

**Posudek doktorské disertační práce Mgr. Jakuba Seidla:
Anomalous diffusion of plasma in tokamak edge region**

Jak ukazují poslední experimenty na velkých tokamacích, stav turbulentního plazmatu na okraji tokamaku má téměř klíčový vliv na centrální plasma tokamaku i na osud řízené termonukleární reakce. Turbulence způsobuje silnou anomální difuzi plazmatu a v této části se generují nestability, jejichž vliv na transport plazmatu byl v minulosti silně nedoceněn. Jejich zvládnutí je téměř dramatickou podmínkou pro úspěšné dovršení předchozích padesáti let usilovné teoretické a experimentální práce na tokamaku.

Turbulence na okraji tokamaku je neobyčejně komplikovaným jevem. Původní teoretické odhady silně podcenily její význam; experimentální práce předbíhají úvahy teoretické a ponechávají na teorii samotné jejich vysvětlení a návržení mechanismů, umožňujících jejich zvládnutí.

Jak jistě Mgr. Seidl uvede ve své prezentaci, plazma na okraji tokamaku se chová odlišně uvnitř poslední uzavřené magnetické plochy a vně této plochy. Zatímco uvnitř plochy jsou magnetické siločáry uzavřené, vně této plochy magnetické siločáry končí na první stěně tokamaku. Pro diagnostiku plazmatu je poslední zmíněná oblast dostatečně přístupná, kdežto experimentální určení stavu plazmatu uvnitř poslední uzavřené plochy je neobyčejně komplikované. Zde má teorie prozatím nezastupitelnou roli. Práce Jakuba Seidla se zabývá oběma oblastmi. Protože vnější oblast je experimentálně dobře poznatelná, je i část disertace, věnovaná této oblasti, rozsáhlejší. Druhá část věnovaná vnitřní oblasti a založená na počítačových simulacích pak poskytuje první neobyčejně zajímavé a důležité poznatky, které disertant našel.

Úvod disertace tvoří poměrně rozsáhlý přehled prací a znalostí, týkajících se turbulentního okrajového plazmatu tokamaku. Zatímco v řadě obdobných rozborů je tento přehled spíše stručný a čtenář jej obvykle pouze prolistuje, Jakub Seidl pojal tuto část jako organickou součást disertace. Ta se drží historického postupu tak, jak plazmatici postupně pronikali do v pravém smyslu slova chaotické spleti jevů. Vzájemné propojení teorie, experimentů a počítačových simulací je v disertaci dobře zachyceno a činí i tuto část disertace přitažlivou.

V obou zkoumaných oblastech dominují dvě odlišné nestability. Vně poslední uzavřené magnetické plochy to je tzv. výměnná, či žlábková nestabilita, v druhé pak nestabilita driftové

disipativní. Studium první oblasti vně poslední uzavřené plochy založil Jakub Seidl na užití kódu ESEL, ústavem přejetého. Druhou oblast pak studuje pomocí řešení Hasegawa-Wakataniho soustavy rovnic a pokračuje tak ve zkoumání anomální difuze částic, kterou ústav již delší dobu řeší.

Jakub Seidl užil kódu ESEL k diskusi turbulence žlábkového typu pro parametry dvou tokamaků - TCV a ASDEXU. Pro studium dynamiky blobů ještě připojil kód SOLFID, umožňující podrobněji sledovat rozpínání blobů generovaných výměnnou nestabilitou podél magnetických siločar. Vhodně zvolený grafický výstup dokumentuje velký rozsah možností užitých kódů. Je až s podivem, do jakých detailů grafika zobrazuje dynamiku i tvar jednotlivých blobů a lze bez nadsázky říci, že teprve takový grafický výstup dává možnost důkladného pochopení turbulentních procesů.

Druhou částí Seidlova studia byla turbulence driftově disipativního typu uvnitř poslední uzavřené magnetické plochy. Zde se soustředil na otázku, již delší dobou v ústavu sledovanou, do jaké míry je možno driftový popis dynamiky částic v turbulenci považovat za adekvátní. Z několika našich předechozích prací vyplynulo, že užitím driftového přiblížení je znemožněno sledovat korektně některé typy částic. Předechozí výsledky, upozorňující na tuto nekorektnost, byly studovány na velmi zjednodušeném modelu turbulentního potenciálu. Teprve výsledky získané v předkládané práci užitím potenciálu daného Hasegawa-Wakatani modelem ukázaly správnost těchto úvah i v mnohem realističtějším typu potenciálu a přinesly originální a dosud nepublikované výsledky.

Disertace je svou látkou vhodně vyvážená a těžko lze do ní začlenit nějaké rozšíření. Přesto si ale myslím, že by k dokonalému vyznění přispěla rozšířenější kapitola věnovaná oblasti uvnitř separatrixy, v textu i ve výsledcích reprezentována jevy popsány Hasegawa-Wakataniho rovnicemi. Je to oblast, která vlastně rozhodne o osudu jaderného slučování a bude jistě nejen autorem disertace, ale i plazmatickou komunitou, v budoucnosti intenzivně studována.

Jakub Seidl vypracoval pod mým vedením i diplomovou práci, takže mohu charakterizovat jeho způsob práce. Velmi rychle pronikl do fyziky plazmatu, zvláště do problematiky turbulence plazmatu. To je jedna z nejobtížnějších (a také nejdůležitějších) částí fyziky plazmatu tokamaků. Získal zde široké znalosti, přičemž projevil schopnosti propojit exaktnost přístupu s reálným odhadem možnosti dosažení výsledků. Zde mohl propojit teoretickou práci s aplikačními počítačovými simulacemi. V současné době jsou experimentální výsledky hybnou silou výzkumu a teorie se snaží v experimentálních výsledcích nalézt jednotící linii. Zde ovšem teoretik musí nalézt kontakt s experimentátory, a

to prokázal Jakub Seidl nevšedním způsobem při spolupráci s kolegy zabývajícími se diagnostikou plazmatu, především pomocí Langmuirových sond. Propojení teorie, počítačových simulací a důkladné znalosti experimentálních vlastností turbulentního plazmatu pak umožnilo vypracovat tuto práci.

Disertace Jakuba Seidla je vynikající prací a bude pro něj jistě, i díky anglické verzi, vynikající vstupenkou do plazmatické komunity. Původní autorovy výsledky spolu s přehledovou částí tvoří velice kompaktní celek, který by už bylo možno publikovat knižně. Přimlouval bych se však i za to, aby ji autor přihlásil do soutěže o nejlepší disertaci buď u nás, nebo v rámci Euroatomu.

Vřele proto doporučuji po úspěšné obhajobě doktorské práce udělení příslušných titulů.

V Praze dne 22.1.2013



doc. Ing. Ladislav Krlín, DrSc.