

# OPONENTSKÝ POSUDEK

## doktorské disertační práce

Název práce: Role sekundární emise v nabíjení prachových zrn

Autorka: Mgr. Ivana Richterová

Oponent: RNDr. Luděk Frank, DrSc., ÚPT AV ČR

Předložená práce je tvořena souvislým textem o rozsahu cca 70 stran a přílohou tvořenou kopiemi pěti publikací. Zabývá se otázkou nabíjení prachových zrn různého složení, vznášejících se ve vakuu a ozařovaných proudem nabitých částic. Autorka poukazuje na spojitost studie s problematikou nabíjení prachových oblaků v kosmu s možnými dalšími dopady na otázky nabíjení družic. Práce se zaměřuje na vytvoření modelu umožňujícího simulovat nabíjení na principu Monte Carlo a předkládá výsledky simulací. V experimentální části je popsána aparatura sloužící k měření rovnovážných potenciálů levitujících částic a posléze jsou porovnávány simulované a experimentální výsledky.

Příloha obsahuje kopie pěti publikací v impaktovaných časopisech. Ve všech je předkladatelka disertace první autorkou a mezi dalšími třemi až čtyřmi spoluautory je uváděn školitel práce. Jedná se o publikace v renomovaných časopisech (2 x Physical Review B); součet hodnot impaktních faktorů je 12,35.

Považuji za rozumné pojednat výsledky práce odděleně od samotného disertačního spisu. Problematika nabíjení povrchů a objektů dopadem nabitých částic je společná astronomii včetně kosmického výzkumu a elektronové i iontové mikroskopii a mikroanalýze (se kterou mám osobní zkušenost). Pro účely elektronové mikroskopie byla vytvořena řada programových nástrojů umožňujících simulovat nejen pohyb nabitých částic v pevné látce, ale i emisi těchto částic, a po kombinaci se simulací pohybu nabitých částic v elektromagnetických polích ve vakuu vznikly nástroje pro komplexní simulaci elektronově optického zobrazení, zejména v rastrovacím mikroskopu. Nedostatkem všech dosavadních programů je zanedbání krystalické struktury terče a jeho nabíjení. V prvním případě by totiž bylo nezbytné započítat anizotropii parametrů materiálu terče, ve druhém případě rozšířit dimenze simulace o časovou osu. Autorka práce vytvořila (s využitím výběru dílčích přístupů z příslušné literatury) svůj vlastní simulační program, aniž by ovšem překročila zmíněnou bariéru hlavních zjednodušení. V takovém případě se ovšem vnučuje otázka, bylo-li nutné vyvíjet vlastní programový nástroj, nota bene na základech nijak významně se nelišících např. od volně přístupného software, který dal před lety k dispozici D. Joy. Podle mého názoru bylo možné použít některý z dostupných simulačních programů používaných v elektronové mikroskopii a věnovat se způsobu zadání tvaru

ozařovaného objektu. Připouštím, že u novějších programů (viz např. software na bázi Geant publikované v Kieft a Bosch, 2008) by asi nebylo jednoduché do částí definujících geometrii experimentu zasahovat. Podstatné je, že simulace jsou prováděny na nenabitých zrnkách a na proces nabíjení je pouze usuzováno z bilance toku náboje.

Pokud jde o vlastní sestavu a vyhodnocení simulací, nacházím v textu některé nepřesnosti a pochybná tvrzení. Nejsem si sice jist, do jaké míry nepatrnost ozařovaných zrněk kvantitativně ovlivňuje základní projevy nabíjení známé z elektronové mikroskopie více méně plošných objektů, nicméně považuji za dané, že v oblasti kladného nabíjení mezi kritickými energiemi dopadajících elektronů, při nichž je celková emise rovna jedné, vzniká jen malý rovnovážný potenciál postačující k zachycování části sekundární emise vedoucímu k vyrovnání náboje. Naopak při energiích nad několik keV, kdy se objekt nabíjí záporně, roste rovnovážný potenciál do té míry, aby odpuzoval dostatečný podíl rychlejších primárních elektronů. U samostatných malých částic ovšem postačí jen odklon trajektorie dopadajících elektronů mimo částici, takže potenciál může být nižší, než u plochého objektu. Tyto souvislosti autorka přiměřeně neinterpretuje. V grafech koeficientu nabíjení je zobrazován strmý nárůst při vysokých energiích, avšak chybí poukaz na změnu znaménka náboje nad kritickou energií. Vychází to z málo logické definice tohoto koeficientu. Množství rozmanitých tvarů zrněk přineslo očekávaný výsledek, a totiž, že vliv detailů tvaru má na nábojovou bilanci malý vliv. Mezi nepřesná tvrzení patří také úvaha o vlivu Augerových elektronů na celkovou nábojovou bilanci (str. 68).

