

# Plazma v mikrovlnnej rúre

M. Bernád, L. Jandík

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

[bernadmartin.mb@gmail.com](mailto:bernadmartin.mb@gmail.com)

## Abstrakt

Náš projekt bádateľa prevedie cestou človeka za jeho základnými potrebami až na hranicu ľudského chápania. Predstaví sa Vám zaujímavý projekt NASA, život hviezd a vznik plazmy alebo proces získavania „paliva“ z termojadrovej fúzie. Zablúdime k mikrovlnám a iónom, ale aj k tvorbe plazmy v obyčajne mikrovlnnej rúre.

## 1 Úvod

Príroda predstavuje úžasný komplex elementov a nespútanej krásy uväznenej na jednej malej planétke menom Zem. Práve tu sa zrodil človek – prevratné dielo a pýcha Vesmíru. Na rozdiel od zvierat, tento tvor už od nepamäti používa mozog ako svoju najsilnejšiu zbraň a hybnú silu v oblasti vedy, medicíny alebo techniky. Živý organizmus potrebuje na prežitie predovšetkým vodu, jedlo a vhodné klimatické podmienky. Ľudský mozog dokázal postupom času zhrnúť tieto základné potreby do menej triviálneho pojmu – energia. Dnes je pre nás slovo energetika kľúčovým pojmom. Získavame energiu z vody, vetra, Slnka, Zeme, živočíchov alebo rastlín. Neobmedzili sme sa len na vodné a uhoľné elektrárne, dnes nám nie sú cudzie ani pojmy ako energia jadra, častice alebo fotovoltaické články. Jadrové elektrárne produkujú zatiaľ najväčšie množstvo energie v našej histórii, ale aj nebezpečný rádioaktívny odpad. Práve opačným procesom získavania energie by mala byť jadrová fúzia, teda syntéza dvoch jadier izotopov vodíka, tak ako nám to ponúka naša hviezda. Tento pokrokový systém je ohľaduplný voči prírode, je humánný, bezpečný a poskytuje omnoho viac energie ako jadrový reaktor. V dnešnej dobe, kde dochádzajú neobnoviteľné zdroje energie, by bola termojadrová fúzia veľmi vítaná.

## 2 Inšpirácia projektu a proces jadrovej syntézy

Na stránkach medzinárodnej organizácie NASA sme sa dočítali o zaujímavom experimente fúznej rakety budúcnosti pomocou mikrovln a to naštartovalo naše bádanie. Otázka štiepenia jadier bola vyriešená v decembri 1942, keď Enrico Fermi úspešne spustil prvý jadrový reaktor. Náš tím zaujala dnes menej známa jadrová syntéza. Syntéza jadier je veľmi vedecko-technicky náročný, ale v prírode nevyhnutný proces. Všade vo vesmíre, a nakoniec i v našom Slnku tento dej neustále prebieha. Ide o syntézu dvoch ľahších jadier za

vzniku ťažšieho a dochádza k uvoľneniu veľkej energie. Konkrétne na Slnku sa zlučujú štyri atómy vodíka a vznikajú dva atómy hélia. Všeobecne tento dej prebieha vo všetkých hviezdach syntézou vodíka na hélium, ktoré je ťažké a padá pod vplyvom gravitácie do jadra, kde sa opäť zlučuje na ťažšie kovy. Vzniká tak uhlík, neskôr kyslík a železo. Hviezda pomaly stráca svoje palivo a pri obrovskom tlaku a teplote (10 mil. stupňov Celzia) tvorí najťažšie prvky ako olovo, platina alebo zlato. Gravitácia chladnúcej hviezdy rastie a vzniká tzv. červený obor. Keď je tlak a teplota pre hviezdu neúnosná, exploduje. Vzniká supernova a v mieste jadra gravitačná studňa. Celková hmota hviezdy sa stlačí do jedného bodu – bod singularity, ktorý sa stáva srdcom čiernej diery. Môžeme si to predstaviť na modeli Zeme, ktorá by mala tú istú hmotnosť, ale veľkosť jedného hrášku. Jednu takúto čiernu diery nájdeme práve v strede našej galaxie s priemerom 15 mil. kilometrov.

