



**Země je tepelný stroj
aneb
jak Země chladne**

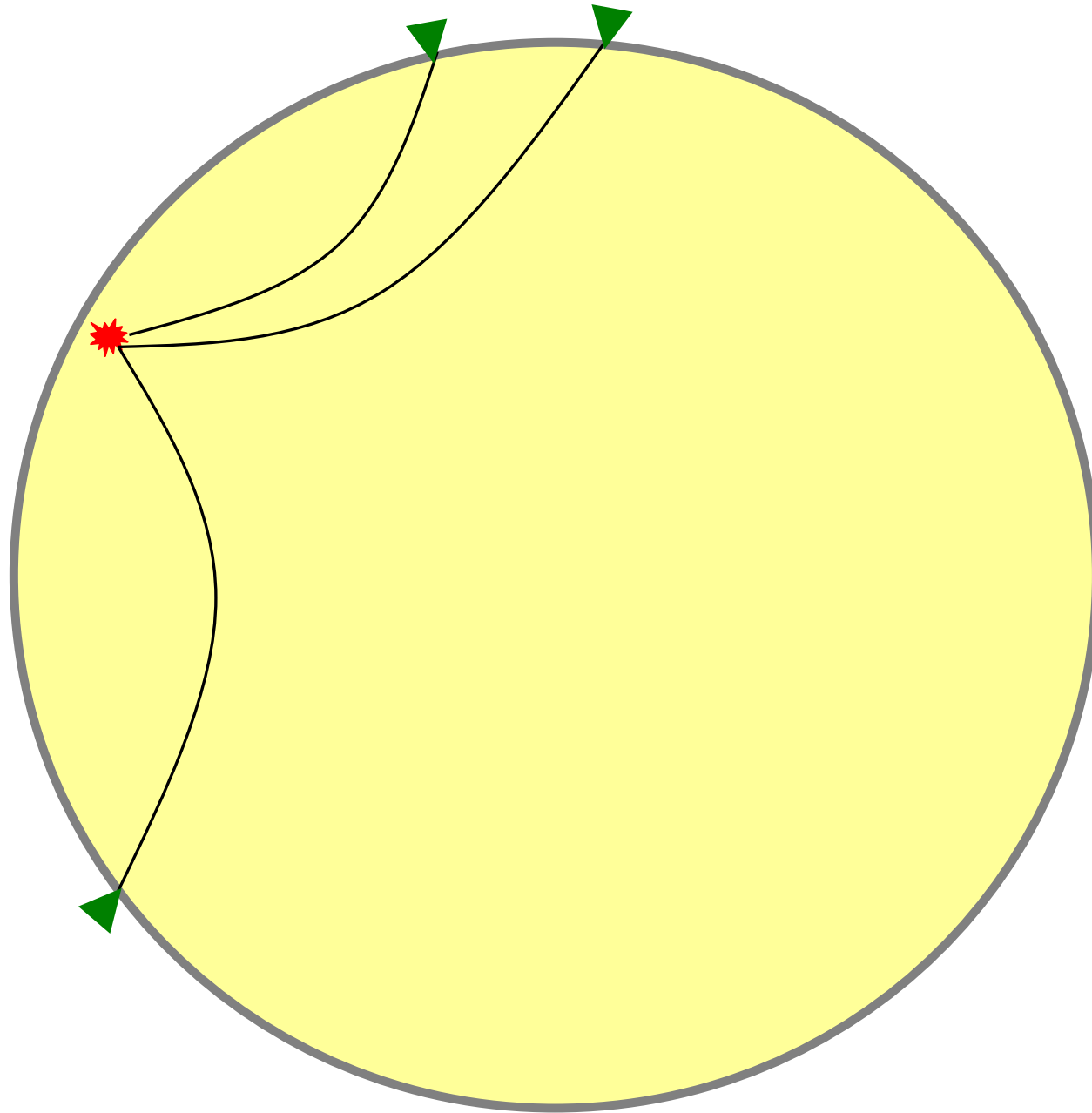
Hana Čížková

Katedra geofyziky MFF UK

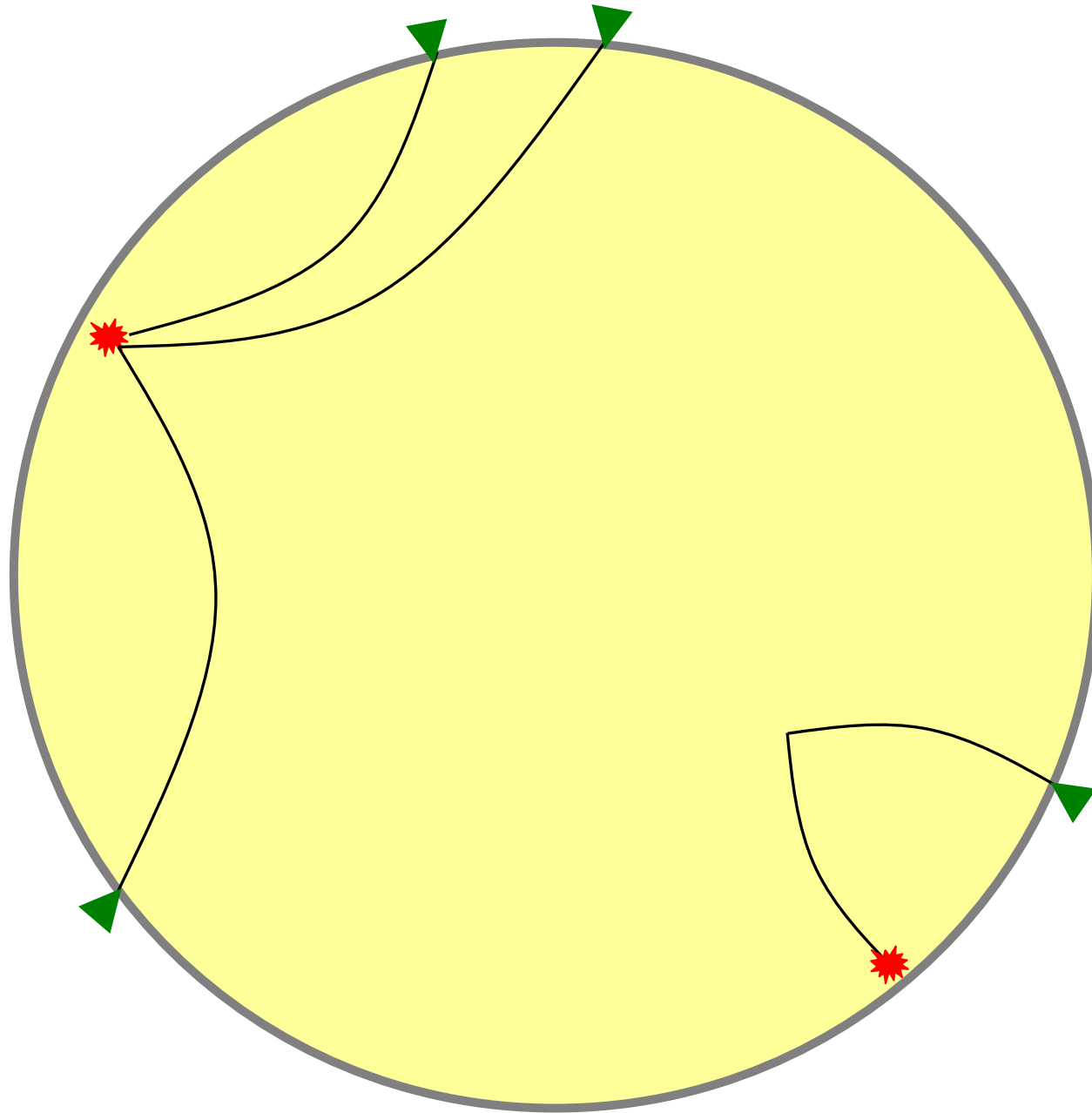
TERMÁLNÍ KONVEKCE

FYZIKA		FYZIKA ZEMĚ
<p>konvekce – významný mechanismus přenosu tepla <i>(Rumford, 1797; Prout, 1834)</i></p>	1800	<p>existence konvekce v tekutém zemském nitru pod kůrou <i>(Hopkins, 1839; Fisher, 1881)</i></p>
<p>experimentální i teoretické studium procesu konvekce <i>(Bénard, 1900; Rayleigh, 1916)</i></p>	1900	<p><i>George H. Darwin (1898):</i> studium slapů ➡ Země je tuhá</p> <p>v pevném plášti může docházet ke konvekci schopné pohánět kontinentální drift <i>(Holmes, 1931, 1933)</i></p> <p>Země se může chovat jako elastické těleso a zároveň na dlouhých časových škálách viskozně téci</p>
	1960	

