INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Planety v otázkách a odpovědích

Vladimír Štefl
Přírodovědecká fakulta MU
stefl@physics.muni.cz

Josef Trna
Pedagogická fakulta MU
trna@ped.muni.cz

Úvod

Země, kosmické těleso, na které žijeme, je jednou z osmi planet obíhajících kolem Slunce. Samotné slovo *"planétés"* v řečtině znamená "tulák", charakterizuje okem pozorovaný pohyb planety po hvězdné obloze. Do sluneční soustavy dále patří měsíce planet, malá tělesa (planetky, komety, meteoroidy) a meziplanetární hmota tvořená prachem, plynem, ovlivňovaná gravitačními a elektromagnetickými poli. Základní jednotkou pro určování vzdáleností ve sluneční soustavě je střední vzdálenost Země - Slunce, tzv. astronomická jednotka *a. u. (astronomical* **u**nity) - 149,6 miliónů kilometrů. Sluneční soustavu si můžeme představit v základních číslech následovně:

	Průměr *km*	***Střední vzdálenost od Slunce*** *miliony km*	***Hmotnost*** *poměr k hmotnosti Země*
Merkur	4 900	58	0,056
Venuše	12 100	108	0,815
Země	12 800	150	1,000
Mars	6 800	227	0,107
Jupiter	143 000	778	317,800
Saturn	120 500	1 427	95,110
Uran	51 100	2 870	14,520
Neptun	49 500	4 500	17,120

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Planety

Z pozorování planet bylo zjištěno, že všechny obíhají kolem Slunce ve stejném směru, přibližně v jedné rovině procházející Sluncem. Dráhy všech planet mají eliptický tvar, příliš se nelišící od kruhového. Planety (mimo Venuši a Uran) rotují kolem vlastních os, ve stejném směru v jakém obíhají kolem Slunce, které rovněž rotuje kolem vlastní osy obdobně. Tato téměř jednotná rotace odpovídá původnímu otáčení mračna prachu a plynu, ze kterého se sluneční soustava vytvořila.

Planety rozdělujeme na skupinu planet zemského typu (Merkur, Venuše, Země, Mars) a planety velké - plynné (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun). Poměr hmotností velkých planet a Země je asi 10 - 100, zatímco podíl poloměrů je 5 - 10. Z toho vyplývá rozdílnost průměrné hustoty u obou skupin planet, která je podmíněna růzností chemického složení. Planety zemského typu (tzv. terestrické) jsou složeny především z pevných látek, v nichž převládá železo, nikl, křemík a hliník. Oproti tomu velké obří planety obsahují hlavně plynné látky, a to vodík, helium, metan a amoniak. Rychlost rotace kolem vlastních os je u velkých planet větší než u planet zemského typu. Plynné planety se tedy otáčejí rychleji. Kolem velkých - plynných planet se rozprostírají prstence a kolem každé obíhá větší počet měsíců. Jupiter, Saturn a Neptun vyzařují zhruba 2krát více energie, než kolik ji přijímají ze Slunce. Svítí tak i vlastním světlem, nejen odraženým od Slunce jak je tomu u terestrických planet.

V roce 2006 kongres IAU přijal novou definici planety: Jde o kosmické těleso obíhající kolem Slunce, mající dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa a vytvořila sférický tvar odpovídající platnosti rovnice hydrostatické rovnováhy $\frac{dP}{dr} = -G\rho\frac{dM}{r^2}$. Planeta gravitačně "vyčistila" prostor v okolí své dráhy. Vzhledem k této definici bylo Pluto vyřazeno v uvedeném roce 2006 ze seznamu planet a označeno z tzv. *trpasličí planetu.*

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Merkur

Nejbližší planetou od Slunce je Merkur, který se nachází přibližně v jedné třetině vzdálenosti Země - Slunce, od kterého se příliš nevzdaluje. Je proto obtížně pozorovatelný, můžeme ho sledovat jen nízko nad západním obzorem po západu Slunce nebo těsně nad východním obzorem před východem Slunce. Povrch Merkuru připomíná povrch Měsíce, se kterým má obdobné fyzikální a optické vlastnosti. Proces formování povrchu planety skončil přibližně před 4 miliardami roků. Základní současné představy o Merkuru byly získány americkou kosmickou sondou Mariner 10 v letech 1974/75, kdy se podařilo zmapovat část povrchu. Sonda rovněž zjistila dipólové magnetické pole planety o menší intenzitě než u Země, tudíž předpokládáme existenci železného jádra v nitru Merkuru jako u Země. Nové údaje přinesla sonda MESSENGER (**ME**rcury **S**urface, **S**pace **EN**vironment **GE**ochemistry and **R**anging) v letech 2008/09. Krátery na povrchu planety vznikly dopady těles, největší mají průměry několik set kilometrů. Dostaly jména např. Beethoven, Tolstoj, Shakespeare, Goethe atd. Teplota na Sluncem ozářené straně planety dosahuje až 400 stupňů Celsia. Na odvrácené straně od Slunce pak až - 180 stupňů Celsia. Merkur prakticky nemá žádnou atmosféru, proto existují zmiňované velké teplotní rozdíly mezi ozářenou a neozářenou částí povrchu planety. Délka jednoho dne na Merkuru je 58,5 pozemských dnů. Podmínky pro vznik a existenci života jako na Zemi jsou však zcela nevhodné.

Venuše

Druhou planetou podle vzdálenosti od Slunce je Venuše, téměř stejně tak velká jako Země. Při pozorování ze Země je Venuše s výjimkou Slunce a Měsíce nejjasnějším objektem na obloze. Zřejmě proto byla pojmenována po bohyni krásy Venuši. Objevuje se na obloze při východu a západu Slunce, získala i pohádková jména Jitřenka či Večernice. Má velmi hustou atmosféru o mnoha vrstvách oblačnosti, z kosmu pozorujeme pouze vnější vrstvu mraků. Nejvýraznější oblačná vrstva, složená z malých kapiček oxidu siřičitého se nachází ve výškách (45 - 70) km. Chemické složení a stavba atmosféry se začaly zkoumat od roku 1967 sovětskými kosmickými sondami Veněra a Vega. V důsledku tzv. skleníkového efektu dosahuje teplota povrchu planety až 475 stupňů Celsia, tlak je 100krát vyšší než atmosférický tlak na povrchu Země. Povrch Venuše je studován prostřednictvím radarových vln např. o

vlnové délce 0,7 m, které pronikají její atmosférou. V poslední době k témuž používáme kosmické sondy obíhajících kolem planety. Na ní byly zjištěny hory sopečného původu, např. hora Maxwell o výšce 11 km. Venuše je vnitřní planetou, nacházející se mezi Sluncem a Zemí, která prochází všemi fázemi jako Měsíc, s měnící se jasností, což bylo pro Galilea Galileiho (1564-1642) přesvědčivým potvrzením heliocentrického uspořádání planet.

