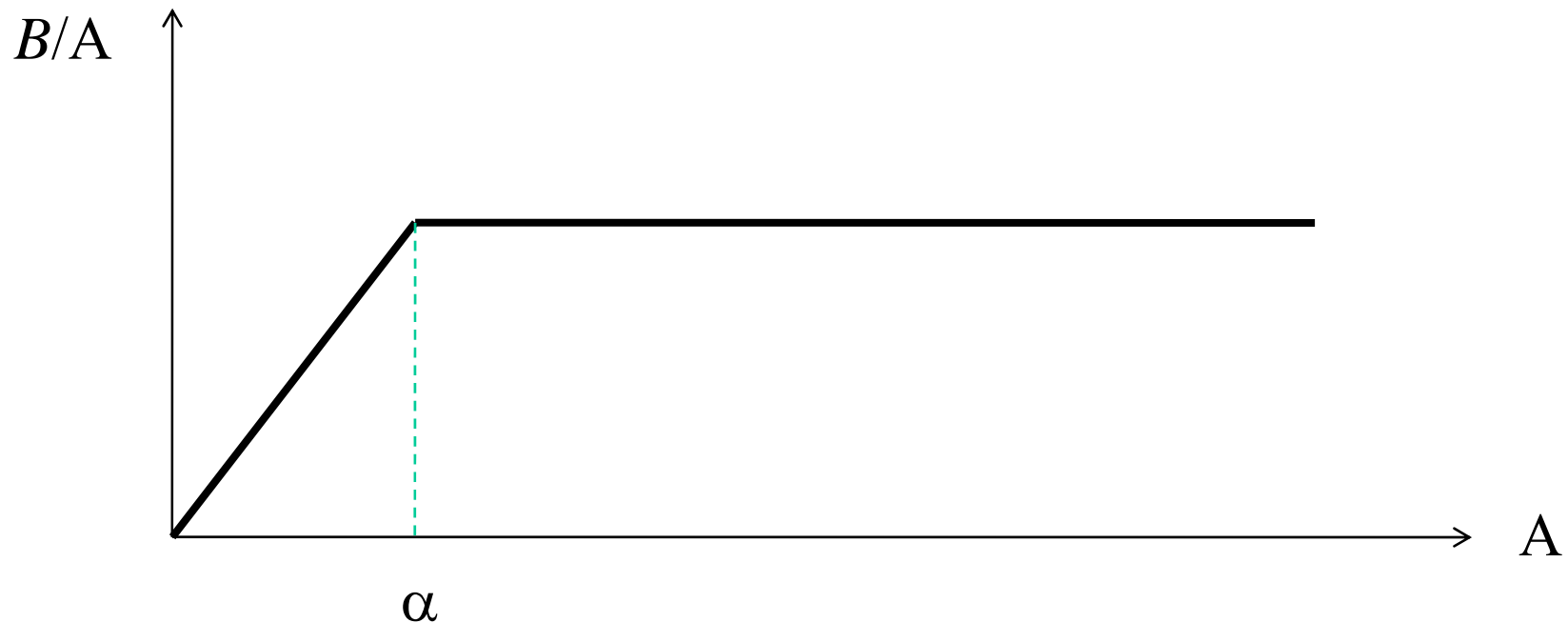
A	2	3	5	(A-1)
3	 1.0	 1.0	 1.0	1.0
4	 1.0	 1.5	 1.5	1.5
5	 1.0	 1.4	 2.0	2.0
6	 1.0	 1.5	 2.5	2.5
8	 1.0	 1.5	 2.5	3.5 ⋮ (A-1)/2

