

# Geofyzikální a planetologický výzkum s využitím kosmických měření a pozorování

Příležitosti a výzvy

Katedra geofyziky MFF UK

J. Velímský, M. Běhounková, K. Kalousová, O. Čadek, M. Kuchta,

O. Souček, Z. Martinec, D. Einšpigel, L. Šachl a další



Katedra geofyziky MFF UK

V Holešovičkách 2

180 00 Praha 8

<http://geo.mff.cuni.cz>

<mailto:geo@mff.cuni.cz>

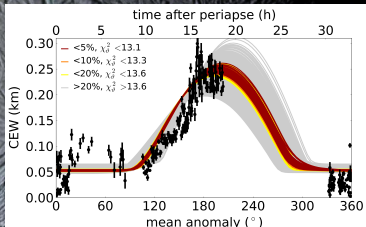
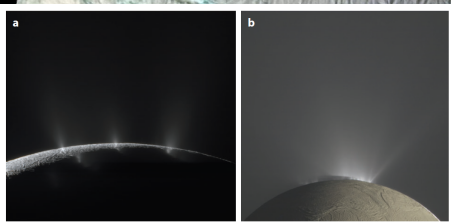
<http://goo.gl/maps/YOj6C>

Czech Space Day, 3. července 2015, FEL ČVUT

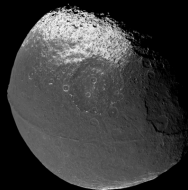
# Enceladus

- ▶ CASSINI: velmi aktivní ledový měsíc Saturnu
- ▶ v okolí jižního pólu pozorovány gejzíry spojené se zlomy
- ▶ časovou závislost aktivity gejzírů lze vysvětlit pomocí působení slapů
- ▶ určení vnitřní struktury:

viskozita, tloušťka ledové slupky a litosféry, velikost vnitřního oceánu (Běhounková et al. *Nature Geoscience* in press)



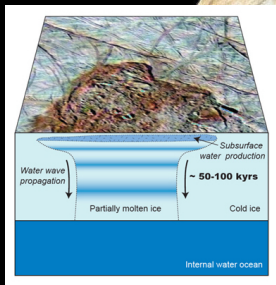
# Iapetus



- ▶ CASSINI: rovníkový hřbet (unikátní ve sluneční soustavě)
- ▶ velké zploštění tělesa nekonzistentní se současnou rychlostí rotace
- ▶ možné vysvětlení: srážka s jiným tělesem (Kučta et al., *Icarus*, 2015)
- ▶ vznik hřbetu závisí i na počáteční teplotě, rotaci a velikosti zrna

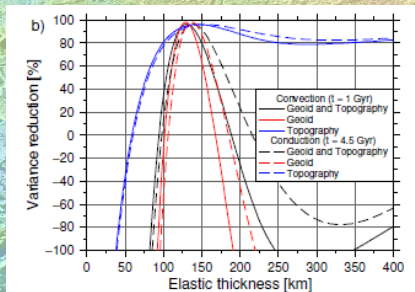
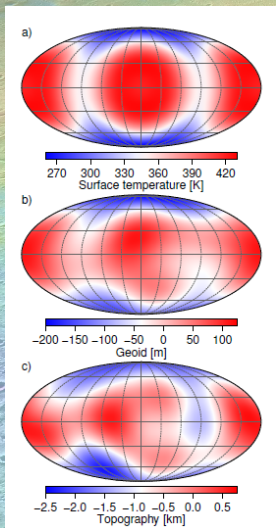
# Europa

- ▶ HUBBLE, GALILEO: chaotický terén povrchu Europy tvořen bloky ledu zamrzlími v okolním terénu
- ▶ slapové zahřívání a tření na zlomu způsobuje tání ledu
- ▶ v podpovrchových kapsách vzniká kapalná voda
- ▶ vodní kapsy jsou gravitačně nestabilní a voda rychle odtéká (Kalousová et al. *J. Geophys. Res.* 2014)

