

Posudek diplomové práce Niny Benešové „Modelování termální konvekce v plášti“

Práce se zabývá modelováním termální konvekce v plášti Země ve třírozměrné (3d) sférické geometrii za předpokladu hloubkově závislé viskozity. Jedná se o první práci tohoto typu na katedře geofyziky, třebaže ne o práci průkopnickou. Spektrální program umožňující 3d sférické simulace termální konvekce, který diplomantka použila, byl již dříve připraven dr. Hanou Čížkovou, vedoucí diplomové práce, a v programu zbývalo jen efektivně vyřešit vyčíslení součinu $v \cdot \text{grad}T$ v termální rovnici. Vzhledem k použité spektrální metodě však nešlo o úlohu triviální, i když i zde se diplomantka mohla opřít o zkušenosti a programové vybavení řady pracovníků na katedře. Již samotná příprava funkčního programu a jeho pečlivé otestování by zřejmě dostačovaly k úspěšnému obhájení diplomové práce. Lze proto jen ocenit, že se diplomantka pustila i do samostatných simulací, motivovaných studiem stability strukturních modelů odvozených ze seismické tomografie, třebaže bylo zřejmé, že jde o práci výpočetně náročnou, která k datu odevzdání práce může sotva přinést uspokojivé výsledky.

Předložená práce je poměrně stručná, což do jisté míry souvisí s tím, že jejím základem je výpočetní program. Ten je přiložen na disketě a popsán v příloze, čehož si velmi cením. Testy programu jsou však zmíněny jen stručně v textu (necelé tři strany) a bez jakéhokoliv dalšího materiálu, který by umožnil dalšímu uživateli testovat správnou funkci programu (očekával bych na disketě testovací data a výsledky, které by mi pomohly ověřit, zda program funguje bezchybně i při použití jiného překladače). Výsledky konvekčních simulací, které práce obsahuje, nejsou zřejmě publikovatelné (chybí termálně závislá viskozita a další ingredience), jsou však dobrým východiskem pro další práci. Po formální stránce má práce velmi slušnou úroveň. Je stylisticky kvalitní a obsahuje jen minimum pravopisných chyb. Některé drobné formální nedostatky zmiňuji níže. Závěrem lze konstatovat, že předložená diplomová práce jednoznačně splňuje nároky, které jsou na tento typ kvalifikační práce kladeny, a proto ji rád doporučuji k obhajobě.

Náměty k diskusi:

- (i) Diplomantka předpokládá, že seismická tomografie správně odráží termální anomálie v plášti, a při modelování zanedbává vliv anomálií petrologických. Tento předpoklad není v práci diskutován. Jak významné mohou být petrologické anomálie podle současných představ? Jak by se

změnily řešené rovnice (resp. metoda), pokud bychom znali rozložení chemických anomálií a chtěli ho zahrnout?

