

## 4.4.6 Jádru atomu

**Předpoklady:** 040404

### Pomůcky:

Jádru je stotisíckrát menší než vlastní atom (víme z Rutherfordova experimentu), soustředí téměř celou hmotnost atomu). Skládá se z:

- protonů: kladné částice, přibližně tisíckrát těžší než elektron,
- neutronů: částice bez náboje, přibližně stejně těžké jako proton,

Protony a neutrony bývají dohromady označovány jako nukleony (nukleos – jádru). Pro jádru jsou důležitá tři čísla:

- protonové číslo: udává počet protonů (a tím pádem i elektronů v atomu), protože počet elektronů rozhoduje o chování atomu při slučování s jinými atomy, rozhoduje protonové číslo i tom, jakému prvku jádru patří,
- nukleonové číslo: počet všech nukleonů v jádru (protonů i neutronů),
- neutronové číslo: počet neutronů

Atomy s různým počtem neutronů, ale stejným počtem se označují jako izotopy. Většinu prvků v přírodě tvoří směs různých izotopů.

U označování prvků se udává pouze nukleonové a protonové číslo:  ${}^{12}_6\text{C}$ .

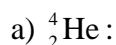
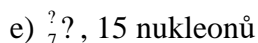
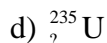
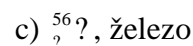
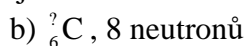
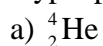
**Př. 1:** Kolik má jádru atomu  ${}^{12}_6\text{C}$  protonů, neutronů, nukleonů?

6 protonů (menší spodní hodnota), nukleonů 12 (větší horní hodnota), neutronů 6 ( $12 - 6 = 6$ ).

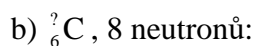
**Př. 2:** Proč se u atomů neudává neutronové číslo?

Je to zbytečné, počet neutronů můžeme snadno dopočítat z počtu nukleonů a protonů.

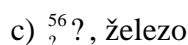
**Př. 3:** Dopln pomocí periodické tabulky prvků chybějící čísla, písmena či pojmenování. Vypiš počty různých částí v jádru.



hélium, 4 nukleony, 2 protony, 2 neutrony ( $4 - 2 = 2$ ).



uhlík, 6 protonů, 14 nukleonů ( $6 + 8 = 14$ )  $\Rightarrow$   ${}^{14}_6\text{C}$



Železo má 26 protonů (periodická tabulka prvků), 30 nukleonů ( $56 - 26 = 30$ )  $\Rightarrow$   ${}^{56}_{26}\text{Fe}$

d)  ${}_{7}^{235}\text{U}$

Uran má 92 protonů (periodická tabulka prvků), 143 neutronů ( $235 - 92 = 143$ )  $\Rightarrow {}_{92}^{235}\text{U}$ .

e)  ${}_{7}^{?}$ , 15 nukleonů

7 protonů má dusík (N), 8 neutronů ( $15 - 7 = 8$ )  $\Rightarrow {}_{7}^{15}\text{N}$ .

**Př. 4:** Občas je možné se setkat s těmito zápisy  ${}_{1}^{2}\text{D}$ ,  ${}_{1}^{3}\text{T}$ . O jaký prvek jde? Co znamenají obě zkratky?

Jde o izotopy vodíku (oba mají protonové číslo 1), jiné písmeno se používá jako označení ustálených názvů:

- ${}_{1}^{2}\text{D}$ : deuterium (dva nukleony),
- ${}_{1}^{3}\text{T}$ : tritium (třínukleony).

**Př. 5:** Čím se liší atomy různých izotopů stejného prvku?

Liší se pouze hmotností (protože o hmotnosti atomu rozhoduje počet nukleonů, elektrony jsou příliš lehké). Elektronové obaly jsou stejné a proto jsou stejné chemické vlastnosti.

**Př. 6:** Je těžší od sebe oddělit  ${}_{1}^{2}\text{H}$  a  ${}_{1}^{1}\text{H}$  nebo  ${}_{92}^{238}\text{U}$  a  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ? Proč?

Rozdíly ve fyzikálních vlastech jsou u lehkých prvků daleko větší než u prvků těžkých (atom deuteria je přibližně dvakrát těžší než atom vodíku, zatímco atom uranu  ${}_{92}^{238}\text{U}$  je těžší než

atom  ${}_{92}^{235}\text{U}$  pouze o  $\frac{3}{235}$ )  $\Rightarrow$  obecně se snáze oddělují izotopy lehčích prvků.