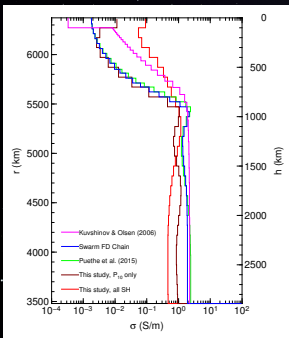


# Merkur

- ▶ slapově uzamčená planeta
- ▶ spin-orbitální poměr 2:3
- ▶ nerovnoměrné ozařování povrchu
- ▶ MESSENGER: topografie a gravitační data
- ▶ vysvětlení: zatížení elastické slupky hustotními anomáliemi indukovanými nerovnoměrnou povrchovou teplotou

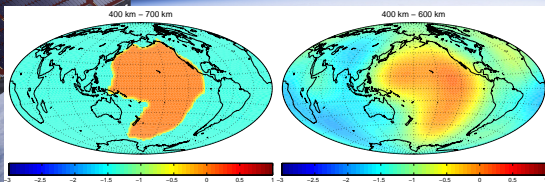
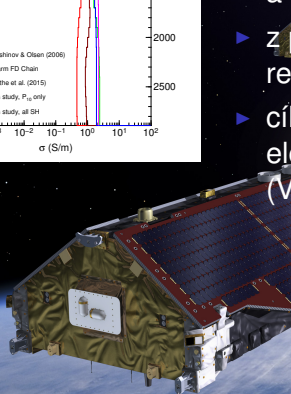


# Swarm: Elektrická vodivost zemského pláště

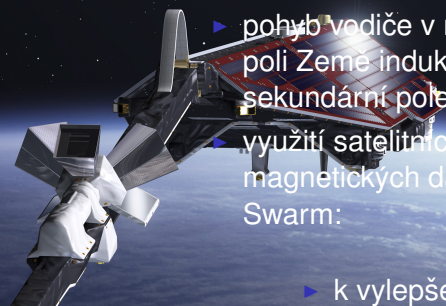


- ▶ trio satelitů ESA pro velmi přesné měření geomagnetického pole, 2013–2021(?)
- ▶ studium elektrické vodivosti jako významné geofyzikální veličiny reflektující teplotu a složení zemského pláště
- ▶ z prvních 15 měsíců dokážeme rekonstruovat hloubkový průběh
- ▶ cílem mise je i trojrozměrný obraz rozložení elektrické vodivosti

(Velínský, *Earth, Planets & Space* 2013)

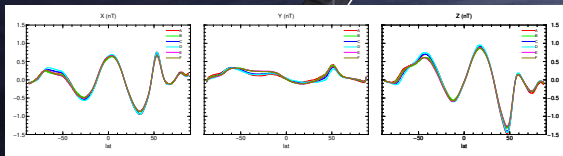


# Swarm+Oceans



- ▶ oceánské proudění poháněné slapy a interakcí s atmosférou
- ▶ pohyb vodiče v magnetickém poli Země indukuje slabé sekundární pole
- ▶ využití satelitních magnetických dat z mise Swarm:

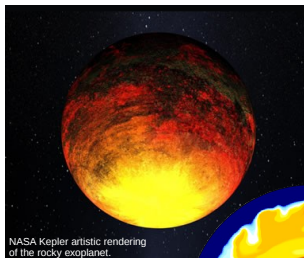
- ▶ k vylepšení oceánských modelů (asimilace dat)
- ▶ k monitoringu dlouhodobých změn proudění



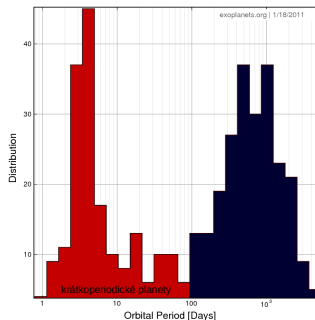
# EXOPLANETY: INSOLACE A POVRCHOVÁ TEPLOTA

