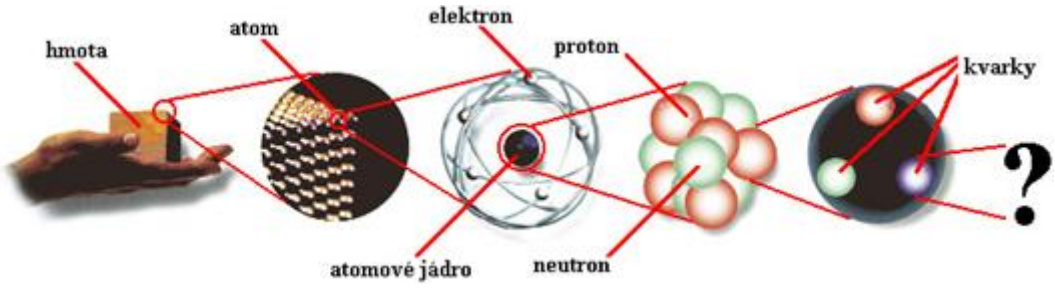
Vazebná energie a energie reakce

Doposud jsme zjistili, že molekuly se skládají z atomů, atomy z jader a elektronů, jádra z protonů a neutronů a protony a neutrony z kvarků (viz schématicky obr. 9). Přitom jsme běžně používali výraz „skládá se“ tak, jak jej známe (a chápeme) z běžného života. Tento pojem je třeba ale ve fyzice přesně definovat.



Obr. 9

V praxi používáme běžně obraty „dům je složen z cihel“, „třída je složena ze žáků“, „věta je složena ze slov“, ... Ale i zde je třeba dávat pozor na přesné vymezení daného pojmu: je rozdíl mezi volně ležící cihlou na zemi a cihlou ve zdi domu, žák jako jednotlivec se chová jinak než ve třídě, slovo nabývá svého konkrétního významu až v příslušné větě, ...

Z praxe rovněž víme, že např. dům je možno postavit z cihel a opět rozebrat, ale musíme dodat jistou energii resp. vykonat určitou práci.

Jádro a elektrony jsou vázány přitažlivými elektrickými silami, nukleony jsou v jádře vázány jadernými silami. U každého systému pak můžeme hovořit o tzv. vazebné energii E_v:

VAZEBNÁ ENERGIE E_v DANÉ SOUSTAVY JE ROVNA PRÁCI, KTEROU JE NUTNÉ VYKONAT K ROZLOŽENÍ SOUSTAVY NA JEJÍ JEDNOTLIVÉ ČÁSTI.

Jistou vazebnou energii má dům složený z cihel, ale i jádro složené z nukleonů, ...

Podle Einsteinova vztahu $\Delta E = mc^2$ však každé změně energie ΔE odpovídá změna hmotnosti Δm, přičemž *c* je velikost rychlosti světla ve vakuu. Dodáváme-li tedy soustavě energii, zvětšujeme zároveň i její hmotnost a naopak. Mohou nastat dva případy:

1. $E_v > 0$ - soustava je stabilní a k tomu, abychom jí rozložili na jednotlivé části („stavební kameny“) je nutno vykonat kladnou práci, tj. dodat energii. Po rozložení soustavy je součet klidových hmotností všech částí větší než původní klidová hmotnost soustavy. V případě, že chceme soustavu z částí opět složit v jeden celek, klesne její klidová hmotnost a uvolní se při tom energie.

Dům, molekula, atom, ...

2. $E_v < 0$ - soustava je nestabilní, při jejím rozpadu na části se energie uvolňuje. Součet klidových hmotností jednotlivých částí je menší než původní klidová hmotnost soustavy. Pokusíme-li se soustavu z těchto částí složit dohromady, musíme vykonat kladnou práci, tj. dodat energii.

Radioaktivní nuklidy, ...

V atomové a jaderné fyzice se udává energie většinou v *elektronvoltech*. Jedná se o vedlejší jednotku soustavy SI pro energii. Energii 1 eV získá částice s elementárním nábojem *e* urychlená napětím $1\,\mathrm{V}$, tedy $1\,\mathrm{eV} = 1{,}602.10^{-19}\,\mathrm{J}$.