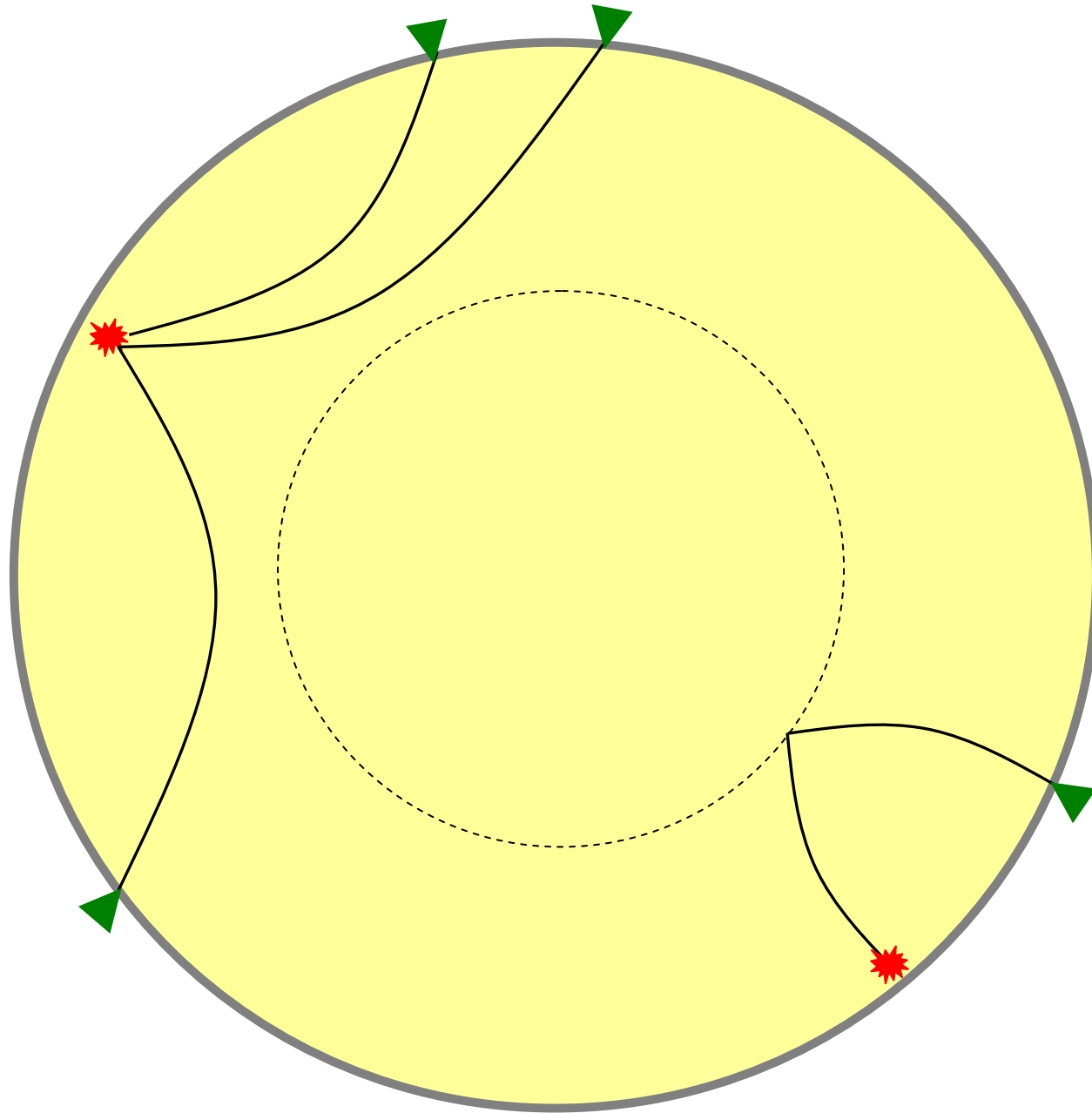
ZEMĚTŘESENÍ A SEISMICKÉ VLNY



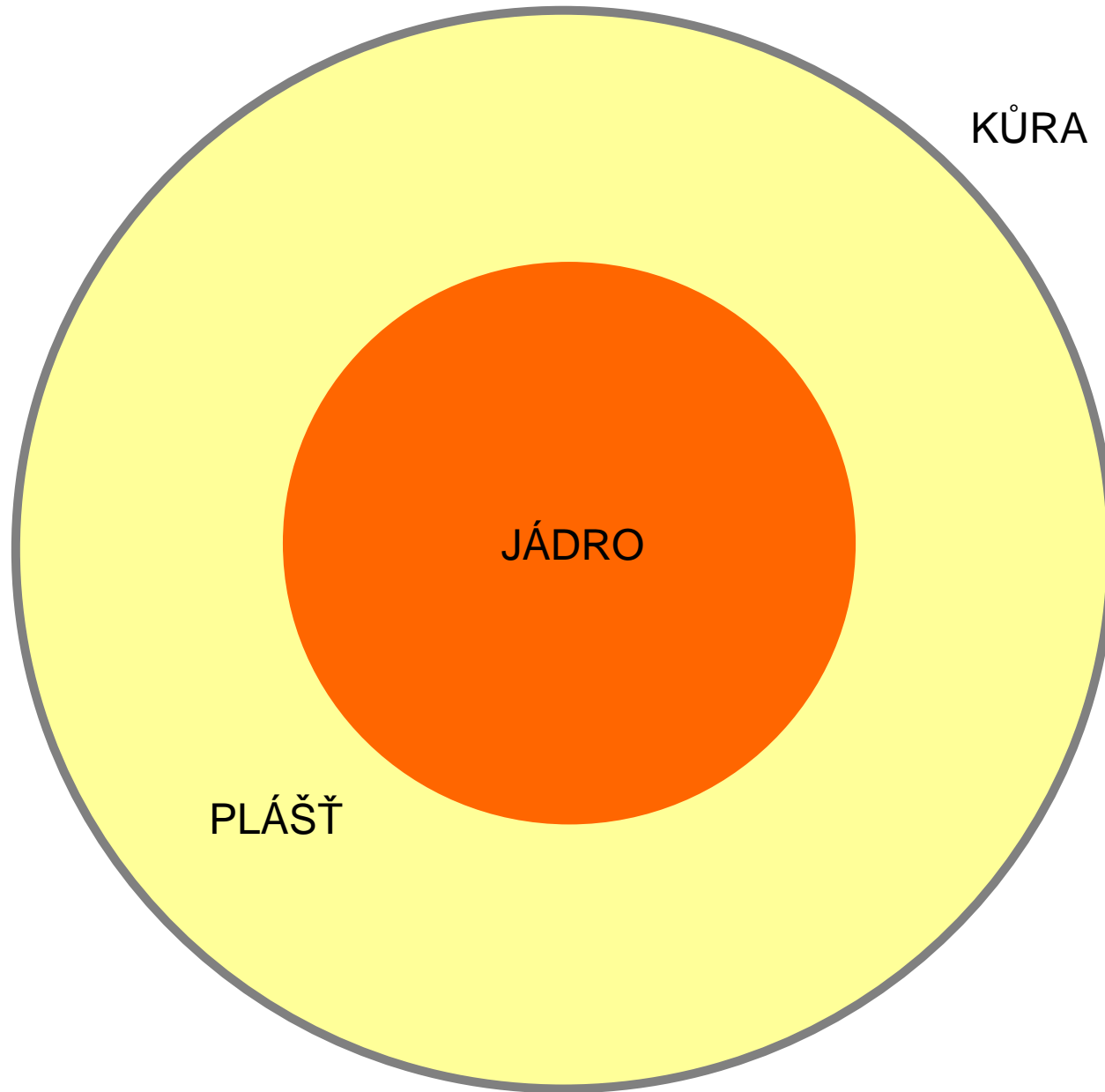
ZEMĚTŘESENÍ A SEISMICKÉ VLNY



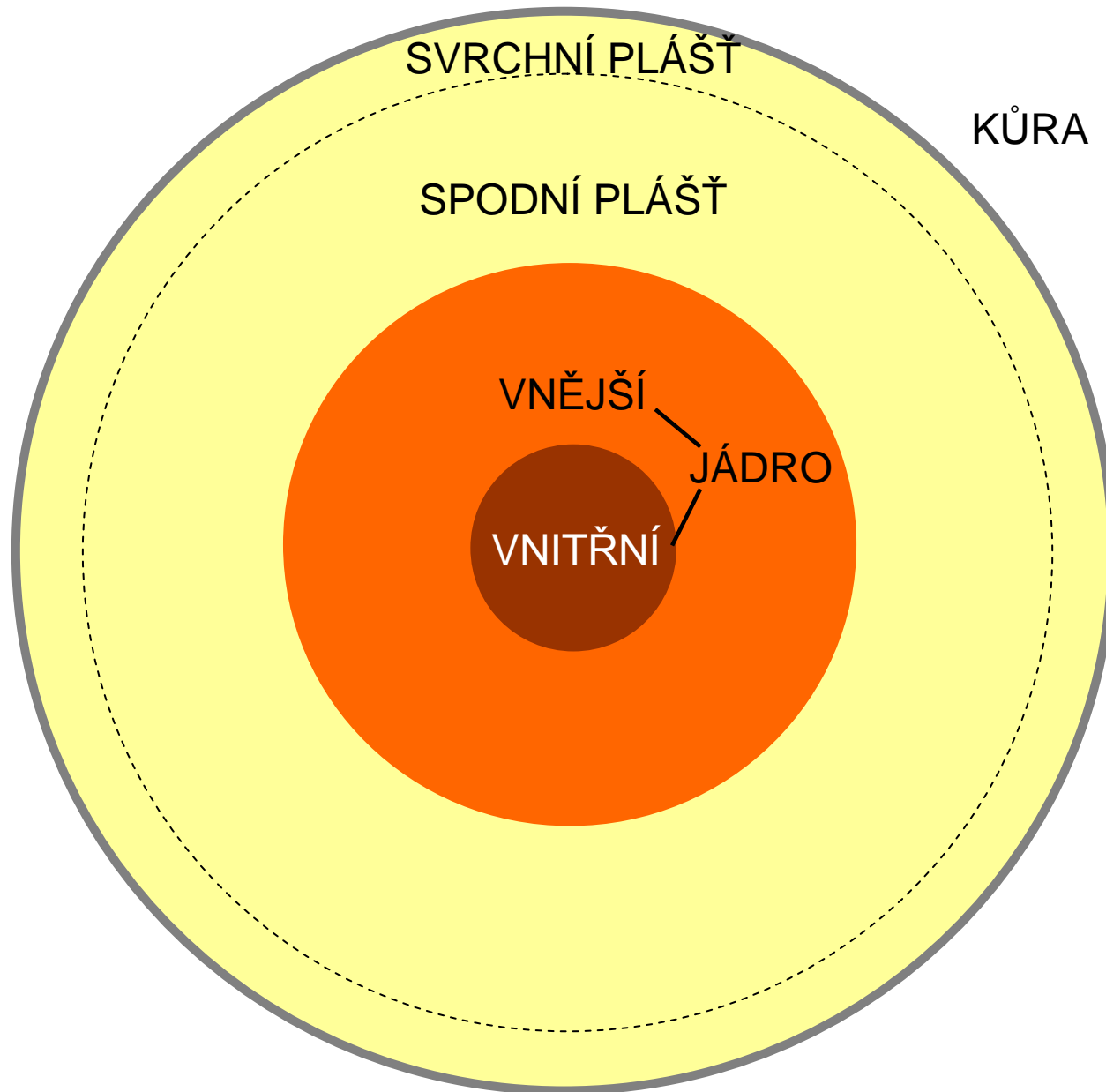
ZEMĚTŘESENÍ A SEISMICKÉ VLNY