Oddělování vždy probíhá v plynném nebo ionizovaném stavu (v pevném i kapalném jsou atomy promíchány a přitahují se).

Metody oddělování izotopů:

- **odstředování:** Plynná látka se roztočí v odstředivce, těžší nuklidy mají větší tendenci shromažďovat se u okrajů, nutnost několikanásobného (stovky) kaskádovitého oddělování, dnes nejpoužívanější metoda pro obohacování uranu.
- **difúze:** Plynné částice procházejí přes porézní překážku. Těžší atomy jsou pomalejší. Je třeba opět stovky až tisíce průchodů. Takto se obohacoval uran pro první bomby.
- **elektromagnetická separace:** Urychlené ionty se vychylují v magnetickém poli, nejučinnější a nejpřesnější, ale energeticky nejnáročnější metoda.

**Př. 7:** Zamysli se nad tím, co víme o částicích v jádře. Co musíme ještě vysvětlit?

V jádře jsou velmi blízko u sebe protony (částice s kladným nábojem), které se musí odpuzovat  $\Rightarrow$  není jasné, jak jádra drží pohromadě.

Protony v jádře hélia se odpuzují silou 230 N (neuvěřitelné číslo, pokud si uvědomíme, že jde o nepředstavitelně lehké částice o hmotnosti 0,000 000 000 000 000 000 000 0016 kg), navíc (kvůli relacím neurčitosti) se neuspořádaně pohybují desetinou rychlosti světla (desítky tisíc km za vteřinu).

Jádro drží pohromadě síla, kterou z makrosvěta vůbec neznáme: jaderná (silná) interakce:

- přitahuje k sobě protony i neutrony,
- v rámci jádra silnější než elektrická síla,
- velmi rychle klesá se vzdáleností (jakmile se protony jen trochu vzdálí od jádra, jaderná síla se zmenší prakticky na nulu (zatímco elektrická síla se zeslabí, ale působí dál),
- jedna částice může jadernou silou přitahovat pouze omezený počet jiných částic.

Důsledky:

- čím více protonů v jádře, tím větší musí být podíl neutronů (neodpuzují se elektrickou silou, pomáhají držet jádro pohromadě jadernou silou),
- velmi velká jádra špatně drží pohromadě.

Nuklidy prvků se často zobrazují do grafu, kde je jejich poloha určena protonovým (svislá osa) a neutronovým (vodorovná osa číslem).

Interaktivní graf: <http://www-nds.iaea.org/relnsd/vchart/>.

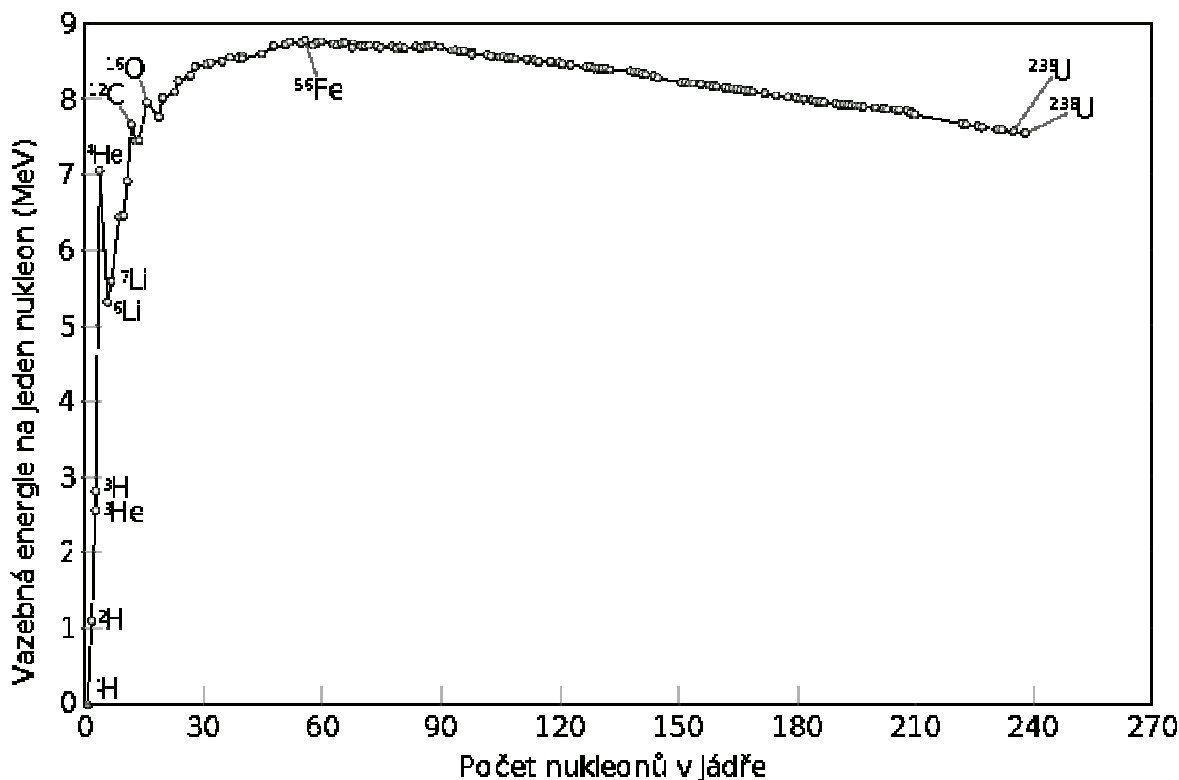
Jednodušší varianta grafu: <http://www.nndc.bnl.gov/chart/>.