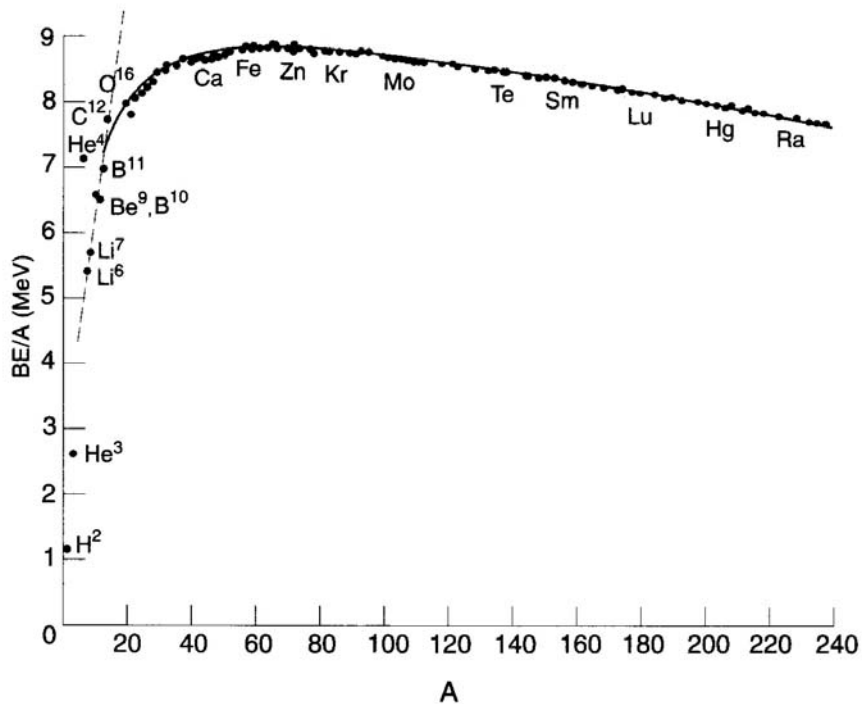


1つの核子が α 個の核子とのみ相互作用するとすると、

$$B \sim \alpha A/2 \longrightarrow B/A \sim \alpha/2 \text{ (const.)}$$

ただし、 $A < \alpha + 1$ の時は、すべての核子対が相互作用するので、
 $B/A \propto A$





この図から α の値を読み取ると、
 $\alpha \sim 10$ くらい。