Země

Země je obklopena velmi pohyblivou atmosférou, která má složitou stavbu. Základním plynem je dusík (78 % z celkového objemu plynu), dále kyslík (21 %) a argon 1 %. Dalších plynů je v atmosféře málo (např. kysličník uhličitý tvoří pouze 0,03 %). Přibližně 80 % hmotnosti vzduchu leží ve vrstvách, rozložených do výšky 15 km, do 30 km výšky to je 99 %. Atmosféra sahá až do výšky nad 2 000 km. Působením slunečního záření probíhá v atmosféře rozpad molekul vzduchu a ionizace atomů, ve výšce mírně nad 20 km se nachází maximum hustoty ozónu – tzv. ozónosféra. Tato vrstva pohlcuje značnou část krátkovlnného nebezpečného záření Slunce a chrání živou přírodu. Důležitá je rovněž ionosféra, začínající ve výškách kolem 60 km a sahající přibližně do 500 km. Vedle světla, tedy viditelné části elektromagnetických vln (tzv. optického okna) propouští atmosféra záření rovněž v rádiovém oboru s vlnovou délkou od 1 cm do 20 m. Teplotní poměry v atmosféře závisí nejen na vzdálenosti naší planety od Slunce, na složení atmosféry, ale také na rychlosti rotace planety. Naše Země se otáčí s optimální periodou, která zajišťuje rovnoměrné ohřívání (ochlazování) povrchu bez velkých výkyvů teploty. Další její jedinečnost spočívá v tom, že povrch tvoří z větší části voda, a to v tekutém stavu. Rotační osa Země je skloněna o úhel 23,5 ^{o} ke kolmici vztyčené k rovině oběžné dráhy kolem Slunce. Sklon bylo vyvolán srážkou Země s jiným tělesem v minulosti, z uvolněného materiálu planety později vznikl Měsícem. Změny ročních dob jsou vyvolány právě sklonem. Je tak dalším způsobem zajištěno rovnoměrné rozložení teploty na zemském povrchu. Mírně se měnící vzdálenost Země od Slunce má jen nepatrný vliv na teplotní poměry na Zemi. Přesto jsou díky ní mírnější zimy na severní polokouli a chladnější léta než na jižní polokouli. Zemské jádro složené z prvků skupiny železa a niklu je příčinou existence dipólového magnetického pole.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Mars

Nejbližší vnější planetou od Země je Mars. Analýza hornin americkými sondami Viking 1 a 2 v roce 1976 ukázala, že hlavními chemickými prvky povrchových vrstev jsou křemík, železo, vápník a hliník. Proto má povrch planety načervenalý vzhled. Teplota v mírných šířkách Marsu dosahuje pouze -60 stupňů Celsia. Značná část oxidu uhličitého společně s vodními parami je kondenzována v polárních čepičkách bílé barvy. Na Marsu se nachází nejvyšší známá hora ve sluneční soustavě, hora Olympus Mons s výškou od úpatí 25 km. Biologická analýza vzorků dosud nepotvrdila přítomnost organických látek na povrchu. Před 2-3 miliardami roků na Marsu došlo k zásadním změnám na povrchu a v atmosféře, vymizela voda. Mars má dva menší měsíce, Phobos (rozměry: 27x21x19 km) a Deimos (rozměry: 15x12x11 km), v překladu Strach a Hrůza. Mezi oběžnou dráhou Marsu a Jupitera obíhají kolem Slunce planetky, kterých již známe několik set tisíc, největší planetka Ceres má velikost téměř 1 000 km. Planetky obíhají často v nepravidelných dráhách a mohou se stát nebezpečím pro Zemi díky srážkám s ní. K tomu v minulosti docházelo a i v současnosti dochází. Na Zemi známe desítky impaktních kráterů. Astronomové proto již několik desetiletí pozorně sledují nebezpečné objekty, tzv. křížice zemské dráhy.

Jupiter

Ve vzdálenosti od Slunce 5krát větší než Země obíhá největší planeta Jupiter, který má přibližně 320krát větší hmotnost než Země. Rychlá rotace planety s rotační periodou zhruba 10 hodin způsobuje silné zploštění planety. Základními chemickými prvky tvořícími planetu jsou vodík a helium, proto je hustota relativně malá. V atmosféře Jupitera jsou dále přítomny amoniak, metan, acetylén, etan, vodní páry atd. Velmi nízká teplota vnější části mračen (-140 stupňů Celsia) je spojena s tím, že velikost vyzařované energie ze Slunce klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Samotná planeta však vyzařuje 2krát více energie než kolik ji přijímá, jejím zdrojem je trvalé smršťování, při kterém se uvolňuje gravitační energie, dochází k zahřívání planety. V hlubších vrstvách atmosféry existuje vír - anticyklóna. Tato tzv. „Velká rudá skvrna“ má rozměr až 2krát větší než průměr Země. Celý útvar je pozorován již několik století. Kolem Jupitera obíhá více než 50 měsíců, nejznámějšími jsou v pořadí narůstající vzdálenosti od planety Io, Europa, Ganymedes a Callisto. Americké sondy Voyager 1 a 2

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

zjistily v roce 1979 při průletu kolem planety existenci tenkého prstence kolem Jupitera a výraznou sopečnou činnost na povrchu měsíce Io.

Saturn

Planetou s typickým systémem prstenců je Saturn. Prvním, kdo prstence nejen pozoroval, ale i pochopil jejich podstatu, byl Christian Huygens (1629 - 1695) roku 1655. Průlet sond Voyager v letech 1980 a 1981 zjistil tloušťku prstenců jen asi jeden kilometr, jejich průměr dosahuje 272 000 km. Jsou tvořeny částečkami prachových zrn, ledem a menšími centimetrovými až decimetrovými tělísky. Saturn je druhou největší planetou, má zhruba 100krát větší hmotnost než Země. Vyznačuje se velmi rychlou rotací. Na rovníku je rotační perioda 10 hodin. Planeta je složena z molekulárního vodíku, metanu, čpavku a helia. Rovněž Saturn vyzařuje více energie, než jí ze Slunce přijímá. Dodatečným zdrojem energie jsou fázové přeměny vodíku v jeho nitru - změny skupenství. Kolem Saturna obíhá větší počet měsíců, největším je Titan, který má vlastní atmosféru tvořenou molekulárním dusíkem, metanem a argonem. Teplota na povrchu je přibližně -180 stupňů Celsia. Dalekohledy pozorujeme systém Saturnových prstenců se zřetelnou Cassiniho mezerou. V atmosféře planety probíhají bouře. Největším měsícem s vlastní atmosférou je Titan. Dále lze pozorovat tzv. ledový měsíc Rhea o velmi nízké teplotě (-170 až - 220) stupňů Celsia. K. Má průměr 1 530 km a jeho povrch je pokryt krátery. Známým je také menší obdobně chladný měsíc Dione s průměrem 1 120 km.

Uran

Uran byl objeven Williamem Herschelem (1738 – 1822) roku 1781. Planeta má modrozelenou barvu, v důsledku pohlcování červené části odraženého světla ze Slunce metanem v jeho atmosféře. Teplota -216 stupňů Celsia na povrchu svědčí o tom, že Uran nemá vlastní zdroje tepla. Rovněž u této planety byl zjištěn systém prstenců, které jsou velmi tenké a neobsahují prachové částice, nýbrž menší tělíska či tělesa o velikostech desítek centimetrů až metrů. Planeta má přes 20 měsíců, nejzajímavějším je Miranda pro svůj povrch svědčící o složitém geologickém vývoji. Hubbleův kosmický dalekohled (HST) objevil na

černobílém snímku Uranu pohyb několika světlých mračen v jižní části planety. Tyto útvary s průměrem (3 100 - 4 300) km se pohybují ve vyšších vrstvách atmosféry. Rotační perioda planety kolem vlastní osy je zhruba 17 hodin.

