

# Posudek oponenta bakalářské práce

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Student: Magdalena Parýzková  
Název práce: Globální hybridní simulace planety Merkur  
Studijní obor: Matematické inženýrství, zaměření matematická fyzika  
Akademický rok: 2019/2020

Posuzovaná práce se zabývá zkoumáním vlivu působení slunečního větru na formování magnetosféry planety Merkur. Hlavní analýza je zaměřena na částice slunečního větru, které dopadají na až povrch planety. Tyto částice mohou (na molekulární úrovni) působit na erozi povrchových hornin a přispívat tak formování neutrální i ionizované části exosféry. Hlavní nástrojem pro toto studium je numerické modelování této interakce s použitím tzv. hybridního kódu, který zachovává kinetický popis plazmatu na iontových škálách, zatímco elektronový plyn je popsán pouze pomocí magnetohydrodynamických (MHD) rovnic. Tento přístup je zvolen, v souladu s běžnou praxí, jako kompromis mezi plně kinetickým (částicovým) modelem a čistým MHD z důvodů výpočetní náročnosti.

Jako úvod do problematiky práce obsahuje základní přehled hlavních veličin a procesů charakteristických pro popis chování bezesrážkového plazmatu. Tyto vlastnosti a jevy jsou dále konkretizovány pro případ plazmatu ve slunečním větru a jeho interakci s magnetizovanými tělesy ve sluneční soustavě. Detailně je popsána struktura zemské magnetosféry a jevy v ní působící. V závěru teoretické části práce jsou pak představeny a porovnány základní přístupy pro numerické simulování plazmatu s důrazem na hybridní model, který je využívám v pozdější části práce.

Ve druhé kapitole byla provedena přehledná rešerše dosavadních poznatků a magnetosféře planety Merkur a její interakci se slunečním větrem. Uvedeny jsou základní charakteristiky, jak samotné planety tak jejího magnetického pole, a dále je pak diskutována struktura jeho magnetosféry a její podobnosti a rozdíly v porovnání s magnetosférou Země. Dále jsou detailně popsány vlastnosti a složení exosféry a rovněž procesy, které exosféru vytváří a formují.

Původní výsledky práce jsou pak prezentovány a dále diskutovány v kapitole 3. Nejprve je přehledně popsán použitý numerický model a jeho nastavení pro jednotlivé provedené simulace. Ty se liší v počátečním nastavení pozadového magnetického pole, což vede k rozdílným vlastnostem ve struktuře vzniklé magnetosféry. Tyto rozdíly jsou prezentovány sadou řezů simulačním boxem pro jednotlivé simulace zobrazující hustotu protonů. Hlavním výsledkem práce je pak vytvoření map četnosti dopadu protonů na povrch planety a porovnání jejich rozdílných vlastností pro jednotlivá počáteční nastavení. Jako budoucí možná aplikace těchto výsledků je pak představena metoda sledování testovacích částic uvolněných po dopadu protonů z povrchu planety a její případné využití pro studium formování exosféry.

Celkově je práce napsaná srozumitelně a prezentace výsledků odpovídá standardům při publikaci ve vědeckých pracích. V práci jsou rovněž řádně citované použité zdroje. Řešená témata jsou velmi aktuální, zejména ve vztahu k právě probíhající misi BepiColombo (ESA/JAXA), a práce má dobrý potenciál pro její další pokračování. Posuzovaná verze práce bohužel neosahovala původní zadání, a proto nebylo možné posoudit, nakolik se podařilo dosáhnout a splnit stanové cíle.

Dílčí komentáře k práci a několik formálních a faktických nedostatků, z nichž některé by bylo vhodné diskutovat v rámci ústní obhajoby, jsou uvedeny níže.

Celkově navrhuji práci ohodnotit stupněm A (výborně).

V Praze dne 26. srpna 2020

Štěpán Štverák

## Komentáře k práci:

- str. 13, druhý odstavec sekce 1.1 – Termín „vodivou kapalinu“ by bylo vhodnější nahradit termínem „vodivou tekutinu“.
- Str. 15 – Ve formuli (1.8) by bylo vhodné popsat, že  $\alpha$  udává obecnou driftovou rychlost, neboť symbol  $\alpha$  už je využit i ve vztahu (1.7) pro úhel.
- str. 15, první odstavec sekce 1.1.2 – Formulace věty "Tato funkce reprezentuje hustotu fázového prostoru daného druhu částic v objemu velikosti  $d3x d3v$ , v čase  $dt$ , v bodě  $(x,p,t)$ ." je nepřesná.  
Distribuční funkce reprezentuje hustotu částic v každém bodě  $(x,v)$  fázovém prostoru v daném čase  $t$ , tj.  $f(x,v,t) = dN(x,v,t)/dx dv$ , kde  $N$  je počet částic. To je ekvivalentní uvedenému vztahu (1.11)
- str. 16 – Sekci 1.1.3 by se tématicky lépe hodilo zařadit do oddílu 1.3
- str. 19, druhý odstavec v sekci 1.3 – "Mimo jiné s sebou sluneční vítr nese také vlastní slabé magnetické pole orientované téměř paralelně k rovině ekliptiky, ale odkloněné od spojnice planety a Slunce." Toto platí pouze pro blízké okolí ekliptiky, nikoliv obecně pro celou heliosféru.
- str. 28, odstavec CAM-CL – Vzhledem k citacím v dané práci předpokládám, že CAM-CL je metoda použitá pro později uvedené simulace Merkuru. Bylo by proto dobré jí věnovat trochu podrobnější popis a rozbor.
- str. 35, sekce 3.1, druhý odstavec, vzorec (3.1) – V odborném text by mělo být rozlišováno mezi termíny váha/hmotnost, viz "... váha jedné makročástice". Navíc není zřejmá platnost vztahu (3.1) pro  $W$ . Pro skutečnou hmotnost částic  $M$  v objemu  $dV$  by zřejmě mělo být  $M = m_p * n_p * dV$ . Pokud tuto hmotnost rozdělíme na  $N$  makročástic, pak jedna makročástice by měla reprezentovat hmotnost  $W = M/N$ , což neodpovídá vzorci (3.1).
- str. 36, Tabulka 3.1 – Co vedlo ke zvolení těchto nastavení MMP? Proč pro případ ekvatoriálního pole je zvoleno  $-45^\circ$ , když v kapitole 1.3 je uvedeno, že Parkrova spirála ve vzdálenosti Merkuru představuje průměrný úhel okolo  $20^\circ$ ?
- str. 42, SW-PW-20 a SW-SW-20 – "Počet částic dopadajících na severní polokouli je velmi podobný jako pro předchozí simulace a to 89,2 % pro sluneční a 60,7 % pro planetární orientaci." Pravděpodobně se má jednat o tvrzení o jižní polokouli, což by bylo v souladu s tabulkou 3.3. i obrázky 3.12-3.15.
- sekce 3, obecný komentář – Chybí detailnější popis procedury (a její implementace), jakou jsou z nasimulovaných dat vypočítané četnosti a lokality dopadajících částic.
- str. 55, 1. odstavec, 1. řádek – "... úplné základy" vynechat slovo "úplné"
- str. 56, třetí odstavec – "Konkrétně části exosféry, která vzniká kinetickým vyrážením částic z povrchu planety částicemi slunečního větru, jejichž mapy jsou stěžejní částí této práce." Věta sama o sobě nedává smysl a bylo by dobré ji vhodně přeformulovat (zřejmě nejlépe spojením s větou předchozí).