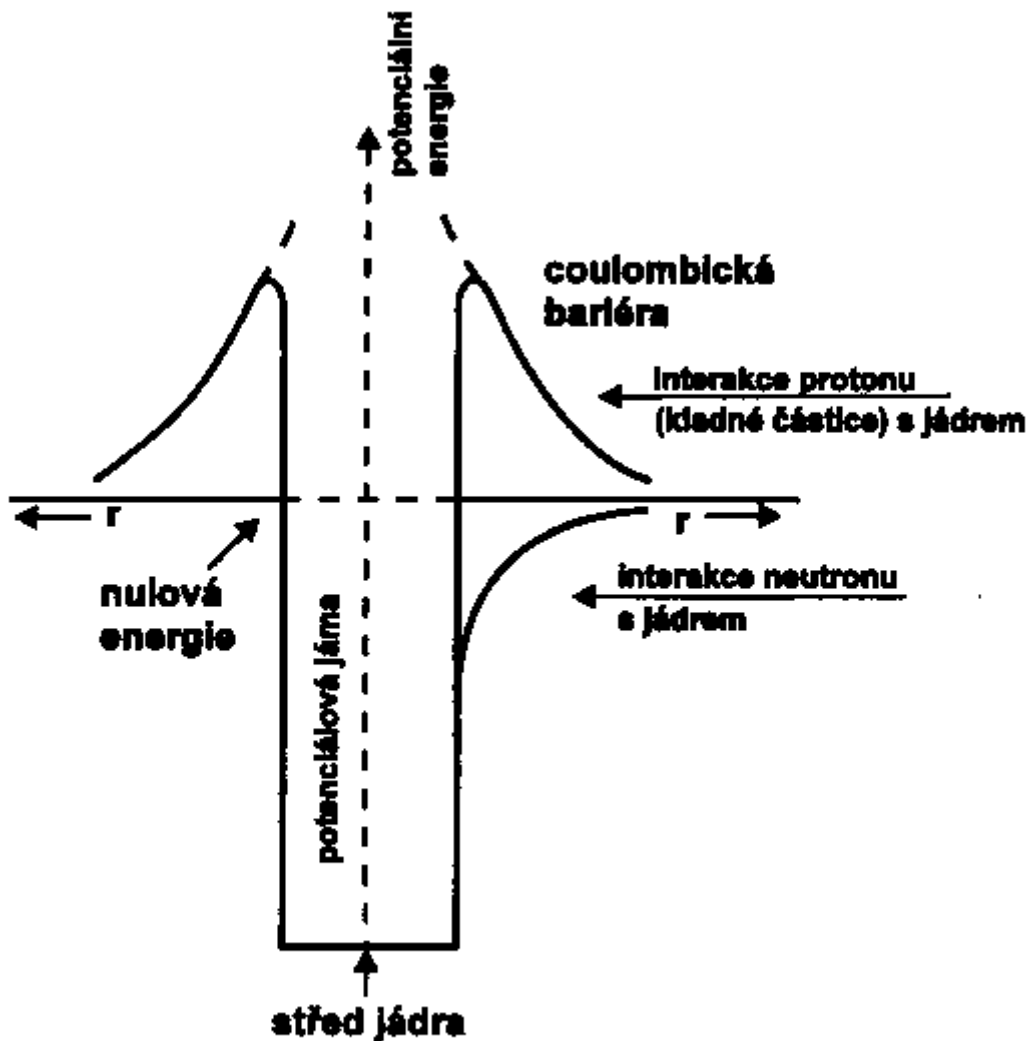


## 2. Atomové jádro

- p + n; centrum + náboje a hmoty ( $m(p)$  či  $m(n) \cong 2000 m(e)$ ); průměr jádra  $\approx 10^{-15}$  m (atomu  $\approx 10^{-10}$  m)