### 3 Plazma

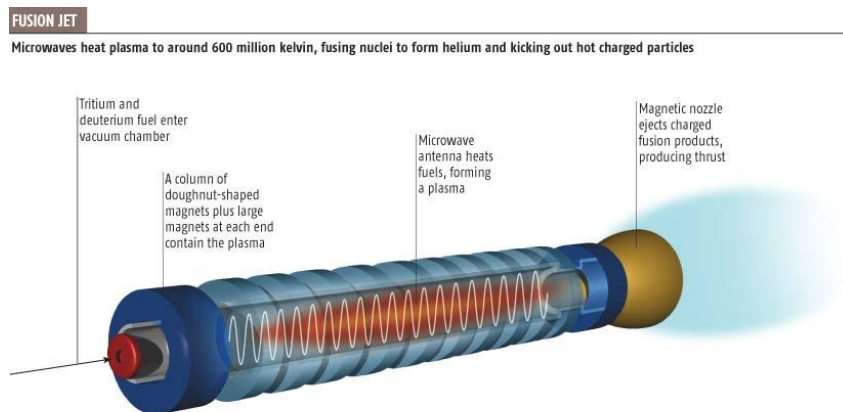
Plazmu môžeme vnímať ako ionizovaný plyn s určitou hustotou elektrického náboja. Presne ide o kvazineutrálny systém nabitých (alebo neutrálnych) častíc, ktoré vykazujú kolektívne chovanie. Hovoríme, že plazma je kvazineutrálna len na vzdialenostiach podstatne dlhších než Debeyova dĺžka alebo tienenie, tj. vzdialenosť potrebná na vzájomné tienenie nábojov. Pod kvazineutralitou si predstavujeme taký systém, v ktorom je celkové množstvo elektrického náboja menšie než celkové množstvo kladného náboja. Vo všeobecnosti platí, že plazma je elektroneutrálny plyn a kvazineutralitu uvažujeme len pri veľmi rýchlych javoch (krátkodobé oddelenie nábojov). Na oddelenie nábojov od seba (vznik makroskopických oblastí nevykompenzovaného náboja) je potrebná ich tepelná energia. Pri tomto procese sa transformuje celková tepelná energia celkového náboja do energie potenciálnej. Teraz ešte potrebujeme, aby sa častice správali kolektívne tj. „aby častice na seba vzájomne pôsobia pomocou makroskopických elektromagnetických polí, potom môžeme tento systém nazývať plazmou. Jedna z vecí charakterizujúca plazmu je hustota častíc v plazme, ktorá je závislá na jej tlaku a teplote. Samozrejme záleží aj na vonkajších rozmeroch plazmy, aby sa náboje mohli vzájomne tieniť. Tento systém môžeme rozdeliť na ideálny (výboje), ideálny i neideálny (vnútro hviezd) a neideálny (elektrónový plyn v kovoch). Za pomoci Sahovej rovnice vieme určiť približnú teplotu plazmy, od ktorej sa odvíja stupeň ionizácie, a teda vieme povedať, či ide od silne alebo slabo ionizovanú plazmu. Plazma dosahuje rôzne teploty, z tohto dôvodu poznáme vysokoteplotnú plazmu až  $10^6$  K (100 eV) a nízkoteplotnú, ktorá sa nachádza napr. v žiarivkách, výbojkách, elektrických oblúkoch a pod. Tento zaujímavý fyzikálny jav popísal po prvýkrát chemik W. Crookes v roku 1879.

### 4 Raketa budúcnosti a mikrovlny

Raketa budúcnosti (viď. obr.1) je kozmickým korábom, ktorý vymenil vodík za nové „fúzne palivo“. Na rozdiel od tokamaku, raketa nebude častice držať pomocou magnetického poľa, ale bude ich uvoľňovať do priestoru. Raketa s dĺžkou 100 metrov je zložená

z obrovských toroidálnych magnetov, ktoré budú držať hmotu po kope. V útrobach plavidla bude prebiehať termonukleárna syntéza pri teplote 100 mil. kelvinov. Problémom je, že 100 mil. kelvinov je nízka teplota pre dostatočný ťah motorov, vznikajú len neutróny, na ktoré elektromagnetické pole nepôsobí. Na pohon sú potrebné častice nabité, preto výskumné centrum MSFC (Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama) vedené Williamom Emrichom prišlo s myšlienkou ohriatia plazmy pomocou mikrovln na 600 mil. kelvinov (fúzny pohon rakety). Vďaka tejto inovácii vznikajú alfa častice, ktoré sú dobre ovládateľné zadnou magnetickou tryskou. Ťah motorov sa tak zvýši tristonásobne oproti obyčajným motorom chemického typu. Vzďialenosť Zem-Mars by bolo možné dosiahnuť za 6 týždňov, k čomu by raketa využila len zlomok paliva v porovnaní s chemickým. NASA dúfa, že raketa by mohla o dve desaťročia vstúpiť do dejín.