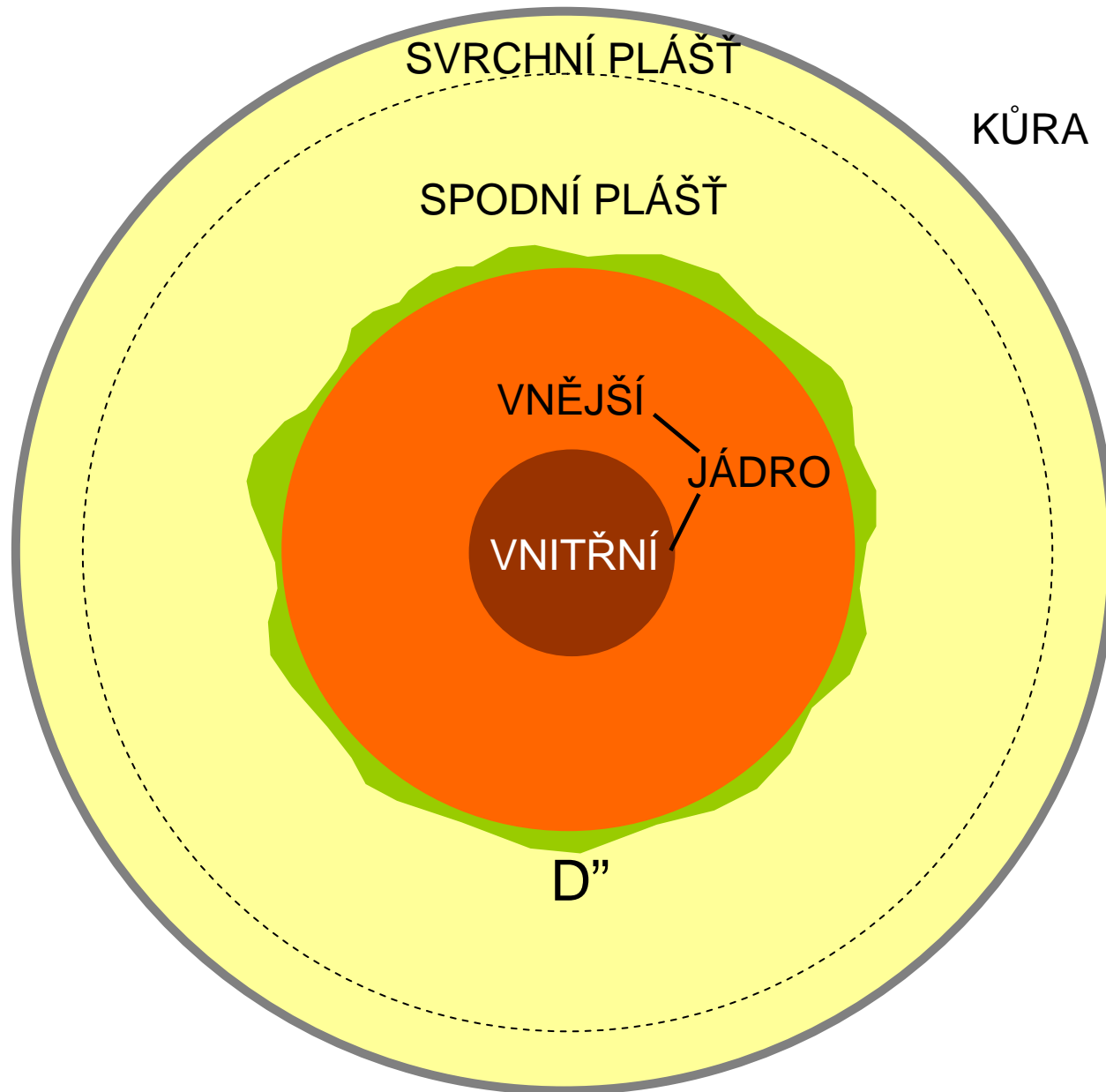
ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



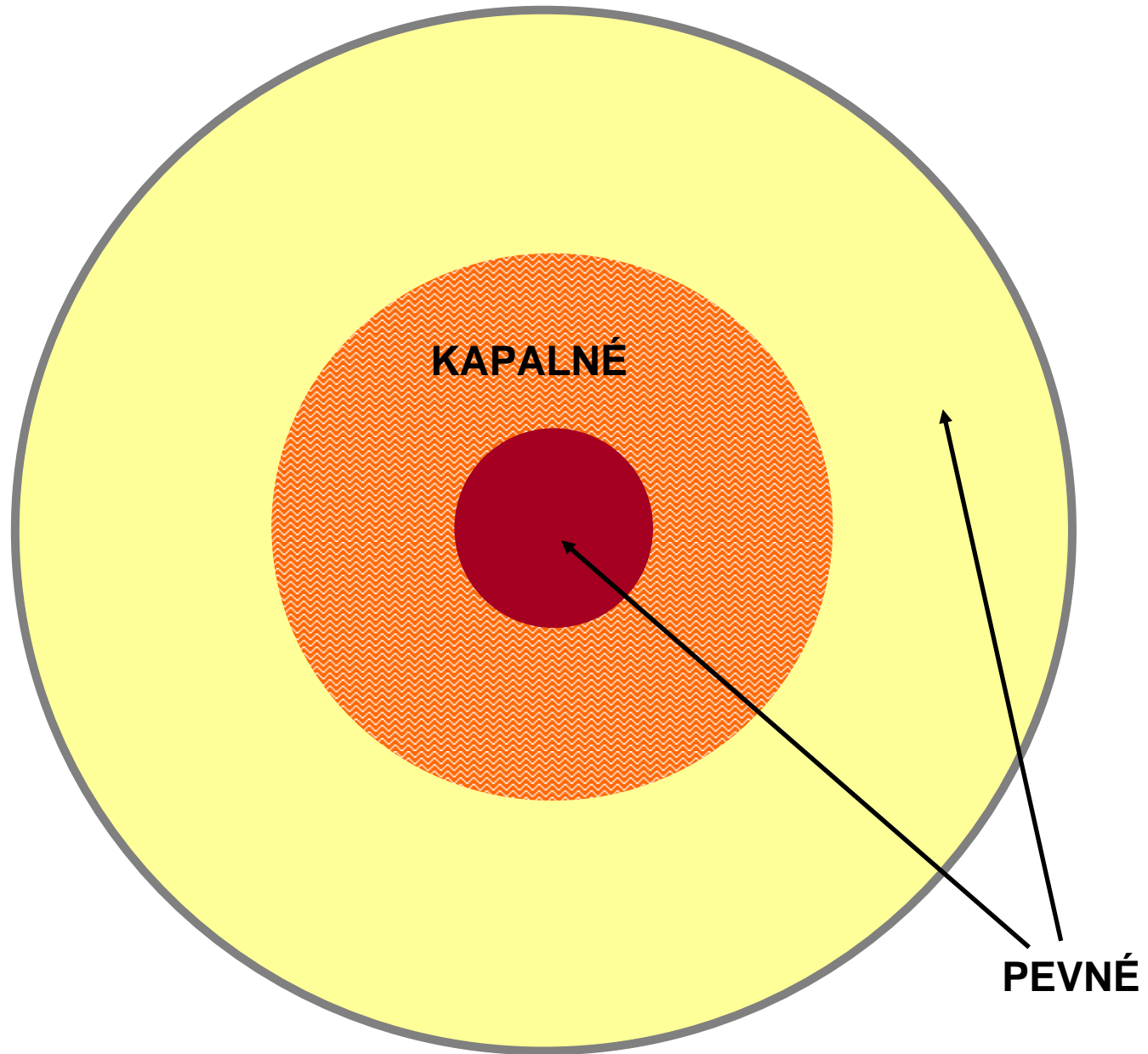
ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