Neptun

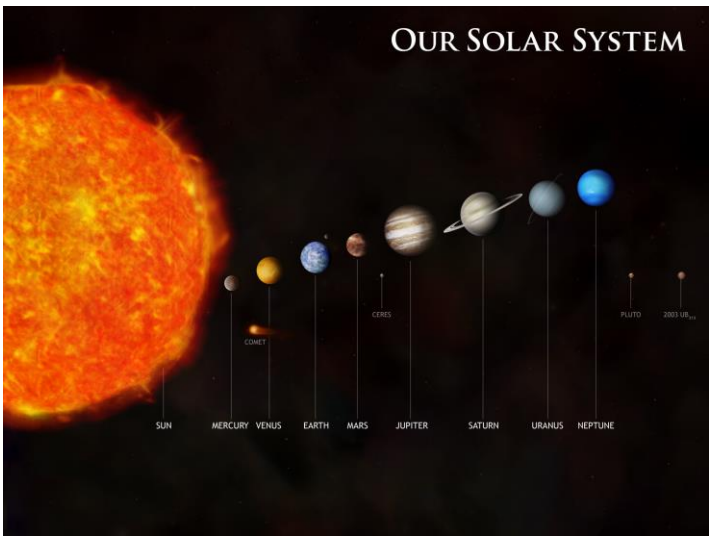
Na základě nepravidelností v pohybu Uranu byl objeven v roce 1846 Johannem Gallem (1812 - 1827) Neptun, planeta s hmotností 17krát větší než je hmotnost Země. Také kolem této planety existují prstence, i když jsou méně výrazné. Nejstudenějším měsícem ve sluneční soustavě je Neptunův měsíc Triton s teplotou -235 stupňů Celsia. Na jeho povrchu je tekutý dusík. Dalším měsícem planety je Nereida. Zajímavostí je i pojmenování - bůh moře Neptun má na obloze své stálé průvodce, syna Tritona a mořskou vílu Nereidu. Modrá barva planety Neptun je způsobena větším obsahem metanu v jeho atmosféře, který pohlcuje červenou část odraženého slunečního spektra. Je složen převážně z vodíku, helia a určitého množství metanu. Zajímavostí planety je, že její větry směřují od východu k západu. Na snímcích pozorujeme bílá mračna, která se zřejmě nacházejí nad souvislou oblačností a nad vrstvou absorbujícího metanového plynu.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

V úvodní tabulce uvedené charakteristiky planet se formovaly při vývoji sluneční soustavy. Hmotnost Slunce činí 99,9 % hmotnosti sluneční soustavy, planety kolem něj obíhají tak, že s rostoucí vzdáleností klesá jejich oběžná rychlost. Pro III. Keplerův zákon platí $\frac{r^3}{T^2} = konst$, pro oběžnou rychlost $v = \frac{2\pi r}{T}$. Odtud obdržíme $v^2.r = konst_2$, tudíž $v \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$, což je vztah pro tzv. keplerovskou rotaci. Základem kosmogonie rozpracované Pierrem Simonem Laplacem (1749 - 1827) je myšlenka uplatnění zákona zachování momentu hybnosti.

- **V kterých tělesech sluneční soustavy je uložen největší moment hybnosti sluneční soustavy?**



Za předpokladu kruhových drah můžeme dráhový moment hybnosti planet vyjádřit vztahem $L = mrv = m\frac{2\pi r}{T}r$. Při znalosti hmotností, poloměrů drah a oběžných dob planet vypočítáme dráhové momenty hybnosti vybraných planet $L_Z = 2{,}7.10^{40} kg.m^2.s^{-1}$, $L_J = 1{,}9.10^{43} kg.m^2.s^{-1}$, $L_S = 7{,}8.10^{42} kg.m^2.s^{-1}$, $L_U = 1{,}7.10^{42} kg.m^2.s^{-1}$. Rotační moment hybnosti Slunce činí $L_{Sl} = 1{,}1.10^{42} kg.m^2.s^{-1}$ což je zhruba pouze 3 % celkového momentu hybnosti sluneční soustavy. Musel tak existovat mechanismus přenosu momentu hybnosti z centrálního tělesa - protoslunce na vznikají planety. Tím s velkou pravděpodobností bylo magnetické pole.

V Obězích vydaných roku 1543 publikovaná Koperníkova heliocentrická teorie vedla mimo jiné k zavedení siderických oběžných dob pro planety obíhající kolem Slunce.

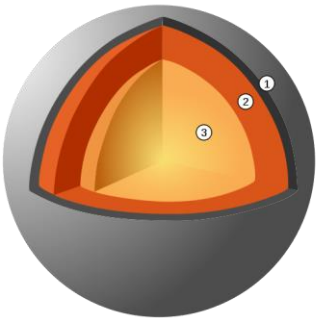
Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- **Jak Koperník (1473 – 1543) určoval siderické oběžné doby planet?** Pro výpočet používal vztah $\frac{1}{T_{psid}} = \frac{1}{T_{Zsid}} - \frac{1}{T_{psyn}}$, v kterém znal sidereckou oběžnou dobu Země T_{Zsid} = 365,256 *dne*. Ukážeme postup při určení siderické oběžné doby Marsu T_{Msid}, jestliže pro Mars znal T_{Msyn} = 780 *dne*. Do výše uvedeného vztahu pro T_{psid} dosadíme a obdržíme T_{Msid} = 687 *dne*.



- **Nejbližší planetou ke Slunci je Merkur. Jak astronomové poznali, že má tekuté jádro?**



Kosmická sonda Mariner 10 zjistila u této planety magnetické pole o velikosti 1 % pozemského. Je způsobeno tekutým jádrem, které generuje magnetické pole při oběhu v něm elektrických nábojů, jde o tzv. efekt dynama. Stavba nitra Merkuru se skládá z jádra - *3* o poloměru přibližně 1 800 *km*, pláště 500 *km* - *2* a kůry o tloušťce (100 - 300) *km* - *1*.

