

Fúzor

R. Dudek*, J. Uličný**

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

*dudek@email.cz, **ulicny@gmx.com

Abstrakt

Příspěvek se zabývá principem a konstrukcí fúzního reaktoru Farnsworthova typu. Část práce se zaobírá i výrobou vlastního prototypu fúzoru.

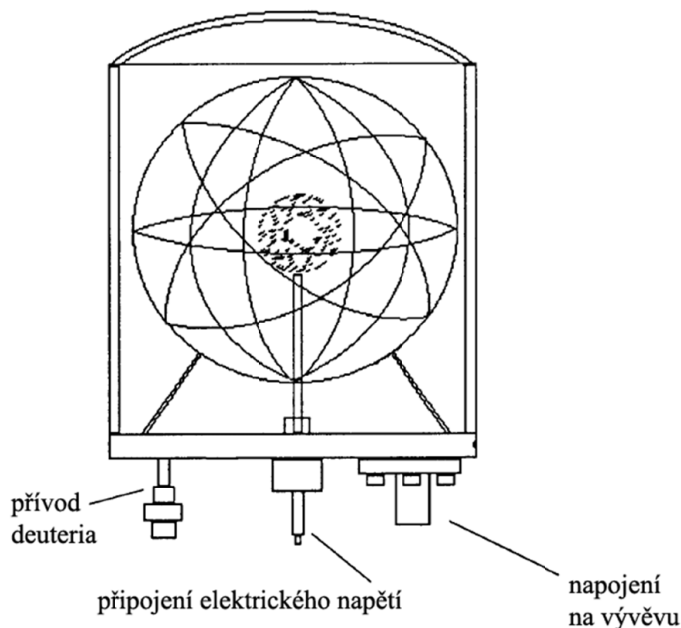
1 Úvod

Termojaderných fúzních reakcí lze dosáhnout v několika typech zařízení. Fúzory představují oproti tokamakům, či laserovým systémům méně známou variantu.

Fúzor vynalezl v 50. letech 20. století americký vědec Philo T. Farnsworth, který se zapsal do širšího povědomí jako vynálezce televize. Všiml si zajímavého jevu, kdy za nízkých tlaků a vysokého napětí dochází k srážkám nabitých částic. Tento jev byl znám i dříve, ale byl považován za nežádoucí, teprve Farnsworth odhalil jeho potenciál. Za použití sférických diod vytvořil první fúzor.

2 Konstrukce

Nejdůležitější součástí fúzoru jsou dvě sférické elektrody, které jsou umístěny ve vakuové komoře. Na elektrody je napojen zdroj stejnosměrného vysokého napětí. Pro dosažení fúzních reakcí je nutno naplnit komoru nejlépe deuteriem a vnitřní elektrodu nabít záporně.



Obr. 1 Schéma fúzoru

3 Princip fungování

Přivedením vysokého napětí na elektrody dojde k ionizaci plynu uvnitř nádoby. Díky sníženému tlaku plynu mají ionty dostatečně dlouhou střední volnou dráhu na to, aby prolétly prostorem mezi vnější a vnitřní elektrodou, ve kterém dochází k urychlování, a nerekombinovaly. Při použití deuteria jsou kationty, tedy jádra tvořená jedním protonem a neutronem, přitahovány ke vnitřní elektrodě. Velká část z nich do elektrody narazí, ale některé také proletí dovnitř a pohybují se dále setrvačností. Vzhledem ke sférickému uspořádání elektrod, dosáhneme v jejich geometrickém středu vyšších hustot jader deuteria s dostatečně velkou energií k tomu, aby se mohla spojovat. V případě plnění nádoby vzduchem by bylo obtížné fúzi provádět, ale lze tohoto zařízení dobře použít pro demonstraci fungování. Nezanedbatelná jsou také bezpečnostní rizika při běžící fúzní reakci, jedná se především o rychlé neutrony a intenzivní rentgenové záření.

4 Technické nároky

Provozování fúzní reakce klade oproti tzv. demo fúzor, tedy zviditelnění plazmatu ve vnitřní elektrodě za použití vzduchu, mnohem větší technické nároky. Kromě již zmíněného použití deuteria je nutné dosáhnout tlaku pod 3 Pa, zatímco pro ukázkovou verzi stačí asi 50 Pa, což není problém dosáhnout s běžnou rotační vývěvou. Také zdroj napětí musí být výkonnější a dosahovat alespoň 10 kV, oproti tomu na demo fúzor je potřebné napětí asi 500 V.

