

Termonukleárna fúzia a integrácia plazmy v mikrovlnnej rúre

F. Osuský

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

osusky@gmail.com

Abstrakt

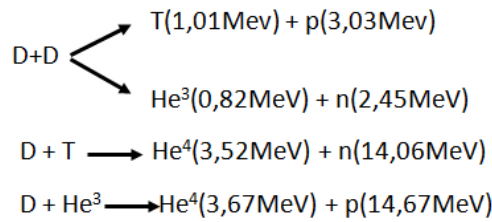
V tejto práci sa zaoberám princípom fúzie, jej technikou, históriou fúzie a potom integráciou plazmy v mikrovlnnej rúre, ktorá sa podobá výboju guľového blesku. Presnejšie sa jedná o emitovanie elektrónov na valenčných vrstvách vzduchu, pri tom môže dôjsť aj k rozbíjaniu prítomných molekúl, čo je trochu nebezpečné, lebo dotýčny plyn môže byť toxický.

1 Úvod

Aby bol človek schopný nájsť si iba za pomoci prírody potravu, loviť, skrývať sa pred predátormi, rozmnožovať sa, bývať a tak ďalej, by potreboval na prežitie okolo 12 km², čo je pri dnešnej populácii nemožné. Preto musíme mať na výrobu potravín a aj rôznych výrobkov k prežitiu, napr. oblečenia, rozličné energetické zdroje, lebo bez nich by bolo ich vyrábanie nielen nákladné finančne, ale aj priestorovo. Jedná sa napr. o fosilne palivá, tepelné elektrárne, jadrové elektrárne, rozličné alternatívne a obnoviteľné zdroje, ako napríklad solárne elektrárne, slnečné elektrárne, veterné, vodné, geotermálne a nové náhradné zdroje, ako je termonukleárna fúzia. Je známe, že zásoba fosílnych palív nám vystačí približne ešte na 50 rokov, čo by malo katastrofálne následky na ľudstvo, keby sme nemali iný silný zdroj energie. Môže sa jednať o jadrové elektrárne, tu síce nie je problém ako u tepelných elektrární s čistým vzduchom, ale s vyhoreným rádioaktívnym palivom, takže to tiež nebude dlhodobé riešenie a práve preto sa v poslednej dobe intenzívne pracuje na projekte, týkajúcom sa získavania energie pomocou termonukleárnej fúzie, ktorá je nielen ekologicky nezávadná, ale je aj veľmi silným energetickým zdrojom. Exponenciálny rast spotreby elektriny dosiahne za 40 rokov dvojnásobok a keď to bude naďalej takto pokračovať, v roku 2600 bude na zemi hlava na hlave a spotrebovaná elektrická energia roztaví Zem do červena.

2 Princíp termonukleárnej fúzie

V prírode sa stretáme s termonukleárnou fúziou v jadrách hviezd. Jedná sa teda o syntézu dvoch ľahších jadier za vzniku ťažšieho jadra a uvoľnení veľkého množstva energie. V Slnku prebieha viacero fúzných reakcií (obr.1). Fúzia bude syntetizovať čím ďalej ťažšie prvky, až sa nakoniec hviezda zrúti. Hviezdy veľkosti nášho Slnka zanikajú výbuchom super novy, pri osem násobku veľkosti Slnka sa môžu zrútiť do čiernej diery. V jadre Slnka prebieha fúzia pri teplote 10 000 000 stupňov Celzia a pri obrovskom tlaku, ktorý na Zemi nemôžeme vyvinúť. Preto budeme musieť vyvinúť najväčšiu teplotu akú sme vo vesmíre mohli pozorovať, teda 5,6 až 5,8 x 10⁸ Kelvina. To by sa mohlo zdať na prvý pohľad ako veľký problém, keďže nemáme materiál, ktorý by bol schopný vydržať takú extrémnu teplotu. V roku 1968 vynašli Rusi Tokamak (komplex supravodivých cievok), ktorý vďaka magnetickým vlastnostiam plazmy, vie udržať plazmu od stien reaktora. Pre nás bude najvýhodnejšia deutériu-tríciová (D-T) reakcia, lebo z dotýčných reakcií má najväčší účinný prierez zrážok. Počas toho sa musia deutérium a trícium priblížiť na vzdialenosť menšiu ako 10⁻¹⁵ m, prekonať takzvanú Coulombovskú bariéru. Vďaka vysokej teplote a pohybu prvkov po magnetických indukčných čiarach by to nemal byť problém uskutočniť. Deutérium budeme získavať z ťažkej vody, jednému litru zodpovedá 1/30 g deutéria (na 1 m³ vody to je približne 30–35 g deutéria). Na Zemi nemáme veľké zásoby trícia, preto budeme musieť vyrábať trícium priamo v reaktore štiepením z lítia. Zásoby lítia by nám mali vydržať na 25 000 rokov, takže by sa jednalo o takmer nevyčerpatelný zdroj energie.



