

## Měsíc - otázky a odpovědi

Vladimír Štefl, Josef Trna

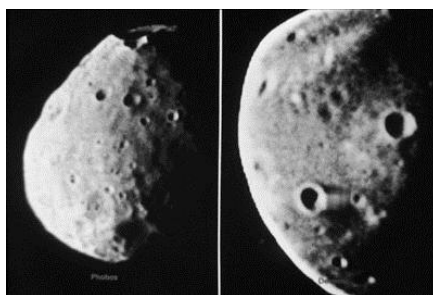
Měsíc je naším nejbližším kosmickým sousedem, na noční případně i na denní obloze ho můžeme pozorovat velmi často. Měl a má velký význam pro náš život na Zemi. V dvojsoustavě Země - Měsíc stabilizoval zemskou osu v prostoru, způsobuje příliv a odliv, umožňuje orientaci v čase atd. Proto jsme vybrali některé jevy s ním spojené a podali jejich objasnění. Náš výklad se opírá o poznatky z astronomie, optiky, mechaniky, geometrie a matematiky. Přitom jsme se snažili být co nejvíce srozumitelní, i za cenu některých zjednodušení. Tak, aby text byl pochopitelný především žákům základních škol. Hlubavějším žákům respektive studentům středních škol je určen podrobnější výklad vyznačený kurzívou.

- **Proč je Měsíc kulatý?**

Měsíc patří ke kosmickým tělesům, která podstatně ovlivňuje gravitační síla, proto zaujímá kulový tvar. Ve vesmíru u těles s poloměrem přibližně nad 500 km převládá gravitační přitažlivá síla, která formuje těleso do kulového tvaru. Proto velké měsíce, jako např. Io, Europa, Ganymedes, Callisto, Titan, jsou také kulového tvaru, zatímco menší měsíce např. Phobos a Deimos jsou nepravidelného tvaru.



Io, Europa, Ganymedes, Callisto



Phobos a Deimos

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.

*Kulový tvar odpovídá minimální gravitační potenciální energii.*

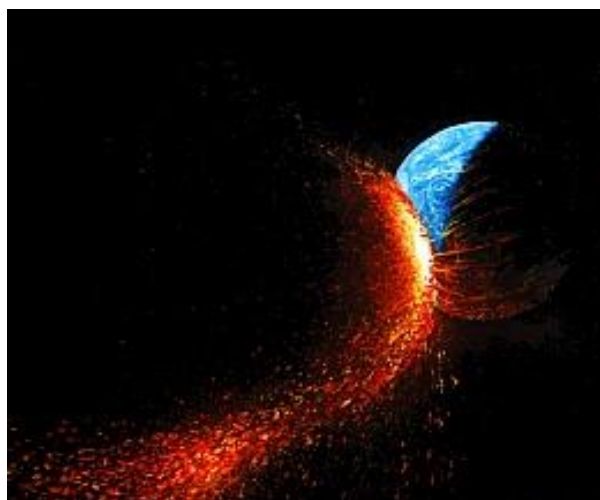


Měsíc

- Kde se vzal u Země Měsíc?**

Podle nejpravděpodobnější teorie Měsíc vznikl před zhruba 4,5 miliardami roků tečnou srážkou, tedy srážkou pod malým úhlem, tělesa o hmotnosti jedné desetiny hmotnosti Země se Zemí. Památkou na onu srážku je naklonění zemské osy. Uvolněná energie způsobila roztavení pláště Země, kolem kterého vznikla obálka plynu a prachu. Začala chladnout, vznikla zrníčka prachu, prstenec se vzdaloval od Země do vzdálenosti přibližně 15 000 km, postupně se slepoval ve větší a větší tělesa, až vznikl Měsíc. Ten byl dříve v mnohem blíže k Země. Pokračoval ve vzdalování od Země na dnešní průměrnou vzdálenost 384 000 km.

*Tuto teorii potvrzuje shodné chemické složení Měsíce a povrchových vrstev Země. Uvolněná hmota horních vrstev Země vytvořila kolem ní prstenec, který se posléze stmelil v Měsíc.*



- **Stanovení vzdáleností v astronomii, především v rámci sluneční soustavy, se provádí pomocí měření tzv. pozorovacího úhlu. Z jaké vzdálenosti pozorujeme tyč o délce 1 m pod úhlem 1 ° (úhlového stupně).**

Pozorovací úhel je  $\alpha = \frac{H}{r}$ , jestliže vyjádříme velikost úhlu v radiánech. Po dosazení  $r = \frac{H}{\alpha} = 59 \text{ m}$ ,

připomínáme, že 1 rad = 206 265" (úhlových vteřin). Jak znáte z geometrie jeden radián je 57° 17' 45", tedy 57 stupňů, 17 minut, 45 sekund. Podrobnější výpočet dává 57 x 3600" + 17 x 60" + 45" = 205 200" + 1020" + 45" = 206 265" (úhlových vteřin).

