

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Studium oscilací magnetického pole na tokamaku GOLEM
Jméno autora:	Marie Vaňáková
Typ práce:	bakalářská práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra fyziky
Oponent práce:	Ing. Tomáš Markovič, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání je průměrné náročnosti. Zaprvé od studenta očekává porozumění principu rozložení magnetických polí v experimentálních zařízeních typu tokamak, a zadruhé vyžaduje praktickou aplikaci principu měření proměnných magnetických polí na konkrétním tokamaku GOLEM, a propojení těchto dvou stěžejních témat. Vyžaduje se tudíž aktivní účast na experimentech na tomto zařízení a provedení analýzy naměřeného magnetického signálu vhodnými statistickými metodami za účelem identifikace koherentních struktur magnetohydrodynamických nestabilit v plazmatu.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Zadání práce bylo splněno v plném rozsahu jeho znění.	

Zvolený postup řešení	vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Body zadání 1-5 vyžadují provedení rešerše na téma magnetických polí v tokamaku, faktoru zásoby stability (safety factor), diagnostiky magnetických polí a následně vztahení těchto poznatků na tokamak GOLEM. Kapitoly 1-3 obsahují tyto požadované poznatky, navíc v notaci a v souladě s běžnou praxí v oboru. Bod zadání 6 se vztahuje k účasti na experimentu na tokamaku GOLEM, a bod 7 k analýze těchto měření pomocí frekvenční a korelační analýzy. Tyto poslední body jsou pak splněny v kapitolách 3-4, běžnými metodami z praxe.	

Odborná úroveň	průměrná
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Přesto že zadání bylo obecně splněno, práce místy obsahuje nepřesné informace v popisu teorie nebo jejich nedostatek vzhledem k použitým metodám zpracování dat. Konkrétně:	
<ul style="list-style-type: none"> - V sekci 1.1 není pravda že jádra deuteria a tritia musí překonat bariéru řádově 100 keV aby došlo k fúzi. Díky kvantovému tunelování jader deuteria a tritia přes tuto bariéru se požadavky na energii jader sniží až o řád a právě díky tomu je jaderná fúze dosažitelná v praxi. Tato informace by měla být zmíněna v rešerši. - V rovnici 1.2 funkce g již není funkcí teploty. Viz definice trojného součinu v referenci 11, sekce 1.5 – je to právě aproximace teplotní závislosti $f(T)$ z 1.1 která umožní přesunout T na levou stranu závorky. - Tvzení v sekci 1.5.1 že pro $q(a) < 3$ obecně dojde na tokamaku obvykle k disrupci není pravda. Dalo by se polemizovat že touto hranicí by mohlo být $q(a) < 2$, nicméně i pod touto hranicí je možno dosáhnout stabilní rovnováhy plazmatu. - U rovnice 1.5 by mělo být podotknuto že pro toroidální geometrii tokamaku platí tento vztah pouze přímo nad a pod proudovým těžištěm plazmatu, nikoli obecně. Asymetrie poloidálního pole tokamaku vůči R je jeho 	

definující, a nezanedbatelná vlastnost.

- V sekci 1.5.2 o magnetických ostrovech je uvedeno že tyto struktury rotují v poloidálním směru. Ty nicméně výrazně rotují i ve směru toroidálním. Díky jejich helikální struktuře se dokonce tento jejich toroidální pohyb výrazně podepíše na jejich měřené poloidální rotaci.
- Přesto že v sekci 1.6 se přímo mluví o odvození magnetické indukce z měřeného napětí, tento vztah tady není explicitně uveden.
- V sekci 3.1.1 se o Fourierově transformaci píše „Jestliže je $S(v)$ komplexní, je nejprve třeba ji ještě upravit tak, aby nová funkce byla již reálná“, přesto že transformace je ze své podstaty komplexní. Použití amplitudy komplexní $S(v)$ je především součástí volby metody analýzy, nicméně je dobré pamatovat že více sofistikované metody zpracování dat pracují i s komplexní fází $S(v)$.
- V práci obecně nejsou uvedeny časové okna ohraničující analyzované data. Specificky, obr. 3.5 neuvádí o kterou konkrétní část výstřelu se jedná, a u spektrogramů na obr. 3.6-3.7 chybí informace velikosti jednotlivých časových oken FFT která je kritická pro frekvenční a časové rozlišení grafů.
- V sekci 3.2.2 se je uvedeno že poloidální periodičita $m=2$ implikuje výskyt dvou magnetických ostrovů. Nicméně se jedná o ten samý magnetický šroubovicový ostrov – o poloidální periodicitě $m=2$, nikoli o dvě nezávislé, nepropojené struktury.
- Na konci té samé sekce se srovnává poloidální úhlová frekvence rotace struktury ostrovu vypočtená z periody oscilací v obr. 3.10, s tou z fázového posunu z obr. 3.9. Nicméně, tyto hodnoty nemá smysl srovnávat. Zaprvé fázový posun v obr. 3.9 nebere v potaz $m=2$ strukturu ostrovu která jej zdvojnásobuje, zadruhé jsou vstupní data pro obr. 3.9 také obsažená v a součástí obrázku 3.10, a zatřetí je z obr. 3.10 zjevné že úhlová rychlost není jednotná, nýbrž se v poloidálním směru mění.
- V sekci 3.3 se o tzv. peaking faktoru p píše jako o „volitelném parametru“ při jehož volbě je „třeba řídit se citem a zkušeností“. Tento faktor ale není volným parametrem, ale závisí od profilu proudu v plazmatu který pro takový tokamak jako je GOLEM bude dán především profilem teploty.

