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 $E_j = \left(Zm_p + Nm_n - m_j\right)c^2$, 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 ε_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. 111. První lokální maximum grafu nastává pro jádro helia $^4_2\mathrm{He}$. Z tohoto grafu je vidět, že s výjimkou několika lehkých jader se separační energie pohybuje v rozmezí $\langle 7;9\rangle\,\mathrm{MeV}$. 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:

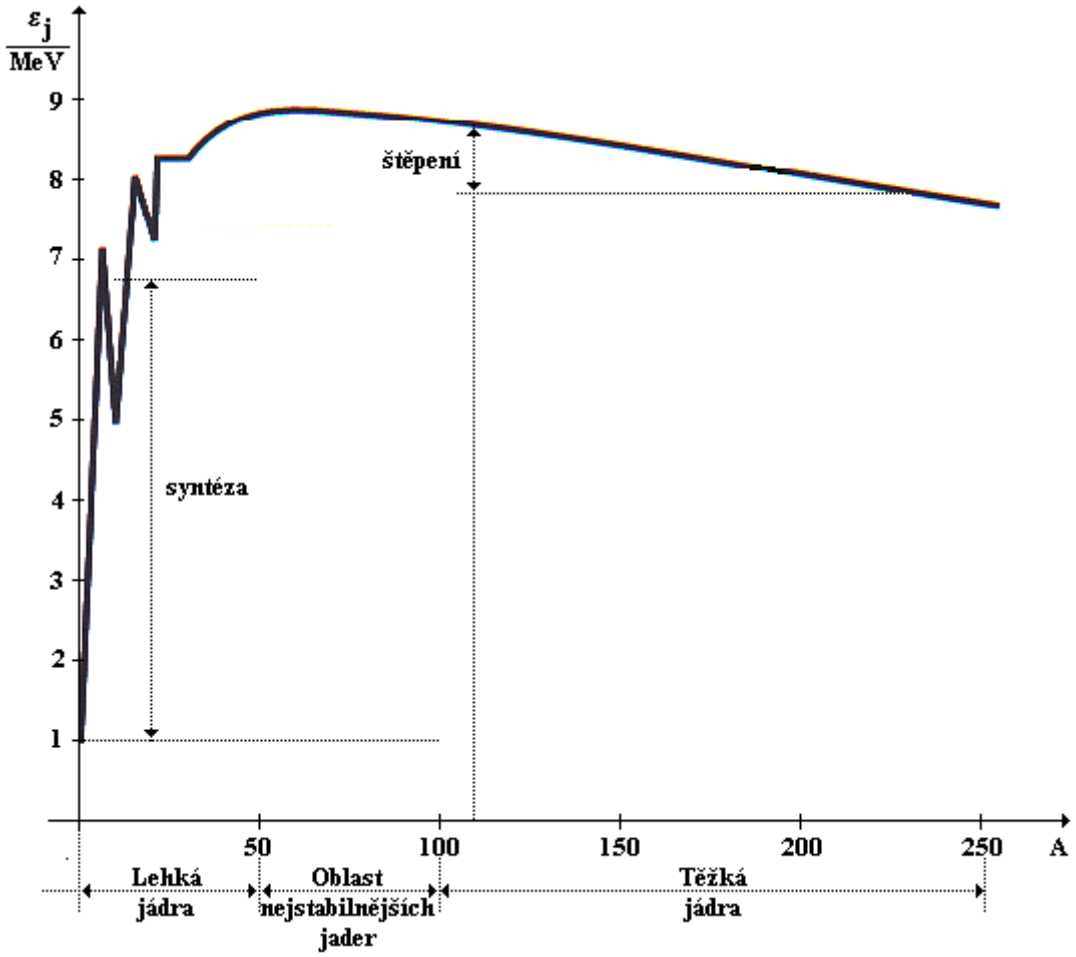
1. JSOU TO PŘITAŽLIVÉ SÍLY VELMI KRÁTKÉHO DOSAHU (ŘÁDOVĚ $10^{-15}\,\mathrm{m}$), ALE NA TĚCHTO VZDÁLENOSTECH ZNAČNĚ PŘEKONÁVAJÍ SÍLY ELEKTROMAGNETICKÉHO ODPUZOVÁNÍ.

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



Obr. 111

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 $^{56}_{26}Fe$, 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, ...).

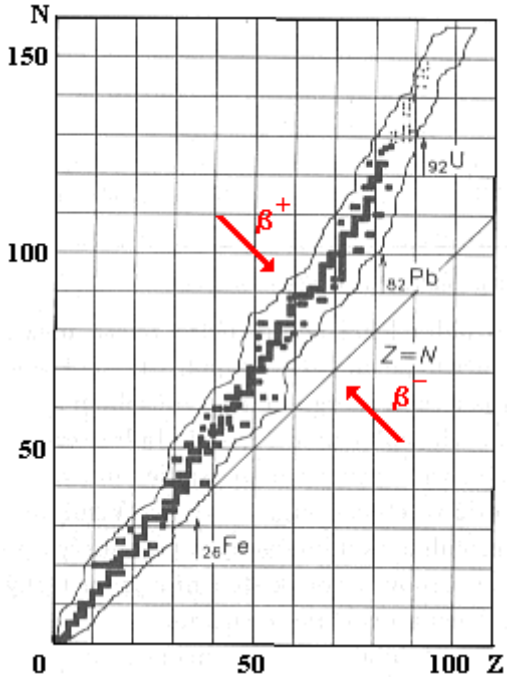
2. štěpení jader - z těžkých jader mohou vznikat stabilnější jádra lehčí a přitom se uvolňuje energie.

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. $^{4}_{2}He$, $^{16}_{8}O$, $^{40}_{20}Ca$, ...

Vyznačíme-li jádra do grafu závislosti nukleonového čísla na protonovém čísle, budou stabilní jádra ležet v oblasti, která je vyznačena na obr. 112.

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



Obr. 112

Kdybychom uvedený graf znázornili trojrozměrně tj. přidali ještě třetí osu, na níž bychom vynášeli separační energii, stabilní jádra by ležela nejníže. 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 odpudivé 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 β, jak je naznačeno na obr. 112.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.