- (ii) Prezentované výsledky jsou do jisté míry diskvalifikovány tím, že model neobsahuje teplotně závislou viskozitu. Proč je zahrnutí teplotně závislé viskozity obtížné? Jak lze do spektrální metody laterální variace viskozity zahrnout?
- (iii) Jak ukázal Bunge a Richards [1996], klíčový význam pro stabilizaci plášťové konvekce má desková povaha litosféry. Diplomantka však v práci používá volný povrch a v modelu bez laterálních variací nemá šanci deskové chování simulovat. Jediný způsob, jak pak může konvekční systém stabilizovat, je snížení Rayleighova čísla, resp. zvýšení viskozity ve spodním plášti. Prosím o komentář.
- (iv) Konvekční simulace jsou prováděny s poměrně malým rozlišením. Zajímalo by mě, jak diplomantka za této situace rozliší fyzikální nestabilitu od nestability numerické.
- (v) Při studiu stability používá diplomantka absolutní čas. Nebyl by k tomu vhodnější bezrozměrný popis?
- (vi) Spektra současných tomografických modelů mají poměrně rychle klesající spektrum. Jak moc je tento výsledek robustní? Nemůže jít pouze o důsledek regularizace obrácené úlohy?
- (vii) Na straně 9 uvádí diplomantka sférické harmonické rozvoje veličin (rovnice 2.14-2.17). V rovnicích se sčítá od stupně $j=0$. Který nejnižší stupeň uvažuje diplomantka při praktických aplikacích?
- (viii) Pochybuji, že diskretizační rovnice (2.18)-(2.20) jsou správně. Kapitola 2.1 obecně není příliš povedená. Je Greenova funkce opravdu definována jako řešení diferenciální rovnice bez pravé strany? Diskuse Greenových funkcí a následné konvoluce je vůbec zavádějící, neboť program ve skutečnosti pracuje se spektry, a tedy s odezвовými funkcemi. Po přečtení kapitoly 2.1 jsem nabyl dojmu, že diplomantka použité spektrální metodě zcela nerozumí. Budu rád, když mě při obhajobě přesvědčí o opaku.
- (ix) U vzorce (2.21) pro součin dvou řad sférických vektorů je uveden odkaz na knihu Varšaloviče a kol. V této knize je však příslušný vzorec uveden v poněkud jiném tvaru. Který ze vzorců je správně? Nebo jsou správně oba?

- (x) V kapitole 3 o testech programu SOUCIN srovnává diplomantka své numerické řešení s analytickým výpočtem (odstavec 3.1, strana 14) a uvádí, že rozdíly ve výsledcích jsou „nulové“. Co to v praxi znamená?
- (xi) Odstavec 3.3: Program se hroutí zhruba při stupni oříznutí 350. Problém zjevně souvisí s numerickou integrací při zpětném výpočtu harmonických koeficientů. Má pro to diplomantka nějaké vysvětlení? Nepomohl by nějaký přesnější výpočet přidružených Legendrových funkcí nebo Gaussových uzlů a vah? Jak si s tímto problémem poradí jiný překladač?
- (xii) Str. 17, vzorec (4.1): Jak moc závisí stabilita vstupního modelu na škálovacím parametru p ? Očekával bych, že model bude stabilnější pro menší hodnoty p .
- (xiii) V odstavci 4.1 se zaměřuje člen $T_{00}(r)$ s geotermou $T(r)$. Čím se tyto dvě funkce liší?
- (xiv) U výkonových spekter (obrázky typu 4.8) chybí jednotky na ose y . Jak je výkonové spektrum definováno?

Drobnosti (při obhajobě na ně není třeba reagovat):

- Při přechodu k rovnicím (2.28-2.30), str. 12, by bylo vhodné citovat rovnici (2.21) a uvést specifické hodnoty CG koeficientů a Wignerova 6-j symbolu pro tento případ.
- Str. 12: Zavedení g jako označení pro $\text{grad}T$ není vhodné, neboť g je již dříve použito pro gravitační zrychlení.
- V odstavci 2.2.2 postrádám citace na Gauss-Legendreův kvadrurní vzorec a případně na Legendreovu a Fourierovu transformaci.
- U obrázků typu 4.2 není patrná orientace (průnik nultého poledníku s rovníkem je vpravo, nebo vlevo?).
- Výkonová spektra na obr. 4.3 by asi bylo lépe ukázat v logaritmické škále.
- Na obr. 4.6 a 4.21 chybí jednotky na ose y .
- V dodatku A postrádám odkazy na některé vzorce. Pokud vím, Varšalovič nezavádí konkrétní tenzorovou bázi (A.10). U vzorců (A.10) a (A.11) by bylo vhodné diskutovat hodnoty indexu k . Soupis podmínek, při kterých CG koeficienty nejsou nulové (A.12-A.15), působí trochu zmateně. Vzorec (A.16) je uveden již na str. 10 jako vzorec (2.21) a není ho třeba opakovat.

V Praze 5. září 2006


Doc. RN
 Doc. RN *Čadek*, CSc.