

Termonukleární fúze

Autoři: Matěj Oliva, Valerij Šlovikov, Matouš Verner

Datum: 2015-03-26

Místo: Temešvár

Jarní škola mladých autorů

E-mail: Matej.Oliva@gybot.cz, valera15@seznam.cz,

verner.m.cz@gmail.com



Abstract

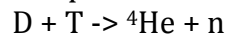
Energy for everyone? All sources are resorting. States are not warring for areas anymore. New war can come. War for energy. Thermonuclear fusion (further TNF) is project, which can save our planet before destruction. By TNF we can get such more energy than ever before.

Obsah

Termonukleární fúze.....	1
Úvod.....	3
Rešerše	3
Princip termonukleární fúze.....	3
Pohyb nabitých částic v homogenním elektrickém a magnetickém poli	3
Magnetické a Inerciální udržení.....	3
Inerciální udržení.....	3
Magnetické udržení.....	4
Jaderné technologie.....	5
Závěr.....	5
Seznam literatury	5

Úvod

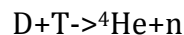
Termonukleární fúze je děj, při kterém využíváme opačného jevu štěpení jader těžkých prvků, čili slučujeme jádra prvků lehkých. Klidová hmotnost nukleonu¹² nese informaci o potenciální energii. Při přeměně z potenciální na kinetickou energii pomáhá přitažlivá jaderná síla. Jak při fúzní, tak při štěpné reakci nukleony padají z úbočí křivky vyjadřující závislost průměrné hmotnosti nukleonu na celkovém počtu nukleonů do míst s menší průměrnou klidovou hmotností. Slučování lehkých jader je mnohem účinnější, než štěpení těžkých. Na Zemi tento jev samovolně neprobíhá.



Rešerše

Princip termonukleární fúze

Aby došlo ke sloučení jader a aby začala působit jaderná přitažlivá síla, je třeba je přiblížit na vzdálenost 10^{-14} metrů a předtím překonat elektrostatickou odpudivou sílu souhlasně nabitých jader. Je tedy nutné jádra srážet dostatečnou rychlostí urychlovačem částic nebo zahřátím na zápalnou teplotu.



Hmota zahřátá na zápalnou teplotu se nachází v ionizovaném stavu (plazma).

Pohyb nabitých částic v homogenním elektrickém a magnetickém poli

Elektricky nabitá částice v elektrickém poli je urychlována ve směru či proti směru elektrických siločar. Kladný iont je urychlován od anody ke katodě a elektron od katody k anodě.

V magnetickém poli bez působení vnějších sil se nabitá částice pohybuje podél magnetických siločar volně. Ve směru kolmém na směr magnetických siločar se pohybuje po kružnici, jejíž poloměr je nepřímo úměrný intenzitě magnetického pole. Elektrony se pohybují opačným směrem než kladně nabité ionty a poloměr „jejich“ kružnice je menší než u hmotnějších iontů.

Magnetické a Inerciální udržení

Pokud chceme vyprodukovat více energie, než dodáme, máme na výběr. Buď budeme mít velkou hustotu plazmatu a krátkou dobu udržení (10^{-10} s) jeho energie nebo nižší hustotu plazmatu a dlouhou dobu jeho udržení (pár vteřin). První způsob je inerciální a druhý magnetické udržení.

Inerciální udržení

V Inerciálním udržení není horké plazma drženo žádným vnějším silovým polem a reakce musí proběhnout dřív, než se objem plazmatu rozletí do prostoru. V podstatě se jedná o menší výbuch vodíkové bomby. Aby byla uvolněná energie udržitelná, musí být energie relativně malá (340 MJ, tj. cca 75 kg TNT). Docílíme toho při slučování 1 mg paliva. Tudíž musíme směs ${}^2\text{H}$ a ${}^3\text{H}$ stlačit na hustotu 200 gcm^{-3} .

K tomu se používají kulové slupkové terče o průměru pár mm. Energie mířená na slupku je jí pohlcena, slupka se odpaří a expanduje do vakua. Opačným směrem postupuje tlaková vlna. Tato imploze má rychlost až několik tisíc km za sekundu.

Slupka předá kinetickou energii vnitřní energii paliva. To způsobí prudké zahřátí až na teplotu, při které probíhá fúze.

Problémem je extrémní požadavek na symetrii. Každá odchylka od kulové symetrie je při implozi ještě zesilována. Dnes lze dosáhnout dané hustoty 200 gcm^{-3} , ale vzrůst teploty nebude dostatečný.

Energie může být dodána do terče buď přímo z vnějšího impulzního zdroje energie, nebo jako energie měkkého RTG záření, na kterou je energie vnějšího zdroje přeměněna v materiálu o vysokém atomovém čísle. Při přímo zapalované fúzi je lepší účinnost přeměny energie vnějšího zdroje na kinetickou energii implodující slupky. Výhodou nepřímou zapalované fúze jsou mnohem menší požadavky na kvalitu vnějšího zdroje energie, čehož se dá využít pro vojenské účely.

Nejsilnějším zdrojem energie dostupným v laboratoři je laser. Nejpoužívanějším laserem je laser neodymový s frekvencí $0,351 \mu\text{m}$ (blízká ultrafialová oblast). V tuto chvíli se tedy nejintenzivněji pracuje na vyvinutí laserů k zapalování paliv. Hledá se nejlevnější stavba účinných laserů.

Magnetické udržení

V tomto případě se pracuje s vnějším magnetickým polem. Pohyb částic je ovlivňován tímto polem napříč siločarami. Dráha nabitých částic se zakřivuje, až kolem směru siločar magnetického pole opíše kružnici. Částice ve směru kolmém na směr magnetických siločar jsou lépe drženy magnetickým polem, čím je méně srážek a čím je pole silnější. Ve směru podél magnetických siločar není pohyb nabitých částic homogenním magnetickým polem nijak ovlivňován. K udržení částic v magnetickém poli je třeba nádoby ve tvaru hrnce. Ten je buď otevřený, nebo uzavřený.

