Žádost o udělení grantu VAKUUM Praha

Název projektu:
Studium nabíjení prachových částic na záporný potenciál

Navrhovatelé projektu:
Jiří Pavlů, 5. ročník a **Andriy Velyhan**, 2. ročník postgraduálního studia

Popis projektu:

1. Úvod do problematiky

Pojmem **kosmický prach** se označují malá pevná tělesa, jejichž hmotnost je menší než $10^{-9} kg$, a které jsou menší než 100 μm. Prachové částice mohou být v plazmatu nabíjeny různými mechanizmy [1]. K nejdůležitějším nabíjecím proudům v plazmatu našeho slunečního systému patří však jen fotoemise způsobená UV zářením slunce, záchyt plazmatických částic slunečního větru a sekundární emise elektronů způsobená částicemi slunečního větru [2, 3]. Těmito nabíjecími proudy mohou být prachové částice ve vesmíru nabíjeny jak kladně, tak záporně.

V meziplanetárním prostoru dominuje příspěvek fotoemise k celkovému nabíjecímu proudu. Emisí fotoelektronů jsou ozářené povrchy nabíjeny kladně a rovnováha nastane, když vzniklé elektrické pole ozářeného tělesa zabrání, aby fotoelektrony těleso opouštěly. Na povrchu tělesa se přitom ustaví potenciál, typicky $+5V$ až $+10V$, který závisí na vlastnostech materiálu tělesa.

V silných magnetických polích planetárních magnetosfér jsou zachycené vysokoenergetické elektrony a ionty, které tvoří horké plazma. Kosmické těleso, které se nachází v magnetosféře, je nabíjeno záchytem energetických plazmatických částic. Protože elektrony mají v plazmatu díky své nízké hmotnosti podstatně vyšší rychlosti než ionty, je jejich tok na povrch tělesa vyšší než tok iontů. Těleso se proto nabije elektrony záporně a přitom mohou být dosaženy na povrchu tělesa potenciály až do několika kV [4].

Podíváme-li se na problematiku prachových částic vnořených do plazmatu z pohledu technologického, můžeme říci, že **prachové plazma** je prostředí s rozsáhlými praktickými aplikacemi. Využívá se při nanášení povrchů definovaných vlastností (např. antikorózní vrstvy s nízkým koeficientem tření). Díky tomu, že nanášený materiál je ve formě prachových zrn, je možno spektrum vytvářených vrstev rozšířit o materiály, které jiným způsobem nanášet nelze. Technologie založené na tomto principu je možno používat od velmi vysokého vakua až po atmosférický tlak. Základní podmínkou pro použití v aplikacích je, že prachová zrna musí nést definovaný elektrický náboj, avšak v nabíjecím procesu hrají roli nejen parametry plazmatu, ale i vlastnosti povrchu částice. Kromě materiálových vlastností (výstupní práce, koeficient sekundární emise) je důležitým parametrem i poloměr křivosti zrn, který se výrazně ulatňuje u malých částic vložených do plazmatu. Ve světové literatuře je o těchto procesech jen minimum experimentálních dat a teoretické modely si často protiřečí.

2. Stávající experimentální vybavení

Jak již bylo řečeno, prachové částice mohou být v plazmatu nabíjeny různými mechanizmy, fotoemisí UV zářením, záchytem elektronů nebo iontů, sekundární emisí elektronů apod. K laboratornímu studiu a aplikacím byla ve spolupráci s Max-Planck Institutem v Heidelbergu vyvinuta **unikátní aparatura**, ve které jsou zkoumané částice zachycovány po dobu až několika týdnů, bombardovány svazkem iontů či elektronů a měřeny časové závislosti jejich poměru Q/M nebo rovnovážný potenciál.

Experimentální zařízení je UHV aparatura vybavená dynamickým kvadrupólem pro zachycení a udržení zkoumané částice, elektronovým dělem s rozsahem energií 200 eV až 10 keV a iontovým zdrojem (s rozsahem do 5 keV) pro studium nabíjecích a vybíjecích procesů, laserovým optickým systémem a polohově citlivým detektorem pro určování měrného náboje částice. Práce aparatury, sběr a vyhodnocování dat jsou plně automatizovány [5]. Principiální schéma experimentálního zařízení je na **obrázku 1.**

3. Současný stav ve studiu nabíjení částic

Analýzou naměřených dat bylo možno rekonstruovat voltampérové charakteristiky nabíjecích procesů a porovnat je s teoretickými představami. Měření v zásadě potvrdila teoretické představy o nabíjení malých prachových částic [6], ale zároveň byl objeven nový vybíjecí mechanizmus kladně nabitých malých částic, který by mohl snižovat dosažitelné povrchové potenciály prachových částic ve vesmíru a zabraňovat jejich elektrostatické fragmentaci [6]. Podstatou tohoto jevu je pravděpodobně autoemise iontů z povrchu dielektrických částic.

