

Využití rychlé kamery na snímání plazmatu

J. Krivošej – G. Šumperk, T. Novotný – G. F. X. Šaldy
A. Harlenderová – G. Slovanské, V. Mudra – G. Děčín
J. Kodys – G. Telč, J. Novák – G. Jeronýmova

Abstrakt:

Dnešní zdroje energie jsou různé a každý způsob jejího získání má svoji úroveň složitosti. Naše práce se odvíjela na jednom složitějším a zatím nedostatečně prozkoumaném způsobu. Cílem bylo vyfotit a následně určit polohu plazmatu na tokamaku Golem. Výboj ovšem trvá velmi krátkou dobu (několik milisekund), proto jsme pracovali s moderními kamerami. Následně už bylo možné ze získaných materiálů rekonstruovat polohu plazmatu a jeho těžiště.

1. Úvod

V otázce získání energie v budoucnu je jednou z cest termojaderná fúze, tedy sloučení dvou částic a získání obrovského množství energie. Podobné reakce probíhají ve vesmíru běžně a jsou zdrojem energie hvězd, kterou je třeba i naše Slunce. Aby fúze mohla vůbec probíhat, musíme pro ni vytvořit podmínky, tedy vytvořit tzv. plazma. Nás zajímalo právě zaznamenání plazmatu pomocí fotoaparátu, tedy kde se opravdu nachází a jak vypadá.

2. Co je to plazma

Plazma je nejrozšířenější forma látky, tvoří až 99 % pozorované hmoty vesmíru. Ve fyzice a chemii se za plazma považuje ionizovaný plyn složený z iontů, elektronů (a případně neutrálních atomů a molekul). Vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu, či roztržením molekul (ionizací). O plazmatu se často mluví jako o čtvrtém skupenství hmoty. S plazmatem se můžeme setkat např. ve formě blesku, polární záře, uvnitř zářivek a tzv. neonů, či v elektrickém oblouku. Plazma tvoří také konvenční hvězdy, mlhoviny, ionosféru, či sluneční vítr.

Podle stupně ionizace (poměr počtu ionizovaných částic vůči celkovému počtu částic) se plazma dělí na slabě ionizované plazma a silně ionizované plazma. V slabě ionizovaném plazmatu je koncentrace nabitých částic zanedbatelně malá v porovnání s koncentrací neutrálních molekul. Naproti tomu v silně ionizovaném plazmatu převládá koncentrace nabitých částic.

Podle teploty se rozlišují dva druhy plazmatu – vysokoteplotní a nízkoteplotní. Vysokoteplotní plazma má střední energii nabitých částic větší než 100 eV, což odpovídá řádově 10^6 K (při vzniku plazmatu v tokamaku Golem teplota obvykle dosahuje okolo 45 eV). Vyskytuje se ve hvězdách a při experimentech s řízenou termonukleární syntézou. Nízkoteplotní plazma se vyskytuje např. v zářivkách a výbojkách, také v elektrickém oblouku.

3. Použité kamery a jejich parametry

Při experimentování byly použity dvě kamery Casio EX-F1. Umožnily nám snímat vývoj plazmatu téměř po celou dobu výboje. Jejich hlavní předností je snímání CMOS čipem. Jelikož byla použita kamera ze sériové výroby, jeho cena je mnohem nižší než cena laboratorních zařízení přímo určených k našemu účelu. Výkon přitom zůstává přibližně stejný.

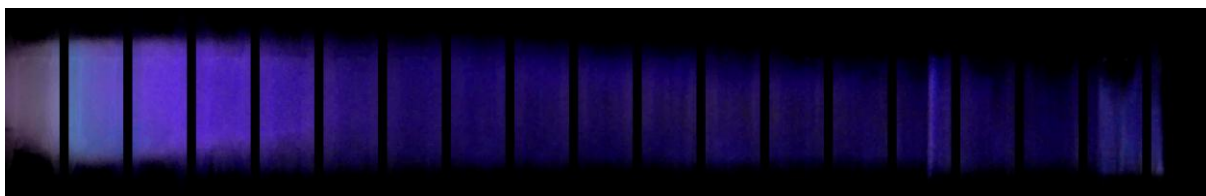
CMOS čip se od ostatních odlišuje tím, že snímá po jednotlivých řádcích, nikoli po pixelech jako běžné čipy. Celý sloupec pixelů na je tak zachycen ve stejném okamžiku. U ostatních typů čipů (např. u CCD čipů) je sloupec zachycen s časovým posunem. To by znamenalo podstatné zkreslení informace.