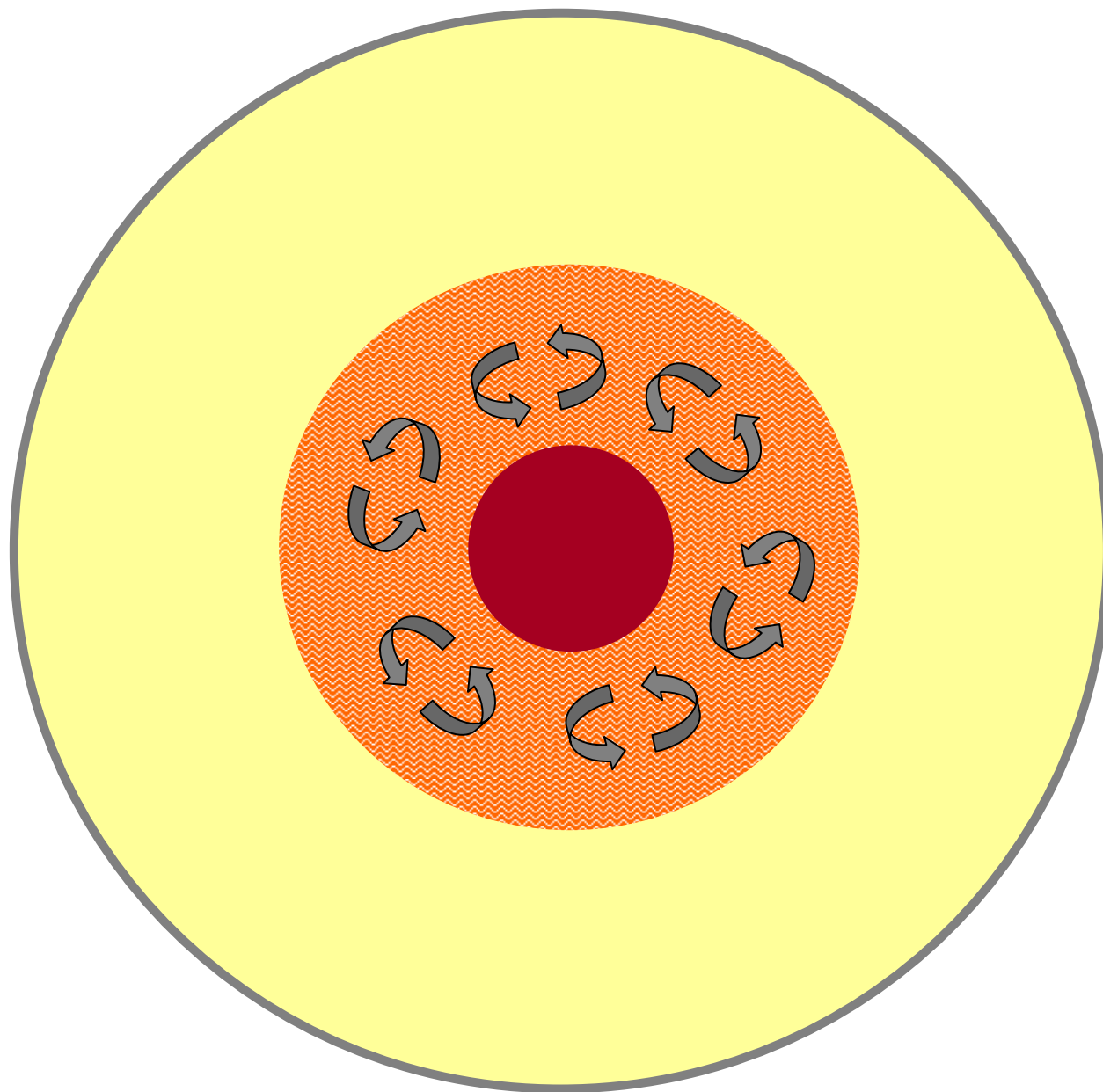
ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



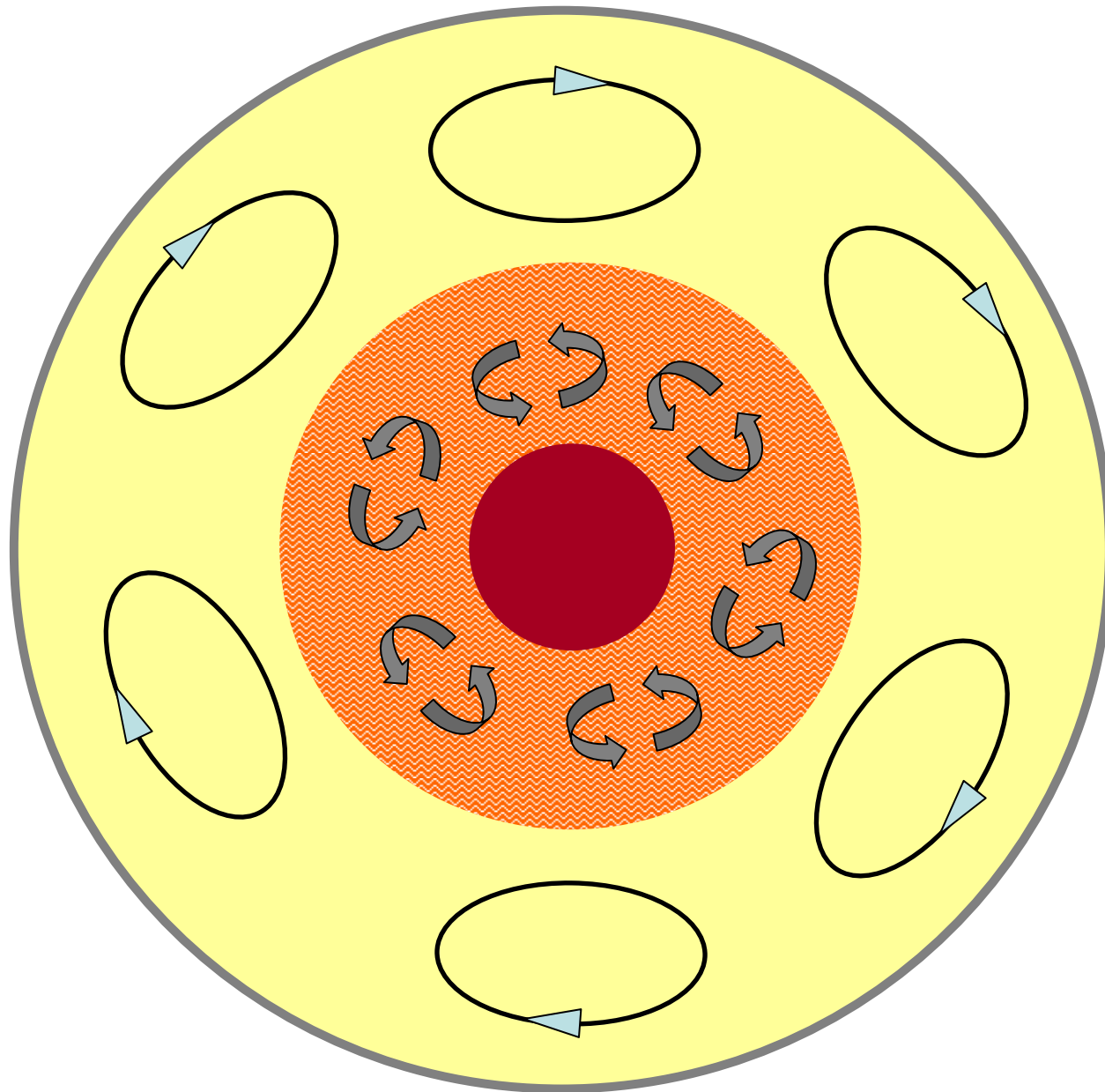
ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



