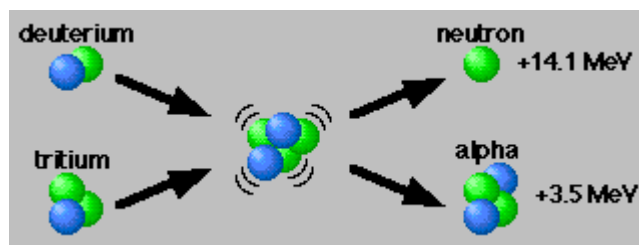


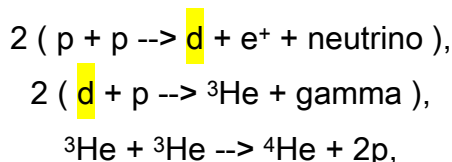
## Termojadernerne reakce na Slunci a hvězdách

Společným principem uvolňování energie ve Slunci, hvězdách, ve vodíkové bombě i v termojaderném reaktoru je slučování jader lehkých prvků na těžší jadra. Jadra, která se spojují, mají v sumě větší hmotnost než sumární hmotnost výsledného jádra a dalších vznikajících částic. Tento rozdíl v hmotnosti je podle známého Einsteinova vzorce  $E = mc^2$  ekvivalentní energii, která se při této reakci uvolní ve formě kinetické energie vzniklého jádra či dalších vzniklých částic (elektronu, pozitronu, fotonu). Na obrázku je jako příklad takové slučovací reakce uvedeno sloučení jádra těžkého vodíku (deuteria) s jádrem supertěžkého vodíku (tritia) na jádro helia a volný neutron, unášející převážnou část energie.



Spojení jader brání odpuzivé elektrické síly jejich kladných nábojů. Aby se jadra sloučila musí se vůči sobě pohybovat velkou rychlostí, která jim umožní přiblížit se přes odpuzivé síly na velice malou vzdálenost, na níž již převládají přitahivé jaderné síly. Tak velkou rychlost a tudíž i energii mohou jadra získat v urychlovací částici. Existuje však i druhá možnost jak "rozhybat" jadra. Víme přece, že se vzrůstající teplotou roste i rychlost neusporádaného pohybu částic hmoty. Energii potřebné ke sloučení jader odpovídají teploty mnoha miliard stupňů. Ukazuje se však, že díky tak zvanému rychlostnímu rozložení částic postávají teploty "jen" několika desítek či set milionů stupňů. Takové teploty jsou dosahovány v centrálních oblastech hvězd a tedy i našeho Slunce. A protože ke slučovacím reakcím dochází působením tepla, mluvíme v takovém případě o termojaderných reakcích.

Pro objasnění záření našeho Slunce i ostatních hvězd předložili v roce 1938 H. A. Bethe a K. F. von Weizsäcker dva cyklické jaderné procesy, které se nazývají *proton - protonový* a *uhlíko - dusíkový*. Schema prvního cyklu může být představeno následujícím retezcem reakcí:



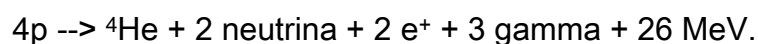
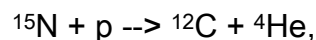
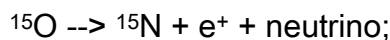
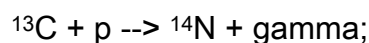
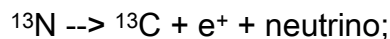
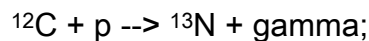
ktery sumarne vede k pretvoreni protonu v jadro helia s vydelenim velkeho mnozstvi energie:



Kde  $p$  znaci proton,  $e^+$  pozitron a  $d$  znaci deutron (jadro tezkého vodiku). Energie 1 MeV je rovna  $1,6 \cdot 10^{-13}$  Joulu.

S nejmensi pravdepodobnosti probiha prva reakce a je tedy z uvedených tri reakci nejpomalejsi s polocasem  $T = 1,4 \cdot 10^{10}$ . Presto, ze se v jedne reakci uvolnuje velke mnozstvi energie, je merna uvolnena energie velice mala, pouze 0,2 mJ na kg za sekundu, coz je mensi nez merna energie uvolnovana lidskym organizmem. Avsak díky kolosalni hmotnosti Slunce, jez je rovna  $2 \cdot 10^{30}$  kg, vyzaruje Slunce obrovske mnozstvi energie, ktere je ekvivalentni ztrate hmotnosti rovne 4,3 milionu tun za sekundu.

Uhlikovo-dusikovy cyklus probiha v retezci sestí jaderných reakci, v nichz jadro uhliku je katalizátorem:



Vysledek obou cyklu je v podstate totozny, ale uhliko-dusikovy cyklus ma podstatne mensi charakteristicky polocas  $T = 3 \cdot 10^8$  let, ktery je urcen pravdepodobnosti ctvrté reakce cyklu.

Ktery z uvedených retezcu ve hvezde prevlada, zavisi na její hmotnosti. Pri hmotnosti mensi nez 1,7 hmotnosti naseho Slunce, a tedy i v naseh Slunci, je hlavnim proton - protonovy retezec. Potvrzeni o tom, ze zdrojem naseho Slunce jsou uvedene termojaderne reakce by mel byt tok vznikajících neutrin. Ten se vsak pri dosavadnich experimentalnich moznostech nepodarilo prokazat.

V dalsim vyvoji hvezdy pri jejím smrštovaní, a tím i vzrustající centralni teplotě, se postupne uplatnuji dalsi termojaderne reakce jako je slucovani tri jader helia na jadro uhliku nebo ctyr jader helia na jadro kysliku, dale slucovani jadra kysliku s jadrem helia na neon. Slucovanim

jader uhlíku vzniká sodík nebo horčík nebo neon, sloučením jader kyslíku jádra kremíku, fosforu nebo síry atd. Celá posloupnost termojaderných reakcí vede postupně ke vzniku stabilních jader až po jádra skupiny železa.

Kromě uvedených reakcí existují i další reakce vodíku či jeho izotopů deuteria a tritia (viz příklad uvedený výše na obrázku), které přicházejí do úvahy k energetickému využití v pozemských podmínkách v tak zvaných termojaderných reaktorech nebo ve vodíkové bombě.