

stoermer.pro

Popis funkce zápočtového programu pro předmět
EVF088 Programování v IDL – zpracování a vizualizace dat,
ZS 2005/2006, Jaroslava Schovancová, jarka<at>schovan.net

Störmerův problém

V polovině 20. století studoval Störmer (Störmer 1955) pohyb nabité částice v poli čistého magnetického dipólu, koncem minulého (Howard et al. 1999) a počátkem tohoto století (Dullin et al. 2002) tuto analýzu použili pro studium pohybu nabitých prachových zrn v okolí planety Saturn, tedy magnetizované planety. Dullin et al. ve výše zmiňovaném článku parametrizovali systém Saturn - nabité prachové zrno pomocí dvou bezrozměrných čísel, parametrů δ a ω . Parametr δ zahrnuje hmotnost M a rotační frekvenci Ω planety, sílu magnetického dipólu \mathcal{M} a poměr náboj - hmota $\frac{q}{m}$ u částice:

$$\delta = \frac{q}{m} \frac{\mathcal{M}}{c} \frac{\Omega}{GM}.$$

Parametr ω je bezrozměrná veličina, která závisí na integrálu pohybu částice - φ -té složce kanonického impulsu:

$$\omega = \frac{\hat{p}_\varphi}{r^2 \sin^2 \theta} - \frac{\delta}{r^3}.$$

Dullin et al. ve svém článku analyzovali vztah mezi parametry kruhové dráhy na konstantní výšce nad rovníkem a parametry δ a ω :

$$r^3 = 2\delta \frac{\sigma_r - \omega}{\omega^2}, \quad \sin^2 \theta = \frac{\sigma_g}{3\delta(\sigma_r - \omega)},$$

kde σ_g , resp. σ_r , jsou přepínače, které zapínají/vypínají započtení gravitační síly, resp. elektrického působení v důsledku korotace magnetického dipólu s planetou, v závislosti na vlastnostech nabitého prachového zrna (poměr náboj - hmota).

Ve svém programu v IDL jsem se rozhodla využít výsledků této analýzy k nakreslení mapy prachových zrn v okolí Saturnu. Nejprve jsem si pomocí dullinovské analýzy spočetla, jaké vlastnosti musí mít systém Saturn - prachové zrno, aby se nabité zrno mohlo pohybovat na kruhové dráze konstantní výšky nad rovinou rovníku. Tímto jsem si tedy ze známých hodnot r a θ spočetla hodnoty δ a ω a tyto hodnoty δ následně vykreslila. Na obr. 1 je znázorněna mapa nabitých prachových zrn v okolí Saturnu, na obr. 2 je mapa nabitých prachových zrn v okolí velice slabě magnetizované hvězdy a na obr. 3 znázorňuji mapy nabitých prachových zrn v okolí planet podobných Saturnu, avšak s rozdílnou hmotností.

Komentáře k programu stoermer

Celý program `stoermer` včetně této dokumentace si můžete stáhnout a vyzkoušet na svém počítači. Celý program se skládá ze 2 procedur a 1 funkce.

Procedura `stoermer` řídí celý výpočet. Jako vstupní parametry jí náleží hodnoty přepínačů σ_g a σ_r , hmotnost planety, poloměr planety, rotační frekvence planety, velikost intenzity magnetického pole na rovníku a řetězec, který se použije jako prefix názvu výstupního `.eps` souboru.

Během výpočtu potřebuji znát hodnoty několika konstant, které získá procedura `stoermer` jakožto vstupní parametry. Tyto hodnoty je možné uchovávat v `COMMON` blocích, já však použila systémových proměnných IDL.

Veškerá důležitá vypočtená data uchovávám v dvourozměrných maticích. Potřebná data napočítám pomocí funkce `GetDelta` (ve verzi bez optimalizace pomocí funkce `dummy_GetDelta`), následovně zjistím minimální a maximální hodnotu δ . Před vykreslením data logaritmičky přeškáluji. K vykreslení používám IDL proceduru `contour`.