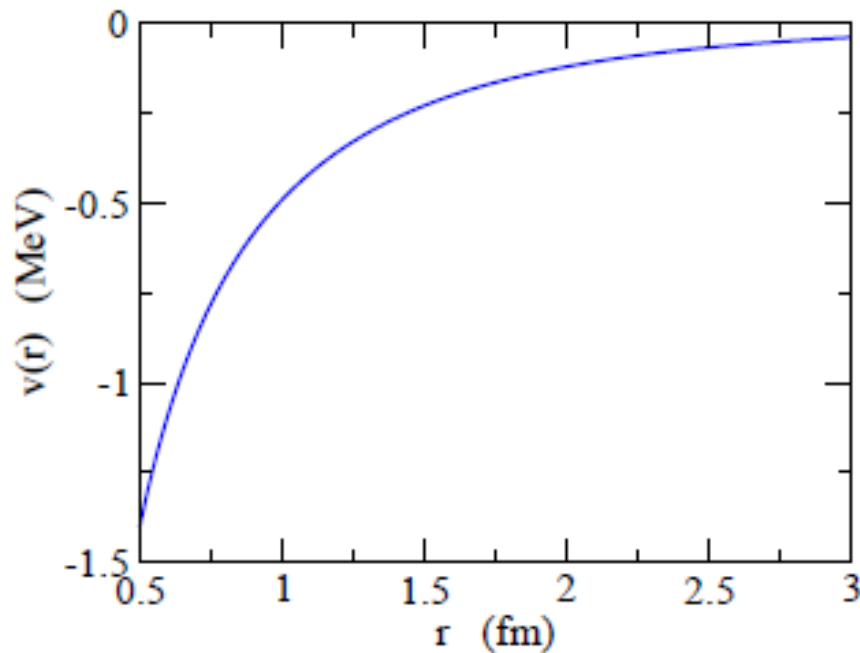


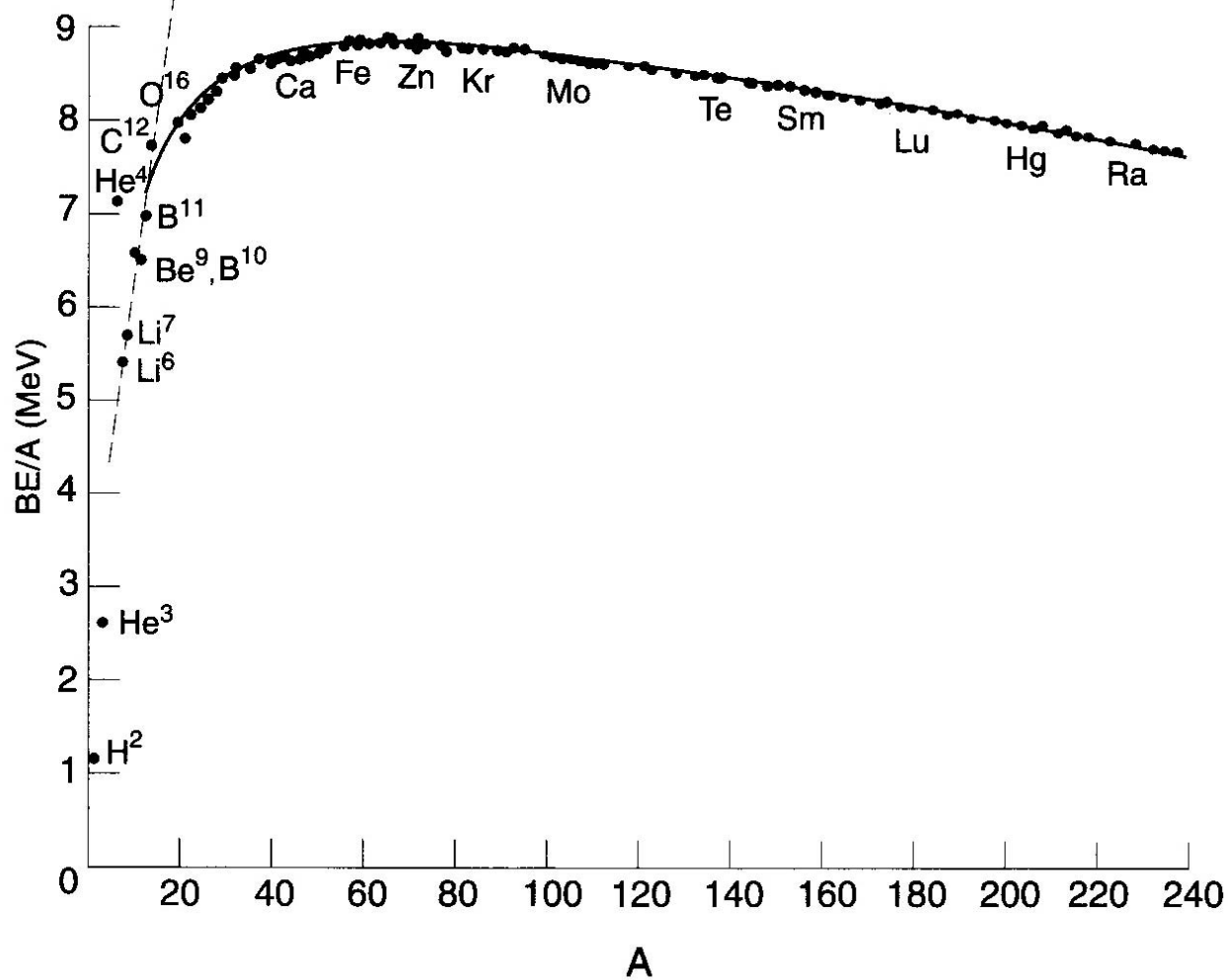
核力の到達距離は、
 $1.2 \times 10^{1/3} = 2.58 \text{ fm}$ 程度。

湯川相互作用:

$$v(r) = -g \frac{e^{-\kappa r}}{r}$$

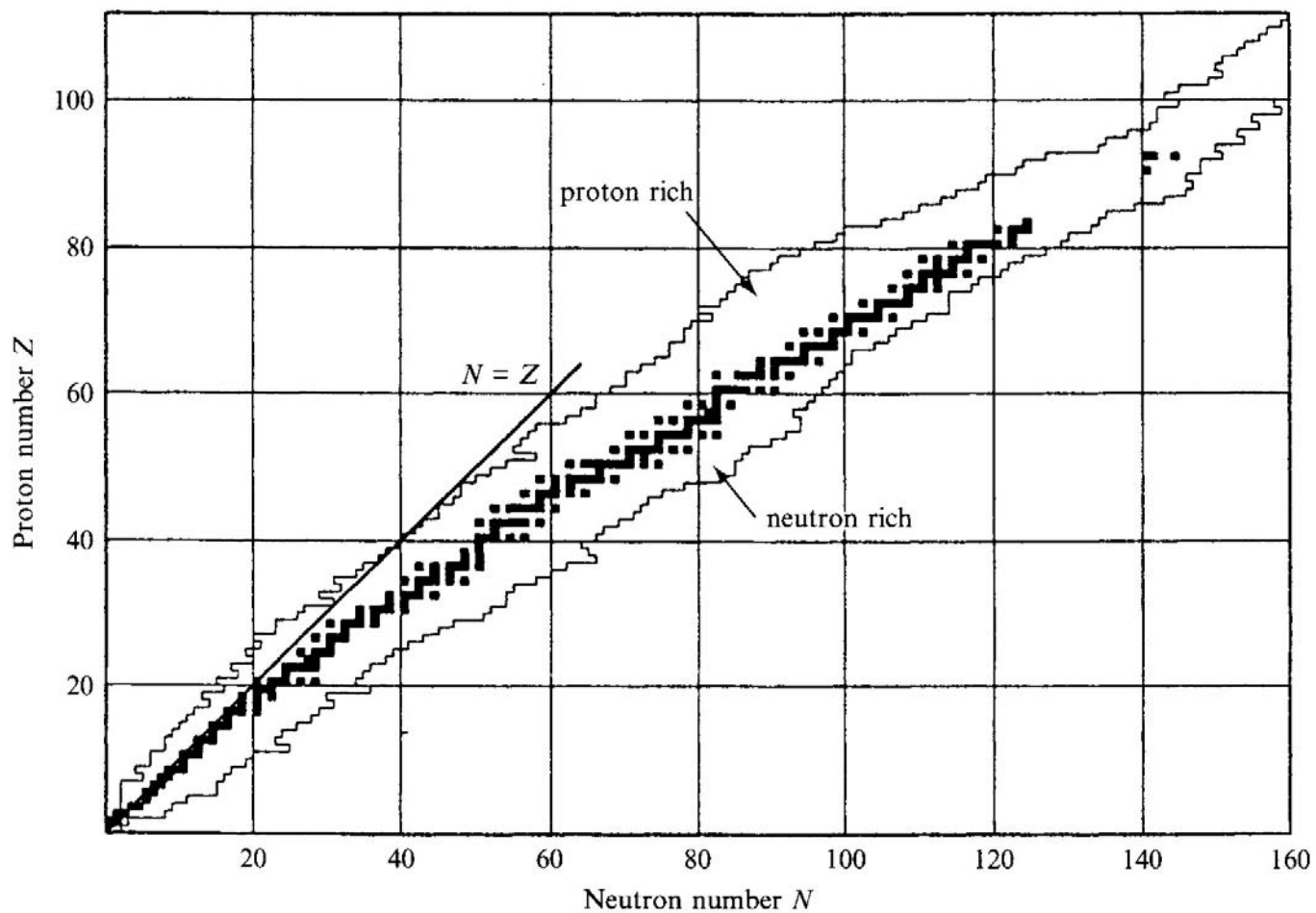
$$\frac{1}{\kappa} = \frac{\hbar}{m_{\pi} c} = 1.41 \text{ fm}$$