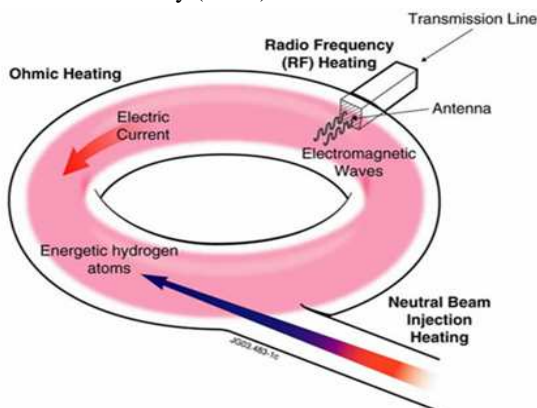
obr.1 – Reakcie na Slnku

3 História

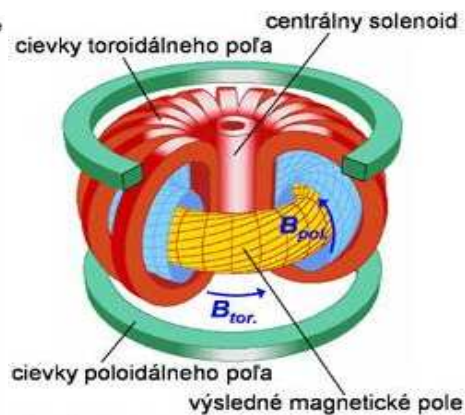
Prvý krát bola fúzia predpovedaná v roku 1929 za pomoci ľahkých jadier a vzniku „nejakej“ energie. Na to bola v roku 1934 vyintegrovaná prvá plazma v americkom urýchl'ovači. Keďže sa plazma v urýchl'ovačoch veľmi rýchlo ochladzovala, zanikol predpoklad využitia urýchl'ovačov ako fúzných reaktorov. V roku 1954 zostrojili Američania prvú vodíkovú bombu. Funguje na báze symetrických laserov, ktoré zväčšia niekoľko násobne tlak na zmrazenú kapsľu zmesi deutéria a trícia, čím začne prebiehať fúzna reakcia a nastane výbuch. Tento výskum bol onedlho zastavený kvôli nedodržiavaniu bezpečnostných noriem. V päťdesiatych rokoch bol Igorom Jevgenevičom vynájdený Tokamak. Ide o toroidnú komoru v magnetických cievkach, ktorá má za úlohu udržiavať plazmu od stien reaktora. Rusi ďalej pokračovali vo výskume, ale nepokúšali sa využiť fúziu ako komerčný energetický zdroj, lebo vtedy nebol za potreby. J. D. Lawson sformuloval roku 1955 kritérium, aby si plazma udržiavala sama teplotu. Toto kritérium závisí na hustote (n) a teplote (T) plazmy a na čase (τ), ktorý je podielom celkovej energie plazmy k rýchlosti jej straty energie ($nT\tau > 5 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ keVs}^{-1}$). V roku 1978 sa začal v Británii stavať projekt JET a v roku 1983 prebehol prvý experiment. JET sa najviac priblížil k lawsonovmu kritériu ($nT\tau = 1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ keVs}^{-1}$). JET sa stal aj skúšobným reaktorom pre projekt ITER a bol prestavaný na deutério-tríciový reaktor. Projekt ITER, ktorý sa stavia v Caradache, v južnom Francúzku, má vyintegrovať plazmu v roku 2017.

4 Technika termonukleárnej fúzie

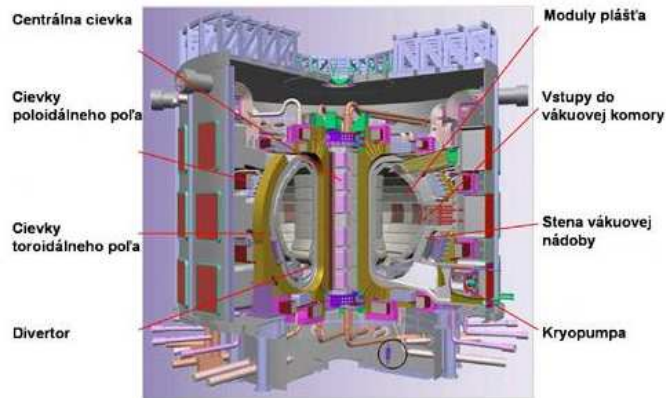
Centrálny solenoid Tokamaku tvorí primárnu cievku transformátora a plazma sa chová ako sekundárne vinutie. Transformátor v nej indukuje prúd 15 MA, ktorý pri prechode externe ohrieva plazmu. Externe sa môže ešte plazma ohrievať elektromagnetickými vlnami a tokmi neutrálnych častíc (obr.2). Z toho vyplýva, že stačí sa len priblížiť k Lawsonovmu kritériu a nemusíme ho nutne dosiahnuť. Cievky poloidálneho poľa stáčajú plazmu vo vertikálnom smere a cievky toroidálneho poľa (generujúce pole 6 Tesla) v horizontálnom smere. Tým získava plazma charakteristický vretenovitý tvar (obr.3). Toto je veľmi zidealizované. V skutočnosti vznikajú fluktuácie a turbulencie v plazme, ktoré poškodzujú reaktor. Na povrchu sa nachádzajú chladiace berýliové moduly plášťa a pod nimi je oceľová stena, ktorá má za úlohu absorbovať žiarenie a chrániť supravodivé cievky. Plazma je od stien oddelená vákuom, ktoré zabezpečujú kryopumpy. Pri deutério-tríciovej reakcii vzniká čisté hélium s nábojom 3,52 MeV a neutrón s nábojom 14,06 MeV. Z toho si môžeme všimnúť, že hlavným energetickým nosičom je neutrón, a keďže nemá žiaden náboj, tak naňho nepôsobí magnetické pole Tokamaku. Neutróny v stenách ohrievajú vodu do parogenerátoru. Pri spaľovaní hélia tam vzniká odpad, ktorý majú za úlohu odstrániť divertory (obr.4).