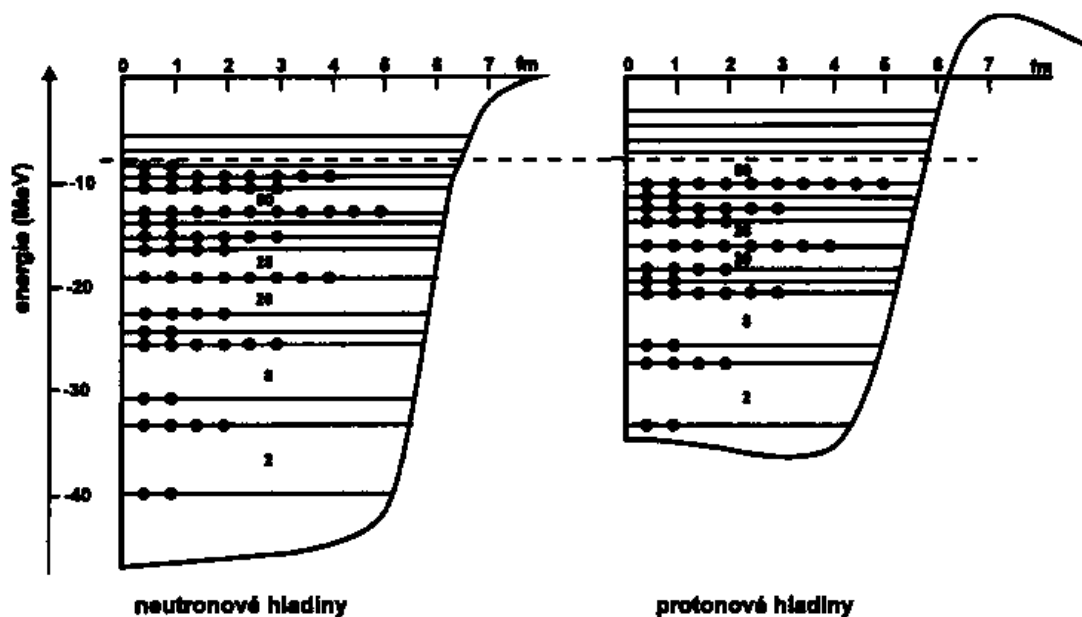
### Jaderná potenciálová jáma a bariéra:



**Obrázek 2: Potenciální energie při interakci jádra s nukleony.**

### Hladinový model jádra:

- p i n mají spin  $1/2$  a ve společném (ale zvlášť p a n) silovém poli platí Pauliho princip – každá částice musí být v jiném kvantovém stavu (jako u e v obalu)
- vzniká tak soubor hladin (zvlášť pro p a n)



Obrázek 4: Uspořádání nukleonů v jádru  $^{116}_{50}\text{Sn}$ .

- u p coulombická síla způsobuje zvýšení energie energetických hladin v potenciálové jámě
- zaplňování slupek (en. hladin) probíhá obdobně jako u elektronového obalu (2, 8, 8, 18, 18, 32...), zde u p 2, 6, 12 ... obdoba u n, celkem pak 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 protonů a 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 neutronů, jsou to tzv magická čísla
- po zaplnění těchto slupek je jádro stabilizováno, obdoba vzácných plynů (při zaplňování slupek v el. obalu)
- dvojitě magická : Z a N jsou magická čísla; Příklad:  $^4\text{He}$  (2p, 2n),  $^{16}\text{O}$  (8p, 8n),  $^{208}\text{Pb}$  (82p, 126n)
- ostrůvky stability: předpokládá se vznik relativně stabilních nuklidů,  $^{298}\text{X}$  (114p, 184n),  $^{310}\text{Y}$  (126p, 184n)
- aby bylo jádro stabilní musí mít též správný poměr N a Z, zpočátku  $N/Z = 1$  poté roste až na 1,52 u posledního stabilního nuklidu  $^{209}\text{Bi}$  (83p, 126n), tzv. řeka stability
- př.  $^{100}\text{Sn}$  (50p, 50n)  $T_{1/2} \approx 1$  s
- nejstabilnější jádra jsou sudo-sudé, pak sudo-liché či licho-sudé a jen 4 stabilní licho-liché:  $^2\text{H}$  (1p, 1n),  $^6\text{Li}$  (3p, 3n),  $^{10}\text{B}$  (5p, 5n) a  $^{14}\text{N}$  (7p, 7n)

### Hmotnost a vazebná energie jádra:

$$m(X) < Z m(p) + N m(n) \quad \text{hmotnostní úbytek: } \Delta = m(X) - (Z m(p) + N m(n)) \quad \Delta < 0$$

$$E_v = -\Delta c^2 \quad (E_v > 0) \quad \text{- vazebná energie jádra, z definice plyne že je kladná}$$

$\varepsilon = E_v / A$  - střední vazebná energie, v podstatě je to energie potřebná k uvolnění jednoho nukleonu z jádra

Excitační energie jádra je o 5-6 řádů větší než excitační energie el. obalu.