Mikrovlnné žiarenie je časť elektromagnetického spektra vysokofrekvenčných rádiových vln šíriacich sa rýchlosťou svetla. Podľa vlnovej dĺžky ich delíme na tzv. SHF (Super High Frequency) a EHF (Extra High Frequency). SHF vlny s frekvenciou od 3 GHz až po 30 GHz sa pohybujú vo vlnových dĺžkach 10 cm až 1 cm. Vlny EHF sú charakterizované vlnovou dĺžkou od 1 cm do 1 mm a frekvenciami od 30 GHz do 300 GHz. Keď fyzik Percy Spencer vyrábala svoj prvý magnetron pre radar do firmy Raytheon, zistil, že sa mu vo vrecku rozpustila čokoláda. Bolo už len otázkou času, kedy sa začnú mikrovlny používať v lekárstve, potravinárskom priemysle a pod. Neoddeliteľnou súčasťou radaru alebo mikrovlnnej rúry je magnetron, produkujúci vysokofrekvenčné vlnenie. Zariadenie pracuje na princípe ohybu elektrónov pomocou magnetického poľa. Vzniknuté mikrovlny sa od kovových materiálov úplne odrážajú, plastmi prechádzajú bez zmeny a biomateriál vlny absorbujú.



Obr. 1 Novodobá fúzna raketa



Obr. 2 Plazmová guľa

## 5 Experiment

Veľkým a hlavným cieľom nášho tímu bolo vytvorenie plazmy v mikrovlnke, čo sa úspešne podarilo. Využili sme mikrovlnnú rúru obsahujúcu už vyššie spomenuté zariadenie magnetron, ktoré produkuje mikrovlny. S myšlienkou fúznej rakety sme sa pokúšali pomocou mikrovln ohrievať naše palivo, ktorým bol obyčajný vzduch za pomoci nejakého exotermického zdroja energie. Plazmu dokážeme vytvoriť termickou ionizáciou alebo

ionizáciou pomocou elektrického poľa. V prvom prípade zohrievame plyn na vysokú teplotu. Kinetická energia častíc plynu sa zvyšuje a dochádza k zrážkam atómov plynu a následnej ionizácii. Problémom je, že k tomuto javu dochádza až pri teplotách vyšších než tisíc kelvinov, ktoré v mikrovlnnej rúre nedosiahneme. V prípade ionizácie za pomoci elektrického poľa dochádza k urýchľovaniu elektrónov omnoho rýchlejšie ako pri urýchľovaní iných ťažších častíc, a tak sa elektróny dostávajú do excitovaných stavov. Elektróny sa doslova odtrhnú zo svojich dráh a ionizujú ďalšie atómy. Tento proces nazývame elektrónová lavína a je základom pre vznik plazmy. Ak chceme môžeme prirovnať tieto spôsoby k dodávaniu energie plynu, aby sa tak ľahšie „zmenil“ na plazmu. My využijeme mikrovlny na ohrev takto ionizovaného plynu za účelom vytvoriť plazmu. Nepoužijeme ani jeden z uvedených postupov, ale využijeme priamo oheň. Oheň vzniká oxidáciou materiálov za prístupu kyslíka. Zhruba môžeme tvrdiť, že plameň je tvorený iónmi pochádzajúcimi z plynu a výparov materiálu. Preto sme sa rozhodli pre oheň v podobe sviečky, ktorý bude dodávať dostatočnú energiu, funguje teda ako exotermický zdroj. Pomocou mikrovln zohrejeme ionizovaný plyn a „zapálime“ plazmu. Tá je prevažne elektroneutálna, ale má veľkú teplotu, a preto stúpa hore. Stúpaniu zamedzíme kadičkou zo skla, v ktorej plazmu držíme. Zistíme, že plazma sa ohrieva len do kritického bodu (brak point), a to je prípad, že dodávaná energia pomocou mikrovln je rovná energii plazmovej gule, ktorá ďalej energiu neabsorbuje. Je jasné, že podlieha vplyvom prostredia, a tak chladne, čo má za následok jej opätovné zapálenie. Vznik plazmy je sprevádzaný bzučaním spôsobeným zdvojovačom napätia v rúre, ktorý má za úlohu vytvoriť vysoké napätia pri nízkom odbere prúdu. Tvar a vlastnosti plazmovej gule (vid' obr.2) ovplyvňuje gravitácia, tlak, druh plynu a zdroje energie akým sú aj mikrovlny v podobe funkcie sínus (minimá a maximá energie). Plazma je tvorená hmotnými časticami, takže je ešte možné využiť magnetické pole na udržanie jej pozície. Tiež sme zistili, že odražanie mikrovln od kovových materiálov v mikrovlnnej rúre poškodzuje anódu magnetronu, ktorá sa prehrieva v dôsledku absorbovania mikrovln.

## Pod'akovanie

Veľmi radi by sme sa chceli poďakovať pánovi Ing. V. Svobodovi, CSc. za podporu a technickú realizáciu projektu.

## Referencie

- [1] S. Hawking, *Stephen Hawking's Universe (seriál)*
- [2] [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/prop12apr99\\_1/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/prop12apr99_1/)
- [3] <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2008-2009/Zima08/proc/fuzia.pdf>
- [4] <http://www.powerlabs.org/uwavexp.htm>
- [5] Z. Machala, *Plazma a živé organizmy* (Matematicko-fyzikálna fakulta, UK)
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrovlny>
- [7] <http://fyzika.uniza.sk>