

Základní údaje

Soutěžní obor: **P3913 - Aplikace přírodních věd**Kategorie: **3T**Navrhovatel: **Břeň David RNDr. Ph.D.**Pracoviště: **FJFI - 14102**Název česky: **Studium udržení plazmatu magnetickým polem v tokamaku**Název anglicky: **Study of the Magnetic Field Confinement in Tokamak**

Anotace česky:

Projekt věnovaný výzkumu problematiky magnetického udržení plazmatu na tokamaku FJFI GOLEM s ohledem na studium stability plazmatického svazku v tomto zařízení.

Anotace anglicky:

Research project devoted to the problems of magnetic confinement in tokamak FNSPE Golem with a regard to the study of the stability of plasma volume in this device.

Finance

Finanční prostředky v tis. Kč	2019	2020	2021	celkem
Neinvestiční náklady (NEI)	529	530	540	1599
Investiční náklady (INV)	0	0	0	0
Celkové náklady	529	530	540	1599

Zdůvodnění přihlášky

1 - Vědecká závažnost a aktuálnost:

V současné době se jeví, že magnetické udržení plazmatu je jednou z velmi mála cest, jak v příštích letech dospět k uskutečnění fúzní reakce. Udržení fúzní reakce je stále otevřené aktuální téma, jehož vyřešení povede k získání levných a relativně nezávadných energetických zdrojů.

2 - Současný stav řešeného problému:

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská patří k jedněm z velmi mála vzdělávacím institucím na celém světě, které disponují vlastním tokamakem, zařízením umožňující magnetické udržení plazmatu. Tokamak, umístěný původně na Ústavu fyziky plazmatu byl před dvanácti lety přestěhován na FJFI. Zařízení je v provozu a od roku 2009 produkuje plazma. Zařízení je po dobu své existence vylepšováno nezbytnou hardwareovou a softwaerovou statickou a zpětnovazební stabilizaci polohy plazmatu v komoře tokamaku, která pomáhá řádově zlepšit parametry plazmatických výbojů. Tento úkol je sám o sobě velmi náročný a zahrnuje v celkovém řešení mnoho teoretické, experimentální a technologické práce. Nyní je možné vyhodnocovat aktuální polohu plazmatu a v reálném čase řídit silové napájení cívek pro horizontální stabilizaci polohy plazmatu. Podařilo se také nahradit dvě měděné cívky cívkami z vysokoteplotního supravodivého materiálu (Re)BCO což významně snižuje provozní náklady. Navíc na rozdíl od velkých tokamaků používající heliem chlazené supravodiče, tyto jsou chlazené kapalným dusíkem. Stejně jako v minulých letech, je stále nevyřešeným problémem udržení plazmatu únik energie tzv. ubíhajícími elektrony (runaway electrons -

RE). Studiu těchto RE se na tokamaku GOLEM věnuje několik členů týmu jak v rovině teoretické, tak i experimentální.

3 - Původnost navrhovaného řešení:

Tokamak GOLEM je kompletně inovován a veškeré technologické práce na něm nyní odrážejí současné možnosti technologií a svým způsobem představují originální přístup k řešení problematiky zpětnovazebního řízení polohy na tomto tokamaku. Studenti zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze na FJFI mají jedinečnou možnost studia problematiky magnetického udržení plazmatu, při které navíc mohou měnit parametry fakultního tokamaku GOLEM mnohem flexibilněji než na ostatních "velkých" tokamacích. Na tomto zařízení je možné realizovat měření na dálku přes internet doslova z celého světa a naši studenti, kteří budou s měřeními pomáhat se tak pravidelně takřka denně setkají s nápady a způsoby řešení, se kterými by se seznámili na mezinárodních konferencích.

4 - Koncepce, způsob a metodika řešení:

Studenti budou přispívat k zprovoznění diagnostických metod vedoucích k identifikaci časového vývoje polohy plazmatu prostřednictvím magnetických diagnostik a dále z vyzařovacích charakteristik v oblasti spektra viditelného, ultrafialového a měkkých rentgenů. Na základě vyhodnocení budou připravovat technologie a ladit algoritmy jednak k pasivní a jednak zpětnovazebné stabilizaci polohy plazmatu v ose komory tokamaku, což by mělo vést ke stálému zlepšování parametrů plazmatických výbojů na tokamaku GOLEM. Jedním z mnoha v současnosti nevyřešených problémů fyziky tokamaků je problematika ubíhajících elektronů. Ubíhajícími elektrony nazýváme elektrony, které jsou urychlovány elektrickým polem tokamaku až k relativistickým rychlostem. V příštím roce budou na tokamaku Golem provedeny experimenty, které si budou klást za cíl charakterizaci ubíhajících elektronů vznikajících na tokamaku Golem za různých experimentálních podmínek. Dalším cílem experimentů s ubíhajícími na tokamaku Golem bude odhad maximálních energií vznikajících elektronů a korelace ztrát s ostatními ději odehrávající se v plazmatu.