- **Které těleso, Země nebo Slunce, působí větší gravitační silou na Měsíc?**



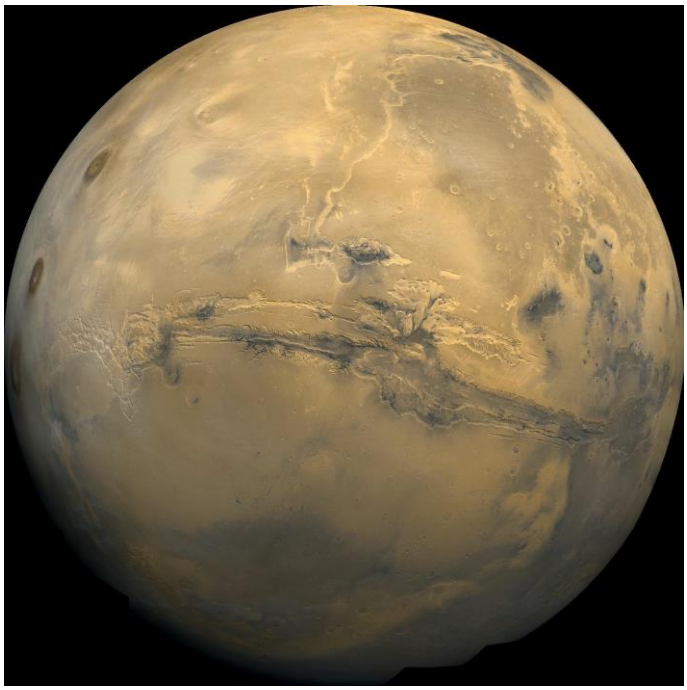
Proveďte diskusi, proč Měsíc obíhá kolem Země a nikoliv kolem Slunce, M_S = 330 000 M_Z, $r_{MS} = 390 r_{MZ}$. Platí

$$\frac{F_{MS}}{F_{MZ}} = \frac{G\frac{M_M M_S}{r_{MS}^2}}{G\frac{M_M M_Z}{r_{MZ}^2}} = 2{,}17 .$$ Kolem Slunce obíhá barycentrum (hmotný střed) soustavy Země - Měsíc.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- **Lze ze Země pozorovat na Marsu údolní útvar Valley Marineris, jehož šířku odhadujeme na 200 km? Využijme k pozorování opozici, při které je Mars vzdálen od Země 5,6.10 ^{10} *m*.**



Při uvedené vzdálenosti Marsu lze šířku údolí Valley Marineris pozorovat pod úhlem $\alpha = 1{,}5.10^{-4}$ °, tedy přibližně 0,5 “, což je na hranici rozlišitelnosti největšími pozemskými dalekohledy za ideálních podmínek. Naopak z Marsu by za stejných podmínek bylo možné pozorovat například ústí Amazonky do Atlantického oceánu.

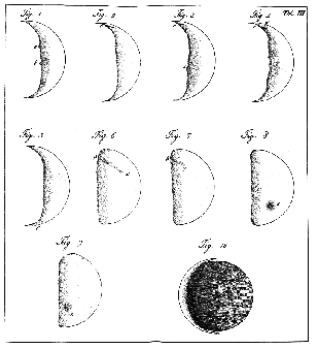
- **Víte, jak mohou tzv. tančící derviši pomáhat astronomickému výzkumu?**



Kosmonautická průzkumná vozítka pohybující se na povrchu Marsu potřebují ke své činnosti energii vesměs dodávanou slunečními články. Na Marsu se vyskytují intenzivní prachové bouře, které na povrch slunečních článků nanášejí písek, a tedy je vyřazují z činnosti. Nastupuje „úklidová četa“ v podobě “tančících dervišů“, vírových větrů, které panely vyčistí a uvedou znovu do provozního stavu. Větry vznikají v důsledku nestejnoměrného ohřevu terénu a atmosféry. Dosahují výšky až 700 m, průměru 200 m, při pohybu nad povrchem získávají rychlost přibližně (1 - 60) $m.s^{-1}$. Popisovanou zkušenost získalo například vozítko Opportunity v roce 2004 (viz obrázek).

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.



- **Je výška hor na planetách omezena?**

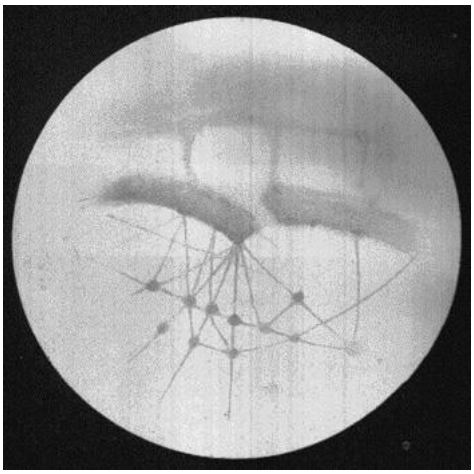
Jednou z prvních systematicky zkoumaných planet byla v moderní době Venuše, kterou sledoval německý astronom Johann Schröter (1745 - 1816), nákresy z jeho pozorování viz obrázek. Nerovnosti na čáře terminátoru (hranicí mezi osvětlenou a temnou částí), vyvolané jak dnes víme nestejnorodostí atmosféry, vysvětloval existencí hor. Kladl si otázku, jaká může být nejvyšší výška hor na této planetě respektive obecně na planetách?

Zkoumejme tento problém z fyzikálního hlediska. Hory s velkou výškou svojí tíhou narušují krystalickou mřížku hornin (žuly, granitu), která se roztavuje. Gravitační potenciální energie hory se projevuje stlačením materiálu hornin, částice se k sobě přibližují. Uvolněná energie se přemění na tepelnou. Nejprve při znalosti charakteristik Venuše M = 4,87.10 ^{24} kg, R = 6 052 km určíme tíhové zrychlení na jejím povrchu $g = G\frac{M}{R^2} = 8{,}87 m.s^{-2}$. Dále stanovíme maximální výšku hory následující úvahou. Předpokládejme zjednodušeně válcový tvar hory o výšce h. Jestliže bychom hypoteticky zvětšili maximální výšku h_m o Δh, o stejnou hodnotu by se snížila v důsledku roztavení hornin v základně hory. Platí tak vztah $M_h g\Delta h = Q\rho S\Delta h$, kde M_h je hmotnost hory. Po dosazení $M_h = h_m \rho S$ obdržíme $h_m \rho S\Delta hg = Q\rho S\Delta h$, odkud po úpravě $h_m = \frac{Q}{g} = 11300m$, při měrném skupenském teple tání hornin s převládající kovalentní vazbou, např. žuly $Q = 10^5 J.kg^{-1}$. Nejvyšší hory s výškou přibližně (25 – 27) km na planetách sluneční soustavy existují na Marsu, kde je na povrchu nižší tíhové zrychlení než na Venuši či Zemi.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- **V druhé polovině předminulého století italský astronom Giovanni Schiaparelli (1835 - 1910) a americký astronom Percival Lowell (1855 - 1916) přesvědčovali astronomickou veřejnost o existenci tzv. kanálů na povrchu Marsu, viz obrázek. Mohli uvedení astronomové pozorovat skutečné kanály na Marsu, jestliže rozlišovací schopnost Lowellova dalekohledu dosahovala přibližně 1 “?**