Formální a jazyková úroveň

výborná

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Formálně je práce zpracována na nadprůměrné úrovni. V textu jsem nenašel překlepy ani gramatické chyby, navíc odkazy na obrázky, tabulky a reference jsou správné. Popisky os jsou čitelné, obrázky jsou v uspokojivém rozlišení a jasně popsány. Menší výjimku tvoří obr. 4.2 který má špatné jednotky na x-ové ose.

Výběr zdrojů, korektnost citací

průměrné

Vyjáďřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Počet zdrojů práce je relativně malý. Kromě 5 zdrojů odpovídající doporučené literatuře ze zadání má práce jenom 6 dalších zdrojů, většina z nichž se vztahuje k obecnému teoretickému úvodu. Použití více zdrojů vztahujících se k výsledkové části práce by bezpochyby zvedlo odbornou úroveň této části práce. Text rešeršní části práce je nedostatečně ozdrojován – a to přesto že zdroje uvedených informací jsou v seznamu literatury na konci práce a všechny obrázky mají náležité reference uvedeny. Z toho usuzuji že studentka pravděpodobně předpokládala že relativně známé informace v oboru není nutné přímo vázat ke konkrétní referenci, a chtěla bych ji tudíž tímto do budoucna upozornit na to, že to nutné je. Co se týče vlastních výsledků práce studenta, ty jsou zjevně jedinečné již z experimentální podstaty zadané práce.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Kromě očekávaných výsledků dle zadání práce také obsahuje několik zajímavých poznatků z teorie a experimentálních závěrů. Kromě odvození užitečného vztahu profilu zásoby stability pro tokamaky s kruhovým průřezem plazmatu, práce diskutuje také vztah pro šířku frekvenčního peaku diskrétní Fourierovy transformace v závislosti na délce časového okna. Z experimentálních výsledků práce zaujala kvalitou diskuze limitů pro běžně obtížně měřitelný peaking faktor p . Konkrétně v sekci 4.2.1 autorka poukazuje na protiklad absence magnetického povrchu pro 2/1 magnetický ostrov v plazmatu, a pozorováním existence tohoto ostrovu. V diskuzi dochází k závěru že profil proudu plazmatu může vykazovat vysoce peakovaný profil proudu a zároveň že sloupec plazmatu může být mimo osu komory tokamaku. Jedná se o dobrý postřeh, nakořli pozice plazmatu v tokamaku GOLEM má tendence driftovat, a popsany odhad peakování profilu proudu plazmatu na základě přítomnosti jistých magnetických ostrovů se dokonce používá na některých větších tokamacích.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Autorka plně splnila zadání a v oponované práci jsem neobjevil žádné závažné nedostatky. K dobru se navíc autorce připisují výsledky popsané v sekci „další komentáře a hodnocení“ a vysoká formální a jazyková úroveň bakalářské práce. Bohužel, kvalitu práce nezanedbatelně snižují nesrovnalosti na odborné úrovni popsané v sekci „Odborná úroveň“ a nedostatky v práci s literaturou vyjmenované v sekci „výběr zdrojů, korektnost citací“. Ve finálním hodnocení se navíc negativně odráží také malý počet stran obsahující výsledky experimentu a jejich diskuzi. K rozšíření této diskuze tudíž pokládám následující dotazy pro autorku:

- Práce obsahuje řadu rovinných grafů normalizovaných korelačních funkcí jako jsou třeba obr. 4.3 nebo 4.7. Ačkoliv tyto grafy názorně ilustrují strukturu koherentních MHD struktur plazmatu, někdy mohou být vůči původním signálům zavádějící. Mohla by autorka pro názornost ukázat vedle sebe rovinný graf korelačních funkcí a rovinný graf původních signálů cívek použitých jako vstup pro korelace?
- Obr. 1.6 znázorňuje plazma s magnetickým ostrovem na povrchu $q=1$. To implikuje že v jádru plazmatu je $q < 1$. Co očekáváte že se v takovém plazmatu stane?
- V práci chybí informace o velikosti časového okna ve všech spektrogramech a také grafu na obr. 3.5. Velikost časového okna ale hraje rozhodující roli pro frekvenční rozlišení výsledku diskrétní Fourierovy transformace. Uvedte tento vztah a také velikost použitých FFT oken ve spektrogramech.
- Obr. 3.16 ukazuje časový průběh zintegrovaného signálu senzoru poloidálního pole po odstranění driftu a přeslechu toroidálního pole. Tento signál po kolapsu proudu plazmatu v disrupci nicméně neskončil na 0. Můžete zkusit vysvětlit proč?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 27.8.2023

Podpis:  Tomáš Markovič