5 Využití a výzkum

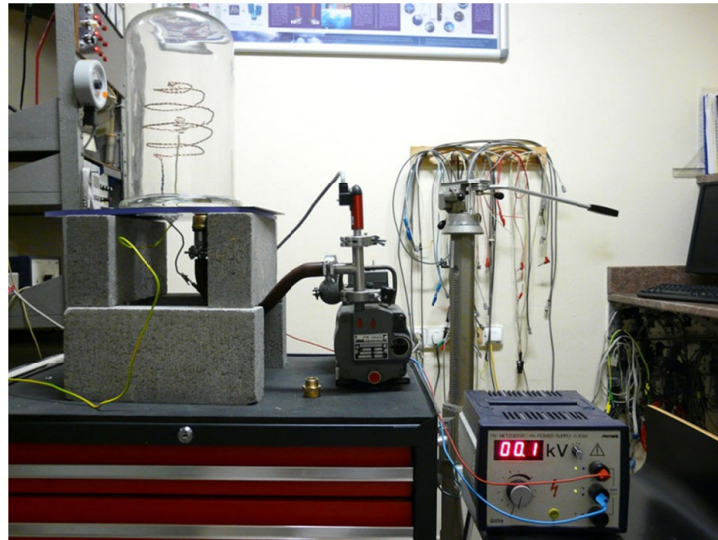
V současné době je jedním z hlavních cílů výzkumu termojaderné fúze výroba elektrické energie. Fúzní reakce by měly poskytnout nevyčerpatelné množství čisté energie a odvrátit tak možnou energetickou krizi, která vznikne po spotřebování fosilních paliv. Může se zdát, že fúzor představuje levnější a jednodušší alternativu k výrobě této energie. Bohužel fúzor klasické konstrukce není schopen vyprodukovat více energie, než sám spotřebuje. A tak zatím jediným komerčním využitím zůstává produkce rychlých neutronů.

Nejvíce se o vývoj fúzorů přičinil sám jeho duchovní otec. Společně se svým týmem Farnsworth prováděl experimenty od 50. let až do poloviny 60. let, kdy mu byl zastaven vládní grant, z důvodu nejasného vojenského využití. Tím se na dlouhá desetiletí výzkum fúzorů odmlčel. Až v 90. letech minulého století založil na University of Wisconsin profesor Bussard, bývalý Farnsworthův kolega, vědeckou skupinu zabývající se výzkumem fúzorů. V současné době přináší tento projekt nejlepší výsledky na světě. Vývojem se zabývá i americké námořnictvo, ale k tomuto výzkumu nejsou známy žádné relevantní informace. Nelze opomenout ani stovky amatérů z celého světa, kteří doufají, že se jim podaří vyrobit nevyčerpatelný zdroj energie.

6 Experiment 1

V rámci našeho projektu jsme v zimním semestru 2010/2011 sestrojili tzv. demo fúzor. Elektrody jsme vytvořili z běžného měděného drátu o průřezu 3 mm. Náročnějším úkolem bylo zavést vysoké napětí vzduchotěsně do vakuové komory. Za tímto účelem jsme použili polykarbonátovou desku s na míru vyřezanými prostupy, které jsme poté utěsnili silikonem. Z laboratoří fyzikálních praktik jsme si vypůjčili skleněný zvon a rotační vývěvu. Nejprve jsme zařízení napojili na výkonný zdroj schopný poskytnout až 0,5 A při napětí 1 kV. Docházelo však k proražení dielektrické pevnosti vzduchu, tedy mezi elektrodami vznikaly jiskrové

výboje. Jako vhodnější varianta se ukázalo použití slabšího zdroje, s nímž k průrazům nedocházelo. V této konfiguraci se nám podařilo dosáhnout nejlepších výsledků. Ve vnitřní elektrodě se vytvořila zřetelná koule plazmatu, ze které vycházel tzv. bugle jet, trubkovitý výtrysk kladných iontů z vnitřní elektrody.