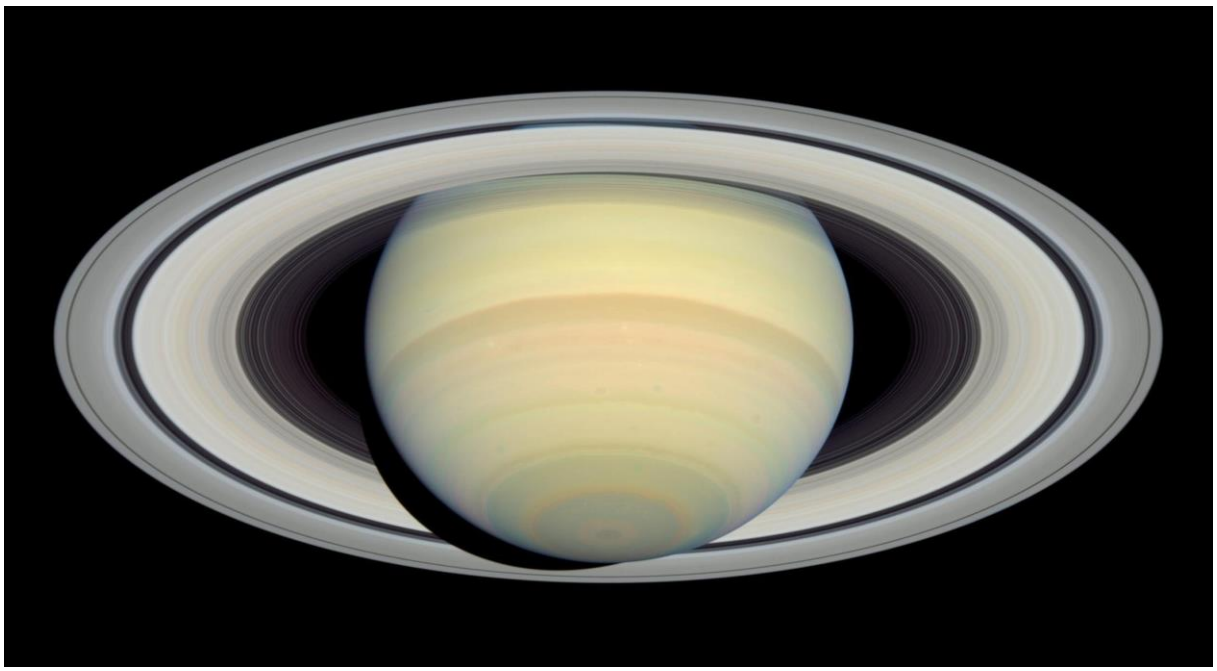
Vyjdeme z dráhových elementů Země a Marsu, ze znalosti poloměrů a excentricit drah planet. Největší přiblížení Marsu k Zemi nastává v situaci, kdy se Země nachází v aféliu a Mars perihéliu své dráhy. Numericky dosazeno pro Mars ve vzdálenosti $a_M(1-e_M)=1{,}382 a.u.$ a Zemi $a_Z(1+e_Z)=1{,}017 a.u.$ od Slunce. Nejmenší vzdálenost obou planet činí 0,365 *a. u.* Při této vzdálenosti a průměru Marsu 6 794 *km* je úhel pro pozorování planety roven $\alpha=\frac{206265.6794}{0{,}365.1{,}496.10^8}=25{,}7''$. Lowellovy kanály „měly“ úhlovou šířku 1“, tedy $\frac{1}{25{,}7}$ disku Marsu. Aby byly pozorovatelné, musely by mít šířku 264 *km*, což neodpovídá velikostem umělých kanálů vybudovaných na Zemi.

- **Je Saturnův prstenec tvořen tuhým tělesem či je složen z menších částic?**

Odpověď na tuto otázku nalezl skotský fyzik James Clark Maxwell (1831-1879) na základě analýzy dynamické stability. Při dostatečně velké hmotnosti Saturnu nejsou prstence tvořeny tuhými tělesy, nýbrž systémy drobných diskrétních vzájemně interagujících částeček na

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.



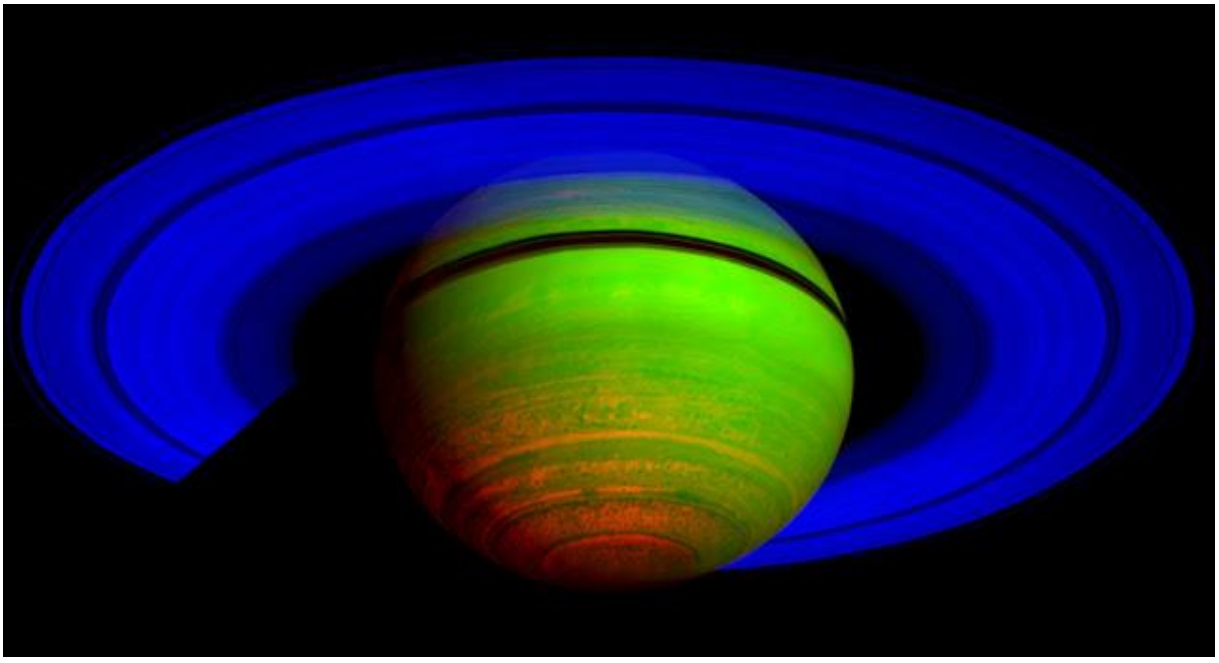
oběžné dráze kolem planety, udržujících stabilní tvar. Později např. James Edward Keller (1857-1900) a William Wallace Campbell (1862-1938) proměřovali spektroskopicky relativní rychlosti vnitřních a vnějších částí prstenců k vyjasnění, který jejich okraj se pohybuje rychleji. Závislost rychlosti částic tuhého tělesa na vzdálenosti je $\boldsymbol{v \sim r}$ zatímco závislost oběžné rychlosti pohybujícího se tělesa na kruhové dráze je dána závislostí $\boldsymbol{v} \sim \sqrt{\frac{1}{r}}$. Bylo zjištěno, že ledové částečky tvořící převážně systém prstenců, se pohybují ve vnitřní oblasti rychleji než ve vnější, což je v souladu s pohybem volného tělesa a jde o tzv. keplerovskou rotaci se závislosti $v \sim \sqrt{\frac{1}{r}}$.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- **Jak je možné, že Saturn vyzařuje do svého okolí více energie, než kolik přijímá zářením od Slunce?**

Tento poznatek vyplývá z porovnání tzv. efektivní teploty rovnovážného záření planety, což je teplota, kterou by Saturn měl, pokud by vyzařoval pouze energii přijímanou ze Slunce, a spektroskopicky určenou teplotou povrchové vrstvy mraků, činí 94 *K*. Prvně uvedenou teplotu vyjádříme vztahem $T_{efSat} = T_{efSl}\left(\frac{R_{Sl}}{2a_{Sat}}\right)^{\frac{1}{2}}(1-A)^{\frac{1}{4}}$, kde A = 0,34 je albedo Saturna, dosazením obdržíme teplotu 81 *K*. Úvaha předpokládá, že energie záření Slunce přijímá Saturn plochou πR^2 zatímco vzhledem k jeho rychlé rotaci vyzařuje plochou $4\pi R^2$. Nesoulad teplot znamená, že planeta musí mít vnitřní zdroje energie, kterými nejpravděpodobněji jsou gravitační smršťování, fázové přeměny vodíku v jeho nitru respektive klesání helia. Zajímavostí je, že vyzařování Saturna je proměnné, v posledních letech mírně klesá. Z pozorování kosmické sondy Cassini v infračerveném oboru bylo zjištěno, že jižní polokoule vyzařuje přibližně o 1/6 energie více než severní, viz obrázek.



Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

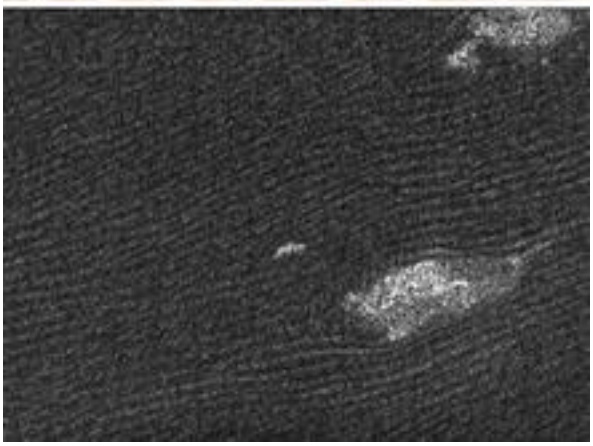
- **Kolem Saturnu obíhá větší počet měsíců, největším o průměru *5 150 km* je Titan, objevený Christianem Huygensem r. 1655. Měsíc má vlastní hustou atmosféru tvořenou molekulárním dusíkem, metanem a argonem. První spektroskopické studium atmosféry Titanu provedl Gerrit Pieter Kuiper (1905 - 1973). Po určení číselné hodnoty gravitační konstanty bylo možné prostřednictvím III. Keplerova zákona v přesném tvaru stanovit přímo nejdůležitější charakteristiku Saturnu - hmotnost. Jak?**



Úpravou III. Keplerova zákona a dosazením obdržíme $M_S = \frac{G}{4\pi^2}\frac{a^3}{T^2} = 5{,}7.10^{26}\ kg.$

- **Vysvětlete, proč můžeme v dusíkové a metanové atmosféře Titanu pozorovat značný vítr způsobující přesuny písku na jeho povrchu.**





Nejprve stanovíme velikost slapové síly Saturna působící na jeho měsíc Titan. Hmotnost Saturna je $M_S = 5{,}7.10^{26}\ kg$, měsíc Titan má hmotnost $MT = 1{,}35.10^{23}\ kg$, průměr DT = 5 150 *km* a obíhá ve vzdálenosti r = $1{,}22.10^6$ *km* od Saturna.

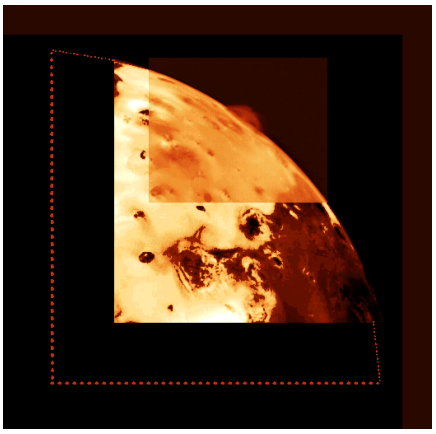
Řešení: Působící slapová síla je dána vztahem $F = 2G\frac{M_S m_T}{r^3} D_T$. Dosadíme do vztahu parametry soustavy Saturn – Titan, $FT = 2{,}9.10^{19}\ N$. Relativně velká slapová síla

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Saturna, výraznější než slapová síla Měsíce působící na Zemi, vyvolává v dusíkové a metanové atmosféře Titanu značný vítr, který způsobuje přesuny písku na povrchu, viz obrázek.

- **Existují aktivní sopky i na jiném kosmickém tělesa ve sluneční soustavě než na Zemi? Proč tam sopky vznikají?**



Takovým tělesem je měsíc Jupitera Io, jehož nitro je vzhledem k jeho tekutosti zahříváno slapovými silami. Tepelná energie vystupuje k povrchu, na kterém vznikají sopky. Pro praktickou úlohu využijeme snímek z větším rozlišením sopky Prométheus, viz obrázek pořízený kosmickou sondou Voyager 2. V jeho levém spodním rohu je střed měsíce Io. Úkolem je zjistit rychlost, s jakou je ze sopky Prométheus vyvrhován materiál, jestliže hmotnost měsíce je $M = 8{,}93.10^{22}\,kg$ a jeho poloměr $R = 1{,}82.10^{6}\,m$.

Ze vztahu $g = G\dfrac{M}{R^2} = 1{,}8 m.s^{-2}$ určíme gravitační zrychlení na jeho povrchu. Proměřením snímku, při znalosti jeho měřítka, stanovíme výšku výstupu vyvrhovaného materiálu, která činí h = 300 *km*. Rychlost výstupu získáme dosazením do vztahu $v = \sqrt{2gh} = 1 km.s^{-1}$.

- **Astrologové tvrdí, že kosmická tělesa, zejména planety svými astrologickými silami v okamžiku narození lidí ovlivňují jejich charaktery. Vypočtěte poměr hypotetických astrologických sil Jupitera a Země na nově narozené dítě v okamžiku, kdy se Jupiter nachází v opozici ve vzdálenosti 4,2 *a. u.* od Země.**

Určíme poměr gravitačních sil Jupitera a Země $\dfrac{F_J}{F_Z} = \dfrac{\dfrac{M_J}{r_{ZJ}^2}}{\dfrac{M_Z}{R_Z^2}} = 3{,}3.10^{-8}$. Gravitační vliv Jupitera je zcela zanedbatelný.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.