Při úplně prvním pokusu vykreslit na obrazovku data uložená v matici jsem použila IDL proceduru `tv`. Záhy jsem však zjistila, že ve výstupu `tv` nelze zobrazit stupnici a popisky souřadnicových os, bez kterých se nemůžu obejít. Výstupem jednoho úspěšného běhu programu `stoermer` je obrázek ve formátu `.eps`. Uživatel je upozorněn, v jakém souboru se výstup nachází.

Funkce `dummy_GetDelta` a `GetDelta`

Při prvním pokusu napsat funkci, která spočte hodnotu parametru δ na pravoúhlé mříži, jsem se neubránila použití dvojice do sebe vnořených `for`-cyklů s vyhodnocováním podmínek uvnitř cyklu. Vyústěním tohoto pokusu je funkce `dummy_GetDelta`.

IDL disponuje spoustou funkcí pro práci s maticemi i poli, např. `DINDGEN` pro naplnění N -prvkového 1D-pole hodnotami indexů jednotlivých prvků, tj. hodnotami 0 až $N - 1$, nebo třeba funkce `WHERE` pro zjištění seznamu indexů prvků, které odpovídají nějakým kritériím.

Ve funkci `GetDelta` se mi podařilo výpočet hodnot parametru δ oproti funkci `dummy_GetDelta` zoptimalizovat natolik, že se doba výpočtu zkrátila zhruba na polovinu. Během výpočtu a vykreslování pracuji s maticemi o rozměrech 599×599 prvků typu `double`, měření doby výpočtu proběhlo na počítači s procesorem Intel PIV 3,06 GHz, pamětí 1024 MB a HDD WD1600YD-160GB SATA s vyrovnávací pamětí 16MB a rychlostí otáčení ploten 7200 rpm.

Měřila jsem dobu výpočtu, pokud nechám tutéž úlohu počítat 100×. Při počítání hodnot parametru δ pomocí funkce `dummy_GetDelta` těchto 100 výpočtů trvalo 648 s, v optimalizovaném případě pomocí funkce `GetDelta` výpočet trval 359 s. Na počítači

během výpočtu nebežel kromě OS žádný další výpočet, tedy paměti i výpočetního času mělo IDL k dispozici dostatek, nejednalo se o stresový test, kdy by více procesů soupeřilo o dostupné zdroje.

Procedura `ObarviSaturn`

Procedura `ObarviSaturn` slouží k přebarvení dat v těch místech pravoúhlé mříže, kde se nachází planeta Saturn.

Procedura `colorbar`

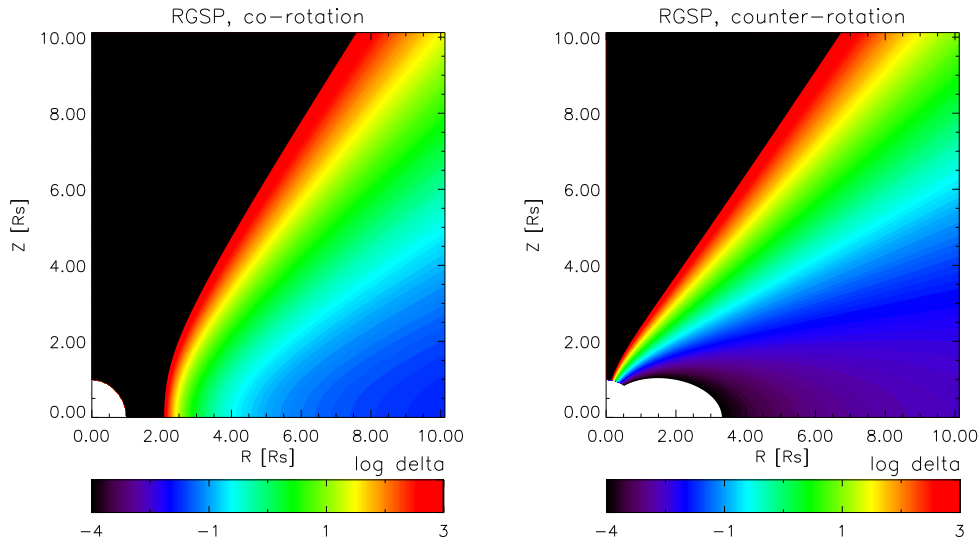
K zobrazení barevné legendy se škálou jsem použila knihovnu `colorbar` od Davida Fanninga. Na výstupních obrázcích je legenda umístěna vždy pod obrázkem. Vzhledem k faktu, že data jsou vykreslena po logaritmickém přeskálování, je i stupnice logaritmicky přeskálována.