ŘEZ ZEMSKÝM NITREM

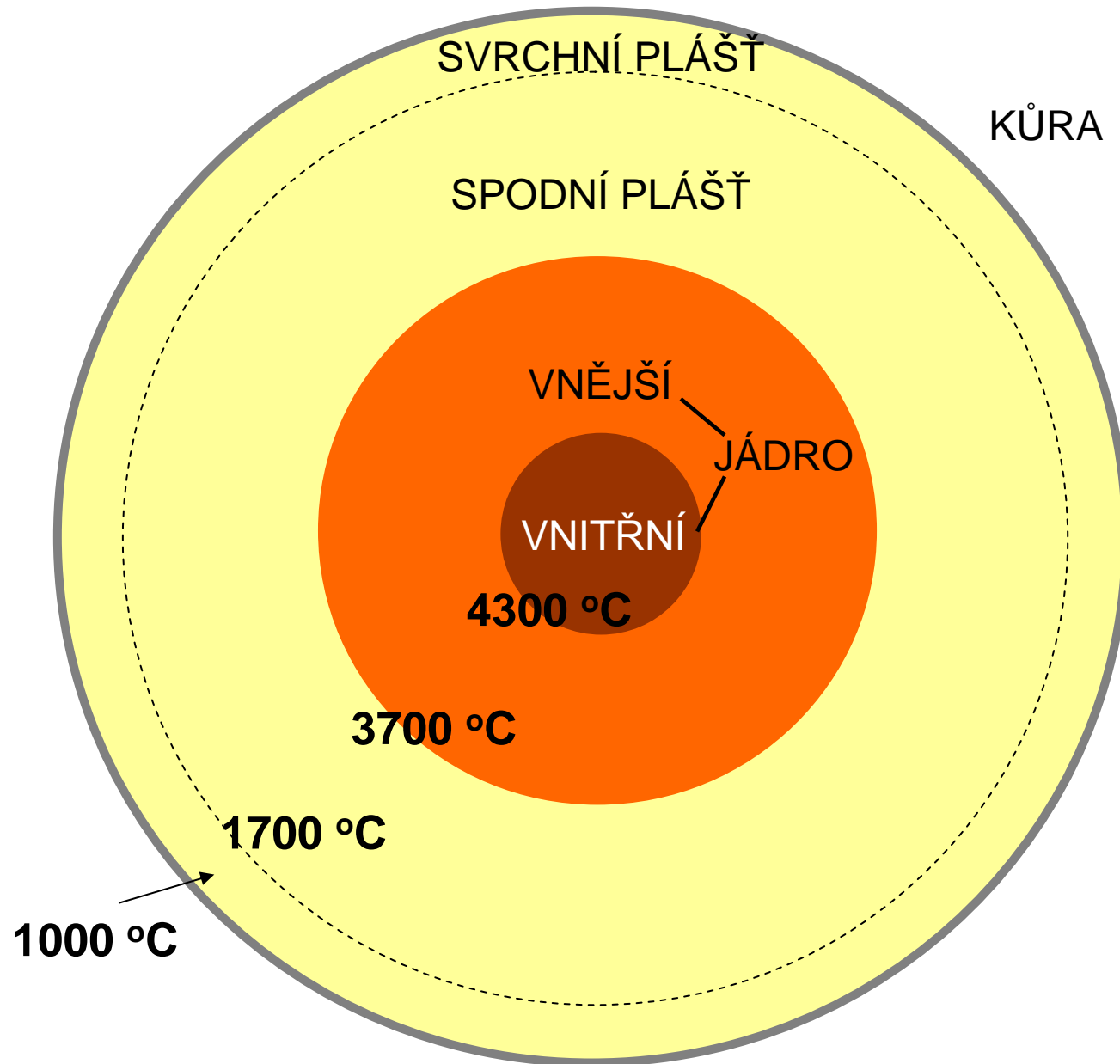


ZDROJ POHYBŮ

Nestabilní teplotní zvrstvení:

Teplota s hloubkou roste

ŘEZ ZEMSKÝM NITREM: TEPLOTA



ZDROJE TEPLA

1. **Původní teplo** vzniklé z gravitační potenciální energie během akrece prapůvodního materiálu
2. **Radiogenní teplo** vznikající rozpadem radioaktivních izotopů U^{238} , U^{235} , Th^{232} a K^{40}

MECHANISMY PŘENOSU TEPLA

1. **Vedení** (kondukce)
 2. **Tečení** (advekce)
- } konvekce

Konvekce = mechanismus, jehož prostřednictvím se Země zbavuje tepla získaného při svém formování i radiogenního tepla vznikajícího rozpadem radioaktivních prvků

KONVEKTIVNÍ CHLADNUTÍ - ZEMSKÝ PLÁŠŤ

plášť - vysokoviskózní kapalina ($\eta \sim 10^{21}$ Pa s)

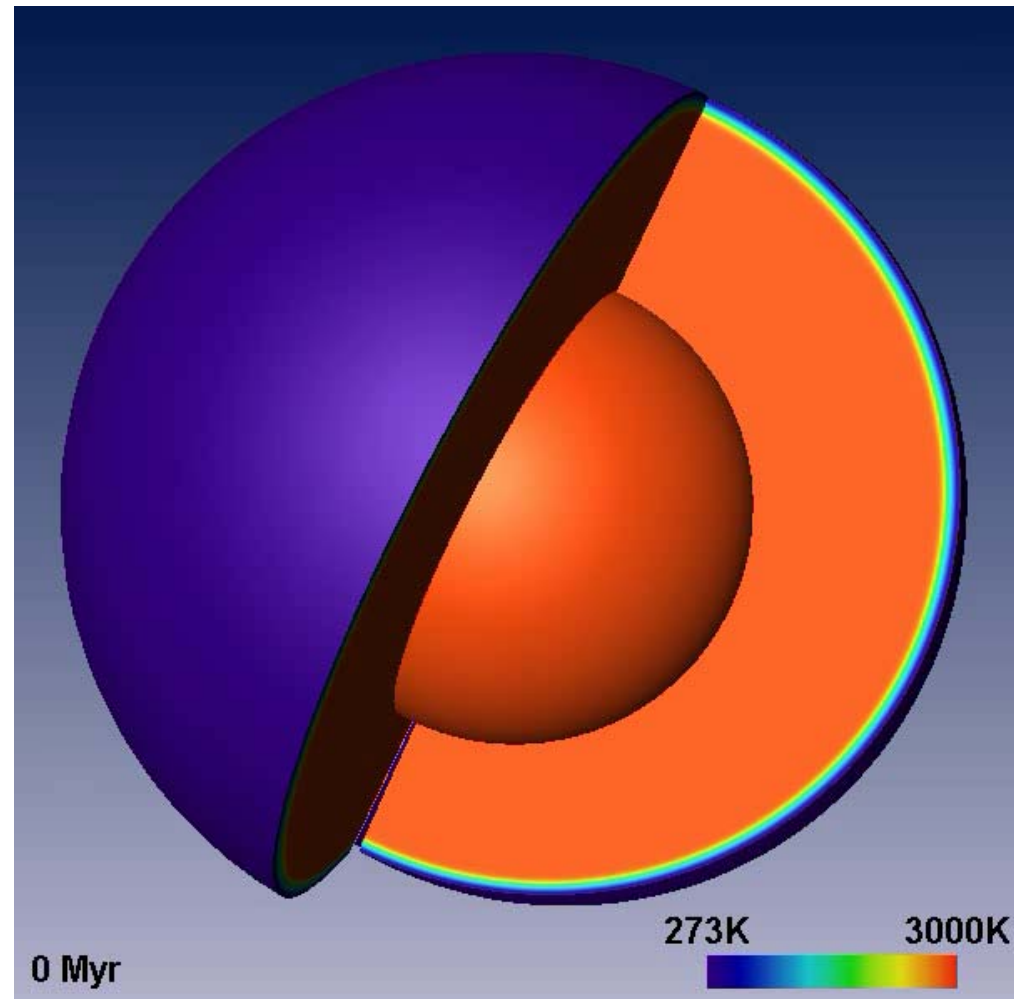
jádro horké ($T_j \sim 3700^\circ\text{C}$),
povrch studený ($T_{\text{POV}} \sim 0^\circ\text{C}$)



