

## Vazebná energie jádra

**Vazebná energie** je definována jako **práce**, kterou je třeba vykonat k rozložení soustavy na její jednotlivé části, tj. v případě jádra k rozložení jádra na jednotlivé **nukleony**. Je zřejmé, že tato práce (tj. vazebná energie) bude závislá na počtu nukleonů v jádře - bude tedy závislá na nukleonovém čísle  $A$ . Rovněž tak vazebná energie souvisí s **hmotnostním úbytkem** a pro jádro o **klidové hmotnosti**  $m_j$  je jeho vazebná energie dána vztahem  $E_j = (Zm_p + Nm_n - m_j)c^2$ , kde  $m_p$  je klidová hmotnost **protonu**,  $m_n$  je klidová hmotnost **neutronu** a  $c$  **velikost rychlosti světla** ve **vakuu**. Pro další vyšetřování vazebné energie je dobré zavést **separační energii**.

**SEPARAČNÍ ENERGIE  $\varepsilon_j$  JE VAZEBNÁ ENERGIE PŘIPADAJÍCÍ NA JEDEN NUKLEON:**  $\varepsilon_j = \frac{E_j}{A}$ .

Graf závislosti separační energie na nukleonovém čísle  $A$  je zobrazen na obr. 107. První lokální maximum grafu nastává pro jádro helia  ${}^4_2\text{He}$ . Z tohoto grafu je vidět, že s výjimkou několika lehkých jader se separační energie pohybuje v rozmezí  $\{7; 9\}$  MeV. Lze tedy odvodit, že každý nukleon působí jadernými silami jen na malý počet okolních nukleonů. Jako by se tím jeho silové působení vyčerpalo a došlo k nasycení jaderných sil.

### JADERNÉ SÍLY MAJÍ TYTO VLASTNOSTI:

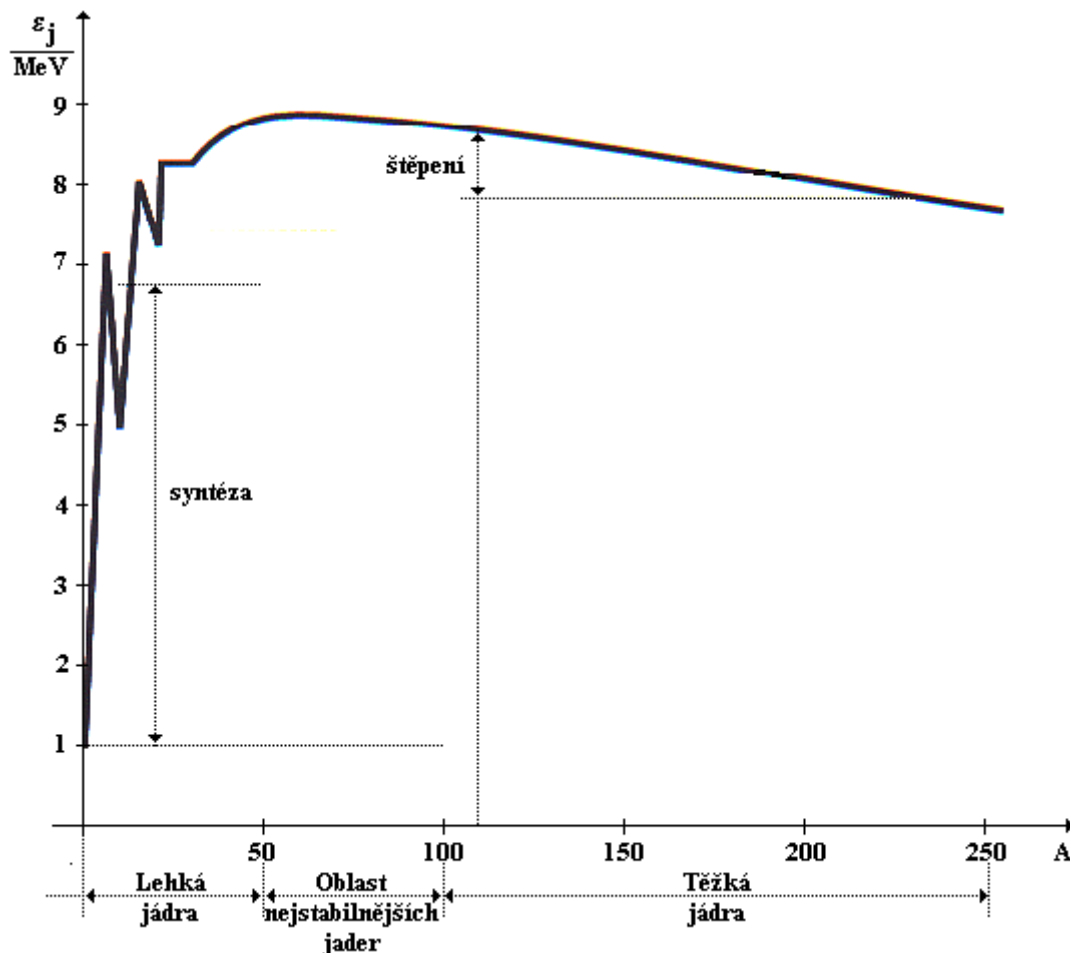
**1. JSOU TO PŘITAŽLIVÉ SÍLY VELMI KRÁTKÉHO DOSAHU (ŘÁDOVĚ  $10^{-15}$  m), ALE NA TĚCHTO VZDÁLENOSTECH ZNAČNĚ PŘEKONÁVAJÍ SÍLY ELEKTROMAGNETICKÉHO ODPUZOVÁNÍ.**

**2. PŮSOBÍ BEZ ROZDÍLU MEZI PROTONY I NEUTRONY.**

**3. PROJEVUJÍ VLASTNOST NASYCENÍ.**

Jsou to tedy přitažlivé síly, které drží jádro pohromadě a které svou velikostí značně překonávají odpudivé **elektrostatické síly** působící mezi protony v jádře. Působí stejně na protony i neutrony (tj. na všechny nukleony) a působí jen na malý počet okolních nukleonů (vlastnost nasycení).