Otevřené nádoby úniku částic brání zvýšením intenzity magnetického pole, což vytváří princip magnetického zrcadla, kdy nabitá částice se od magnetických zhuštěných siločar odráží zpět ke středu nádoby. Avšak některé částice jsou natolik rychlé, že je ani toto zrcadlo nezadrží a částice unikají.

Uzavřené nádoby by měly udržet veškeré částice díky siločarám neopouštějících nádobu. Kvůli nehomogenitě magnetického pole a odstředivé síle však dochází k driftu nabitých částic a tím i k úniku plazmatu v radiálním směru na stěnu komory. To je řešeno šroubovicovým polem, které je součtem toroidálního pole vnějších cívek a poloidálního pole proudu plazmatem. Nabitá částice se v tomto „střížném“ poli pohybují tak, že se výše řečený drift eliminuje. Uzavřenou nádobou mohou být **Tokamaky, Stelarátory** nebo **Toroidální pinče**.

Tokamak

Tokamak (toroidální komora magnetické cívky) vytváří toroidální magnetické pole. To je pole, které je vytvářeno cívkami omotanými kolem prstence tokamaku. Principem udržení plazmatu je, že se nabitá částice nedotýkají prstencovitého obalu tokamaku a putují po siločarách vytvořených magnetickým polem. Současně se zahřívá, díky toku elektrického proudu (což je také známo jako Jouleův jev) plazmatem. Tato teplota však nestačí, tudíž se plazma ještě zahřívá mikrovlnným zářením nebo proudem vysokoenergetických neutronů.

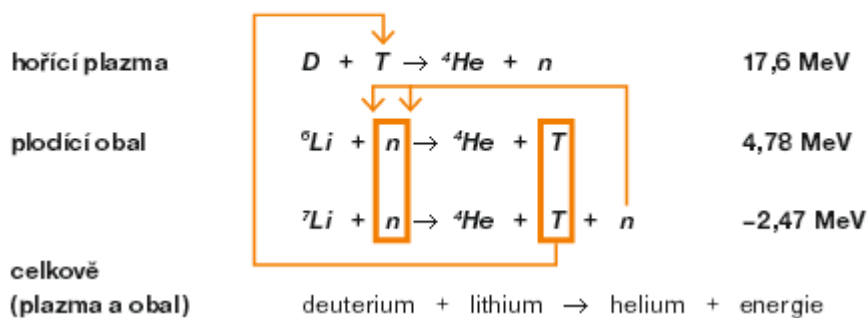
První tokamak byl vytvořen v 50. letech 20. století v SSSR. V České republice jsou celkem dva tokamaky. Golem pochází z Ruska a nachází se na fakultě ČVUT a Compass z Anglie, jež se používá k výzkumu termojaderné fúze. Velké naděje se vkládají do evropského projektu ITER.

Stelarátor

Jedná se o předchůdce Tokamaku. Liší se tvarem, udržujícím plazma ryze magnetickým polem (nikoli siločarami). Kvůli složitosti tvaru se zprvu projekt zastavil, ale Tokamaku začal vykazovat mnoho problémů a nedostatků, a tak se výzkum opět vrací ke stelarátorům.

Jaderné technologie

Na rozdíl od štěpných reaktorů musí budoucí fúzní reaktor počítat s odvodem mnohem větší plošné hustoty tepelného výkonu. Dále může fúzní reaktor chladit pouze jeho stěny. Tudíž se musí vytvořit materiál odolný extra vysokým teplotám. Takto by měl vypadat deuterio-lithiový cyklus:



Obrázek 1: deuterio-lithiový cyklus

V první řadě se bude zpracovávat ${}^2\text{H}$ a ${}^3\text{H}$ jako palivo. Deuterium lze získat snadno extrakcí z vody a tritium se tvoří přímo v reaktoru reakcí neutronů s lithiem (viz výše). Pro plodící obal (obklopující vrstva stěny vakuového prostoru) se zvažují různé slitiny, jako jsou oxidy lithia, berylium, slitiny olova s lithiem, karbidu křemíku a podobně. Dále jsou potřeba při fúzi na ohřev plazmatu generátory elektromagnetického vlnění k vyvolání Jouleova tepla.

ITER bude supravodivý Tokamak, tudíž za stěnou reaktoru bude teplota dosahující téměř absolutní nule, zatímco v reaktoru bude teplota dosahovat několika stovek milionů stupňů Celsia.

Dalším problémem je, že stěna reaktoru bude bombardována neutronovými toky tak intenzivními toky, že jejich účinky vědci zatím ještě neznají. Proto se projektuje zařízení IFMIF (International fusion material irradiation facility), které bude ony materiály testovat neutronovým zářením.

Na veškerých konstrukcích a komponentech ITERu se podílí celá Evropa.

Závěr

Termojaderná fúze je mnohem účinnější než jaderné štěpení. Dochází při ní ke slučování lehkých jader, která by se měla slučovat buď v tokamaku či ve stelarátoru. Na projektu pracuje celý svět, jedná se o nejaktuálnější otázku ohledně tématu energie. Prozatím nám sice chybí technologie, ale v několika desítkách let bychom mohli potřebné technologie vyvinout a získat dostatek energie pro celý svět.

Seznam literatury

1. M. Řípa, J. Mlynář, V. Weinzeitzl, F. Žáček, *Řízená termojaderná fúze pro každého*, ČEZ, https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/fuze_sceen.pdf