- **Pozorovaný úhlový průměr Měsíce je 31' (úhlových minut). Do jaká vzdálenosti od oka bychom museli umístit minci o nominální hodnotě 10 Kč s průměrem D = 22 mm, aby přesně překryla disk Měsíce?**

Na základě výše uvedeného převodu 1 rad = 206 265" vypočítáme velikost úhlu v radiánech, pod kterým

pozorujeme Měsíc, pomocí přímé úměry dostaneme 31' = 0,009 rad. Odtud  $r = \frac{D}{\alpha} = \frac{0,022}{0,009} = 2,4 \text{ m}$ .

- **Co bylo důvodem Koperníky kritiky Ptolemaiovy teorie pohybu Měsíce?**



Příčina Koperníkova (1473 – 1543) odmítnutí Ptolemaiovy (90 – 165) antické teorie pohybu Měsíce spočívala v nesouhlasu teoreticky propočítaných a pozorovaných úhlových velikostí Měsíce. Vzdálenost Země - Měsíc se podle Ptolemaiova názoru v Almagestu měla měnit až o jednu třetinu. Konkrétně Ptolemaios uváděl, že střední vzdálenost Měsíce v úplňku respektive v novu je rovna 59 poloměrů Země, zatímco v první čtvrti je pouze 39 poloměrů Země, tedy úhlová velikost kolísá mezi 32' až 48'. Takto velkou změnu úhlové velikosti Měsíce Koperník nepozoroval, proto pochyboval o Ptolemaiově teorii pohybu Měsíce.

Z pozorování pouhým okem je zřejmé, že úhlový průměr Měsíce se mění ve skutečnosti ve velmi malých mezích. Úhloměrná měření udávají (29,4' - 33,5'), tedy změna činí zhruba o 13 %. Skutečný interval vzdáleností Měsíce je (56 - 64) poloměrů Země, perigeum ve vzdálenosti 363 300 km a apogeum 405 500 km.

- **Proč se nám jeví Slunce a Měsíc na obloze u obzoru větší než v zenitu?**

Zdánlivé zvětšení objektů na obloze je vyvoláno jejich srovnáním s objekty na povrchu Země, jde tedy o psychologickou záležitost. Tělesa na obloze totiž podvědomě srovnáváme u obzoru s objekty na povrchu Země (s budovami, stromy apod.), což nemůžeme udělat, jsou-li Slunce či Měsíc v zenitu.

Úhlová velikost Měsíce je určena jeho lineárními rozměry a vzdálenostmi k pozorovateli, připomínáme  $R_Z = 6\,380 \text{ km}$ ,  $R_M = 1\,740 \text{ km}$ ,  $r_{ZM} = 380\,000 \text{ km}$ . Rozeberme situaci při jeho pozorování v zenitu a u obzoru.

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.

Matematická analýza ukazuje, že vzdálenost Měsíce u obzoru je pro pozorovatele 380 000 km, zatímco při Měsíci v zenitu činí pozorovatele  $(380\,000 - 6\,380) \text{ km} = 373\,620 \text{ km}$ . Úhlové rozměry Měsíce tak jsou větší v zenitu, pouze však o 1,7 %. Uvedené výpočty odpovídají situaci v průběhu jednoho dne.

- Kde se nachází hmotný střed soustavy Země - Měsíc?**

Hmotný střed soustavy Země – Měsíc barycentrum, se nachází uvnitř Země ve vzdálenosti 1 400 km pod jejím povrchem. Pro výpočet polohy barycentra využijeme vztahu  $M_Z a_z + M_M a_M = (M_Z + M_M) a_b$ , kde  $a_b$  je vzdálenost barycentra od hmotného středu Země. Zvolme soustavu  $a_z = 0$ , obdržíme

$a_b = \frac{M_M a_M}{M_Z + M_M}$ . Dosazením dostaneme  $a_b = 4700 \text{ km}$ , tedy barycentrum se nalézá zhruba  $(6400 - 1\,700) \text{ km} = 4\,700 \text{ km}$  pod povrchem Země.