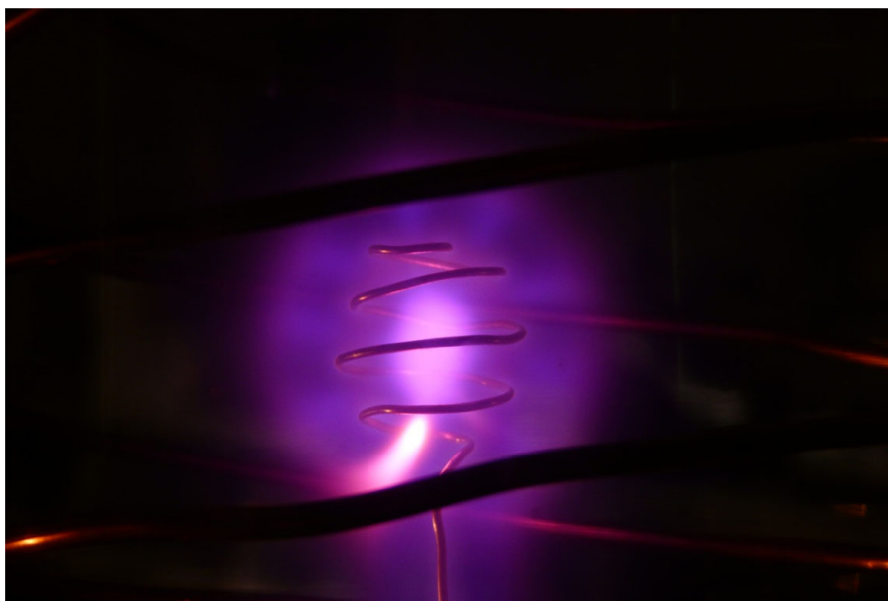
Obr. 2 Celkový pohled na aparaturu ex. 1

7 Experiment 2

Obohaceni o zkušenosti z prvního pokusu jsme se v letním semestru 2010/2011 rozhodli vylepšit konstrukci stávajícího demo fúzoru. Ve snaze zvýšit stabilitu systému, jsme vnější elektrodu vytvořili ze silného měděného drátu o průřezu 8 mm. Poučení z minulého experimentu jsme se snažili zabránit poškození povrchu drátů, čímž vznikají hrany a ty usnadňují přeskoky jiskrových nábojů. V rámci snahy o dosažení co nejnižších tlaků byly prostupy napětí skrze polykarbonát realizovány systémem navrtaných mosazných šroubů napevno usazených v desce, které slibovaly větší těsnost než předchozí řešení pomocí silikonu. Největší změnou bylo zapojení difúzní vývěvy do čerpacího okruhu, se kterou jsme se měli dostat i pod tlak 1 Pa.

Reálně jsme ovšem s naší sestavou naměřili tlak pouze 50 Pa. Podezřívající netěsnosti v komoře jsme recipient napojili na turbomolekulární vývěvu, se kterou jsme opět neklesli pod hranici 50 Pa. Posledním pokusem bylo připojení na běžnou rotační vývěvu. Tlak 30 Pa ukázal, že předchozí pokusy s výkonnějšími vývěvami ztroskotaly na něčem jiném, než na netěsnostech recipientu. Ukázalo se, že difúzní vývěva je porouchaná a oprava se nestihne do termínu naší prezentace. U turbomolekulární vývěvy nejspíš došlo v příliš tenké a dlouhé hadici k vytvoření stabilního tlakového gradientu, který bránil dalšímu čerpání plynu z nádoby.

Nakonec jsme tedy bohužel nebyli schopni překonat výsledky z experimentu 1, pouze jsme je mohli víceméně reprodukovat.



Obr. 3 Plazma ve vnitřní elektrodě při tlaku 50 Pa

8 Závěr

Desítky amatérů po celém světě podleli kouzlu fúzoru a snaží se zdokonalit jeho konstrukci ve svých dílnách a garážích. Ačkoliv fúzor nejspíše neposkytne energii pro budoucí generace, je to zajisté zajímavé zařízení umožňující dosáhnout fúzních reakcí takřka v domácích podmínkách.

9 Poděkování

Rádi bychom poděkovali panu ing. Vojtěch Svobodovi za zapůjčení pomůcek nezbytných pro experiment, panu docentu Češpírovi za radu a pomoc při stavbě čerpacího okruhu a také firmě OK Design s.r.o. za výrobu polykarbonátové desky.

Reference

- [1] T. Ligon, Fusortip, <http://fusor.net/newbie/files/FUSORTIP.DOC>
- [2] T. Ligon, The world's simplest fusion reactor and how to make it work, <http://www.fusor.net/newbie/files/Ligon-QED-IE.pdf>
- [3] T. Ligon, The world's simplest fusion reactor revisited or the not-quite-so-simple fusion reactor, and how they made it work, http://www.fusor.net/files/EMC2_FusionToPost.pdf
- [4] R. Hull, The History of the Amateur Fusor Effort, http://www.fusor.net/board/index.php?bn=fusor_historynews&action=view&key=1206562076
- [5] D. Neisius, http://www.diane-neisius.de/fusor/index_E.html#fus
- [6] R. Hull, The Farnsworth/Hirsch Fusor, <http://www.belljar.net/634fusor.pdf>