Kamery bylo nutno umístit tak, aby snímali komoru co nejlépe. Jeden byl umístěn vedle tokamaku a druhý nad tokamakem. To umožnilo určit polohu těžiště sledovaného plazmatu. Nesměly být zachyceny okraje komory a bylo nutno co nejvíce minimalizovat vliv odrazu světla od lesklých stěn tokamaku (více osvětlené okraje snímků na souboru snímků (1))

Jedinou nevýhodou této kamery je to, že potřebuje čas na zpracování jednotlivých snímků. Výboj je přitom delší než expoziční doba. Proto lze na souboru snímků (1) zpozorovat černé sloupce. Jejich šířka je však mnohem menší než šířka samotné fotografie. Expoziční doba jednoho snímku byla nastavena přibližně na 1/40000 sekundy, clona na 2,7 a 3,5, rozlišení na 336 x 96 pixelů, ISO (citlivost) na 800 a ohnisková vzdálenost přibližně na 50 cm.



[2] Vertikálně umístěná kamera



[3] Horizontálně umístěná kamera

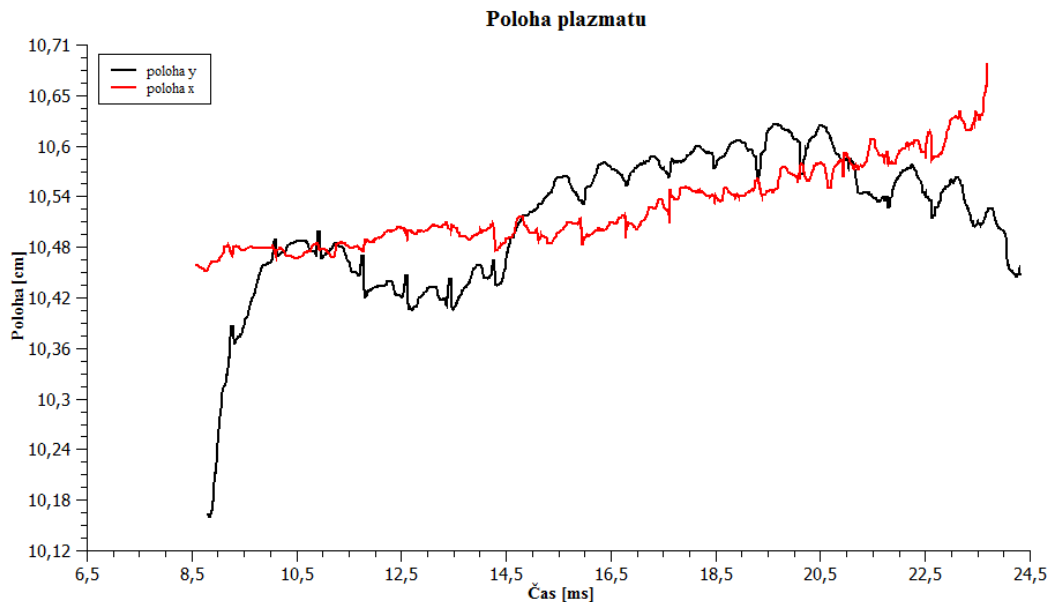
4. Výsledky práce

Při zpracovávání fotografií, které jsme získali, se nám povedlo vytvořit dva příklady aplikace použití rychlého snímání plazmatu kamerou. První část práce, o kterou jsme se pokoušeli, byla věnována vytvoření grafu, který popisuje intenzitu světla v průběhu výboje plazmatu. Abychom získali potřebná data, bylo třeba pro každý sloupec fotografie vyjádřit průměrnou hodnotu intenzity světla. Tyto údaje jsme vložili do grafu v závislosti na čase. Tímto postupem jsme dokázali vytvořit graf pro obě dvě kamery, jak pro horizontálně tak i vertikálně umístěnou. Výsledné údaje jsme porovnali s grafem závislosti intenzity světla na čase, který byl naměřen na fotodiodě. Následnou synchronizací se nám podařilo přiblížit hodnoty naměřené námi s přesnějšími hodnotami, které poskytla fotodioda. Experimentální cestou se nám tedy podařilo zjistit průběh a dobu výboje plazmatu.