Co z grafu vidíme?

- Jádro se nemůže skládat z libovolné kombinace neutronů a protonů (v lehčích jádrech je obou druhů částic přibližně stejně, u těžších jader narůstá převaha neutronů).
- Většina jader není stabilní a časem se samovolně rozpadá.
- Nejtěžším stabilním jádrem je  $^{209}_{83}\text{Bi}$   $\Rightarrow$  neexistují stabilní jádra s více než 83 protony.
- Stabilní jádra tvoří dno "údolí stability". Čím jsou ostatní jádra v diagramu ode dna údolí dále, tím rychleji se rozpadají.

[http://www.phy.anl.gov/gammasphere/pub/logos\\_98.html](http://www.phy.anl.gov/gammasphere/pub/logos_98.html)

Graf znázorňující závislost vazebné energie (energie, kterou bychom museli dodat, abychom uvolnili nukleon z jádra) připadající na jeden nukleon na počtu nukleonů v jádře.



**Př. 8:** Jak se podle grafu mění vazebná energie připadající na jeden nukleon s počtem nukleonů. Při jakých jaderných reakcích (reakce při kterých se jádra spojují nebo rozbíjejí) se uvolňuje energie?

- Pro jádra s počtem nukleonů menším než 56 vazebná energie při zvětšování jádra většinou roste (částice jsou v jádře drženy čím dál pevněji a mají čím dál menší energii).
- Pro jádra s počtem nukleonů větším než 56 vazebná energie při zvětšování jádra klesá (částice jsou v jádře drženy čím dál volněji a mají čím dál větší energii).

Při výrobě energie energii uvolňujeme  $\Rightarrow$  energie částic musí klesat  $\Rightarrow$

- můžeme slučovat lehká jádra do jader těžších (ale ne moc těžších než je jádro  $^{56}_{26}\text{Fe}$ ),
- můžeme rozbít těžká jádra (těžší než  $^{56}_{26}\text{Fe}$ ) na jádra lehčí.

Po svém vzniku obsahoval vesmír z velké většiny vodík a téměř žádná jádra větší než  $^7_3\text{Li}$   $\Rightarrow$  těžší jádra vznikají slučováním lehčích ve hvězdách.

**Př. 9:** Jaký důsledek má slučování jader ve hvězdě? K jak velkým jádrům může hvězda slučováním dojít?

Slučováním jader vzniká obrovské množství energie  $\Rightarrow$  hvězda září.

Vznik prvků za železem spotřebovává energii  $\Rightarrow$  "hasí" hvězdu  $\Rightarrow$  hvězda vyrábí jádra lehčí než železo.

Prvků těžších než železo vzniká jen málo a většinou pouze při extrémních událostech jako jsou výbuchy supernov (kdy se také z hvězdy dostávají do okolního prostoru).

---

**Shrnutí:** Ačkoliv se protony v jádrech odpuzují neuvěřitelnou elektrickou silou, drží jádra pohromadě ještě silnější jaderná síla.