- **Objasněte, proč měsíc Saturna Titan si zachoval svoji atmosféru, zatím co Merkur nikoliv. Maximální teplota v dusíkové atmosféře Titanu je 100 *K*, na povrchu Merkuru až 800 *K*.**

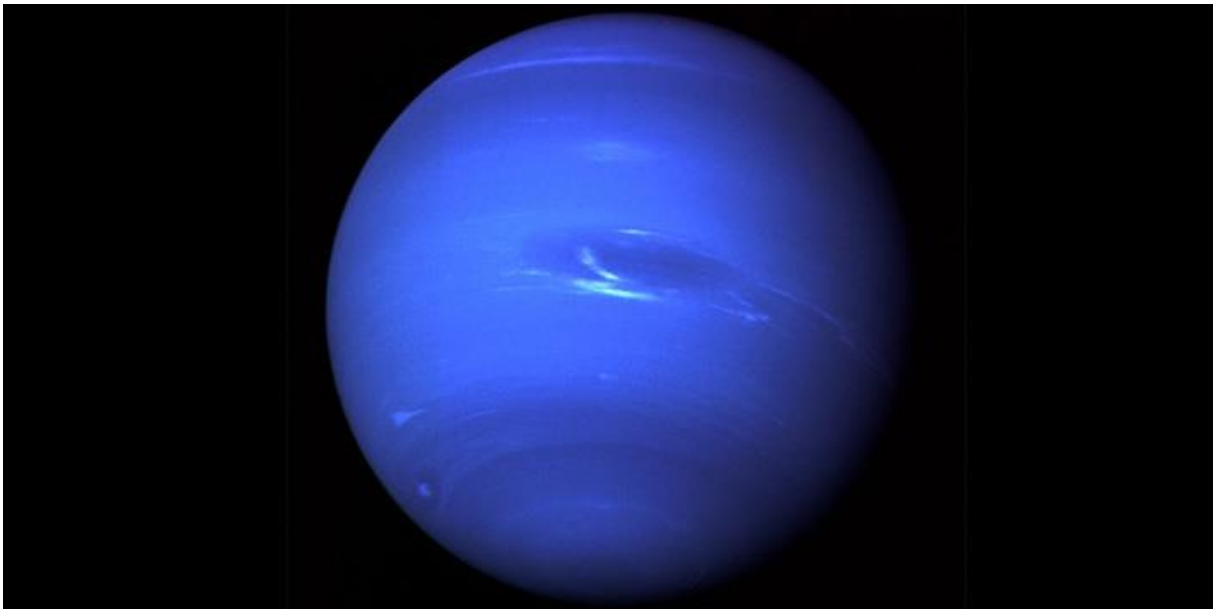
K dlouhodobému udržení atmosfér kosmických těles musí být splněna zhruba podmínka $v_p \geq 10 v_{sk}$, tedy $\left(\frac{2GM}{R}\right)^{\frac{1}{2}} \geq 10\left(\frac{3kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$. U Merkuru Mariner 10 v roce 1974 bezúspěšně hledal i jen tenkou vrstvu atmosféry z hélia. Pro tento prvek platí $\frac{v_p}{v_{sk}} = \frac{4{,}2}{2{,}1} = 2$, proto by atmosféra mohla existovat pouze několik dnů. Titan má atmosféru složenou převážně z molekulárního dusíku. Po dosazení hodnot obdržíme $\frac{v_p}{v_{sk}} = \frac{2{,}7}{0{,}3} = 9$, tedy podmínka pro dlouhodobou existenci atmosféry je téměř splněna.

- **Ze spektroskopických studií Neptuna v infračerveném oboru kosmickou sondou Voyager 2 byla stanovena teplota planety na 56 *K*. Dokažte, že Neptun má vnitřní zdroje energie, jestliže jeho albedo (odrazivá schopnost) je A = 0,29, střední vzdálenost od Slunce je a_{Ne} = 30 *a. u.***

Nejprve určíme hodnotu solární konstanty pro Neptuna $S_{Ne} = S_Z \frac{1}{30^2} = 1{,}5\ W.m^{-2}$. Planetou získávaný zářivý výkon od Slunce je $L_{S\to Ne} = S_{Ne}\pi R_{Ne}^2.(1-A) = 2 . 10^{15}\ W$. Efektivní teplota rovnovážného záření planety je $T_{efNe} = \left(\frac{L_{S\to Ne}}{4\pi\sigma R_{Ne}^2}\right)^{\frac{1}{4}} = 46\ K$. Spektroskopicky zjištěná teplota je vyšší 55 *K*, Neptun má vnitřní zdroje energie.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

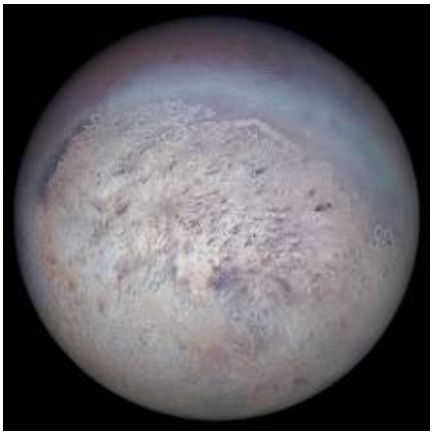
Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.



- **Zamysleme se nad modelovou úlohou: Nechť měsíc vykoná oběh planety A za jeden rok ve vzdálenosti *r*. Druhý měsíc oběhne planetu B rovněž za jeden rok ve vzdálenosti $\frac{r}{2}$. Která z planet má větší hmotnost?**

Planeta s větší hmotností při stejné velikosti oběžné doby umožňuje oběh ve větší vzdálenosti, tedy planeta A.

- **Proč obíhá Triton rychleji kolem Neptuna než Měsíc kolem Země?**



Německý astronom Johann Gottfried Galle (1812 – 1910) v noci z 23. na 24. září roku 1846 potvrdil výpočty francouzského matematika a astronoma Urbaina Jeana Le Verriera (1811 - 1877) a nalezl na obloze planetu Neptun. Již 17 dnů po tomto objevu, tedy 10. října 1846 anglický astronom William Lassell (1799 – 1880) objevil první

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

měsíc Neptuna Triton, viz obrázek. Určete hmotnost Neptuna. Proč měsíc Triton, pohybující se mimochodem jako jediný ve sluneční soustavě retrográdně (zpětně), obíhající v přibližně stejné vzdálenosti jako náš Měsíc, má oběžnou dobu "pouze" T = 5,877 *dne*?

Řešení: Při objasnění použijeme III. Keplerův zákon v přesném tvaru, do kterého dosadíme známou vzdálenost Tritona od Neptuna a_T = 355 000 *km*, $\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2}\left(M_{Nep} + M_{Tri}\right)$. Nalezneme $M_{Nep} = 10^{26} kg$ při zanedbání hmotnosti Tritonu. Neptun ve srovnání se Zemí má větší hmotnost, tudíž se vyznačuje gravitačním polem s vyšší intenzitou, Triton musí obíhat rychleji.

- **Jaký velký průměr dalekohledu *D* je nezbytný k úhlovému rozlišení Pluta a Charona na vlnové délce λ = 550 nm, jestliže je pozorujeme v opozici v perihéliu jejich dráhy o excentricitě *e* = 0,25?**

  Velikost velké poloosy dráhy Pluta je *a* = 39,5 *a. u. a* velikost velké poloosy dráhy Charona je *d* = 19 600 *km*.

Perihéliová vzdálenost obou těles od Slunce je r = a (1 – e) = 29,6 *a. u.*, vzdálenost od Země je však pouze 28,6.1,5.10 ^{11} *m* = 4,3 . 10 ^{12} *m*. K výpočtu úhlového rozlišení dosadíme do vztahu $\Theta = \frac{d}{r}$ = $\frac{19{,}6.10^6 m}{28{,}6.1{,}5.10^{11} m}$ = 4,6.10^{-6} rad = 0,9".