Návrh bakalářské práce na katedře geofyziky MFF UK

Vedoucí práce: Marie Běhounková



Extrasolární planety obíhající v blízkosti centrální hvězdy (krátkoperiodické planety) jsou silně ovlivněny slapovým třením, které způsobuje jejich rychlé uzamčení na oběžné dráze s vázanou rotací. Díky vázané rotaci dochází k nerovnoměrnému ozařování (insolaci) planety a k vytvoření silného teplotního kontrastu mezi přísluním a odsluním. Cílem práce je nastudovat literaturu týkající se insolace planet a vytvořit numerický model pro sledování dlouhodobého i krátkodobého vývoje povrchové teploty na planetách vně sluneční soustavy.



WWW: <http://geo.mff.cuni.cz/>

Kontakt: [marie.behounkova@mff.cuni.cz](mailto:marie.behounkova@mff.cuni.cz)

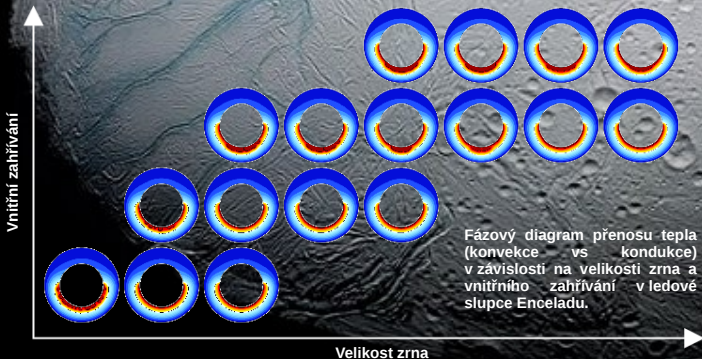


# VÝVOJ VELIKOSTI ZRNA V LEDOVÝCH MĚSÍCÍCH

Návrh bakalářské práce  
Vedoucí práce: Marie Běhounková

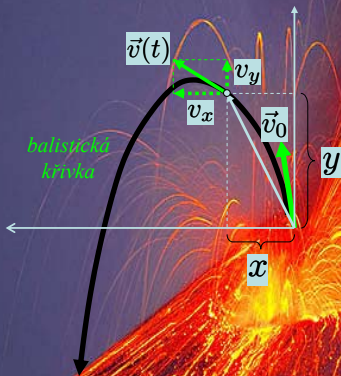
Teplotní vývoj ledových měsíců sluneční soustavy je řešen pomocí rovnic popisujících konvekci. Účinnost přenosu tepla, tj. přítomnost konduktivního či konvektivního režimu, je především určena mechanismem deformace (difúzní a dislokační mechanismus) a velikostí viskozity ledu. Kromě závislosti viskozity na teplotě a tlaku popsané Arrheniovým zákonem, je viskozita také závislá na napětí a na velikosti zrn ledu. Cílem práce je nastudovat literaturu týkající se viskozity, mechanismů deformace a vývoje velikosti zrna.

WWW: <http://geo.mff.cuni.cz/>  
Kontakt:  
[marie.behounkova@mff.cuni.cz](mailto:marie.behounkova@mff.cuni.cz)



Fázový diagram přenosu tepla (konvekce vs konduktce) v závislosti na velikosti zrna a vnitřního zahřívání v ledové slupce Enceladu.

# Balistická analýza vulkánů na Marsu



Rovnice balistické křivky

$$x(t) = \int_0^t v_x(t') dt'$$

$$y(t) = \int_0^t v_y(t') dt'$$

$$v_x(t) = v_{0,x} + \int_0^t a_x(t') dt'$$

$$v_y(t) = v_{0,y} + \int_0^t a_y(t') dt'$$

$$\vec{a} = \vec{g} - C_d |\vec{v}| \vec{v}$$

součinitel odporu

Poslední výzkumy ukazují, že Mars byl vulkanicky aktivní ještě před pár miliony lety. Studium malých vulkánů, které vznikly balistickým ukládáním vyvrženého materiálu, nám může pomoci pochopit, jaké byly v době erupce na Marsu podmínky a jak hustá byla jeho atmosféra.