Experimentální část povšechně popisuje aparaturu a podrobněji metodiku měření rovnovážného potenciálu při ozařování částic, levitujících ve střídaném kvadrupólovém poli, pomocí jednosměrného toku elektronů nebo iontů. Nic ovšem nenasvědčuje, že autorka k sestavě aparatury a k metodice nějak přispěla. Těžiště experimentální části je tedy v přípravě částic a ve vlastním měření. Popis průběhu a výsledků měření naznačuje kvalitní experimentální práci, která by nicméně sama o sobě asi disertabilní nebyla.

Výhrady mám vůči uspořádání disertačního spisu. Je sice rozdělen na část popisující dosavadní znalosti a na část následující za výčtem cílů práce, která by měla obsahovat výsledky disertace, nicméně ve vlastním obsahu jednotlivých statí se prolínají tvrzení převzatá a vlastní. Např. odvození vztahů (2.11) až (2.23) není opatřeno citací původu, je uvedeno mezi výchozími informacemi a je popsáno v podobě stručnější, než jaká by umožňovala pohodlné sledování úvahy. Jedná-li se o převzaté informace, je třeba citovat zdroj a stačí uvést a zejména interpretovat konečné vztahy. Má-li jít o součást disertace, musí být postup popsán podrobněji a umístěn jinde.

Námítku mám rovněž proti některým používaným termínům. Autorka zavedla pojem „sekundární emise“, kterou deklaruje jako součet emise (pravých) sekundárních elektronů a rozptýlených elektronů, avšak toto rozdělení nedodrhuje důsledně a

v některých místech není zřejmé, má-li na mysli sekundární emisi v užším nebo širším smyslu. Obvyklé je hovořit o celkové emisi a dělit ji na elektrony sekundární a odražené. Při průchodu tenkou vrstvou a tedy i malou částicí ovšem vznikají i rozptýlené resp. prošlé elektrony, takže za rozptýlené lze označit všechny elektrony, které do objektu vnikly a posléze jej také opustily. Sekundární elektrony jsou pak ty, které pocházejí z atomů materiálu terče, což lze v simulacích rozlišit.

Pokud jde o celkové hodnocení disertace, pak přes uvedené připomínky a řadu dalších drobnějších věcných i terminologických námitek a drobných formálních nedostatků, které neuvádím, oceňuji poctivý a systematický přístup autorky ke zvolené problematice. I když zvolený postup řešení úkolu asi nebyl optimální, přece jen vedl k řadě zajímavých výsledků, zejména těch, které byly shrnuty v přiložených publikacích. Osobně bych považoval za účelnější doplnit publikace o mnohem stručnější souhrnný text a vyhnout se tak řadě sporných bodů.

Téma disertace je dostatečně aktuální, zejména z hlediska kosmického programu. Význam výsledků je zejména metodologický, vztahující se k otázkám nabíjení objektů v kosmickém prostoru obecně. Disertační práce nesporně prokazuje předpoklady autorky k samostatné tvořivé práci.

Zejména s ohledem na úspěšné publikování výsledků disertace ji tímto doporučuji k obhajobě.

Otázka k obhajobě: Pole v nejbližším okolí velmi malé nabitě částice se jeví dostačující k autoemisi, zejména k autoemisi elektronů z částice nabitě záporně. Zhodnoťte možný vliv toho jevu na rovnovážný potenciál částice.

V Brně dne 22.3.2012

Luděk Frank