Další výsledky získané na výše popsané aparatuře ukazují, že rovnovážný potenciál izolované částice nabývá maximální hodnoty při energiích elektronů $\sim$ 400 eV. Energetická spektra emitovaných elektronů je možno dobře aproximovat integrálním Maxwellovým rozdělením. Parametry tohoto rozdělení - výška a poloha maxima - jsou v dobrém souhlasu s měřeními provedenými jinými autory na obdobném materiálu a rovinných površích. Práce [7] konstatuje, že efekt křivosti částice na energetické rozdělení sekunárních elektronů je možno zanedbat pro částice o průměru $\sim 2 \times 10^{-6}\, m$ a větším. Na tyto výsledky navazuje práce [8], ve které byl zkoumán vliv elektronů emitovaných z povrchů kvadrupólu, které při dopadu na prachovou částici spoluvytvářejí její rovnovážný potenciál. *Počítačový model*, který je v práci prezentován, ukazuje, že povrchový potenciál částice je určen pouze energetickou závislostí koeficientu sekundární emise. Výsledky modelu jsou ve velmi dobrém souhlasu s měřením provedeným na aparatuře vybavené vzorkováním svazku. Tento výsledek je velice cenný, neboť energetická závislost povrchového potenciálu je poměrně snadno měřitelná.

Paralelně probíhal výzkum závislosti nabíjecích procesů *na stavu povrchu částice*. Prachové částice byly po různou dobu vystaveny intenzivnímu bombardování iontovým svazkem. První výsledky byly publikovány již v [5] a ukazují, že bombardování ionty má velice podstatný vliv na energetickou závislost rovnovážného potenciálu. Podrobněji se rozboru možných příčin věnuje práce [9], která ukazuje dva způsoby modifikace povrchu: uvolnění adsorbovaných molekul, které probíhá relativně rychle a modifikace čistého povrchu částice, kde jsou časové konstanty podstatně větší (řádu hodin až dnů). Obdobnému problému se věnuje i práce [10], kde je proveden výpočet zmenšení částice iontovým bombardováním a porovnání výpočtu s experimentem.

4. Cíl projektu

Cílem předloženého projektu je doplnit současné studium nabíjecích a vybíjecích procesů o nabíjení prachových částic na **záporný povrchový potenciál**. V této oblasti prozatím experimentální data zcela chybějí. Tohoto však není možno dosáhnout pomocí našeho elektronového zdroje, v jehož pracovním rozsahu (200 V - 10 kV) se prachové částice nabíjejí kladně, protože koeficient sekundární emise je větší než 1. **Z těchto důvodů navrhujeme doplnit systém nabíjení o jednoduchý zdroj elektronů v rozsahu 10 V až 200 V s jemnější regulací.**

5. Předpokládaná úprava systému a řešení projektu

Během řešení projektu předpokládáme provést:

- návrh jednoduchého elektronového děla pracujícího v rozsahu energií od 10 eV do 200 eV

- realizaci tohoto zařízení a úpravu stávající experimentální aparatury tak, aby umožnila zabudování navrženého systému
- ověřovací měření s cílem nabít částice na malý záporný potenciál
- srovnávací měření pro zrna z různých materiálů a pro jejich různé velikosti a případně i tvary
- vyhodnotit výsledky měření a interpretovat je.

6. Časový harmonogram plánovaných prací

Časový harmonogram vychází z připravovaných měření a je možno ho shrnout asi takto:

- únor - březen 2001: návrh a realizace elektronového děla a návrh na úpravu experimentální aparatury
- březen - duben 2001: úprava experimentální aparatury
- květen - červenec 2001: experimentální práce (měření s různými materiály)
- červen 2001: prezentace předběžných výsledků měření na WDS'01
- srpen - září 2001: interpretace dalších výsledků a příprava publikace.

7. Návrh na využití finančních prostředků

Předpokládáme následující použití finančních prostředků:

- vakuový materiál spojený s rekonstrukcí části vakuové aparatury
- úhrady spojené s realizací elektronového děla (materiál a elektronické součástky)
- nákup nových materiálů pro měření (různé druhy zrn lišící se materiálem a velikostí)
- částečná úhrada cesty obou řešitelů na seminář v Chemnitz, kde se zabývají obdobnou problematikou)
- případné publikační náklady.