Vedoucí práce: Ondřej Čadek, [ondrej.cadek@mff.cuni.cz](mailto:ondrej.cadek@mff.cuni.cz)

# Slapové zahřívání v ledovém měsíci s podpovrchovým oceánem a ledovou kůrou nerovnoměrné tloušťky

Pod povrchem řady měsíců Jupiteru a Saturnu se nacházejí rozsáhlé oceány slané vody. Abychom pochopili, nakolik jsou tyto vodní rezervoáry stabilní a zda je toto prostředí příznivé pro vznik života, musíme spočítat teplo, vznikající v důsledku slapové deformace v ledové slupce, která odděluje oceány od mrazivého okolního prostředí. Až dosud byly všechny výpočty prováděny pro modely s konstantní tloušťkou slupky. Cílem práce je modifikovat dnes používanou metodu tak, aby umožnila výpočet pro ledovou kůru s proměnnou tloušťkou, a ukázat, nakolik mohou variace tloušťky kůry ovlivnit tepelnou produkci tělesa.

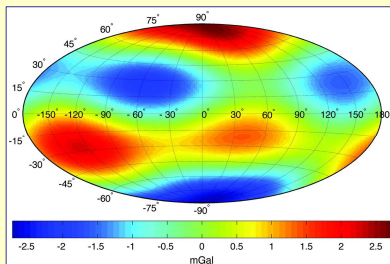
Vedoucí: Ondřej Čadek, [ondrej.cadek@mff.cuni.cz](mailto:ondrej.cadek@mff.cuni.cz)



Na obrázku: Ledové gejzíry na Saturnově měsíci Enceladu jsou svědectvím o existenci kapalné vody pod povrchem tohoto malého měsíce. Fotografie byla pořízena sondou Cassini.  
Zdroj: JPL-NASA.

## Odhad vnitřní struktury Saturnova měsíce Enceladu z gravitačních dat

Vedoucí: Ondřej Čadek, [ondrej.cadek@mff.cuni.cz](mailto:ondrej.cadek@mff.cuni.cz)

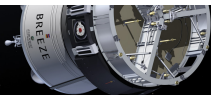
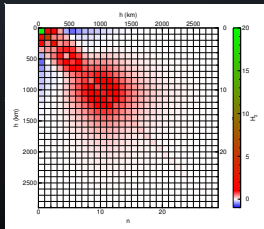


Na obrázku vidíte prostorové variace gravitačního zrychlení na povrchu Saturnova měsíce Enceladu určené z měření vesmírné mise Cassini (Iess et al., Science 2014). Jednotka mGal znamená miliGalileo ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ).

Tato data společně se znalostí topografie a informacemi o velikosti podpovrchového oceánu využijeme k tomu, abychom odhadli vnitřní hustotní strukturu tohoto měsíce.

# Odhad chyby vodivostního modelu pláště získaného inverzí satelitních dat

Návrh bakalářské práce



Přesná satelitní měření časových změn geomagnetického pole z mise Swarm umožňují rekonstruovat i rozložení elektrické vodivosti v zemském plášti.

Nalezením vodivostního modelu, který nejlépe souhlasí s naměřenými daty, však práce geofyzika nekončí. Dalším krokem je analýza citlivosti dat na změny parametrů vodivostního modelu a odhad jeho chyby.

K řešení tohoto problému lze využít různé metody, například simulace pomocí metod Monte-Carlo, nebo efektivní výpočet tzv. Hessiánu (na obrázku vlevo pro 1-D problém), tedy matice druhých derivací hodnotící funkce.

