

Diagnostika vysokotepevního plazmatu na tokamaku GOLEM

Michal Chudoba (GymLit), Filip Papoušek (GYZA), Dominik Starý
(G. Benešov), David Linhart (GVID)

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Břehová 7

michal@chudoba.org, Filip.Papousek@seznam.cz,
stary_dominik@gbn.cz, davelinhart@seznam.cz

Abstrakt:

V tomto článku se budeme věnovat měření elektronové teploty vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM. Pro zjištění teploty jsme změřili napětí na smyčce a proud plazmatem, z těchto údajů jsme následně pomocí počítačového programu gnuplot zjistili elektronovou teplotu. Elektronová teplota je velmi důležitým údajem, pokud chceme dosáhnout a udržet termojadernou fúzi. Výzkum v této oblasti by lidstvu mohl přinést nový perspektivní zdroj pro získávání energie.

1 Úvod

Doposud člověk zvládl jen jaderné štěpení, ale v polovině minulého století se zrodila atraktivní myšlenka - spoutat energii Slunce, termojadernou fúzi. Tato dosud otevřená otázka je stále velmi populární. Naším cílem bylo změřit teplotu plazmatu v komoře jednoho takového fúzního reaktoru. Teplota totiž hraje při zapálení fúze klíčovou roli.

2 Tokamak GOLEM

Tokamak je toroidální komora sloužící k magnetickému udržení plazmatu za pomoci cívek. V částečně ionizovaném plazmatu, které funguje jako sekundární vinutí transformátoru, je indukován proud, který vytváří poloidální magnetické pole, to společně s toroidálním magnetickým polem cívek vytváří specifické šroubovicovité pole pro udržení plazmatu. Plazma je zároveň díky nenulovému odporu indukci proudu zahříváno na extrémní teploty, za kterých dochází k nukleosyntéze - slučování lehkých jader. Tento koncept fúzního reaktoru je dnes považován za perspektivní zdroj energie, ale v důsledku mnoha různých nestabilit tato technologie prozatím nebyla zvládnuta. Vzdělávací tokamak, na kterém jsme prováděli experimenty, se jmenuje GOLEM a nachází se na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské.

3 Metoda měření

Na tokamaku GOLEM jsme vytvářeli ve vodíkovém plazmatu výboje přes webové rozhraní, kde jsme modulovali podmínky, v našem případě jsme zkoumali závislost teploty na napětí na cívkách a tlaku pracovního plynu. Měření elektronové teploty T_e jsme prováděli nepřímo za pomoci diagnostických zařízení - Rogowského pásky, jednozávitové cívky a osciloskopu. Rogowského páskou, omotanou kolem toroidální komory tokamaku v rovině příčného řezu, jsme měřili derivaci celkového proudu komorou a plazmatem, tj. napětí U_{Rog} , jednozávitovou cívkou, položenou po obvodu komory tokamaku, jsme měřili napětí indukované na sekundárním vinutí transformátoru U_I . Obě cívky jsme pomocí BNC kabelů připojili k osciloskopu, ze kterého jsme potom stáhli naměřená data. Z dat jsme v programu gnuplot vypracovali graf proudu v plazmatu I_p v závislosti na čase (obrázek č. 1) a graf elektronové teploty v závislosti na čase (obrázek č. 3).