Vývod výkonu z budoucích fúzních reaktorů je jedním z problémů, které jsou předmětem intenzivního výzkumu na tokamacích po celém světě, včetně tokamaku ITER. Jedním z kanálů vývodu tepla je transport částic z udržení do okrajového plazmatu a následně na stěnu reaktoru. Klíčovým mechanismem tohoto transportu je turbulence, která vzniká v blízkosti posledního uzavřeného povrchu a následně se šíří okrajovým plazmatem. Ideální diagnostikou turbulentních struktur v plazmatu s nízkými parametry jako u tokamaku GOLEM jsou elektrické sondy, např. Langmuirova, ball-pen nebo Machova sonda. Hlavice nesoucí tyto sondy jsou na GOLEMu instalovány a kdykoli k dispozici.

Unikátním přínosem sondových měření na tokamaku GOLEM mohou být studie izotopového efektu díky možnosti provádět výboje ve vodíku i v heliu. V jeho důsledku se mění charakter turbulence, jenž je možno určit z měření dvojité hřebínkové sondy Langmuirových pinů v režimu iontově nasyceného proudu. Intenzitu turbulentního transportu ukazuje rovněž profil elektronové teploty a hustoty, které lze na GOLEMu změřit kombinací ball-pen a Langmuirových sond s vysokým časovým rozlišením. Poloidální rozložení rychlosti transportu podél siločar pak lze změřit pomocí kruhu Machových sond.

Kromě vědeckého přínosu k porozumění transportu tepla v okrajovém plazmatu nabízí sondová měření i ideální příležitost k zapojení studentů do experimentu. Používání sond je totiž přímočaré v porovnání s jinými diagnostikami (např. diagnostikou Thomsonova rozptylu) a přitom poskytuje hluboký vhled do fyziky okrajového plazmatu.

5 - Cíle řešení projektu:

Hlavním faktorem, který může ohrozit přední postavení EU ve výzkumu fúze, se stává nedostatek kvalifikovaného personálu jak ve výzkumu, tak i ve špičkovém průmyslu. Situace z hlediska národní účasti České republiky je obdobná. Na tuto situaci reaguje FJFI ČVUT specializovaným zaměřením Fyzika a technika termojaderné fúze. Uvedením tokamaku do provozu se tak fakulta stala jedinečným světovým

pedagogickým pracovištěm, kde studenti tohoto oboru mají možnost okamžitě ověřit své teoretické poznatky na vlastním experimentálním zařízení a po ukončení studia se stát členy týmu s již svými osobními zkušenostmi. Hlavními cíli projektu nyní jsou:

- * studie izotopového efektu díky možnosti provádět výboje ve vodíku i v heliu. V jeho důsledku se mění charakter turbulence, jenž je možno určit z měření dvojité hřebíkové sondy Langmuirových pinů v režimu iontově nasyceného proudu. Intenzitu turbulentního transportu ukazuje rovněž profil elektronové teploty a hustoty, které lze na GOLEMu změřit kombinací ball-pen a Langmuirových sond s vysokým časovým rozlišením. Poloidální rozložení rychlosti transportu podél siločar pak lze změřit pomocí kruhu Machových sond.

- * charakterizaci ubíhajících elektronů vznikajících na tokamaku Golem za různých experimentálních podmínek

- * odhad maximálních energií vznikajících elektronů a korelace ztrát s ostatními ději odehrávající se v plazmatu.

6 - Předpokládané výstupy řešení:

Každý nový poznatek týkající se jak ztrát energie jakýmkoliv kanálem, tak i vznik a příčina nestabilit v plazmatu bude podstatný pro dobu jeho udržení. Všechny výstupy budou diskutovány a prezentovány na mezinárodních konferencích.

7 - Předpokládaná prezentace výsledků:

Studenti budou své výsledky pravidelně prezentovat na mezinárodních konferencích, workshopech a školách fyziky plazmatu.

8 - Charakteristika týmu:

Tým sestává ze dvou akademických pracovníků, devíti studentů v doktorském a deseti studentů v magisterském studijním programu.

Všichni studenti prezentují výsledky na mezinárodních konferencích a jsou rovněž členy týmu autorů publikací.

V týmu rovněž pracuje řada studentů bakalářského studia, kteří sice nemohou být zahrnuti do seznamu řešitelského týmu v letošním roce, ale kteří se jimi stanou nepochybně v letech následujících.