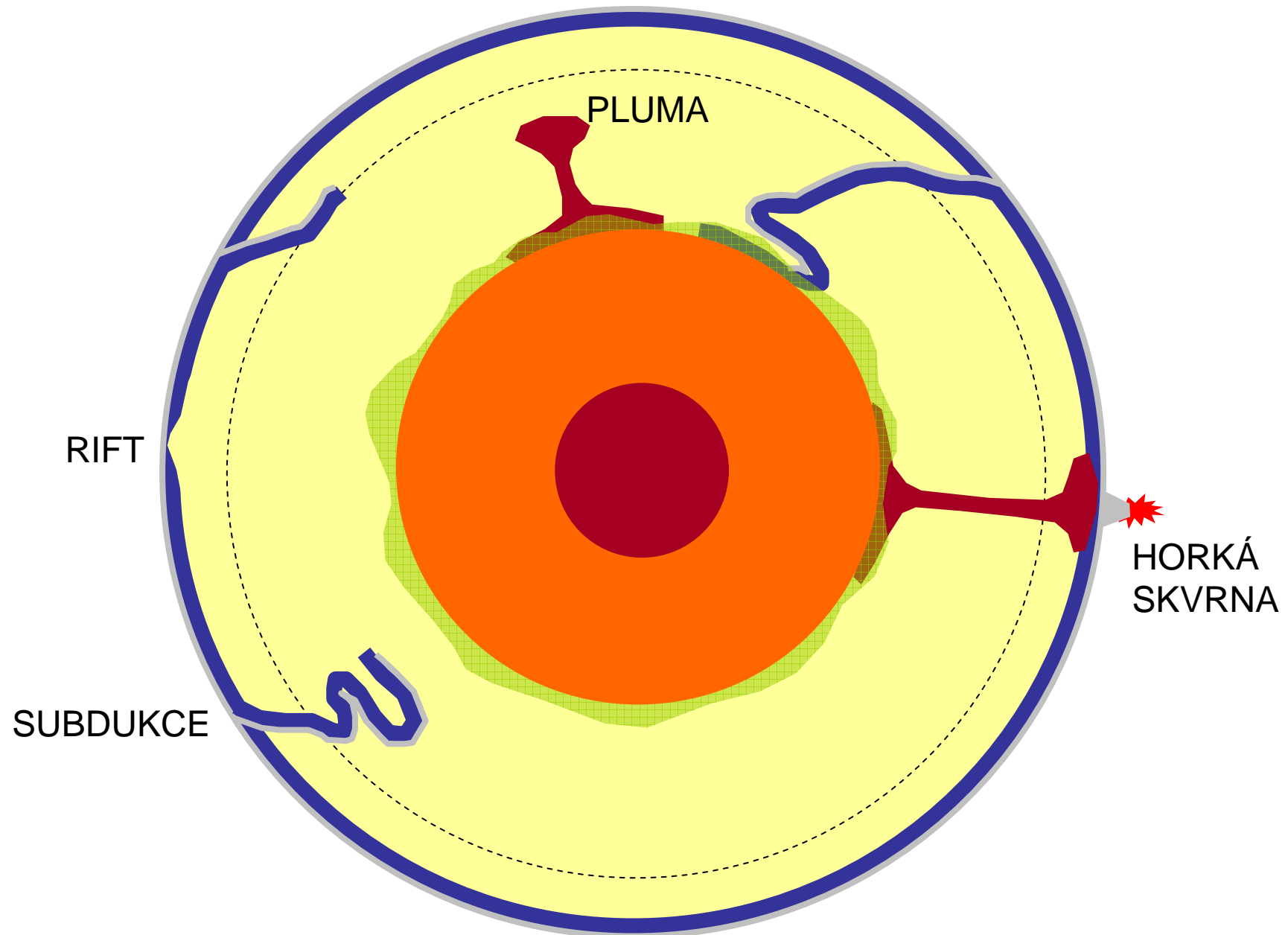
nestabilní zvrstvení



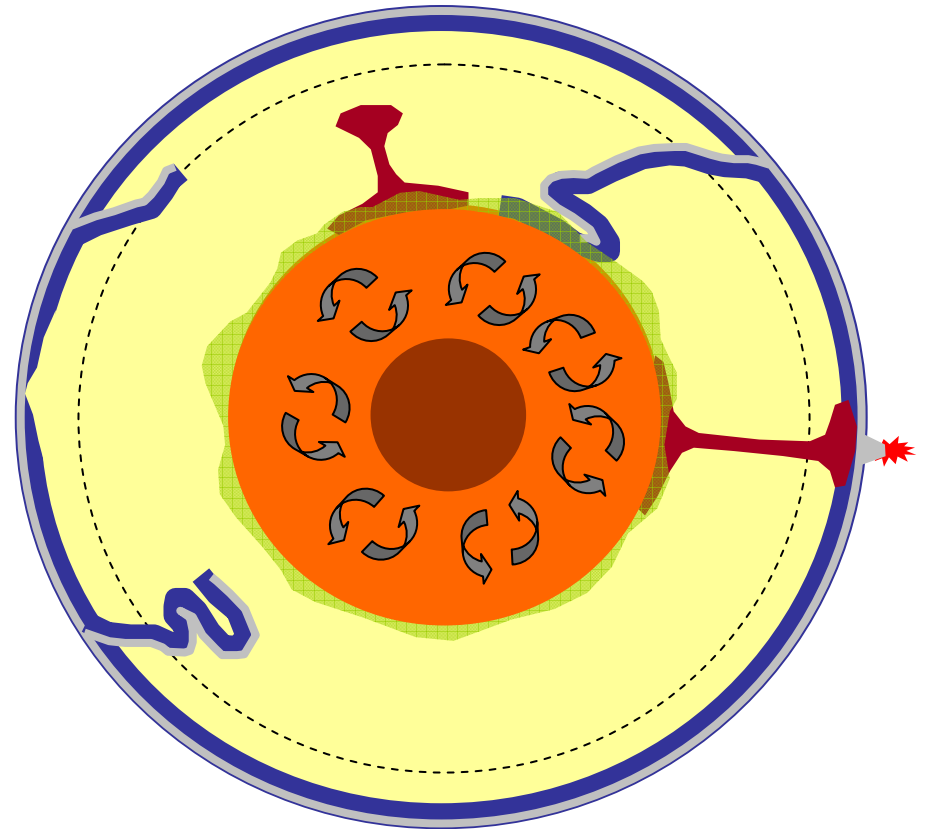
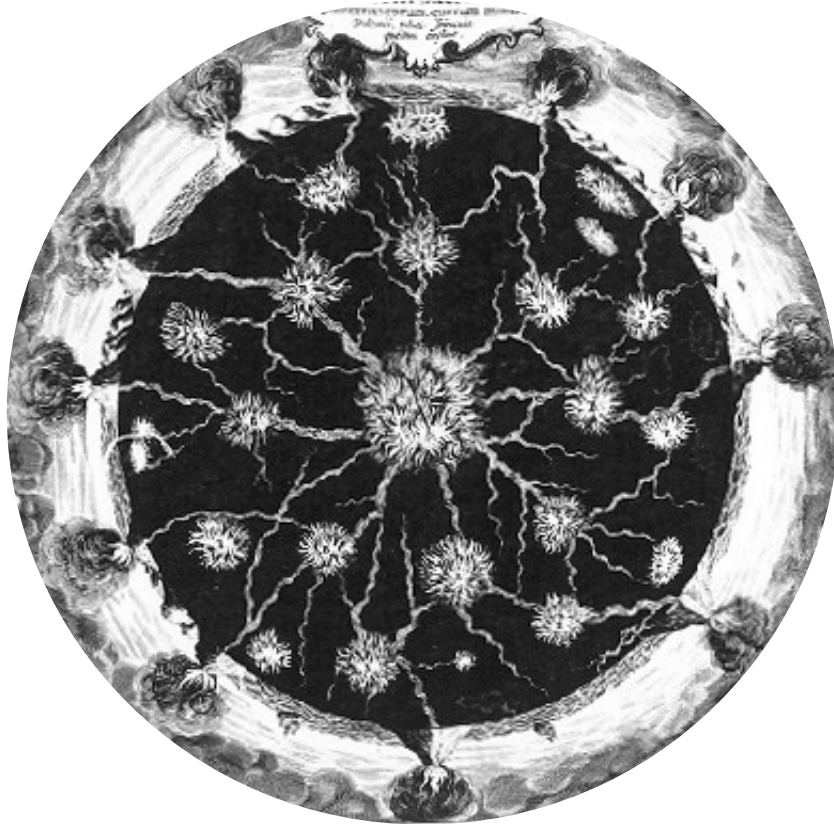
proudění (konvekce)



ZEMSKÝ PLÁŠŤ: DYNAMICKÉ PROCESY



ŘEZ ZEMSKÝM NITREM



STUDIUM TEČENÍ V PLÁŠTI A JÁDŘE

Počítačové modelování konvekce

= numerické řešení soustavy rovnic popisujících proudění a přenos tepla v kontinuu

Cíl:

- pochopit mechanismy, které ovládají dynamiku pláště a jádra
- získat představu o vlivu materiálových parametrů (viskozita, tepelná vodivost, tepelná roztažnost) na charakter proudění
- nalézt parametry, pro něž charakter tečení odpovídá našim představám o struktuře pláště, měřenému tepelnému toku na povrchu, atd.

STUDIUM TEČENÍ V PLÁŠTI A JÁDŘE

Modely konvekce v plášti a konvekce v jádře

- nezávisle na sobě
- vzájemné provázání: hraniční podmínky na rozhraní jádro-plášť
- ukazuje se, že tečení v plášti je citlivé na hraniční podmínku charakterizující jádro a naopak: konvekce v jádře a s ní související buzení magnetického pole velmi záleží na předepsaném tepelném toku do pláště

Příklad: možná souvislost magnetických superchron, bazaltových výlevů a vymírání druhů

BAZALTOVÉ VÝLEVY

Obrovské sopečné erupce, které zaplavily velké území bazaltovými lávami (plocha okolo 500 000 km², tloušťka až 10 km)

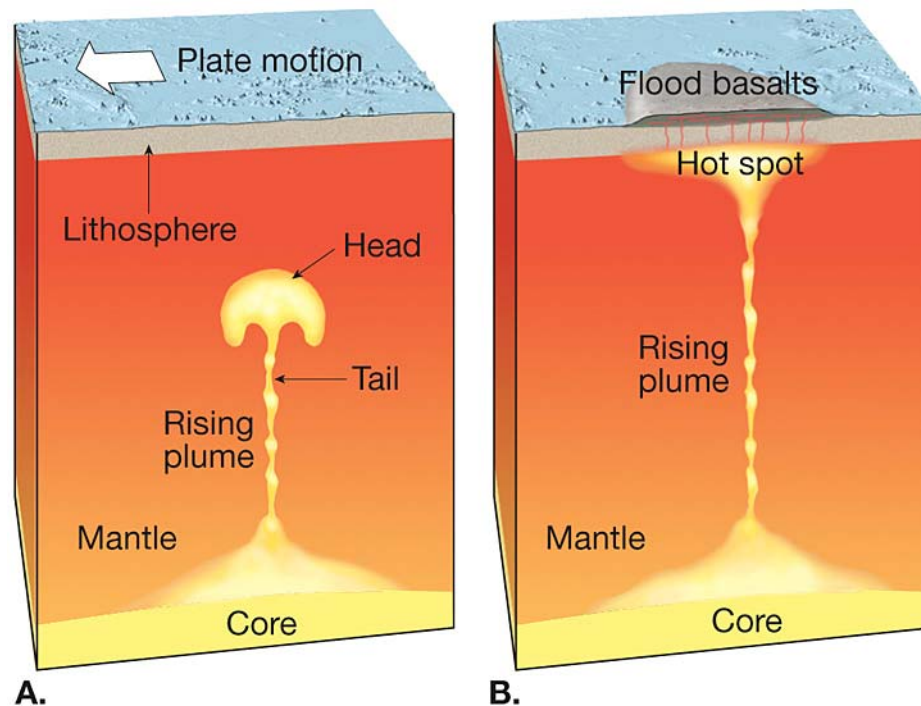


Deccan Traps, Indie

BAZALTOVÉ VÝLEVY

Obrovské sopečné erupce, které zaplavily velké území bazalťovými lávami (plocha okolo 500 000 km², tloušťka až 10 km)