$$I_p = 1,1 \cdot 10^7 \cdot \int U_{Rog} dt - \frac{U_I}{R_{ch}},$$

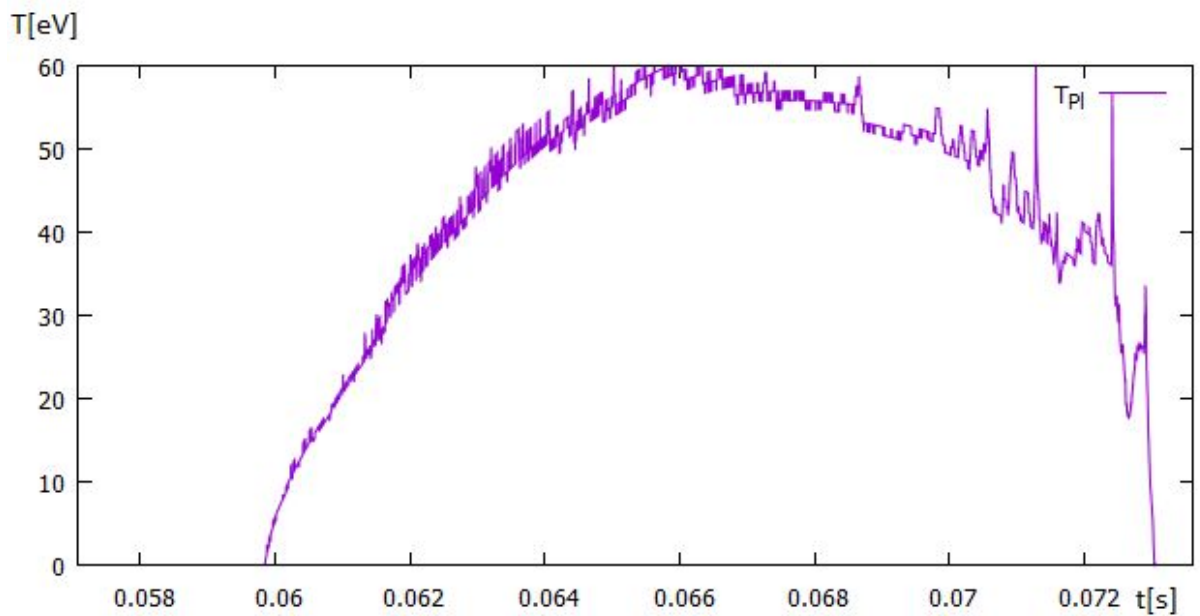
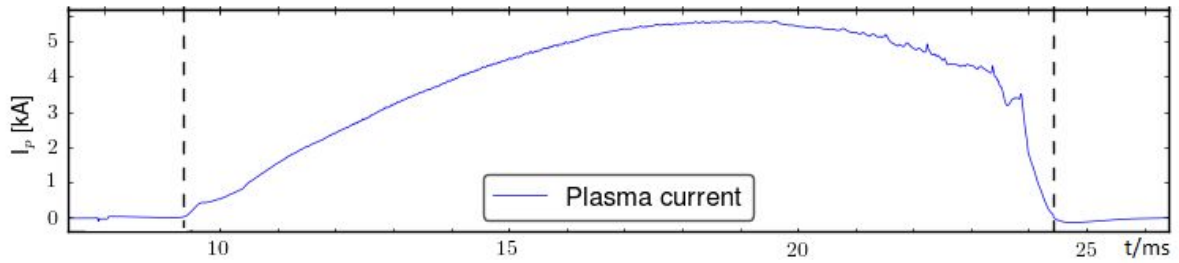
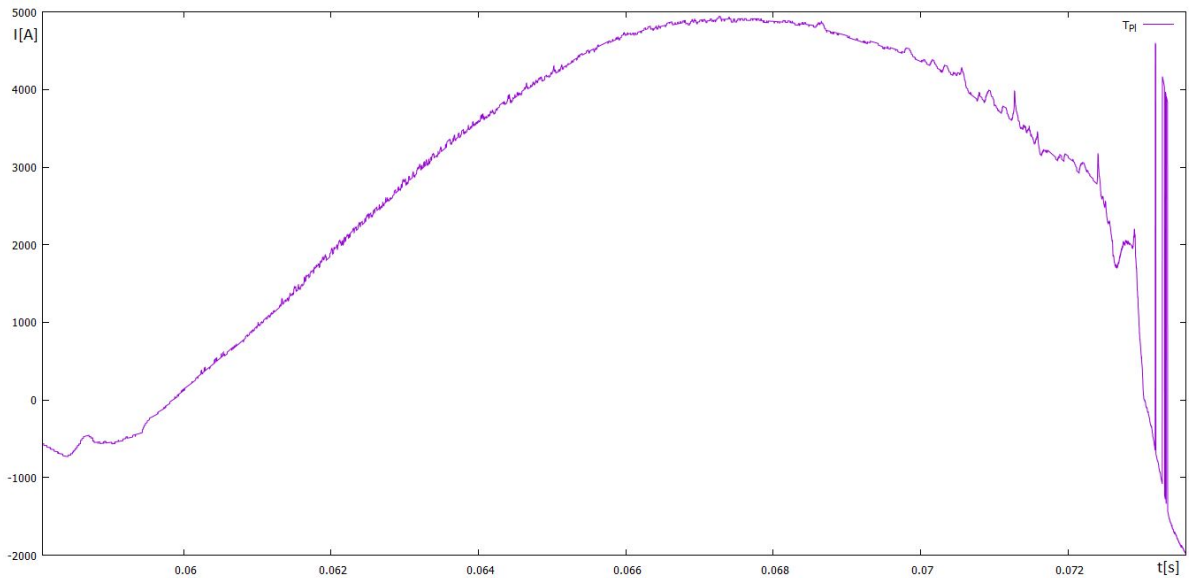
kde $R_{ch} = 9,7 \text{ m}\Omega$ označuje odpor komory,

