

# Studium interakce plazma-pevná látka pomocí hybridního modelování

Vojtěch Hrubý

Katedra fyziky povrchů a plazmatu, MFF UK  
Vedoucí: prof. RNDr. Rudolf Hrach, DrSc.

26. ledna 2008

# Osnova

- Současný stav - motivace
- Současný stav - základní modely
- Současný stav - hybridní modely
- Současný stav - konkrétní metody hybridního modelování
- Cíle práce
- 2D spojitý model válcové sondy
- 2D spojitý model - vlastní výsledky
- Iterační model - započítání srážkových procesů

# Současný stav - motivace

## Sondová měření v plazmatu

- Měření sondových charakteristik patří k nejstarším a dodnes k velmi rozšířeným metodám výzkumu nízkoteplotního plazmatu.
- Pro rozvoj těchto metod je důležité pochopit fyzikální procesy v okolí sond. Počítačové modelování je perspektivní cestou.

# Současný stav - základní modely

## Spojité modely

- řešení diferenciálních rovnic pro makroskopické veličiny (koncentrace, potenciál, energie, teplota, a pod.) popisující stav soustavy
- rychlý výpočet, malá vypovídací hodnota

## Částicový model

- simulace pohybu částic na základě Newtonových pohybových rovnic
- velmi pomalý výpočet, detailní výsledky

# Současný stav - hybridní modely

## Hybridní model

Hybridním modelem nazýváme takový počítačový model, který kombinuje alespoň dvě odlišné metody řešení do jednoho celku za účelem efektivnějšího výpočtu.

## Základní druhy hybridních modelů

- molekulární dynamika + Monte Carlo
- spojitý model + částicový model

# Současný stav - hybridní modely

## Hybridní model

Hybridním modelem nazýváme takový počítačový model, který kombinuje alespoň dvě odlišné metody řešení do jednoho celku za účelem efektivnějšího výpočtu.

## Základní druhy hybridních modelů

- molekulární dynamika + Monte Carlo
- spojitý model + částicový model → náplň této práce

# Současný stav - konkrétní metody

## Prostorové dělení

- okolí sondy (obecněji oblast silných polí) částicově
- zbytek spojitě

## Energetické dělení

## Iterační metoda

## Další metody

# Současný stav - konkrétní metody

Prostorové dělení

Energetické dělení

- spojitý model v celé oblasti
- částicově jen elektrony s vysokou energií

Iterační metoda

Další metody



# Současný stav - konkrétní metody

Prostorové dělení

Energetické dělení

Iterační metoda

- spojitý model se započítáním srážek
- koeficienty interakcí získávány z částicového modelu

Další metody

# Současný stav - konkrétní metody

Prostorové dělení

Energetické dělení

Iterační metoda

Další metody

- Existují i další metody, které však v této práci nebudou realizovány.

## Cíle práce

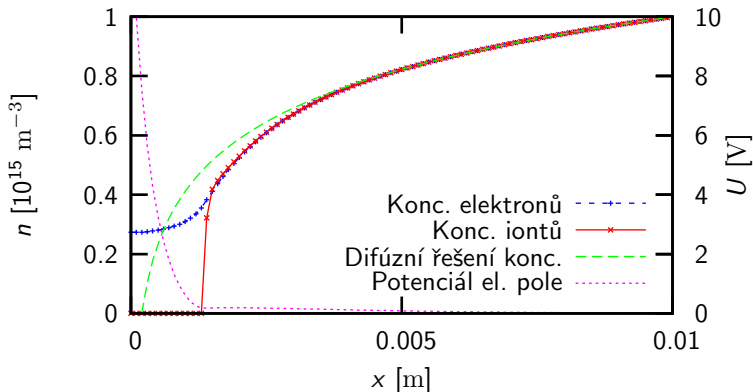
- vytvořit 1D nebo 2D hybridní modely ve výše uvedených variantách, otestovat jejich efektivitu a porovnat je s odpovídajícím částicovým modelem
- zvolenou variantu rozšířit do 3D s použitím balíku COMSOL Multiphysics
- vytvořit model interakce plazmatu se sondou a dalšími povrchy a porovnat výsledky s experimentálními daty
- aplikovat model na vybraný fyzikální problém (např. složité geometrie elektrod)

## 2D spojitý model válcové sondy

- Spojitý model je základní částí studovaných hybridních modelů.
- Zahrnuje minimálně zákony zachování počtu částic a Poissonovu rovnici
  - $\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J}_e = r_e$ , kde  $\vec{J}_e = \mu_e n_e \nabla \varphi - D_e \nabla n_e$ ,
  - $\frac{\partial n_i}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J}_i = r_i$ , kde  $\vec{J}_i = -\mu_i n_i \nabla \varphi - D_i \nabla n_i$ ,
  - $\Delta \varphi = -\frac{e}{\epsilon_0} (n_i - n_e)$ .

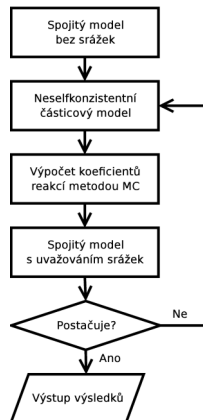
## Spojité 2D model - vlastní výsledky

- poloměr válcové sondy:  $r = 0,2 \text{ mm}$
- předpětí:  $U = 10 \text{ V}$



# Iterační model - započítání srážkových procesů

- Nejdůležitější srážkové procesy jsou
  - pružná srážka elektron-neutrál,
  - excitace neutrálu elektronem,
  - ionizace neutrálu elektronem.



# Iterační model - započítání srážkových procesů

- Nejdůležitější srážkové procesy jsou
  - pružná srážka elektron-neutrál,
  - excitace neutrálu elektronem,
  - ionizace neutrálu elektronem.
- Hodnoty koeficientů těchto reakcí závisí na energii elektronů, která je obecně funkcí souřadnice a času. Lze je vypočítat na základě částicového neselfkonzistentního modelu ze srážkových průřezů a rozdělení rychlostí.