Vznikají zřejmě při interakci hlavy plumy s litosférou



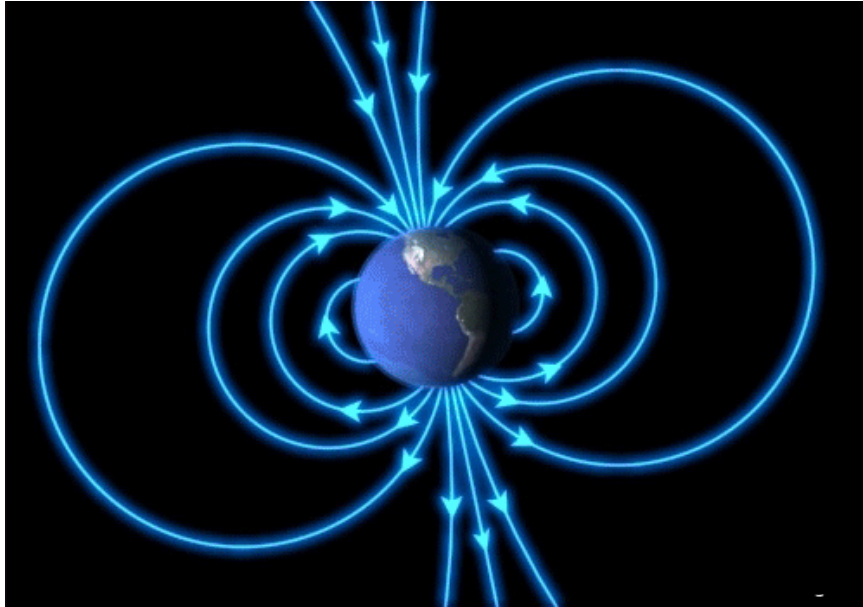
BAZALTOVÉ VÝLEVY

Obrovské sopečné erupce, které zaplavily velké území bazaltovými lávami (plocha okolo 500 000 km², tloušťka až 10 km)

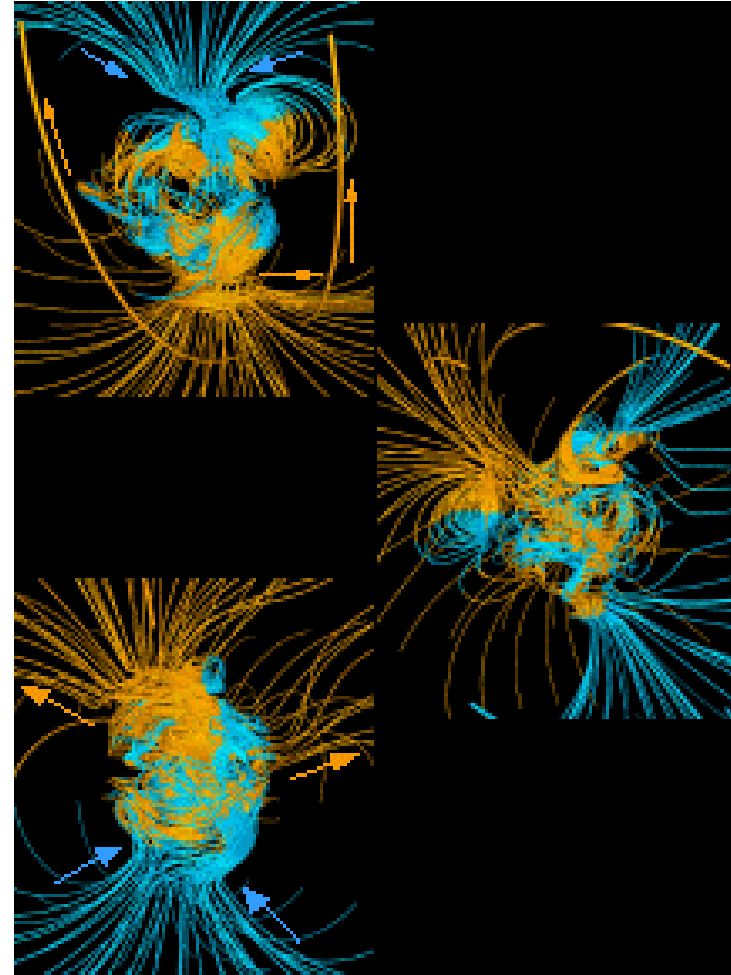
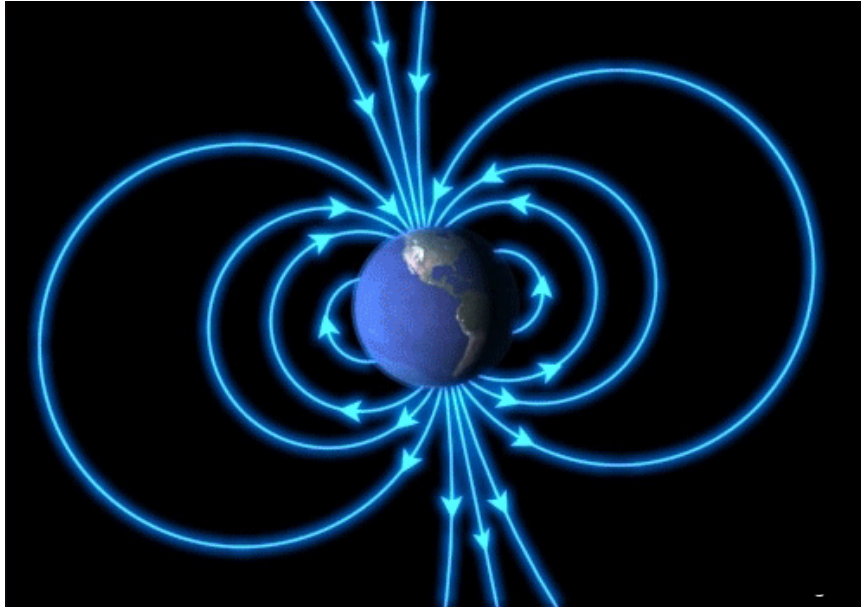
Vznikají zřejmě při interakci hlavy plumy s litosférou

Plyny uvolněné při erupci a následné ochlazení může být příčinou vymírání řady druhů