- Kde bude výkon atleta větší na Zemi nebo na Měsíci, předpokládáme-li že na Zemi vrhá kouli do vzdálenosti 20 m?**

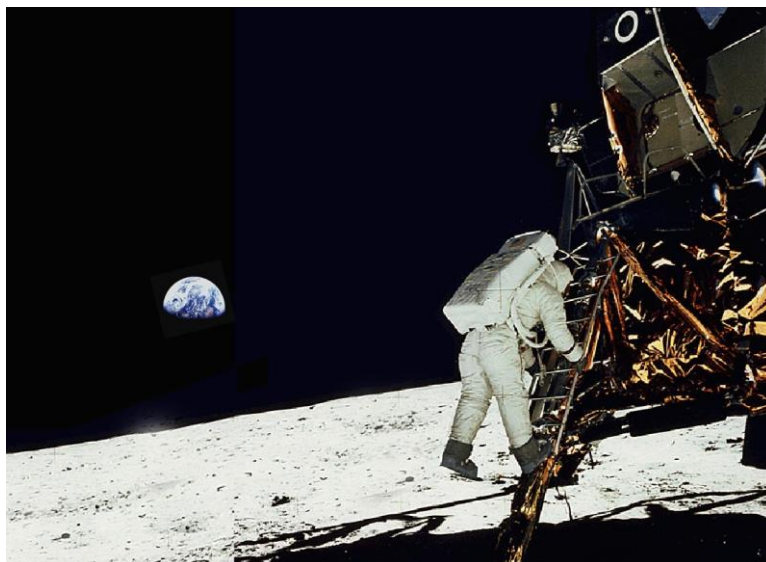
Velikost gravitačního zrychlení je dána vztahem  $g = G \frac{M}{R^2}$ . Při poměru hmotností Země a Měsíce rovné

$81 : 1$  a poměru poloměrů obou těles  $3,7 : 1$  dosazením do uvedeného vztahu obdržíme  $\frac{M_Z}{R_Z^2} : \frac{M_M}{R_M^2} =$

6, tudíž gravitační zrychlení je na Zemi 6krát větší než na Měsíci. Při gravitačním zrychlení přibližně 6krát menším na povrchu Měsíce bude výkon atleta ve vrhu kouli mnohem větší než 20 m.

- Na Zemi má kosmonaut určitou hmotnost a jí odpovídající tíhu. Změní se na Měsíci jeho tíha?**

Vzhledem k menšímu gravitačnímu zrychlení na povrchu Měsíce se tíha kosmonauta na něm zmenší. Na Zemi je 6krát větší než na Měsíci. Protože tíha je úměrná gravitačnímu zrychlení, musí se s ním rovněž měnit.





- Zkuste odhadnout, do jaké výšky by vyskočil na Měsíci atlet při vynaložení stejné práce jako na Zemi, kde skočí do výšky 2 m. Předpokládáme jeho těžiště při rozběhu ve výšce 1,2 m.**

*Na Zemi musí atlet zvednout své tělo nad laťku, tedy zvýšit své těžiště do výšky 2,1 m z původní výšky 1,2 m. Zvýšení těžiště tak je  $(2,1 - 1,2) \text{ m} = 0,9 \text{ m}$ . Při předpokladu stejné vynaložené práce na Měsíci  $W = m g h = k_1$ , odtud platí:  $h_1 g_1 = k_2$ . Vzhledem ke gravitačnímu zrychlení na Měsíci 6krát menšímu než na Zemi musí být výška zvednutí těžiště 6krát větší  $(0,9 \times 6) \text{ m} = 5,4 \text{ m}$ .*

- Co je synodický měsíc a jak je definován?**

Jde o dobu (časovou jednotku) během níž se vystřídají všechny fáze Měsíce. Odpovídá době oběhu Měsíce kolem Země vzhledem k Slunci. Určujeme jej jako interval mezi dvěma úplňky, trvá 29 d 12 h 44 m 2, 97 s, tedy 29,53059 dne.

- Co je siderický měsíc a jak je definován?**

Jde o dobu oběhu Měsíce kolem Země vzhledem ke hvězdám. Trvá 27 d 7 h 43 m 11,5 s, tedy 27,32167 dne. Siderický měsíc je tedy kratší než měsíc synodický.

V našem tzv. gregoriánském kalendáři má měsíc jako jednotka času časovou délku 28 – 31 dní.