Maximální hodnoty dosahuje separační energie pro jádro železa  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  a to  $\varepsilon_j = 8,79$  MeV. Dělí tak zobrazenou křivku na dvě části: část vzestupnou (až na několik výjimek u lehkých jader) a mírně sestupnou v oblasti těžších jader.



Obr. 107

To obecně znamená, že existují dva způsoby vytváření nových jader:

1. spojování jader (jaderná syntéza, [jaderná fúze](#)) - ze dvou jader lehčích než je jádro železa  ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ , lze vytvářet jádra těžší, která jsou stabilnější, a při tom uvolnit jadernou energii. Jádra těžší, než je jádro železa, ovšem tímto způsobem vytvářet nelze. Spojením dvou lehčích jader v jádro těžší než je jádro železa vazebná energie totiž poklesne.

Popsaným způsobem skutečně vznikaly nové prvky za vysokých [teplot](#) uvnitř [hvězd](#). Vznik prvků těžších než je železo probíhal za mimořádných kosmických podmínek (např. [výbuch supernovy](#), ...).

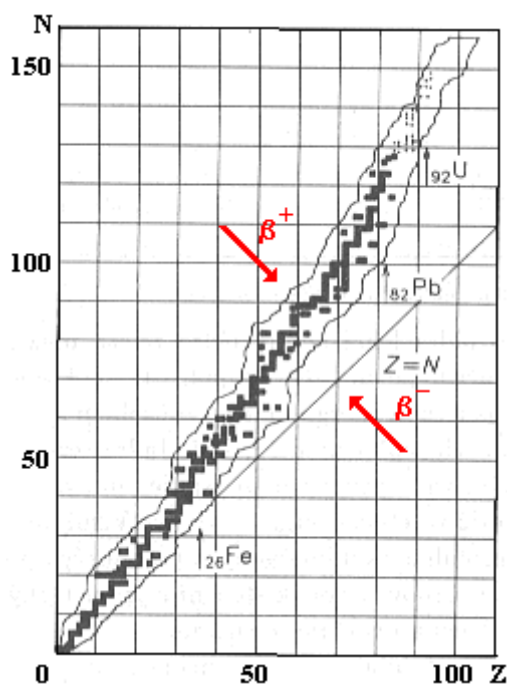
2. štěpení jader - z těžkých jader mohou vznikat stabilnější jádra lehčí a přitom se uvolňuje [energie](#).

Všechna [atomová jádra](#) nejsou stabilní; většina z nich se po kratší či delší době samovolně přeměňuje na jádra jiná - tento jev se nazývá [radioaktivita](#). V současné době je známo přes 2000 [nuklidů](#), z nichž ovšem převážná většina byla připravena uměle a jsou nestabilní. V přírodě se vyskytuje pouze 264 stabilních nuklidů a asi 50 nestabilních. Ty se musely vytvořit ještě v dobách vzniku naší [Sluneční soustavy](#), nebo se stále tvoří jako produkt rozpadu jiných nestabilních nuklidů případně při [jaderných reakcích](#) vyvolaných kosmickým zářením.

Stabilita jádra je dána počtem protonů a neutronů v něm obsažených. Zvláště stabilní jsou jádra, jejichž počet protonů a neutronů je dán tzv. **magickými čísly**. To jsou čísla, podle nichž se zaplňují jednotlivé energetické stavy nuklidu a při nichž jádra vykazují extrémní vlastnosti související právě se stabilitou jádra. Jedná se o čísla 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 a jádra např.  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ , ...

Vyznačíme-li jádra do grafu závislosti [nukleonového čísla](#) na protonovém čísle, budou stabilní jádra ležet v oblasti, která je vyznačena na obr. 108.

Při malých  $Z$  mají stabilní jádra přibližně stejný počet protonů i neutronů, s rostoucím  $Z$  v jádře převažují neutrony. To pravděpodobně pomáhá kompenzovat odpuzivé síly mezi protony. Nejtěžší známý stabilní nuklid je  ${}_{83}\text{Bi}$ .



Obr. 108

Kdybychom uvedený graf znázornili trojrozměrně tj. přidali ještě třetí osu, na níž bychom vynášeli separační energii, stabilní jádra by ležela nejnižše. Stabilním jádrům totiž odpovídá minimální separační energie - proto tvoří tzv. **linii stability**. Udělat ze stabilního jádra jádro nestabilní znamená jádru dodat energii. Čím těžší jádro je, tím více obsahuje protonů a neutronů. Mezi protony v jádře působí větší odpuzivé elektrostatické síly a jádro je méně stabilní.

Situaci si lze představit jako příkop, na jehož dně i stěnách se nacházejí jádra. S analogií s příkopem je zřejmé, že nejstabilnější polohu v příkopu těleso zaujme, bude-li na jeho dně. Linie stability tedy leží na dně příkopu. S postupným stoupáním ode dna příkopu roste nestabilita jader. Analogicky s lezením člověka ze dna příkopu roste jeho [potenciální energie](#) a tedy i jeho nestabilita a možnost (opětovného) spadnutí do příkopu.

Pokud jádru z linie stability dodáme energii a uděláme tak ze stabilního jádra nestabilní jádro, bude se toto nestabilní jádro vracet zpět do stabilního stavu (tj. na linii stability) radioaktivním [rozpadem  \$\beta\$](#) , jak je naznačeno na obr. 108.