Archív s příkladem

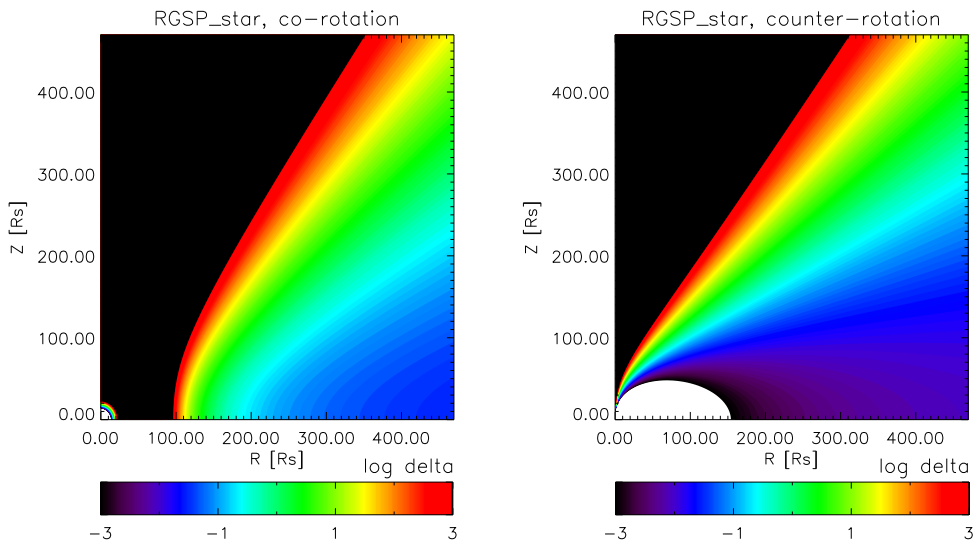
Chcete-li si pohrát s programkem `stoermer`, stáhněte si archív s příkladem. V archívu jsou zabaleny 3 soubory: `exec.pro`, `stoermer_all.pro` a `colorbar.pro`. V souboru `stoermer_all.pro` se nacházejí všechny procedury a funkce, které počítají. V souboru `exec.pro` je spouštěč výpočtu s předvolenými parametry, s nimiž si zvědavý čtenář může chvilku pohrát. Ke svým zdrojákům jsem přiložila i knihovnu `colorbar` od Davida Fanninga, kterou používám k vykreslení legendy k obrázku.