Příklad:  $^{12}\text{C}$  (6 p, 6 n),  $m(\text{p}) = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $m(\text{n}) = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $m(\text{e}) = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $c = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ;  $u = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**teoretická  $m(^{12}\text{C}) = 6 m(\text{p}) + 6 m(\text{n}) + 6 m(\text{e}) = 2,0091 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$**

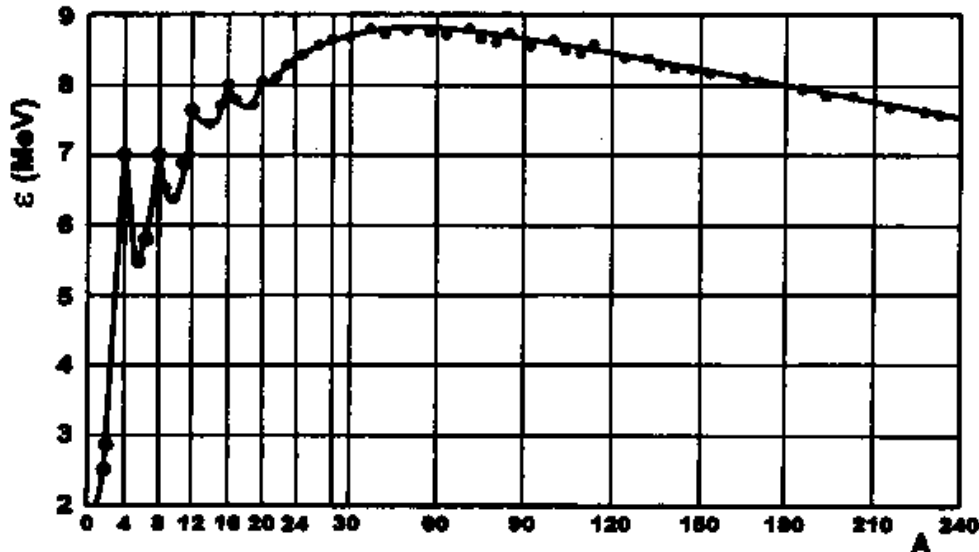
**skutečná  $m(^{12}\text{C}) = 12 u = 1,9927 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$**

$\Delta = 1,9927 \cdot 10^{-26} - 2,0091 \cdot 10^{-26} = -1,6407 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$

$E_v = 1,6407 \cdot 10^{-28} (2,997 \cdot 10^8)^2 = 1,4736 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 1,4736 \cdot 10^{-11} / 1,602 \cdot 10^{-19} = 92 \text{ MeV}$

$\varepsilon = 92 \cdot 10^6 / 12 = 7,7 \text{ MeV}$

Zajímavost: Při vzniku 12g (1 mol)  $^{12}\text{C}$  z p a n, by se uvolnilo  $1,4736 \cdot 10^{-11} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 8,9 \text{ TJ}$ , rozštěpením 12g uranu se uvolní asi 1 TJ ale rozštěpením 1 molu uranu 20 TJ