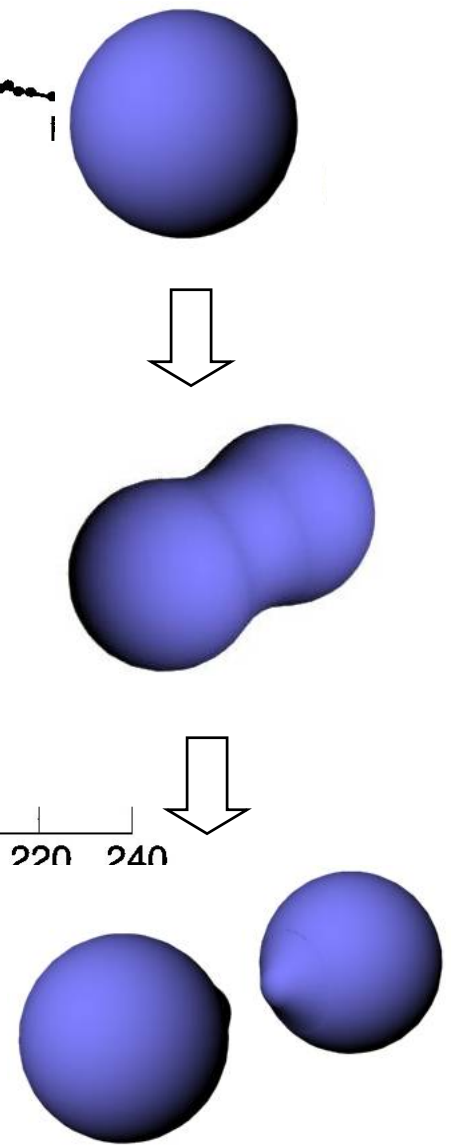
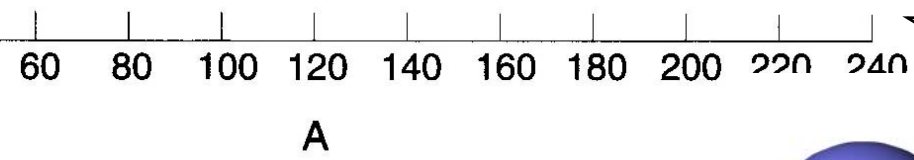
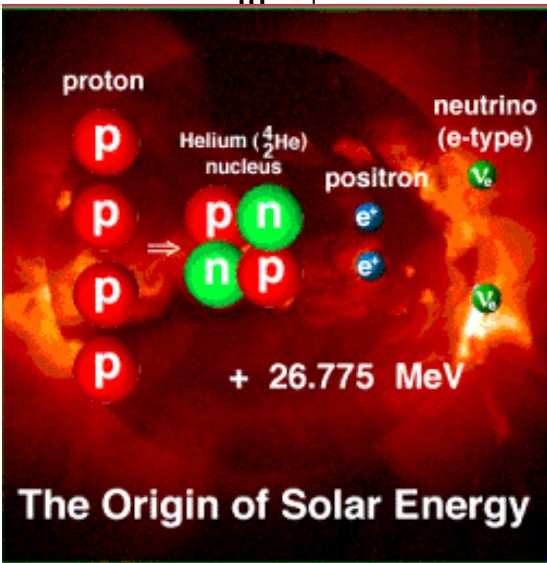
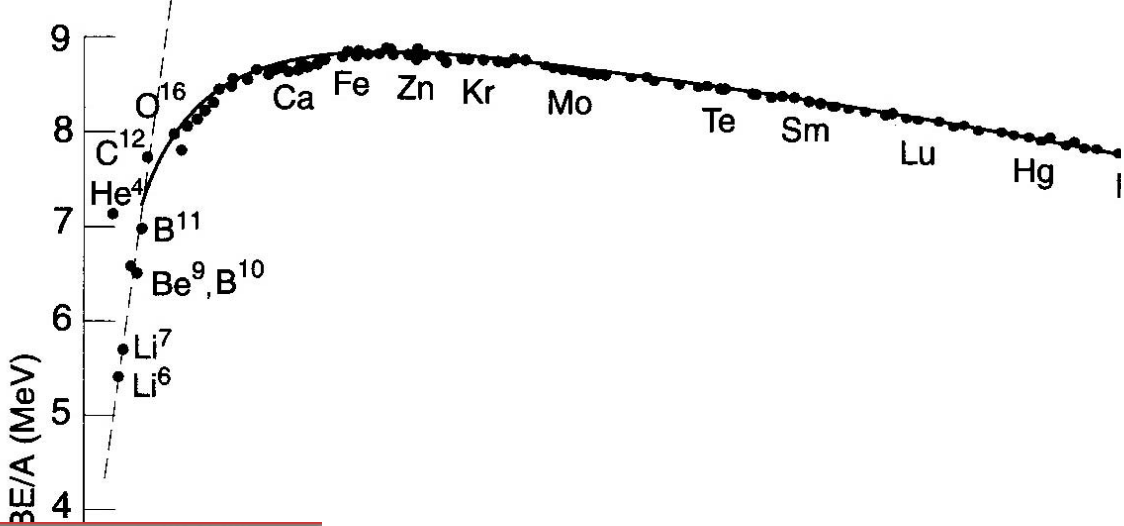


