

Štěpení a slučování jader

a/ Jaderná energie štěpením : při přeměně nejtěžšího přirozeného prvku uranu s nukleonovým číslem $A = 235$ na dva fragmenty s nukleonovými čísly kolem 115 v reakci /5.114/ uvolní se podle /5.123/ a obr. 5.30 energie přibližně

$$Q = (2,115 \cdot 8,7 - 235 \cdot 7,6) \text{ MeV} = 215 \text{ MeV}.$$

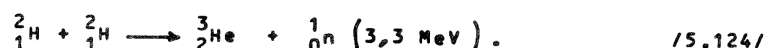
Tato energie se z velké části projeví v kinetické energii fragmentů a asi jen 20 % připadá na energii vyzařovaných neutronů, záření β , γ a neutrín. Důležité je, že se při této štěpné reakci rovněž uvolňují neutrony, které mohou vyvolat štěpení dalších jader, takže může dojít k řetězové reakci. Avšak každý z nově vzniklých neutronů nemusí způsobit štěpení těžkého jádra, protože tato reakce je přirozeně proces náhodný, jemuž přísluší jistá pravděpodobnost, že k němu dojde.

Neutrony uvolněné štěpením mají energii řádu 2 MeV a jsou tedy rychlé. Tyto rychlé neutrony snadno zachycuje nejhojněji zastoupený izotop uranu 238, čímž se dostává do vzbuzeného stavu, z něhož do základního stavu přechází obvykle pouhou emisí záření γ . Je proto nutné neutrony uvolňované při štěpení co nejrychleji zpomalit. Při výpočtu pomocí vzorců /5.111/ a /5.112/ jsme uvedli, že srážkami rychlých neutronů se stejně těžkými protony se neutrony zpomalí na pomalé termické neutrony. Látka zpomalující rychlost neutronů, aniž by je znatelně pohlcovала, nazývá se moderátor. Nejvhodnějšími moderátory jsou těžká voda, jejíž molekuly obsahují atomy těžkého vodíku /deutéria ${}^2_1\text{H}$ / místo obyčejných vodíkových atomů a uhlík /grafit/.

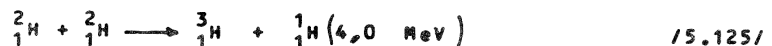
b/ Termojaderná energie : Tak se nazývá energie vznikající využitím druhé možnosti uvolňování jaderné energie - jadernou syntézou. Např. sloučením dvou jader deuteria, z nichž každé má vazební energii $W_{b,d} = 2,22 \text{ MeV}$ v jádro hélia s vazební energií $W_{b,\alpha} = 28,32 \text{ MeV}$, uvolní se energie

$$Q = (28,32 - 2 \cdot 2,22) \text{ MeV} = 23,9 \text{ MeV}.$$

Taková reakce však nemůže proběhnout, protože při interakci dvou částic musí vzniknout zase dvě částice k zachování hybnosti. Reálná je reakce



Další slibné skladebné reakce v pozemských podmínkách jsou např.



Z ekonomického hlediska je třeba se základní pokládat reakce /5.124/ a /5.125/ mezi deuterony, protože těžký vodík máme k dispozici v prakticky nevyčerpatelných množstvích. Na každých 4700 molekul H_2O připadá totiž v obyčejné vodě 1 molekula D_2O těžké vody a výrobní metody jsou již tak dalece vyvinuty, že je možno opatřit prakticky neomezené množství deuteria. Vážnou potíží při realizaci řízené termojaderné reakce zůstává stále ještě elektrostatické odpuzování jader deuteria. Podle /5.86/ je potenciální energie deuteronu ($Z=1$) ve vzdálenosti $R \approx 2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ od druhého deuteronu $W_{\text{pot}} = q_0 e = e^2 / 4\pi \epsilon_0 R = 0,72 \text{ MeV} = 1,15 \cdot 10^{-13} \text{ J}$. Při tepelném molekulárním pohybu musí být tedy každý ze dvou deuteronů kinetickou energií /označme ji \bar{u} / větší než je polovina uvedené hodnoty, tedy aspoň $0,35 \text{ MeV} = 5,75 \cdot 10^{-14} \text{ J}$, aby se dostaly k sobě na tak malou vzdálenost, v níž zaberou přitažlivé jaderné síly. Tato energii odpovídá obrovská teplota

$T = \frac{2}{3} \frac{\bar{u}}{k} \approx 3 \cdot 10^9 \text{K}$ / k je Boltzmannova konstanta/. Při syntéze jader může se však uplatnit i tunelový efekt /obráceně než při rozpadu α / a příslušná skladbná reakce může ve značném rozsahu proběhnout již při teplotách řádově 10^7K . Pro tyto vysoké teploty se jaderná syntéza nazývá termojaderná. Aby uvolňovanou energii bylo možno prakticky využít, je třeba termojadernou reakci řídit, což zatím nebylo technicky zvládnuto.