

Posudek na doktorskou disertační práci p. Pavla Cahyny: „Difuze částic z tokamatu vlivem stochastizace magnetických siločar“.

Předkládaná dizertační práce p. Cahyny se zbývá teorií stochastických jevů majících vliv na udržení plazmatu v tokamakové konfiguraci  $m_g$  pole. Pozornost je soustředěna zejména na tokamaky vybavené divertorem, buď konvenčním s nulovým bodem poloidálního pole v blízkosti hlavního toru tokamaku nebo s tzv. ergodickým, kdy přídavné pole tvořící divertor není nezávislé na toroidálním úhlu, ale obsahuje i další složky generované několika symetricky rozmístěnými cívkami nad a pod hlavním torem. Tyto přídavné cívky vnucují oblasti kolem nulového bodu celočíselnou periodicitu a tudíž se dá očekávat, že podstatně ovlivní obzvláště ty magnetické povrchy v blízkosti nulového bodu, na nichž obtáčení  $m_g$  siločarami je dáno racionální hodnotou faktoru bezpečnosti  $q$ . Tento faktor v blízkosti nulového bodu diverguje a tudíž racionálních povrchů zahušťujících se směrem k němu existuje nekonečně mnoho. Taková konfigurace je velice citlivá k vnějším poruchám představovaným přídavnými vnějšími cívkami a předmětem předkládané práce je analýza ergodických projevů těchto poruch, ať již v případě chování vlastních  $m_g$  siločar nebo pohybu částic v takto porušených polích.

Práce obsahuje celkem rozumně koncipovaný úvod do problematiky, který představuje asi třetinu objemu předkládané práce. Následuje výsledková část, která kromě jednostránkových úvodů do jednotlivých kapitol se skládá téměř výhradně z již dříve publikovaných textů prací, kde p. Cahyna je buď přímo prvním nebo podstatně přispívajícím spoluautorem, protože jde výhradně o teoretické práce, jejichž problematika je shodná s tématem předkládané disertace. Těchto vevázaných prací je celkem 7 a tvoří organickou součást výsledků obsažených v dizertaci. Jen poslední kapitola o run-away elektronech zřejmě teprve čeká na publikaci. Vše je uzavřeno matematickým appendixem shrnujícím problematiku integrability hamiltonovských dynamických systémů.

Vzhledem ke struktuře práce, jejíž těžiště spočívá v již publikovaných a tudíž i celkem důkladně recenzovaných pracích, nemá cenu, abych znova rozebíral věcný obsah výsledkové části, to už za mě udělali recenzenti v příslušných časopisech a i jejich čtenářská obec. Mohu jen dodat, že celkový dojem z disertace je velmi dobrý. K výkladu je použit elegantní kovariantní formalismus popisu fyzikální situace v tokamaku s divertorem v (bohužel neortogonálních) souřadnicích spojených s  $m_g$  siločarami, který přímo vede ke zjednodušené struktuře výchozích rovnic a umožňuje přímočarou aplikaci teorie hamiltonovských systémů. Jejich analýza se většinou děje numerickou konstrukcí Poincarého map. Práce je navíc napsána velmi pěknou angličtinou s minimem rušivých míst a překlepů (poznamenáno tužkou v mé kopii).

K formální stránce věci bych si ale postěžoval, že čtení práce je poněkud ztíženo používáním mnoha pro mě neobvyklých zkratk, jejichž význam je nutno pracně hledat v předchozím textu. Pro budoucí čtenáře by bylo tedy velice užitečné vložit list s abecedním seznamem

použitých zkratk, jejich „překlad“ do normálního jazyka a též číslo stránky, kde jsou poprvé použity. Totéž platí pro označování některých veličin.

Věcnou námitku bych měl k odstavci 3.2.1 úvodu. Poněkud nešťastná formulace budí dojem, jakoby difuzní koeficienty iontů a elektronů (v mg poli) byly stejné, což není pravda a čtenář se tudíž nad tímto místem pozastaví. Mínil se zřejmě to, že výsledná difuze je u obou složek dána kompromisním efektivním koeficientem ambipolární difuze. Navrhuji pro budoucnost přesnější formulaci.

Jen prvé 2 práce z celkového souboru se zabývají pohybem částic a jejich Poincarého mapy se srovnávají s Poincarého mapami porušených mg siločar. Ukazuje se, že v případě ergodičnosti zdaleka neplatí, že se obojí liší jen o hodnotu příčného částicového driftu, neboli, že odchylky pohybu částic od siločar jsou spíše dány rozměrem oblasti ergodičnosti mg pole, než malou driftovou odchylkou. Z toho vyplývá můj další dotaz. V následující části o poškozování poloidálního divertoru se konstatuje, že přídatné cívky mohou vést k příznivějšímu rozložení oblastí poškození na divertorovém prstenci a tudíž zmenšit jeho erozi dopadajícím plazmatem, což by vedlo ke snížení emise nežádoucích nečistot. Tento závěr se však činí pouze na základě rozboru chování mg siločar, které buď končí nebo nekončí právě na divertoru. Závěr předchozí kapitoly ale ukazuje, že dopadající částice zdaleka nemusí sledovat mg siločáry. Do jaké míry se dá očekávat, že závěry odvozené jen z chování siločar zůstanou v platnosti, pokud vezmeme v úvahu skutečný pohyb částic?

Právě tyto kapitoly však obsahují i poznámku o intuitivně předpokládaných „stínících“ proudových vrstvách, kterými by plazma mohlo reagovat na ergodičnost pole a jejichž existence by mohla být prozrazena změnou polohy erozních stop na divertoru.

Takových fyzikálních námětů významných pro plánování experimentů na stávajících zařízeních (hlavně Compass) obsahuje předkládaná práce celou řadu. Je zřejmé, že předkladatel je do tohoto programu plně zapojen a významně k němu přispívá. Předkládaná práce je toho důkazem. Dovoluji si proto navrhnout, aby byla přijata k obhajobě jako práce disertační.

V Praze, 14/11 2010.

RNDr. Karel Rohlena, CSc.,

Fyzikální ústav AVČR