9 - Upřesnění cílů pro druhý rok řešení:

Podobně jako v uplynulých letech se tým bude věnovat problematice co největší stabilizace plazmatických výbojů v tokamaku. Nestability a vlny v plazmatu jsou pro toto prostředí typické a proto půjde vždy pouze o zlepšení a nikoliv o konečné vyřešení a odstranění nestabilit. Za tímto účelem bude třeba tokamak doplnit o další diagnostické přístroje pro měření profilu a ostatních vlastností plazmatického výboje, popřípadě upgrade přístrojů již stávajících. Tento "hardware" bude muset být provázán s co nejrychlejší diagnostikou a zpětnovazební kontrolou.

V poslední době se posouvá studium k problematice tzv. ubíhajících elektronů (RE), které se zdají být jednak prostředníkem odnášejícím energii z výboje a působících tak snížení jeho stability, a jednak největším nebezpečím způsobujícím poškození stěn všech tokamaků. V týmu na této problematice pracuje několik členů, jak na diagnostice RE, tak i na jejich teoretickém popisu.

Součástí plánu na příští rok jsou také souhrnná integrální měření specializovaných částicových detektorů STRIP, MEDIPIX, TIMEPIX kombinovaných se scintilačními detektory s různými krystaly NaI(Tl), CeBr₃, YAP a Plastic.

Témata: mitigace RE s připouštěním plynu v průběhu výboje + závislosti dynamiky populace RE na různých

tokamakových režimech. Plus energetické analýzy RE se stíněním dektorů v různých konfiguracích olověných krytů.

Sondová měření v příštím roce budou probíhat jak na středoškolské, tak na vysokoškolské úrovni. V roce 2019 bylo prováděno s Machovou sondou měření torodiální rotace plazmatu a v roce 2020 navážeme na tomto měření spolupráci i s dalšími středoškolskými studenty. Bude se dokončovat rekonstrukce dvojité hřebínkové sondy. Nová hřebínková sonda bude sloužit hlavně ke statistické charakterizaci fluktuací iontové nasyceného proudu, a tím turbulence v okrajovém plazmatu. Kromě této sondy má GOLEM k dispozici několik dalších, jako kombinovanou ball-pen a Langmuirovu sondu, jednoduchou hřebínkovou sondu, ring Machových sond a další. Několika z nich bude využito při letní škole GOMTRAIC, které se účastní vysokoškolští studenti z celého světa.

Stále se také zdokonaluje "remote" přístup k řízení tokamaku GOLEM, který stále lépe umožňuje studium výbojů na fakulním tokamaku i jakýmkoliv pracovištěm po celém světě.

10 - Upřesnění cílů pro třetí rok řešení:

V následujících letech se experimentální kampaně na tokamaku Golem soustředí na tato vybraná témata:

- * Fyzika okrajového sloupce plazmatu se zaměřením na určení a srovnání pozice okraje plazmatu elektrostatickými, magnetickými a radiačními metodami měření.
- * Pokračovat budeme s integrálními experimenty zaměřenými na chování ubíhající elektronů, kde dojde k zapojení širokého spektra různých typů HXR sond: scintilačních, medipix, timepix, kalorimetrických a strip detektorů.
- * Měření propagace MHD jevů na tokamaku GOLEM Technologicky se budeme zaměřovat na:
 - * stabilizaci polohy a proudu plazmatu
 - * vylepšování režimu výboje pomocí depozice lithia na stěnu komory tokamaku.
 - * zpětnovazebné řízení hustoty plazmatu v tokamaku pomocí RedPitaya mikrokontroleru.

Vyjádření školitele

Školitel (je-li návrhovátelem studentem):

Slovní vyjádření:

Vyjádření vedoucího pracoviště

Vedoucí pracoviště:

doc. Ing. Martin Štefaňák, Ph.D.

- Soulad řešeného projektu s celkovou koncepcí a zaměřením pracoviště: **ano**
- Zajištění podmínek pro řešení projektu na pracovišti: **v plném rozsahu**
- Vyjádření k řešitelskému týmu: **schopen projekt úspěšně řešit**

Případné slovní vyjádření:

Projekt je plně v souladu s koncepcí katedry fyziky a studijního oboru FTTF, který má za cíl vychovávat odborníky v oblasti termojaderné fúze a fyziky plazmatu. Do projektu jsou výrazně zapojeni studenti

Registrační číslo: **OHK4-014/19**

doktorského a magisterského studia FTTF, kteří tak získají neocenitelné zkušenosti pro další studium a vědecko-technickou praxi. Složení týmu a nastavení financování je adekvátní cílům projektu.

Vyjádření děkana (ředitele ústavu)

Děkan (ředitel ústavu):

prof. Ing. Igor Jex, DrSc.

- Soulad projektu se záměry fakulty - součástí: **ano**
- Finanční podpora projektu: **ano (v plném rozsahu, projekt podpořit)**

Případné slovní vyjádření:

Doporučuji k financování.