MAGNETICKÉ INVERZE

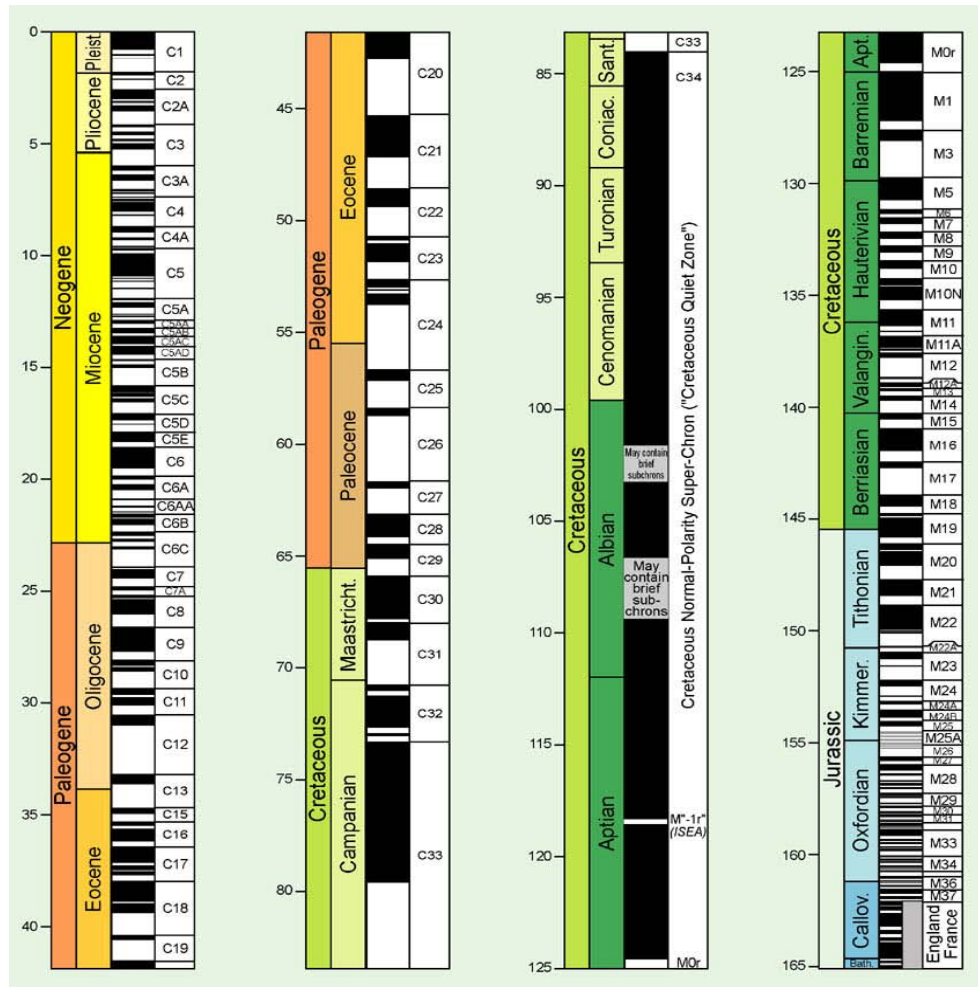


MAGNETICKÉ INVERZE



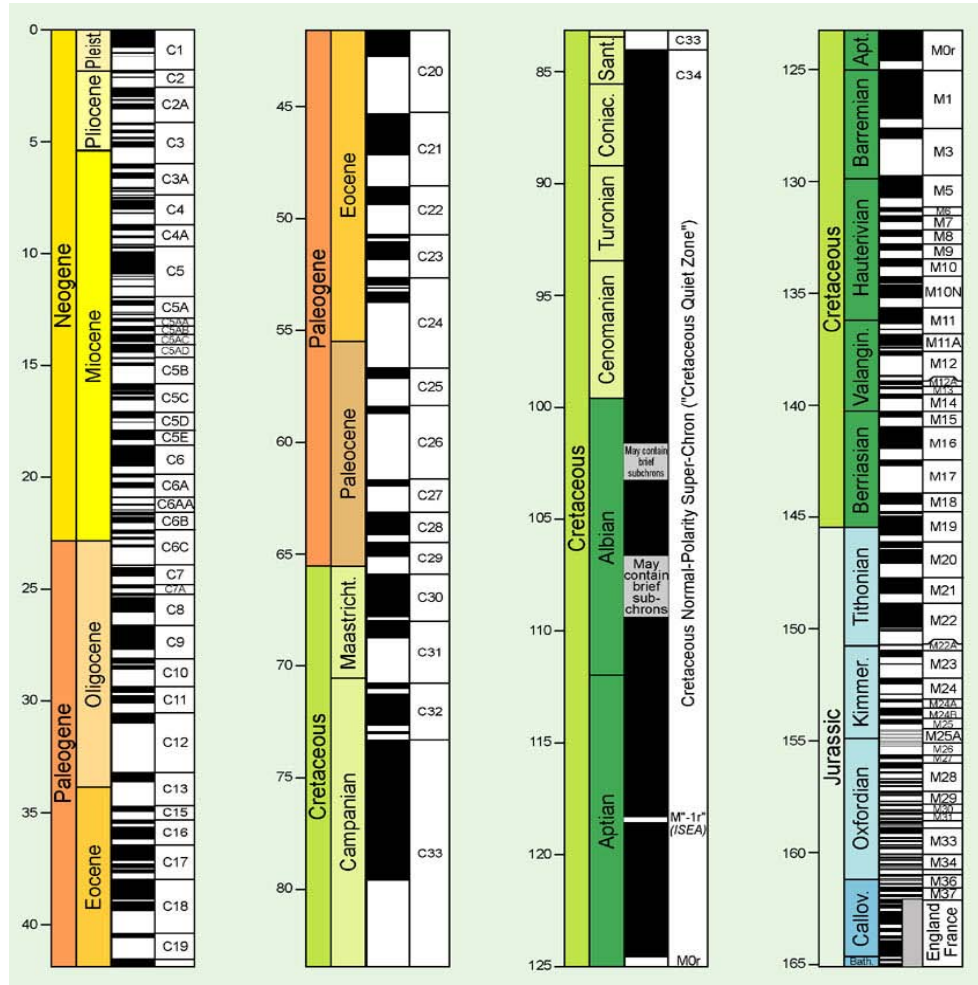
CHRONA = OBDOBÍ TRVÁNÍ JEDNÉ POLARITY

MAGNETICKÉ INVERZE



CHRONA = OBDOBÍ TRVÁNÍ JEDNÉ POLARITY

MAGNETICKÉ INVERZE



SUPERCHRONA = VELMI DLOUHÉ OBDOBÍ TRVÁNÍ JEDNÉ POLARITY

MAGNETICKÉ INVERZE V NUMERICKÝCH MODELECH KONVEKCE V JÁDŘE

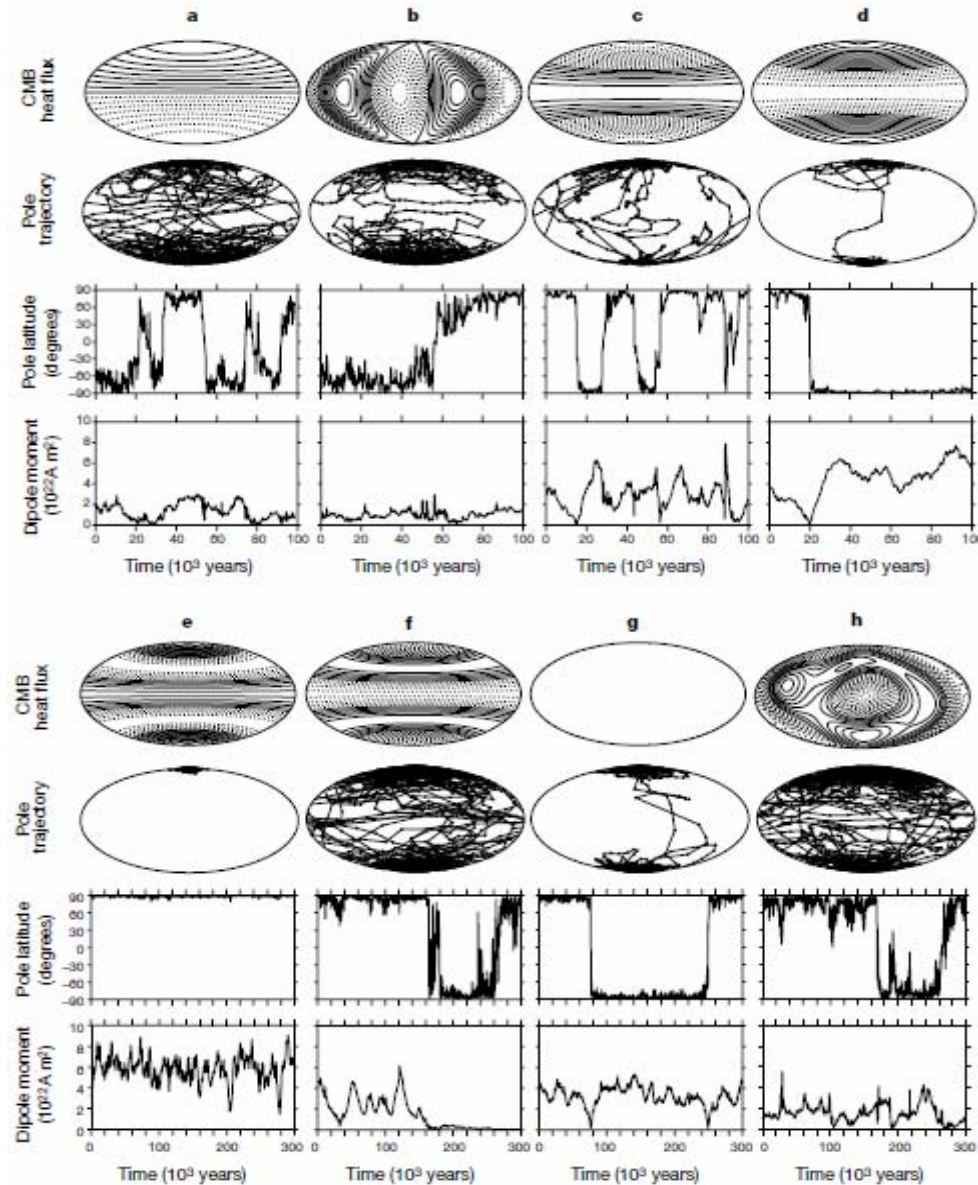
Závisí na tepelném toku z jádra do pláště – na jeho velikosti
i prostorovém rozložení

Glatzmaier a kol., 1999:

frekvence inverzí roste s velikostí tepelného toku do pláště

Ale: při příliš velkém toku dynamo zaniká
(Olson a Christensen, 2002)

MAGNETICKÉ INVERZE V NUMERICKÝCH MODELECH KONVEKCE V JÁDŘE



Glatzmaier a kol., 1999

MAGNETICKÉ INVERZE V NUMERICKÝCH MODELECH KONVEKCE V JÁDŘE

Velký tepelný tok podél rovníku



Nedochází k inverzím



SUPERCHRONA

SOUVISLOST SUPERCHRON, PLÁŠŤOVÉ KONVEKCE A BAZALTOVÝCH VÝLEVŮ (Courtilot a Olson, 2007)

Za uplynulých 500 milionů let 3 superchrony, každá následovaná (po asi 10 milionech let) velkým bazaltovým výlevem a zánikem řady druhů

SOUVISLOST SUPERCHRON, PLÁŠŤOVÉ KONVEKCE A BAZALTOVÝCH VÝLEVŮ (Courtilot a Olson, 2007)

Možný scénář - Epizodická konvekce v plášti:

1. Nejspodnější vrstva pláště (D'') dočasně stabilizovaná díky těžkým chemickým nehomogenitám → malý tepelný tok z jádra → pozastavení inverzí → superchrona
2. D'' se prohřívá, klesá viskozita a stává se nestabilní → vzniká horká pluma, která velmi rychle stoupá pláštěm k povrchu a vytváří bazaltový výlev
3. Zvýší se tepelný tok na rozhraní jádro-plášť → nastartují se inverze
4. D'' se po čase opět stává stabilní, snižuje se tepelný tok

DALŠÍ MOŽNÝ PRVEK OVLIVŇUJÍCÍ VAZBU MEZI JÁDREM A PLÁŠTĚM

(a tedy celkově styl tečení a případně i magnetické pole)

Postperovskit

- vysokotlaková fáze přítomná v chladných oblastech těsně nad jádrem
- má zřejmě nízkou viskozitu a proto výrazně (lokálně) zvyšuje tepelný tok
- jeho prostorové rozložení se během chladnutí Země výrazně mění – je to další časově proměnný faktor ovlivňující vazbu jádro-plášť

