

TEST 2**TEMATA****12. září 2016, 4:50h****Přehled sluneční soustavy**

10 objektů (včetně asteroidů a trpasličí planety Pluto) obíhající autonomně okolo Slunce; pořadí podle rostoucí vzdálenosti od Slunce; vzdálenosti od Slunce zhruba v AU (Astronomical Units): Merkur 0.4 AU, Venuše 0.7 AU, Země 1 AU, Mars 1.5 AU, Asteroidy 3 AU, Jupiter 5 AU, Saturn 10 AU, Uran 20 AU, Neptun 30 AU, Pluto 40 AU.

9 planet v pořadí klesající velikosti vyjádřené ve zhruba násobcích průměru Země: Jupiter 11 E-dia, Saturn 9,5 E-dia, Uran 4 E-dia, Neptun 3,9 E-dia, Země 1 E-dia, Venuše 0,95 E-dia, Mars 0,5 E-dia, Merkur 0,4 E-dia, Pluto 0,2 E-dia.

3 společné základní vlastnosti sluneční soustavy: oběhy většiny objektů ve stejné rovině, proti směru hodinových ručiček při pohledu ze severu, stáří cca 5 miliard let.

3 výjimky:

- 1) sklon oběhů k ekliptice: Pluto, Merkur;
- 2) excentricita: Pluto, Merkur a Mars;
- 3) směr (ve směru hodinových ručiček při pohledu ze severu):
 - a. oběhu - žádná planeta, z větších satelitů jen Triton a Charon;
 - b. otáčení planet: Venuše, Uran, Pluto.

2+1 typy planet – krátké charakteristiky každé skupiny: typu Země (terestrické), typu Jupiter, trpasličí planeta Pluto je zvlášť – viz skripta str. 12, 15 a 42-43.

3 typy těles sluneční soustavy mimo planety a jejich měsíce: asteroidy, meteoroidy a komety.

Sluneční mlhovina —

- událost, jež vyvolala její vznik: exploze supernovy ve vzdálenosti 60 světelných let před cca 5 miliardami let;
- její chemický vývoj: teplota klesající od středu určovala kondenzační posloupnost;

Vývoj planet typu Země — 4 procesy (stupně), krátký popis:

- 1) Diferenciace,
- 2) kráterování,
- 3) záplavy lávou a/nebo vodou,
- 4) pomalý vývoj povrchu.

Geologická aktivita planet typu Země — 3 hlavní typy:

- 1) desková tektonika,
- 2) vulkanismus,
- 3) exogenní procesy.

Atmosféry těles sluneční soustavy (vyjma planet typu Jupiter):

- 1) Venuše:
- 2) Země:
- 3) Mars:
- 4) Titan:
- 5) Triton:

Vulkanismus na tělesech sluneční soustavy:

- 1) Recentní vulkanické plyny —
 - a. vodní pára a CO₂: Země,
 - b. CO₂ + SO₂ + S?: Venuše,
 - c. S + SO₂: Io,
 - d. Vodní výtrysky (geysíry; kryovulkanismus): Europa a Enceladus,
 - e. výtrysky tekutého dusíku (kryovulkanismus): Triton;
- 2) Vyhaslý —
 - a. Měsíc (slabý),
 - b. Země a Mars (silný).

Slapový ohřev — vznik, význam, průkazné příklady.

Terrestrické planety a mnoho satelitů sluneční soustavy nejsou zcela pevné. Když na ně působí gravitace sousedního tělesa, která mění svou intenzitu a/nebo směr, mění tvar (deformují se), takže dochází ke hnětení (anglicky *flexing*) jejich nitra. Odpor vůči hnětení vyvolává vnitřní tření a teplo.

Oběhové a rotační energie příslušných těles, pohánějící deformační změny jsou brzděny vnitřním odporem hornin: tím se spotřebovává malá část oběhové a rotační energie, takže oba pohyby se zpomalují. Slapový ohřev tedy zpomaluje rotaci a oběh dotýčných těles (část jejich energie mění na teplo). Toto zpomalování vede k rezonančním číselným poměrům obou pohybů, z nichž nejsilnějším je přímá **slapová vazba** (angl. *tidal locking*), kdy se rotační doba zpomalí na oběžnou. Tím se změny deformací a slapový ohřev zastaví: slapové vzduť se neposouvá ani jinak nemění, ohřev končí.

Slapový ohřev můžeme pozorovat na dálku nejlépe podle výsledného **vulkanismu**, který může vznikat takto: slapové teplo se hromadí v materiálu pod povrchem, kde ho nadložní materiál izoluje od úniku, až se začne tavit, odplyňovat nebo zčásti vypařovat. Při změně vertikální polohy ohřivaného materiálu působí vznikající plynná fáze jako pružina, která při snížení tlaku tekutou fází vymrští – dochází k erupcím, vývěrům a explosím. Tyto jevy jsou známé z několika pevných těles sluneční soustavy, planetologové je nazývají vulkanismus, i když tavení či vypařování probíhají za velmi nízké teploty, jako např. na Tritonu při -210°C [=63 Kelvin], kde se často mluví o kryovulkanismu. Nahromaděnou tekutou fází označujeme jako **magma** pokud je v hloubce pod tlakem, a např. při zemském vulkanismu obsahuje rozpuštěné plyny. Tekutou fází na povrchu, tj. za nízkého tlaku, kdy už nemá explozivní charakter (na Zemi je odplyněná, často se zachová množství bublin) označujeme **láva**.