1. $B(N,Z)/A \sim 8.5 \text{ MeV} (A > 12) \iff$ 短距離力(核子間相互作用)
2. 重い原子核に対してはクーロン力の影響

核图表



安定核: $N \geq Z$



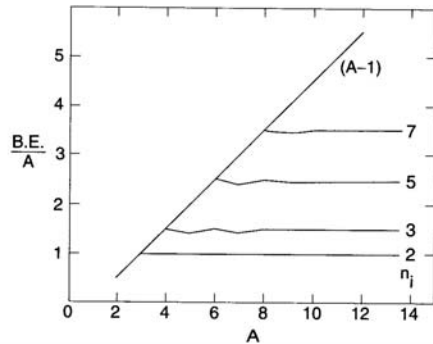
1. $B(A, Z) \approx 9.3 \text{ MeV} (A > 12) \iff$ Short range
2. 重い原子核に対してはクーロン力の影響
3. 軽い核は核融合した方が安定
4. 重い核は核分裂した方が安定

半経験的質量公式

(Bethe-Weizacker 質量公式: 液滴模型)

$$B(N, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{\text{sym}} \frac{(N - Z)^2}{A}$$

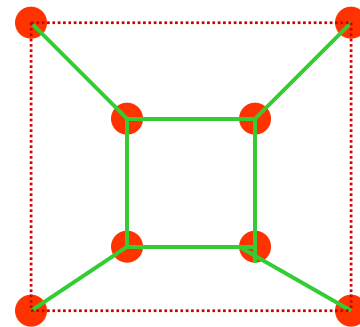
● 体積エネルギー: $a_v A$



$$R_0 \sim 1.1 \times A^{1/3} \rightarrow V \propto A$$
$$S \propto A^{2/3}$$

● 表面エネルギー: $-a_s A^{2/3}$

表面付近の核子は少ない数の核子と相互作用する。



C・ワイツゼッカー氏死去 ドイツ物理学者・哲学者



28日死去したワイツゼッカー氏 (AP=共同)

カールフリードリヒ・フォン・ワイツゼッカー氏(ドイツ物理学者・哲学者)フランクフルター・アルゲマイネ紙(電子版)によると、28日、南部ミュンヘン近郊シュタルンベルクの自宅で死去、94歳。家族は死因を明らかにしていないが、長期にわたり闘病中だった。

