

## **Posudek doktorské práce “Libor Nouzák: Laboratory investigation of dust charging and impact ionization”**

Předložená práce s názvem “ Laboratory investigation of dust charging and impact ionization”, jejímž autorem je Libor Nouzák se zabývá dvěma hlavními tématy: laboratorním výzkumem nabíjení prachových částic a detekce prachových částic pomocí elektrických antén instalovaných na družicích a kosmických sondách.

Rozsahem práce odpovídá obvyklému standardu, čítá 77 stran bez referencí a příloh. K práci je přiloženo 5 původních odborných publikací, z toho 3 v mezinárodních recenzovaných časopisech (u dvou z těchto článků je L. Nouzák prvním autorem) a 2 ve sborníku konference WDS (u obou je L. Nouzák prvním autorem). Z tohoto pohledu považuji rozsah práce za vyhovující a publikační výsledky autora za dostatečné.

Práce v anglickém jazyce je přehledně strukturována a po jazykové a formální stránce velmi dobře zpracovaná. Text je dobře čitelný, srozumitelný a gramatické nedostatky jsem zaznamenal jen zcela výjimečně. Autor v dostatečném rozsahu cituje předchozí publikované výsledky a součástí práce je pěkně zpracovaný úvod do problematiky kosmického prachu, nabíjení prachových částic a jejich interakce s plazmatem a především laboratorního výzkumu prachu. Na druhou stranu mi v práci trochu chybí obsáhlejší úvod do druhého řešeného tématu – detekce dopadů prachových částí pomocí elektrických antén.

Úvodní kapitola nabízí přehled výskytu prachu a prašného plazmatu ve sluneční soustavě. Druhá kapitola pak prezentuje detailně problematiku nabíjení prachových částic různými mechanizmy a třetí kapitola se věnuje procesům vzniku a zániku prachových částic. V krátké kapitole 4 jsou prezentovány cíle předložené práce a kapitoly 5 a 6 potom popisují vlastní výsledky doktorské práce. Kapitola 5 popisuje výsledky laboratorního měření nabíjení prachu zachyceného v elektrodynamické pasti vlivem UV záření. Autor v ní popisuje srozumitelně experimentální aparaturu, způsoby měření a prezentuje dva hlavní výsledky: určení výstupní práce a účinnosti fotoelektrického nabíjení částic simulujících měsíční prach. Kapitola 6 se pak věnuje laboratorní simulaci měření dopadů prachu na antény zmenšeného modelu sondy Cassini, provedení ve spolupráci s Univerzitou v Boulderu, USA. Hlavními výsledky je zjištěná závislost pulzů na napětí antény, nalezení a vysvětlení krátkého pulzu s opačnou polaritou (pre-peaku) na začátku hlavního napěťového pulzu vyvolaného dopadem prachu. Byl také zkoumán rozdíl mezi detekcí prachu dipólovou a monopólovou anténou. Práce je zakončena shrnutím výsledků, dále pak seznamem citací a publikací. Krátký dodatek popisuje fungování elektrodynamické pasti užívané při experimentu.

Mojí hlavní připomínkou k celkově kvalitní práci je relativní stručnost kapitoly 6, kde autor prezentuje své výsledky ohledně detekce prachu na anténách sondy Cassini. Přestože dva z pěti hlavních výsledků práce, shrnutých v kapitole 7, týkají právě tohoto problému, je bohužel kapitola 6 omezena víceméně na shrnutí příloženého článku Nouzák et al., 2017 a značná část kapitoly je z článku doslova převzata. Toto je zvláště patrné u porovnání dat získaných z laboratorního měření se skutečnými daty z Cassini (výsledek 5 z kapitoly 7), kterému je věnován pouhý jeden odstavec za straně 70 a dva obrázky.

Závěrem mohu říci, že přes uvedené drobné nedostatky práce prezentuje přehledně a dostatečně detailně vynikající původní výsledky, které jsou podle mého názoru užitečné nejen z pohledu fyziky kosmického prachu, ale také obecně užitečné pro interpretaci dat z Cassini a dalších kosmických sond, které nesou přístroje schopné zaznamenat napěťové pulzy vyvolané dopady prachových částic. Kromě existujících dat z Cassini, STEREO a dalších sond jsou výsledky relevantní pro nově připravované kosmické mise jako JUICE, Solar Orbiter nebo Parker Solar Probe. Kvalitou výsledků

získaných ve spolupráci se zahraničním pracovištěm a jejich prezentací autor prokázal zjevné předpoklady pro budoucí úspěšnou samostatnou vědeckou práci.

Práci proto doporučuji k obhajobě, kde by se autor mohl vyjádřit k následujícím dotazům, které jsou cíleny právě k doplnění a objasnění výsledků prezentovaných v kapitole 6.

### Dotazy a náměty k diskuzi

- 1) K tématu detekce prachu elektrickými anténami existuje množství teoretických a experimentálních článků založených především na datech ze sond STEREO. Mohl by se autor vyjádřit k tomu zda jsou jeho výsledky aplikovatelné na STEREO a případně jsou-li publikované výsledky ze STEREO konzistentní s jeho závěry?
- 2) V kapitole 6 je zkoumána a prokázána závislost pulzů na stejnosměrném napětí aplikovaném na anténu (Ubias). U reálných družic takové napětí může vzniknout buď nabíjením antény vlivem okolního plazmatu nebo přímo ovládním ze strany družice. Jakou hodnotu mívá typicky toto napětí u sondy Cassini ? Je kladné nebo záporné ?
- 3) Na obrázku 6.2 je zobrazeno schéma obvodu, který v laboratorním experimentu simuluje předzesilovač sondy Cassini. Jakým způsobem je tento obvod uzemněn? Na schématu je zobrazeno zapojení Ubias, 10M odporu a efektivní kapacity antény proti nějaké zemi. Na družicích skutečná země k dispozici není a elektrická „země“ je zpravidla propojená s povrchem družice. Podle obrázku 6.2 vpravo mi připadá, že tady to tak není. Neovlivňuje to výsledky ?
- 4) Na straně 64, pod obrázkem 6.2 je uvedeno, že vybíjení antény po dopadu prachu je realizováno skrz paralelní kombinaci dvou 10M odporů a časová konstanta je  $RC$ , kde  $R = 5M$ , z čehož je pak určena kapacita  $C_{ant}$ . Není toto přílišné zjednodušení? U jednoho z odporů je zapojen v sérii kondenzátor a odpor je připojen na zem, druhý 10M odpor je naopak propojen ke zdroji napětí Ubias. Připadá mi tedy, že proud oběma odpory nebude stejný.
- 5) Bylo zaznamenáno, že dopady prachu na dipólovou anténu jsou pozorovány i na anténě monopólové s intenzitou asi pětikrát menší. Je toto pozorováno v datech sondy Cassini. Nejsou tam naopak případy, kdy by prach byl pozorován pouze na dipólové anténě. Například na sondě STEREO jsou běžně pozorovány pulzy omezené pouze na jednu ze tří monopólových antén (interpretované jako dopady „nanoprachu“ na anténu).
- 6) Obrázek 6.14 ukazuje měřené dopady prachu z Cassini. Bylo by možné prezentovat nějaké předběžné závěry. Mají pulzy vždy stejnou polaritu ? Odpovídají dopadu prachu na anténu nebo na družici ? V laboratorních měřeních byl pre-peak pozorován pouze pro Ubias mezi 0 V a 10V. Je tento závěr možné porovnat s měřením z Cassini ?

V Praze 14. 8. 2018

Ing. Jan Souček, Ph.D.