

Oponentský posudek doktorské disertační práce

„2D & 3D computer modelling of low-temperature plasma sheaths with a particular focus on their mutual interaction”

doktoranda

Mgr. Jakuba Hromádky

Předložená disertační práce o rozsahu 138 stran je rozčleněna do čtyř kapitol s dodatky a její přílohou je autorem vytvořený rozsáhlý počítačový kód. Práce studuje metodou počítačového modelování problematiku stínící vrstvy, která vzniká při interakci nízkoteplotního plazmatu s pevným tělesem.

Úvodní kapitola je literární rešerší teoretických poznatků o fyzice stínící vrstvy nízkoteplotního elektropozitivního a elektronegativního plazmatu, o vlivu srážek nabitých částic s neutrálními, je prezentována bezkolizní teorie měření této vrstvy pomocí Langmuirovy sondy i vliv kolizí na měření této sondy

Druhá kapitola je věnována teorii základů počítačových modelů, které byly vyvinuty a aplikovány v disertační práci. Popsána je základní myšlenka ve výzkumu plazmatu osvědčené metody Particle-in-Cell i teorie modelování fluidního nízkoteplotního plazmatu na základě drift-difuzní aproximace. Pozornost je věnována též diskuzi o podmínkách nutných pro stabilitu řešení.

Ve třetí kapitole jsou podrobně popsány vyvinuté počítačové 2D a 3D modely plazmatu, ve kterých kromě standardních kombinovaných postupů PIC / MCC (Particle-in-Cell a Monte Carlo kódů) jsou implementovány další efektivní postupy. Například metodika modelování elektricky nabitých objektů ponořených do 3D výpočetní oblasti pomocí definice ekvivalentního rozložení nábojové hustoty umožňuje použít pro řešení Poissonovy rovnice extrémně rychlé funkce knihovny Intel Math Kerner Library (MKL) založené na rychlé Fourierově transformaci. Zapracována byla též rozšířená metoda nulové kolize pro modelování srážek nabitých částic s neutrály publikovaná Roučkou a Hrachem. Implementace fluidního modelu založeného na drift-difuzní aproximaci si vyžádala formulaci problému v podobě potřebné k vytvoření modelu pomocí metody konečných prvků s užitím softwaru Fenics. Patřičná pozornost byla věnována úspěšnému testování stability a přesnosti vyvinutého 3D PIC/MCC modelu.

Poslední rozsáhlá čtvrtá kapitola shrnuje výsledky dosažené s použitím doktorandem vytvořených počítačových programů. Výchozím prezentovaným problémem je využití 1D modelu při studiu plazmatické stínící vrstvy a voltampérové charakteristiky nekonečně velké planární sondy při středních tlacích. Pozornost je věnována srážkovému modelu plazmatu, podrobně diskutovány jsou rozdíly mezi modely tekutin založenými na drift-difuzní aproximaci a částicovými modely založenými na Particle-in-Cell metodě. Následují modelace ve 3D prostoru s využitím vytvořených 2D a 3D modelů, studována je také problematika interakce plášťových vrstev dvou válcových elektrod. Všechny hodnoty fyzikálních parametrů získané z modelů plazmatických plášťových vrstev jsou vysvětleny a podrobně diskutovány.

Po formální stránce je práce zpracována velmi pečlivě, kladně je třeba hodnotit i její předložení v anglickém jazyce. Možná místy až příliš heslovitě je zpracována úvodní kapitola (například u Boltzmanova vztahu (1.1.2) by asi bylo vhodné vyznačit, že při známém průběhu potenciálu nám umožňuje stanovit hustotu iontů ve stínící vrstvě jako funkci vzdálenosti od stěny, která je graficky znázorněna na obr. 1.1), což lze však plně pochopit vzhledem k šíři fyzikálních jevů zahrnutých v této rešeršní části. Každopádně stejně jako další kapitoly i tato ukazuje, že se doktorand podrobně seznámil s problematikou a možnými

postupy jejího řešení, což se plně odráží na vlastním programovém zpracování i úctyhodně šíři i rozboru prezentovaných výsledků. Mnohé nové výsledky jsou původní a doporučuji jejich publikování.

Řešená problematika je nepochybně velmi aktuální v souvislosti s rozsáhlými aplikacemi plazmatických technologií v průmyslové praxi. Metoda počítačového modelování umožňuje lépe pochopit řadu jevů probíhajících ve stínících vrstvách povrchů těles a ve stínících vrstvách sond. Jistě důležitá je například odpověď na otázku, do jaké míry jsou měřené hodnoty ovlivňovány přítomností samotných sond a jejich interakcí, což je jen jeden z řady problémů, které jsou s užitím vytvořených programů v práci studovány a diskutovány.

Velký přínos předložené práce je v úspěšném vytvoření 2D a 3D PIC/MCC modelů interakce nízkoteplotního plazmatu s pevnými látkami. Dílčí získané výsledky byly ověřeny srovnáním s teorií. Vytvořené modely jsou nepochybně cenným přínosem pro další rozvoj dané vědní disciplíny.

K práci mám dva drobné dotazy. V rámci vymezení charakteristických parametrů simulací se na str. 37₁₋₂ uvádí, že každá výpočetní superčástice reprezentuje 1.0×10^3 reálných částic. Při testování modelu se ale na str. 47²⁻³ uvádí volba jen jedné reálné částice v superčástici. Prosím doktoranda o vysvětlení, v jakém vztahu jsou obě informace. V rámci obhajoby bych dále uvítal komentář autora ke grafům prezentovaným na obr. 4.28.

Celkově jsem prostudováním předložené disertační práce dospěl k názoru, že doktorand prokázal schopnost samostatné vědecké práce a doporučuji práci k obhajobě za účelem získání vědeckého titulu PhD.

V Děčíně 2.3.2023

Doc. RNDr. Dušan Novotný, CSc.

Katedra fyziky PŘF UJEP v Ústí n.L.