過去を直視するよう訴えた、ドイツの戦争責任に関する「荒れ野の40年」の演説で知られるリヒャルト・フォン・ワイツゼッカー元大統領の兄。

12年、北部キール生まれ。第2次大戦中はカイザー・ウィルヘルム研究所(現マックス・プランク研究所)の研究者としてナチスの核開発に従事。戦後は、核兵器製造の前提となる「核分裂」を証明しノーベル賞を受賞したオットー・ハーン博士らとともに反核・平和活動に取り組み、核の恐怖を訴え続けた。(ベルリン共同)

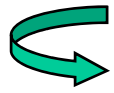
$$B(N, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{\text{sym}} \frac{(N - Z)^2}{A}$$

● **クーロン・エネルギー**: $-a_C Z^2 / A^{1/3}$

$$E_C = \frac{3}{5} \frac{Z^2 e^2}{R_C} \quad (\text{一様帯電球のクーロン・エネルギー})$$

● **対称エネルギー**: $-a_{\text{sym}} (N - Z)^2 / A$

ポテンシャル・エネルギー $v_{nn} = v_{pp} = v, \quad v_{np} \sim 2v$

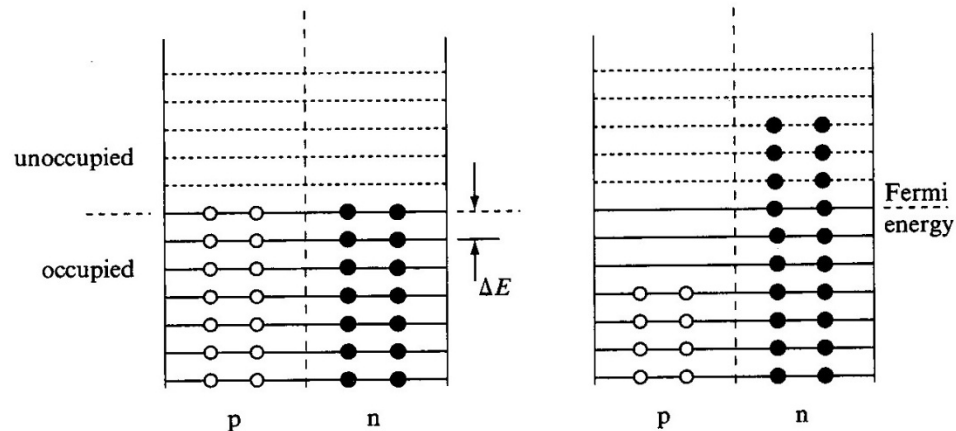


核物質と相互作用する核子のエネルギー:

$$N(v_{nn}N/A + v_{pn}Z/A) + Z(v_{pn}N/A + v_{pp}Z/A) = \frac{v}{2}(3A - (N - Z)^2/A)$$