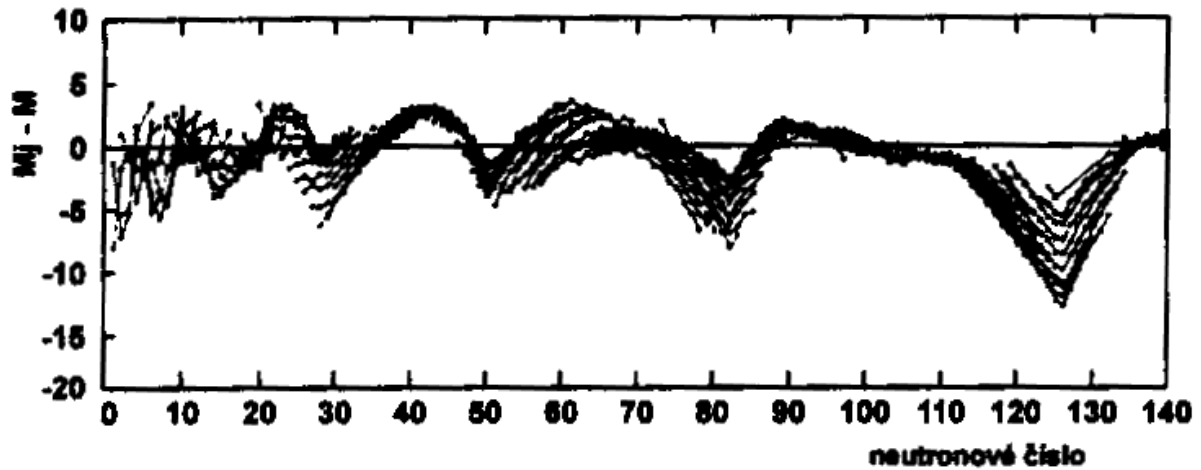
**Obrázek 5: Závislost střední vazebné energie nukleonu na nukleonovém čísle jádra.**

**Kapkový model jádra:**

$E_v \cong k A$  - krátký dosah jaderných sil obdoba v kapce vody, působí na sebe jen sousední molekuly

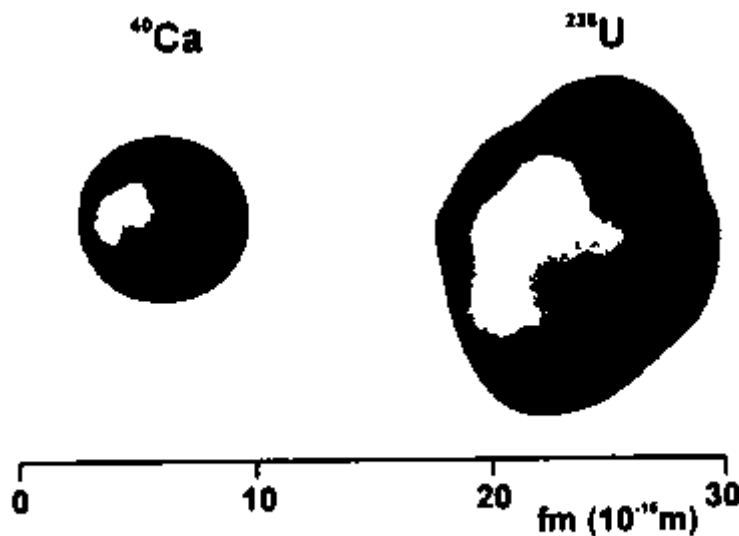
$$E_v = \frac{k_1 A}{1} - \frac{k_2 A^{2/3}}{1} - \frac{k_3 Z^2 A^{-1/3}}{1}$$

↓  
objemová e.      ↘ povrchová e.      ↘ coulombické odp. protonů



**Obrázek 6:** Rozdíl skutečných a vypočtených hmotností jader v závislosti na neutronovém čísle (čarami jsou spojeny izotopy). Stabilizaci jader je zřetelně vidět v oblasti  $N = 28, 50, 80$  a  $126$ . Převzato z [38].

**tvár jádra:** kulový tvar mají jen dvojitě magická jádra, ostatní jádra se stabilizují změnou tvaru



**Obrázek 7:** Tvar a velikost jader  $^{40}\text{Ca}$  a  $^{238}\text{U}$ .

**Izotopové efekty:**  $^1\text{H}_2\text{O}$ ,  $^2\text{H}_2\text{O}$ ,  $^3\text{H}_2\text{O}$  či  $^{235}\text{UF}_6$  a  $^{238}\text{UF}_6$   
 střední rychlost molekul:  $v = \sqrt{8kT/m\pi}$   
 frekvence vibrace (těžší iz. menší frekv.):  $\approx \sqrt{(m_1 + m_2)/(m_1 m_2)}$   
 Jiná  $t_i$ ,  $t_v$ , rychlost difúze, rychlost chemické reakce  
 Příklad:  $t_v$   $^2\text{H}_2\text{O} = 101,42$  °C;  $t_i = 3.82$  °C