

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího       posudek oponenta  
 bakalářské práce       diplomové práce

Autor: Bc. Jakub Kvorka  
Název práce: Vliv podpovrchového oceánu na přenos tepla v nitru ledového měsíce  
Studijní program a obor: Fyzika, Matematické a počítačové modelování ve fyzice  
Rok odevzdání: 2019

Jméno a tituly oponenta: RNDr. Ondřej Souček, Ph.D.  
Pracoviště: Matematický ústav, MFF UK  
Kontaktní e-mail: ondrej.soucek@mff.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu přiměřený počet     méně podstatné četné     závažné

## Výsledky:

- originální     původní i převzaté     netriviální kompilace     citované z literatury     opsané

## Rozsah práce:

- veliký     standardní     dostatečný     nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet     četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky oponenta:

Předložená práce se zabývá úlohou matematického modelování termální konvekce v podpovrchových oceánech ledových měsíců a studiem efektu rotace měsíců na tuto konvekci. Úloha je formulována nejprve jako obecný problém termomechaniky kontinua v rotující vztažné soustavě, následně přeformulována do standardní nestlačitelné Boussinesqovy aproximace obsahující Coriolisovu sílu. Výsledný systém rovnic je diskretizován v prostoru metodou sférických harmonik v laterálním směru a metodou konečných diferencí na posunutých sítích v radiálním směru. V čase je použita diskretizace kombinací Adams-Baschforthovy a Runge-Kuttovy metody. Diskretizovaný problém je řešen v programu vyvinutém autorem v jazyce fortran90. Vývoj programu pro danou značně netriviální úlohu byl úspěšný, o čemž svědčí jak výsledková část práce, tak kapitola obsahující testy programu v několika numerických benchmarkových úlohách. Testy zahrnují jak termální konvekci v nerotujícím systému pro slabě podkritickou hodnotu Rayleighova čísla, tak konvekci v rotujícím systému pro konečné Ekmanovo (a Prandtlovo) číslo.

Z pohledu oboru, kde autor práci obhazuje (Matematické a počítačové modelování ve fyzice), vnímám úspěšný vývoj a otestování programu pro termální konvekci v rotujících planetárních slupkách jako výsledek, který již sám o sobě naplňuje zadání diplomové práce. Výsledky získané aplikací programu na měsíc Titan, které mají charakter samostatného (publikovatelného) vědeckého výsledku, považuji za jdoucí výrazně nad rámec rozsahu standardní diplomové práce.

Ve zmíněné aplikační části práce autor používá vyvinutý kód ke studiu efektu hraničních podmínek (free slip vs. no slip) na efektivitu tepelného přenosu. Autor demonstruje klíčový vliv volby hraniční podmínky a přesvědčivě argumentuje nevhodnost no-slip podmínky pro numerické simulace oceánské konvekce. Dalším samostatným výsledkem práce je návrh metodiky určování charakteru dynamiky podpovrchových oceánů reálných těles na základě odhadu prostorových variací tepelného toku - tématu, kterému se autor věnoval ve své bakalářské práci. Slibnost tohoto přístupu je dokumentována pro případ měsíce Titan. Všechny výše uvedené výsledky jsou původní a dá se očekávat jejich publikování v impaktovaném mezinárodním časopise.

Na tomto místě si mohu dovolit určitou kritiku zvoleného způsobu výkladu, zvláště jeho přílišné stručnosti. Text výsledkové části je psaný stylem odborného článku a autor nahrazuje zhusta komentář pouze odkazem na literaturu. To, spolu s místy zanedbanou grafickou prezentací výsledků (chybějící popisky grafů a obrázků), činí tuto část práce velice "hutnou" a obtížně čitelnou. Věřím, že v připravované publikaci se autoři těchto nedostatků vyvarují.

Záverem bych rád shrnul, že z pohledu výpočetního i modelářského je předložená práce nadstandardní. Bc. Jakub Kverka je evidentně schopen samostatně vědecky pracovat, svědčí o tím mimo jiné již jedna publikace v mezinárodním impaktovaném časopisu s výsledky jeho bakalářské práce, obsah podané diplomové práce má také jasný publikační potenciál. **Předložená práce proto dle mého názoru splňuje a v mnoha ohledech převyšuje nároky kladené na diplomovou práci.**

## Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1. Jaký je důvod přeformulování teplotní rovnice jako systému dvou rovnic 1. řádu (1.29) a (1.30)?
2. Diskretizace
  - Prostorová diskretizace - jaký stupeň spektrálního ořezání  $j_{\max}$  je volen v simulacích?
  - Časová diskretizace - v závěru kap. 1.2.1 je uváděno, že časový krok je volen pevný, zároveň je v kapitole 1.5. vzorec (1.68) uvedeno CFL kritérium. Je časový krok tedy tímto kritériem postupně adaptován a výpočet restartován vždy jednokrokovou metodou?

3. Jaké numerické řešiče byly použity pro řešení algebraických rovnic vzniklých diskretizací?
4. Jaká byla časová a paměťová náročnost prováděných výpočtů. Jak dlouhé časové běhy byly počítány?
5. Prosím okomentujte tvar podmínky (1.60).
6. Vysvětlete prosím definici Nusseltova čísla v rovnici (2.1).
7. Výsledková část - popis čar v obr. 3.1. v textu se zdá být prohozený. Odlišení free-slip vs. no-slip případu prakticky chybí (kromě barevného kódování) v obr. 3.2, 3.3. V obrázcích 3.4. až 3.7. bych velmi uvítal popisky jednotlivých případů.
8. Z jakých parametrů je získána tabulka bezrozměrných čísel pro Titan a Europu 3.3?
9. Prosím vysvětlete detailně poslední odstavec na str. 35 věnovaný škálování. Co je kupříkladu “škálování rotující či nerotující konvekce”? Kde se vzaly 2 řády nadhodnocení  $Ra$ ?
10. Jak vypadá odhad  $\delta q$  pro Europu (analogie obr. 3.9 pro Titan)?

**Práci:**

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou.

**Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl

Místo, datum a podpis oponenta: Ondřej Souček

Praha, 30. ledna 2020