運動エネルギー

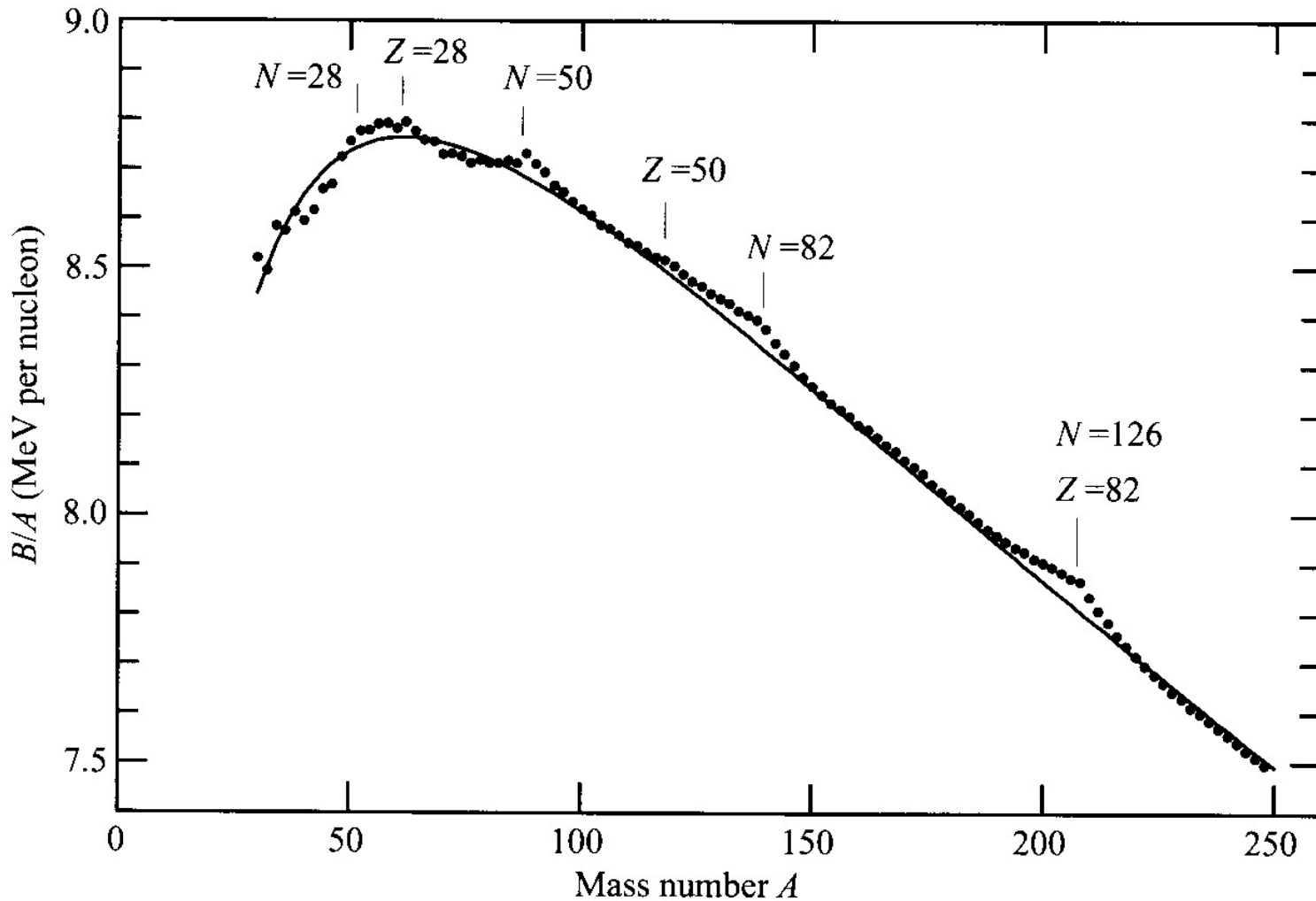
パウリ原理



準位エネルギーが $E_k = k \Delta E$ で与えられ、各準位の縮退度が 2 だとすると、

$$\begin{aligned} E &= \sum_{k=1}^{N/2} 2k \Delta E + \sum_{k=1}^{Z/2} 2k \Delta E \\ &= 2\Delta E \left(\sum_{k=1}^{N/2} k + \sum_{k=1}^{Z/2} k \right) \\ &= \frac{\Delta E}{2} \left(\frac{N^2 + Z^2}{2} + N + Z \right) \\ &= \frac{\Delta E}{2} \left(\frac{A^2}{4} + A + (N - Z)^2 \right) \end{aligned}$$

どのくらい実験を再現するか？

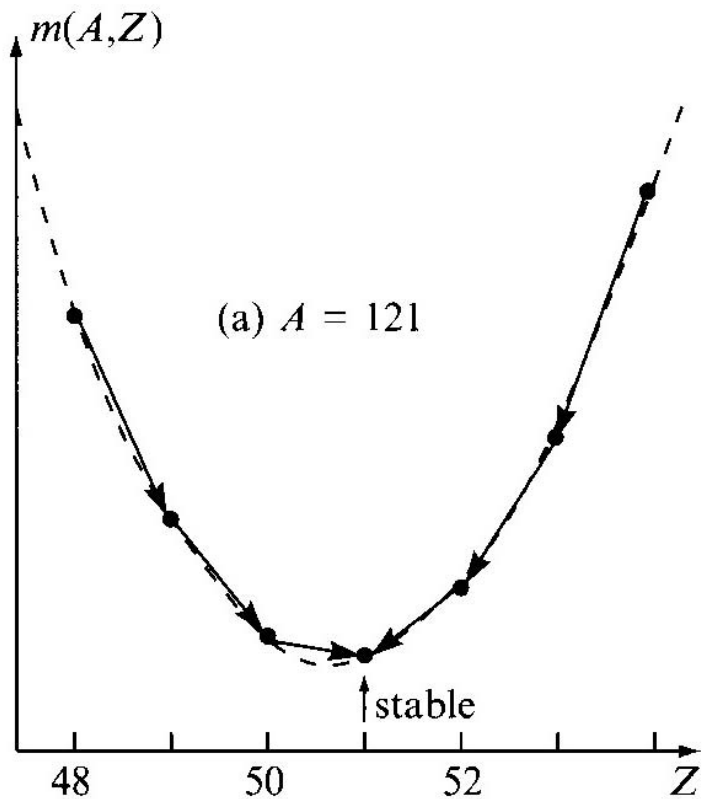


cf. $N, Z = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$ (魔法数) に対して束縛エネルギー大