Atomoví a jaderní fyzikové velmi často používají jednotky elektronvolty a jejich násobky i k vyjádření hmotnosti částic. Z fyzikálního pohledu je to velmi nestandardní a chybné, nicméně pro

snazší orientaci v problematice je to jistě přehlednější (odpadají nepřesnosti a zdlouhavé čtení resp. zapisování hmotností částic pomocí mocnin deseti, ...). Ve skutečnosti vlastně mluví o klidové hmotnosti dané částice.

Klidová hmotnost např. elektronu je $m_e \doteq 9{,}1.10^{-31}\,\mathrm{kg}$. S využitím Einsteinova vztahu mezi hmotností a energií lze psát: $E_0 = m_e c^2 \doteq 9{,}1.10^{-31}.\left(3.10^8\right)^2\,\mathrm{J} = 81{,}9.10^{-15}\,\mathrm{J} \doteq 0{,}511.10^6\,\mathrm{eV} \doteq 0{,}5\,\mathrm{MeV}$.

Pokud tedy jaderný fyzik řekne: „Hmotnost elektronu je 0,5 MeV!“ má tím na mysli, že „Klidová energie elektronu je 0,5 MeV!“

Úbytek klidové hmotnosti soustavy odpovídající vazebné energii se nazývá **hmotnostní úbytek** (hmotnostní schodek, hmotnostní deficit) *B*. Je-li soustava tvořena částicemi o klidových hmotnostech $m_1, m_2, \ldots, m_n$ a má-li jako celek klidovou hmotnost *m*, pak platí: $E_v = Bc^2$, kde $B = \sum_{i=1}^{n} m_i - m$.

Celková klidová hmotnost soustavy je tedy podle speciální teorie relativity rovna součtu klidových hmotností částí soustavy zmenšenému o hmotnostní úbytek. Uvolněná energie odpovídající hmotnostnímu úbytku se mění na kinetickou energii rozlétávajících se částí a na energii elektromagnetického pole.

Hmotnostní úbytek při chemických reakcích je neměřitelně malý. Vazebná energie atomů v molekulách jsou řádově jednotky elektronvoltů, čemuž odpovídá hmotnostní úbytek $B = \frac{1{,}6.10^{-19}}{9.10^{16}}\,\mathrm{kg} \doteq 1{,}8.10^{-36}\,\mathrm{kg}$.

Např. při spálení jednoho kilogramu uhlíku se uvolní energie asi $3{,}2.10^7\,\mathrm{J}$ odpovídající hmotnostnímu úbytku $3{,}6.10^{-10}\,\mathrm{kg}$, což je vážením nezjistitelné.

Energetickou bilanci reakce (chemické reakce nebo jaderné reakce) charakterizuje **energie reakce** E_r.

ENERGIE REAKCE E_r JE ENERGIE, KTEROU Z DANÉ REAKCE ZÍSKÁME, ZMENŠENÁ O ENERGII, KTEROU BYLO NUTNÉ DO REAKCE DODAT, ABY REAKCE VŮBEC PROBĚHLA.

Nastávají tyto případy:

1. $E_r > 0$ - energie se při reakci uvolňuje a jedná se o **exoenergetickou reakci**
2. $E_r < 0$ - energie se při reakci spotřebovává a jde o **endoenergetickou reakci**

Probíhá-li reakce opačným směrem, mění energie reakce znaménko.

Vstupuje-li do reakce *n* částic s klidovými hmotnostmi $m_1, m_2, \ldots, m_n$ a z reakce vystupuje *p* částic s klidovými hmotnostmi $m_1', m_2', \ldots, m_p'$, lze energii reakce psát ve tvaru: $E_r = \left(\sum_{i=1}^{n} m_i - \sum_{i=1}^{p} m_i'\right) c^2$.

Vazebná energie nukleonů v jádře je na rozdíl od vazebné energie atomů v molekulách řádově 10^6 krát větší a udává se tedy v megaelektronech.

Atomové hmotností konstantě m_u pak odpovídá energie $m_u c^2 = 931{,}50\,\mathrm{MeV}$. Vazebné energie připadající v jádře na jeden nukleon se pohybují v intervalu $\langle 7; 9\rangle\,\mathrm{MeV}$ a představují tak zhruba jedno procento klidové energie nukleonů. Proto je možné uvolnění jaderné energie již poměrně dobře měřit pomocí hmotnostního úbytku.

Hmotností úbytek zde není na rozdíl od chemických reakcí zanedbatelný.

© 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.