Literatura

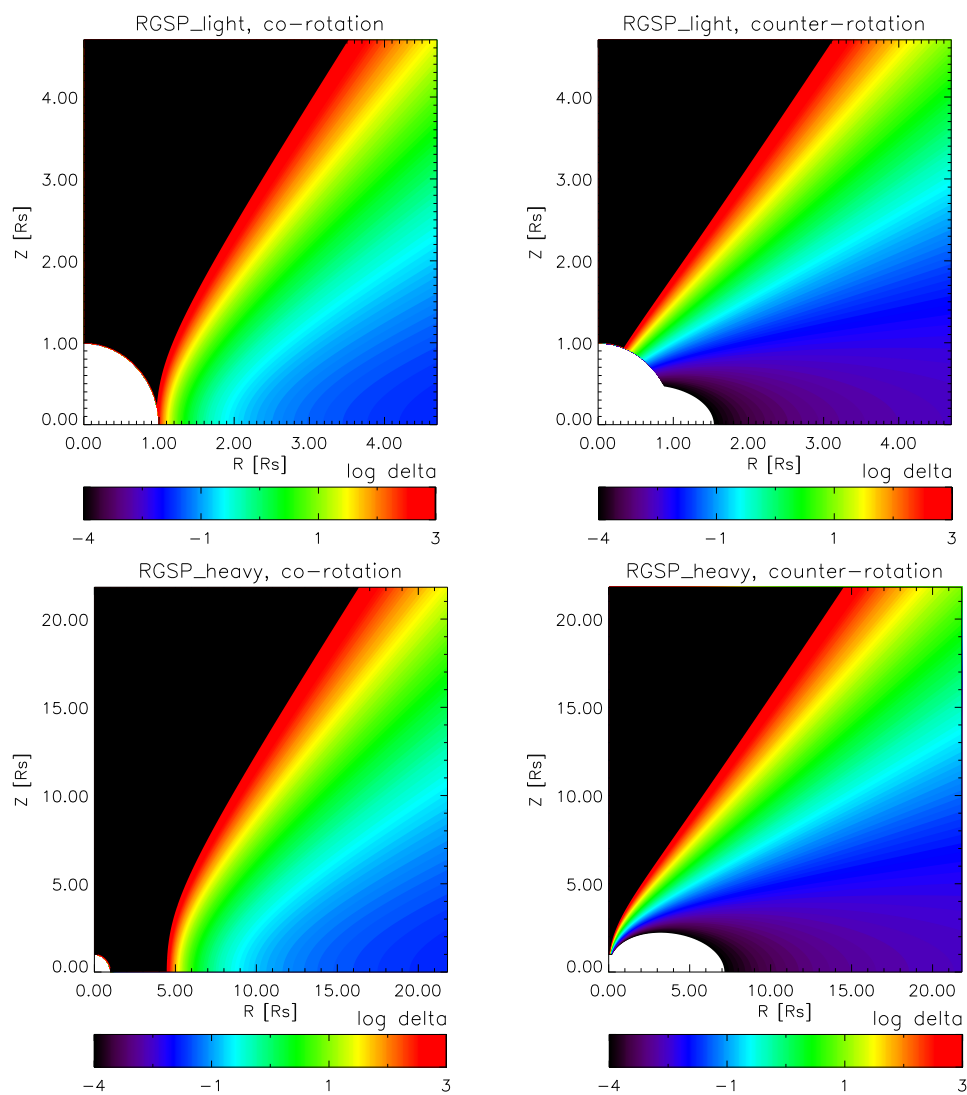
1. Störmer, C. (1955), *The Polar Aurora*, Clarendon Press, Oxford
2. Dullin, H.R., Horányi, M., Howard, J. E. (2002), *Physica D*, **171**, pp. 178-195
3. Howard, J. E., Horányi, M., Stewart, G. R. (1999), *Phys. Rev. Lett.*, **83**(20), p. 3993



Obrázek 1: Mapa prachových zrn v okolí Saturnu. Barevná škála odlišuje různá prachová zrna, tedy zrna s různými hodnotami parametru δ . V levém panelu je možné spatřit rozložení nabitých prachových zrn, která ko-rotují se Saturnem, v pravém panelu je rozložení kontra-rotujících zrn. Saturnovy důležité vlastnosti: $M_S = 5,6 \times 10^{29}$ g, $R_S = 6,03 \times 10^9$ cm, $\Omega_S = 1,69 \times 10^{-4}$ Hz, $B_{0,S} = 0,21$ G.



Obrázek 2: Mapa prachových zrn v okolí hvězdy. Barevná škála odlišuje prachová zrna s různými hodnotami parametru δ . Vlastnosti hvězdy: $M_* = 5,6 \times 10^{33}$ g, $R_* = 6,03 \times 10^{10}$ cm, $\Omega_* = 1,69 \times 10^{-6}$ Hz, $B_{0,*} = 0,21$ G.



Obrázek 3: Mapa prachových zrn v okolí planety 10× lehčí a 10× těžší než Saturn. Barevná škála odlišuje prachová zrna s různými hodnotami parametru δ . Společné vlastnosti těchto těles: $R = 6,03 \times 10^9$ cm, $\Omega_* = 1,69 \times 10^{-4}$ Hz, $B_{0,*} = 0,21$ G. Planety se liší svou hmotností: $M_1 = 5,6 \times 10^{28}$ g, $M_2 = 5,6 \times 10^{30}$ g.