8. Řešitelé projektu a vědečtí konzultanti

- **Jiří Pavlů**, student 5. ročníku na Katedře elektroniky a vakuové fyziky ve skupině Kosmická fyzika.
  ∗ narozen 1977 v Pardubicích
  ∗ od roku 1996 student Univerzity Karlovy v Praze, Matematicko-fyzikální fakulty
  ∗ v roce 1999 úspěšný řešitel studentského projektu: *Návrh a ověření konstrukce speciálního detektoru pro studium nabíjení prachových částic*
  ∗ v současné době řeší diplomovou práci na téma: *Studium elementárních procesů v prachovém plazmatu* (vedoucí doc. RNDr. Zdeněk Němeček, DrSc.)

- **Andriy Velyhan**, student 2. ročníku doktorského studia na Katedře elektroniky a vakuové fyziky ve skupině Kosmická fyzika.
  ∗ narozen 1976 v Užhorodu
  ∗ 1994-1999 student Užhorodské státní univerzity
  ∗ 1999 dokončil diplomovou práci na téma: *Změny indukované termickými a fotoemisními procesy v komplikovaných selenových strukturách*
  ∗ od roku 1999 postgraduální student Univerzity Karlovy v Praze, Matematicko-fyzikální fakulty
  ∗ v současné době řeší doktorskou práci na téma: *Elementární procesy v prachovém plazmatu* (vedoucí doc. RNDr. Zdeněk Němeček, DrSc.)

- **Publikace řešitelů**
  ∗ Sternovsky, Z., Z. Nemecek, J. Safrankova, and **A. Velyhan**, Ion field emission from micron sized spherical glass grains, *IEEE*, **in press**.
  ∗ Nemecek, Z., Z. Sternovsky, **A. Velyhan**, J. Safrankova, **J. Pavlu**, and P. Zilavy, Emission properties of dust particles, *Adv. Space Res.*, **submitted**.
  ∗ **Velyhan, A.**, Z. Sternovský, and Z. Němeček, Charging of the dust grain by the ion beam, *Proceedings of of Contribution Papers: Part II - Physics of Plasmas and Ionized Media*, ed. by J. Šafránková, Praha, Matfyzpress, 2000, 234-237.
  ∗ **Pavlů, J.** and J. Wild, Simulation of dust particle sputtering, *Proceedings of of Contribution Papers: Part II - Physics of Plasmas and Ionized Media*, ed. by J. Šafránková, Praha, Matfyzpress, 2000, 238-242.

- **vědečtí konzultanti**
  ∗ doc. RNDr. Jana Šafránková, DrSc.
  vedoucí skupiny Kosmická fyzika na KEVF MFF UK
  ∗ doc. RNDr. Zdeněk Němeček, DrSc.
  vedoucí diplomové a doktorské práce

9. Literatura

[1] Draine, B. T., Salpeter E. E., On the physics of dust grains in hot gas, *Astrophys. J.*, **231**, 1979, 77.

[2] Bohnhardt, H., Fechtig H., Electrostatic charging and fragmentation of dust near P/Giacobini-Zinner and P/Halley, *Astron. Astrophys.*, **187**, 1987, 824.

[3] Northrop, T. G., Dusty Plasmas, *Physica Scripta*, **45**, 1992, 475.

[4] Whipple, E. C., Potentials of surface in space, *Rev. Prog. Phys.*, **44**, 1981, 1197.

[5] Žilavý, P., Sternovský Z., Čermák I., Němeček Z., Šafránková J., Surface potential of small particles charged by the medium-energy electron beam, *Vacuum*, **50**, No.1-2, 1998, 139-142.

[6] Čermák, I., Grun E., Švestka J., New results in studies of electric charging of dust particles, *Adv. Space Res.*, **15**, 10, 1995, 59.

[7] Sternovsky, Z., P. Žilavý, Z. Němeček, J. Šafránková, Charging of small solid bodies: Laboratory simulation, *Proceed. of ICPP & 25th Conf. on Contr. Fusion and Plasma Physics*, Prague, **ECA Vol.22C**, 1998, 2549-2552.

[8] Žilavý, P., Sternovský Z., Němeček Z., Šafránková J., Charging of small solid bodies by a middle energy electron beam, *Proceedings of Contribution Papers: Part II - Physics of Plasmas and Ionized Media, ed. by J. Šafránková*, Praha, MFF UK, 1998, 274-279.

[9] Sternovský, Z., Laboratorní simulace nabíjení kosmických prachových částic, *Diplomová práce*, Praha, MFF UK, 1998.

[10] Pavlů, J. and J. Wild, Simulation of dust particle sputtering, *Proceedings of of Contribution Papers: Part II - Physics of Plasmas and Ionized Media*, ed. by J. Šafránková, Praha, Matfyzpress, 2000, 238-242.