$$T_e(0, t) = \left(0,7 \cdot \frac{I_p(t)}{U_I(t)}\right)^{2/3}, [\text{eV}; \text{A}, \text{V}].$$

4 Výsledky

Tabulka naměřených hodnot elektronové teploty plazmatu a nastavených parametrů výboje (napětí na cívkách U_B , napětí na kondenzátorech U_{CD} , čas prodlevy t_{CD} a tlak pracovního plynu):

Výboj č.	U_B [V]	U_{CD} [V]	t_{CD} [ms]	Tlak [mPa]	T_e [eV]
21955	950	600	8000	20	25.0
21956	850	550	8500	20	28.3
21958	900	550	8000	22	29.6
21960	900	550	8000	26	30.6
21962	900	550	8000	30	30.3
21964	950	550	8000	26	32.3
21968	1000	550	8000	26	33.0
21970	900	550	8000	22	37.0
21983	1050	500	3000	22	39.3



1. Graf je námi naměřená závislost proudu v plazmatu na čase
2. Graf je závislost proudu v plazmatu na čase naměřená počítači okolo GOLEMa
3. Graf je námi naměřená teplota v centru plazmatu v závislosti na čase

5 Diskuze

Při opakovaných pokusech se stejným nastavením parametrů výboje jsme zjistili, že se elektronová teplota může značně lišit, rozdílem 10 eV. Tento rozdíl by mohl být způsoben čistotou komory, či její rozdílnou teplotou (komora se během dne mírně ohřála). Dále se značně liší elektronová teplota, kterou zobrazuje informační systém GOLEMu, a námi spočtená teplota, protože informační systém zobrazuje průměrnou hodnotu elektronové teploty zatímco naše spočítaná teplota se vztahuje ke středu plazmatu, kde je teplota nejvyšší.

6 Shrnutí

Během uběhlých dnů jsme se zabývali vytvářením plazmatu určitých vlastností a hlavně měřením jeho elektronové teploty. Podobný výzkum v této oblasti (projekty jako ITER a později DEMO) by mohl vést k sestrojení zařízení, které je schopné dosáhnout a udržet termojadernou fúzi. Tak by lidstvo získalo velmi perspektivní zdroj pro výrobu energie.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT za umožnění práce na tokamaku GOLEM, celému týmu Týdne vědy za organizaci této akce a našemu supervizorovi za uvedení do problematiky termojaderné fúze a technickou podporu.

Reference:

- [1] KOLEKTIV FJFI: *Úlohy z fyzikálních praktik*,
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/15/Basics/uloha13A.pdf>
- [2] <http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/21983/>, stránka s databází výstřelů tokamaku GOLEM