Toto rozlišení je dosažitelné z povrchu Země jen za výjimečných pozorovacích podmínek při kvalitním seeingu. Nezbytný minimální průměru dalekohledu nalezneme podle vztahu $D = 1{,}22\ \frac{\lambda}{\Theta}$ = 0,13 *m*. Druhou možností je použití dalekohledů vynesených mimo zemskou atmosféru, např. Hubbleova kosmického dalekohledu, viz obr. Pluta a Charona z roku 1994.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- **Stanovte hmotnosti Pluta a Charona, jestliže měsíc Charon obíhá kolem Pluta ve vzdálenosti a_{Ch} = 19 640 *km* za dobu T_{Ch} = 6,39 *dne*. Poloměr Pluta je R_P = 1 150 *km*, a Charona R_{Ch} = 600 *km*. Zvolme zjednodušení, že obě tělesa mají stejnou hustotu.**

Z III. Keplerova zákona $\frac{a_{Ch}^3}{T_{Ch}^2} = \frac{G}{4\pi^2}\left(M_{Pl} + M_{Ch}\right)$ stanovíme hmotnost soustavy Pluto - Charon $M_{Pl} + M_{Ch}$ = 1,4 . 10^{22} *kg*. Vzhledem k objemům těles dostaneme M_{Pl} = 1,2.10^{22} *kg*, M_{Ch} = 1,7 . 10^{21} *kg*, což zhruba odpovídá reálným údajům. Ve skutečnosti je poměr hustot přibližně $\rho_{Pl} : \rho_{Ch} = 2:1$.

Literatura:

[1] Štefl, V.: Nejkrásnější planeta sluneční soustavy Saturn v úlohách. MFI **23** (2014), s. 27 - 40.

[2] Štefl, V., Domanski, J.: Hubbleův kosmický dalekohled ve výuce fyziky na středních školách. MFI **21** (2012), s. 274 - 286.

[3] Perelman, J. I.: Zanimatělnaja astronomija. GITTL, Moskva 1954.

[3] Štefl, V., Krtička, J.: Didaktika astrofyziky. www.physics.muni.cz/astrodidaktika/

[4] http://www.nineplanets.org/

[5] http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Prověřte si své znalosti o sluneční soustavě prostřednictvím testu:

1. Sluneční aktivitou rozumíme

A. Zvětšení rychlosti pohybu Slunce

B. Zrychlení rotace Slunce

C. Zvětšení gravitační aktivity Slunce

D. Souhrn jevů periodicky vznikajících na Slunci.

2. Sluneční skvrny jsou místa na povrchu, která jsou

A. Teplejší než jejich okolí

B. Chladnější než jejich okolí

C. Tmavými víry vznikajícími při dopadech komet

D. Vnější části černých děr v nitru Slunce.

3. Přes 99 % hmotnosti sluneční soustavy je uloženo v

A. Jupiteru

B. Jupiteru a Saturnu

C. Planetkách mezi Marsem a Jupiterem,

D. Slunci.

4. Jaký maximální počet planet můžeme běžně na obloze pozorovat lidským zrakem

A. 3

B. 4

C. 5

D. 6.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

5. Na západním obzoru nemůžeme ráno pozorovat

A. Jupiter

B. Saturn

C. Merkur

D. Mars.

6. Které z planet vyzařují více energie, než kolik ji přijímají od Slunce

A. Merkur, Venuše, Mars

B. Venuše, Země, Mars

C. Jupiter, Saturn, Neptun

D. Pouze Uran.

7. Zda planety a měsíce mají atmosféry závisí na

A. Oběžné rychlosti kolem centrálního tělesa

B. Na teplotě

C. Na hmotnosti a poloměru

D. Na teplotě, hmotnosti a poloměru.

8. K planetám zemského typu patří

A. Merkur, Venuše, Země, Uran

B. Merkur, Venuše, Země, Mars

C. Venuše, Země, Mars, Jupiter

D. Země, Mars, Jupiter, Saturn.

9. K velkým plynným planetám patří

A. Země, Mars, Jupiter, Saturn

B. Jupiter, Saturn, Uran, Neptun

C. Venuše, Země, Mars, Jupiter

D. Jupiter, Saturn, Uran, Země.

10. Kulový tvar Země objasňujeme jako

A. Důsledek podřízenosti se výchozímu principu starořecké filozofie o kouli jakožto nejdokonalejším tělese

B. Tvar odpovídající podmínkám vzniku Země gravitačním smršťováním

C. Tvar formovaný dopady těles ze všech stran při vývoji Země

D. Výsledek rovnováhy fyzikálních interakcí na Zemi.

11. Střídání ročních období na Zemi je vyvoláno

A. Změnami vzdálenosti Země od Slunce

B. Oběhem Země kolem Slunce

C. Sklonem zemské osy vzhledem k rovině oběžné dráhy Země

D. Periodickými změnami aktivity Slunce.

12. Zatmění Měsíce nenastává při každém úplňku, protože

A. Vzdálenost Měsíce od Země se mění

B. Měsíc není v úplňku pozorovatelný

C. Rovina dráhy Měsíce je skloněna k dráhové rovině Země o úhel 5 stupňů

D. Korán ani bible to nepřipouští.

13. Měsíce pozorujeme u

A. Merkuru, Marsu

B. Venuše, Marsu

C. Merkuru, Venuše

D. Uranu, Neptuna.

14. Prstencem se vyznačují planety

A. Merkur, Venuše, Země, Mars

B. Mars, Jupiter, Saturn, Uran

C. Saturn, Uran, Neptun, Merkur.

D. Jupiter, Saturn, Uran, Neptun.

15. Atmosféry dvou nejbližších planet od Země – Venuše a Marsu, jsou nevhodné pro život lidí, protože obsahují

A. V převážné většině oxid uhličitý

B. Arzén

C. Stopové množství rtuti,

D. Příliš mnoho kyslíku.

16. Skleníkový efekt zahřívá výrazně atmosféru Venuše, protože

A. Na povrch planety dopadá více slunečního záření než obvykle

B. Povrch planety je tmavší než obvyklý

C. Mračna pokrývají atmosféru a zabraňují úniku tepla

D. Záření z povrchu planety v infračerveném oboru je zachycováno v její atmosféře.

17. Polární čepičky na Marsu jsou

A. Složeny výhradně z vodního ledu

B. Složeny výhradně ze zamrzlého oxidu uhličitého

C. Kombinací vodního ledu a zamrzlého oxidu uhličitého

D. Sezónní bíle kvetoucí rostliny.

18. Kanály na Marsu, pozorované v 19. století, byly později objasněny jako

A. Optické iluze

B. Zařízení na povrchu planety vybudovaná Marťany

C. Dlouhá pásma hor

D. Zlomy v povrchové kůře.

19. Planetky obíhají kolem Slunce

A. V blízkosti Slunce

B. Mezi drahami největších planet Jupitera a Saturna

C. Mezi drahami Merkuru a Venuše.

D. Mezi drahami Marsu a Jupitera.

20. Komety se vyznačují největším ohonem v okamžiku

A. Největší aktivity Slunce

B. Po průchodu perihéliem

C. Průletu kolem Jupitera

D. Průletu kolem Země.

Správné řešení: 1. D, 2. B, 3. D, 4. C, 5. C, 6. C, 7. D, 8. B, 9. B, 10. D, 11. C, 12. C, 13. D, 14. D, 15. A, 16. D, 17. C, 18. A, 19. D, 20. B.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.