obr.2 – Externý ohrev plazmy



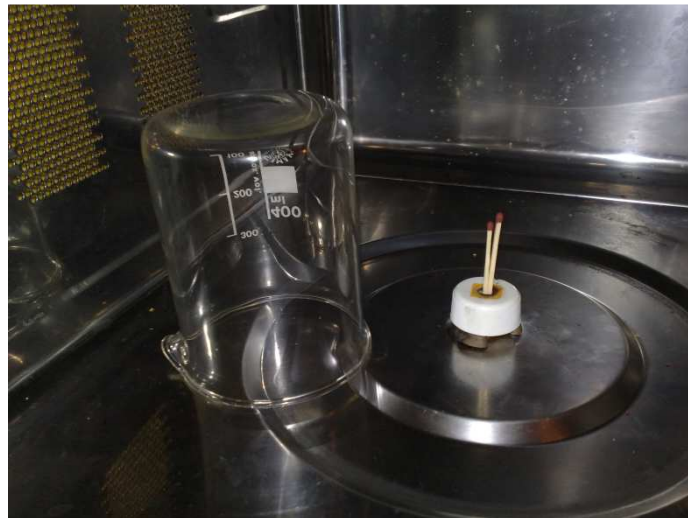
obr.3 – Tokamak



obr.4 – Reaktor

5 Integrácia plazmy v mikrovlnnej rúre

Jedná sa o jednoduchý pokus, ktorý si môžete vyskúšať aj doma, ale chcel by som vás upozorniť, že je aj nebezpečný. Potrebujete k tomu: mikrovlnnú rúru, zápalky (respektíve sviečku), ochrannú nádobu a stojan, kam umiestnite zápalky (obr.5).



obr.5 – Pomôcky

Keď pustíme mikrovlnnú rúru naprázdno, tak nám plazma nevznikne. Preto tam potrebujeme umiestniť nejaký exotermický zdroj energie (v našom prípade zapálené zápalky), aby sme vynútili emitáciu elektrónov plynu na valenčných vrstvách s následným výbojom. Elektróny začnú kmitať v smere siločiar, môžu sa aj odtrhnúť od atómov plynu, čo sa prejaví ako svetlo, najprv bude žlté a postupne, ako sa bude plazma zahrievať, bude prechádzať cez modrú až do bielej farby. Keby vám to nešlo hneď (ako mne), tak to musíte skúšať dovtedy, kým sa nenahreje magnetron mikrovlnnej rúry. Chcel by som vás zároveň upozorniť k opatrnosti pri realizácii tohto pokusu. Musíme si uvedomiť, že plazma nemá problém roztaviť dotýčnú nádobu a následne poškodiť mikrovlnnú rúru. Ešte sa pri tom uistite, že ste v dostatočne veľkej alebo dobre vetranej miestnosti, lebo výpary z mikrovlnnej rúry môžu byť toxické, keďže plazma narúša väzby medzi molekulami vzduchu.

V nasledujúcich odkazoch si môžete pozrieť videá s integráciou plazmy:

<http://www.facebook.com/editapps.php#/video/video.php?v=57226508648>

<http://www.youtube.com/watch?v=A7RFyh5ABcQ>

6 Záver

Ako som napísal v úvode, fosílna palivá nám vydržia asi 50 rokov, keď budeme brať ohľad na uhlíkovú chémiu, ktorá ich nutne potrebuje. Bolo by nerozumné nimi plytvať, keď môžeme vytvoriť nový, takmer nevyčerpatelný zdroj energie, ktorý je oproti iným našim hlavným zdrojom energie, ekologicky šetrným.

Pod'akovanie

Chcel by som sa poďakovať mojej mame, ktorá mi pomohla s odborným prekladom z ruštiny.

Referencie

- [1] S. Hawking, *Vesmír v kostce*, Argo, Praha, 2002, str. 216
- [2] Прохоров, А. М., *Советский энциклопедический словарь*, Советская энциклопедия, Москва, 1984, 1600с
- [3] *ITER COUNCIL PROCEEDINGS 2001*, IAEA, Viedeň, 2001, str. 170
- [4] V. Slugeň, *Využitie fúzných reaktorov v energetike* (prednáška)