Na Zemi, magmatické krby jsou poměrně v mělké hloubce kůry. Pomalu stoupají následkem protavování stropu, kde se konvekcí hromadí nejteplejší magma, zatím co na dně krby hromadí se nejchladnější magma pomalu krystalizuje v pevnou vyvřelou horninu. Magma obsahuje velké množství rozpuštěných (vulkanických) plynů vlivem vysokého tlaku. Protavováním se nahoru se tlak snižuje. Jakmile se příliš nízkým okolním tlakem rovnováha mezi oběma tlaky poruší, začnou se rozpuštěné plyny překotně uvolňovat jako bubliny a rozpínat: magma, které ztratilo většinu rozpuštěných plynů se mění v lávu a začne vytékat na povrch, někdy explozivně. Na tom místě roste sopka, vulkán.

Příklady slapového ohřevu a jím vyvolaného vulkanismu:

- 1) **Měsíc.** Měsíční otáčení bylo původně rychlejší než dnes: Měsíc ukazoval všechny strany. Soudíme, že před cca 3,5 miliardami let se energie otáčení Měsíce jeho slapovým ohřevem a vulkanismem natolik spotřebovala, že se jeho otáčení zpomalilo až na dobu jeho oběhu – došlo ke slapové vazbě – Měsíc ukazuje jen jednu stranu. K tomuto předpokladu docházíme proto, že neznáme na Měsíci projevy vulkanismu mladší než 3,5 GA.
- 2) **Io.** Io je Galileův měsíc nejbližší k Jupiteru. Io vykazuje nejsilnější vulkanismus sluneční soustavy, jehož zdrojem může být jedině slapový ohřev. Io je podroben neustálým změnám deformace, hnětení. Dva sousední měsíce, Ganyméd (největší měsíc sluneční soustavy) a Europa, neustále narušují Io-vův oběh tak, že se jeho vzdálenost od Jupiteru v jeho gigantickém gravitačním poli trochu mění. Navíc sousední Ganyméd a Europa při každé konjunkci s Io ho hnětou.
- 3) **Země.** Gravitační pole Měsíce a Slunce zvedají o několik palců horninový povrch Země na přikloněných stranách; tato deformační vlna se snaží postupovat od východu k západu rychlostí 1 otáčka za den. Vzhledem k vysoké viskozitě, tedy odporu hornin proti deformaci, se deformační vlna silně opožďuje za Měsícem i Sluncem, takže deformace se brzo svým opožděním dostane z dosahu gravitačních polí Měsíce a Slunce, a začne se tvořit další slapové vzduť. Tato proměnlivá deformace se soustřeďuje na velké diskontinuity kůry jako je subdukce, kde vyvolává několika-centimetrové posuvy 2 až 4-krát denně podle vzájemné polohy Měsíc — Slunce — Země: 2x když jsou všechna tři tělesa v přímce, 4x když spojnice Země — Měsíc se spojnicí Země — Slunce svírají pravý úhel. Subdukční vulkanismus je už dlouho známý, ale dosud se pro jeho vysvětlení neužíval slapový ohřev, nýbrž pohyb deskové tektoniky: ten je ale cca 1000 menší, protože u něho je rychlost posuvu v centimetrech/rok, zatímco slapový posuv v centimetrech je 2-4x denně, což je v průměru 3x denně a to 365x za rok — tedy v průměru 3x365≈1000-krát víc. Mimo diskontinuity jsou deformace rozptýlené ve velkých objemech hornin. Protože většina hornin zemské kůry klade deformaci velký odpor, koncentrují se deformace, a tím i slapový ohřev, na diskontinuity. Proto se nad subdukčními zónami vytvářejí vulkanické řetězce, např. Kaskády, sopky v Aljašce, Chile atd.).
- 4) **Pluto** + jeho měsíc **Charon**: každý je slapově vázán jeden na druhého (Plutův den = oběžná doba Charona = Charonův den = 6 dní, 9 hodin a 18 minut; *Astronomy*, July 1986, str. 17). Proto se gravitace na obou tělesech nemění a Pluto (zatím) nevykazuje náznaky slapového ohřevu. Samozřejmě, Plutův vysoce excentrický oběh (nejvýstřednější ve sluneční soustavě) může způsobit slapový ohřev na Plutu, ale zatím jsme ho nepozorovali, jistě pro naši omezenou znalost Pluta (naposled navštívená planeta — kosmickou lodí New Horizons 14. 7. 2015: <http://pluto.jhuapl.edu/>, <http://www.granometry.com/index.php/-astronomy-news-.html>).