Školitel: Jakub Velímský

E-mail: [velimsky@karel.troja.mff.cuni.cz](mailto:velimsky@karel.troja.mff.cuni.cz)

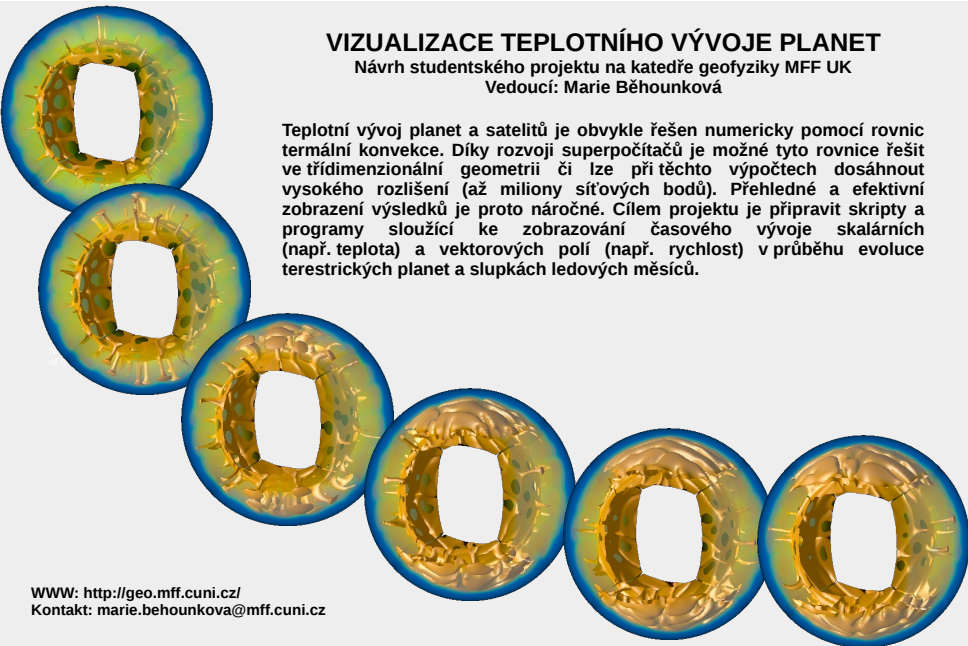
WWW: [geo.mff.cuni.cz](http://geo.mff.cuni.cz)

# VIZUALIZACE TEPLOTNÍHO VÝVOJE PLANET

Návrh studentského projektu na katedře geofyziky MFF UK  
Vedoucí: Marie Běhounková

Teplotní vývoj planet a satelitů je obvykle řešen numericky pomocí rovnic termální konvekce. Díky rozvoji superpočítačů je možné tyto rovnice řešit ve třídímní geometrii či lze při těchto výpočtech dosáhnout vysokého rozlišení (až miliony síťových bodů). Přehledné a efektivní zobrazení výsledků je proto náročné. Cílem projektu je připravit skripty a programy sloužící ke zobrazování časového vývoje skalárních (např. teplota) a vektorových polí (např. rychlost) v průběhu evoluce terestrických planet a slupkách ledových měsíců.

WWW: <http://geo.mff.cuni.cz/>  
Kontakt: [marie.behounkova@mff.cuni.cz](mailto:marie.behounkova@mff.cuni.cz)



# Geofyzikální a planetologický výzkum s využitím kosmických měření a pozorování

Chcete se dozvědět více? Přijďte nás navštívit!

## Katedra geofyziky MFF UK

J. Velímský, M. Běhounková, K. Kalousová, O. Čadek, M. Kuchta,

O. Souček, Z. Martinec, D. Einšpigel, L. Šachl a další

Katedra geofyziky MFF UK

V Holešovičkách 2

180 00 Praha 8

<http://geo.mff.cuni.cz>

<mailto:geo@mff.cuni.cz>

<http://goo.gl/maps/YOj6C>



Czech Space Day, 3. července 2015, FEL ČVUT