β -安定線

$$B(N, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{\text{sym}} \frac{(N - Z)^2}{A}$$

$$m(A, Z) = f(A) + a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_{\text{sym}} \frac{(A - 2Z)^2}{A}$$



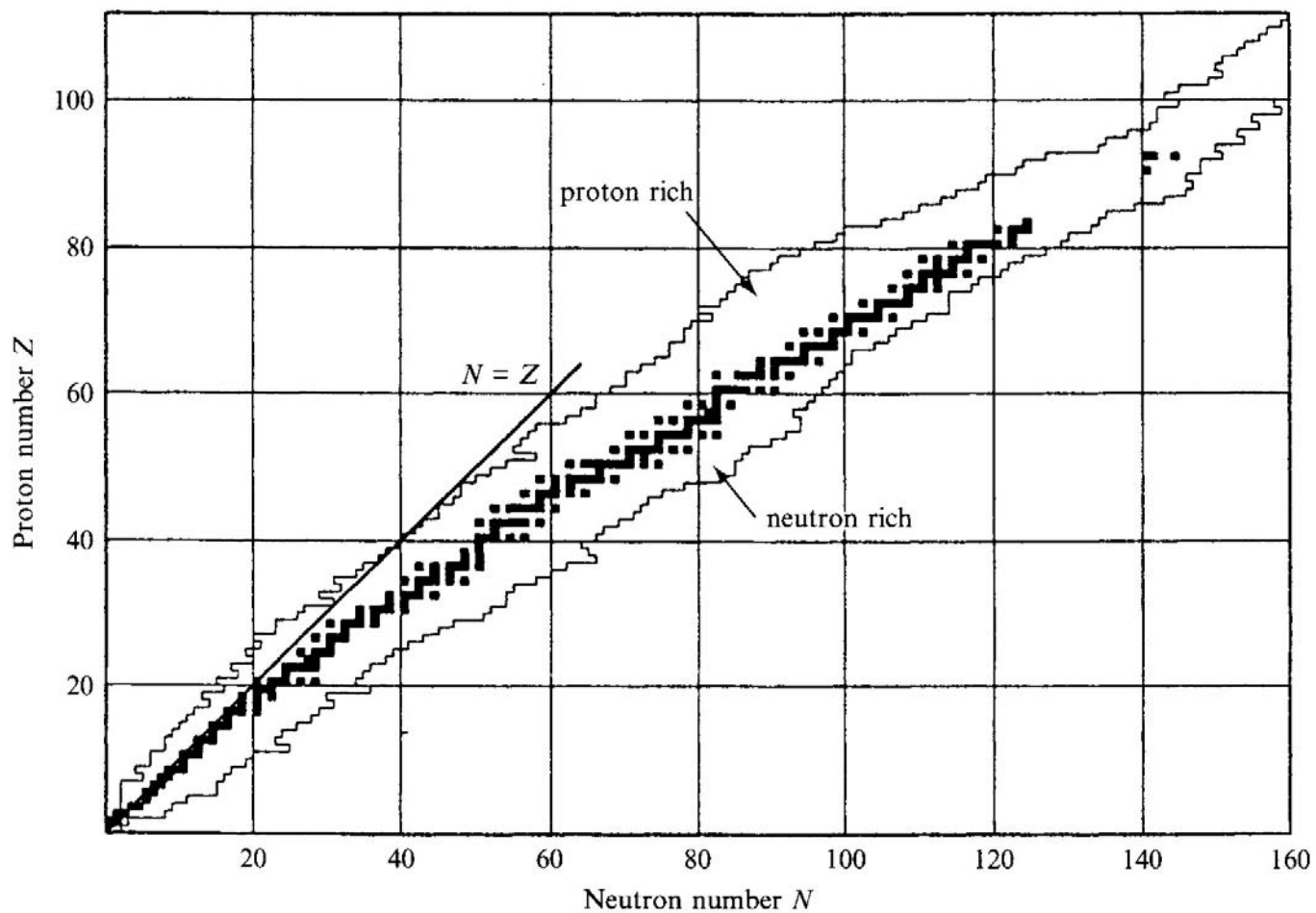
安定核 (beta-安定線)

$$\left. \frac{\partial m}{\partial Z} \right|_{A=\text{const.}} = 0$$

$$Z = \frac{4a_{\text{sym}}}{2a_C/A^{1/3} + 8a_{\text{sym}}/A}$$

$$\Rightarrow Z < A/2$$

核图表



安定核: $N \geq Z$