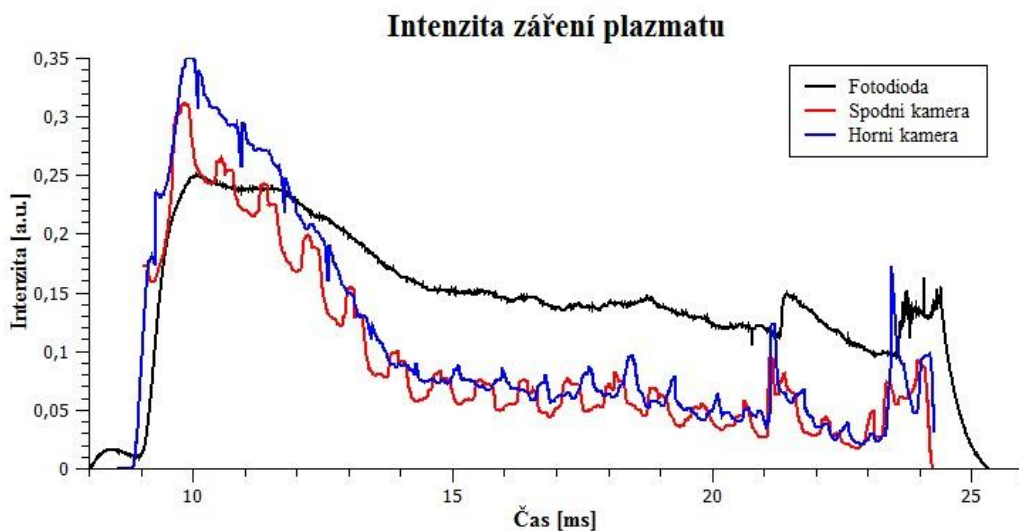
Druhá část práce spočívala v určení výchylky těžiště plazmatu v průběhu času. Postupovali jsme obdobně jako v první části naší práce, ale tentokrát jsme pro každý sloupec vyjadřovali těžiště intenzity světla. Tyto hodnoty jsme pomocí několika algoritmů vyladili, aby lépe odpovídali skutečným hodnotám. Následně jsme naměřené hodnoty vyjádřili pomocí grafu

v závislosti na čase. Naměřené hodnoty z obou kamer nám tak dohromady určovali polohu plazmatu na ose x a na ose y . Tímto jsme experimentálně zjistili polohu plazmatu. Plazma se při měřeném výboji nacházelo uprostřed komory a jeho výchylky byly minimální. Na rozdíl od měření pomocí magnetických cívek jsme tak došli k praktickým výsledkům.

Po nainstalování a následném nastavení obou kamer probíhala obě tato měření poměrně bez problémů a značně přesně, i přesto, že použité vybavení bylo v porovnání s ostatními diagnostickými přístroji značně levné.



[4] Poloha plazmatu



[5] Intenzita záření plazmatu

5. Shrnutí

Této akce, Týdnu vědy na Jaderce, jsme se zúčastnili, jelikož nás zajímá termojaderná fúze a myslíme si, že tato technologie bude mít i v budoucnu velké využití. V tomto miniprojektu jsme si osobně vyzkoušeli práci na termojaderném reaktoru GOLEM, který je umístěn na fakultě FJFI, a obecnou badatelskou práci. Myslíme si, že se nám náš projekt povedl a že

dosáhli jsme dobrých výsledků. Tato zkušenost nás dozajista motivovala k budoucímu studiu na této fakultě.

Poděkování

Na samotný závěr bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Bc. Michalu Odstrčilovi a to hlavně za jeho ochotu, pomoc a provázení celým programem miniprojektu. Měl pro nás pochopení s každým problémem. Dále bychom chtěli poděkovat týmu, který obstarává samotný chod a všechny další potřebné věci na tokamaku Golem I. Právě díky nim se také mohl uskutečnit náš miniprojekt. Naše hlavní poděkování patří organizátorům této akce Fyzikálního týdne 2011 pořádaného díky FJFI ČVUT v Praze a finanční podpoře na ubytování aj.

Reference:

- [1] ODSTRČIL, M *Low Cost Hight Speed Camera for Plasma Physics* 1-9
- [2-3] <http://golem.fjfi.cvut.cz/operation/shots/5810>