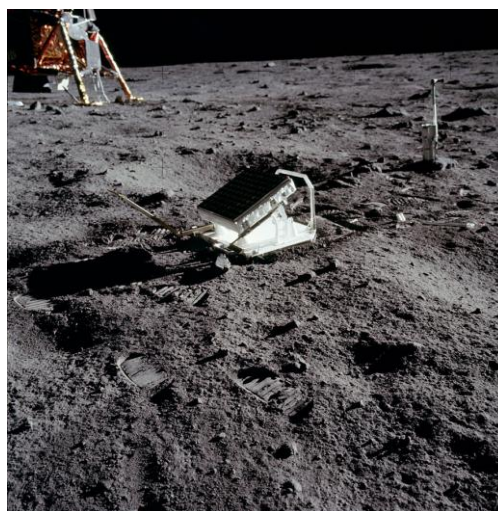
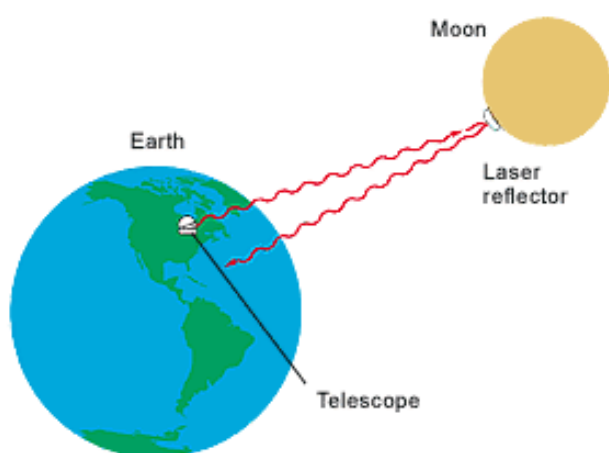
- Proč pozorujeme stále pouze jednu stranu Měsíce?**

*V kosmické mechanice tuto situaci nazýváme vázanou rotací. V důsledku gravitačního působení Země na hmotu v nitru Měsíce, která byla v určité fázi vývoje v tekutém stavu, došlo u něj ke zpomalení jeho rotace, až vznikla situace, kdy je obrácen k Zemi stále stejnou stranou. Reciproční obdoba gravitačního působení Měsíce, vyvolávající příliv a odliv na otevřených mořích na Zemi. Nyní je vlastní doba rotace Měsíce shodná s oběžnou dobou kolem Země. Soustava se dále vyvíjí, slapové síly Měsíce způsobují zpomalování rotace Země, činí v současnosti jen 0,0016 s za 100 roků. Rotační moment hybnosti Země se pozvolna zmenšuje, v důsledku platnosti zákona zachování momentu hybnosti v soustavě Země – Měsíc se zvětšuje dráhový moment hybnosti Měsíce. Rychlost postupného vzdalování Měsíce je v současnosti 3,7 cm. rok<sup>-1</sup>. Vzájemně vázaná rotace, kdy obě tělesa budou trvale k sobě obrácena stejnou stranou, nastane s dobou oběhu Měsíce 47,4 dne při jeho vzdálenosti 556 000 km.*



- Jak můžeme s takou přesností určit vzdalování Měsíce od Země?**

Ze Země vysílané laserové signály se odráží od odražečů umístěných v první polovině sedmdesátých let na povrchu Měsíce výpravami Apollo. Vzdálenost Měsíce  $r$  je určována ze vztahu  $r = \frac{1}{2}ct$ . Rychlost světla je ve vakuu definována přesně  $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , čas registrace odraženého signálu od povrchu Měsíce je měřen s přesností  $10^{-10}\text{ s}$ . Proto lze vzdálenost Měsíce stanovit s přesností několika milimetrů a při její znalosti lze určit i tak malou rychlost jeho vzdalování.



- Povrch Měsíce pozorujeme očima jako bílý, v dalekohledu má špinavě bílou (sádrovou) barvu. Astronomové však tvrdí, že ve skutečnosti je temně šedý.**

V optickém oboru celková odrazivost (albedo) povrchu Měsíce je zhruba 12%, měsíčních moří pouze 4%. To znamená, že Měsíc odráží velmi málo slunečního světla. Proto je jeho povrch tmavošedý až černý.

Měsíc se nám však jeví při pozorování očima ze Země bílý. Je tomu tak proto, neboť světlo dopadající na povrch Měsíce se rozděluje na dvě části. Jedna část se odráží od povrchu a rozptyluje. Toto odražené světlo zachovává svoji barvu, jakou měly dopadající paprsky. Jestliže dopadající záření bylo bílé, potom i odražené záření od povrchu je rovněž bílé. Sluneční světlo odrážející se například od černého těles zůstává rovněž bílé. Velkou roli hraje i kontrast s tmavou oblohou, na jejímž pozadí Měsíc očima pozorujeme. Lidské oko má vlastnost zvýrazňovat kontrasty, proto „zesvětluje“ měsíční disk.



- **Zkusíme-li v nočních hodinách při úplňku Měsíce zavřít oči a otočit tvář směrem k Měsíci, necítíme teplo jako na Slunci ve dne. Proč tomu tak je?**

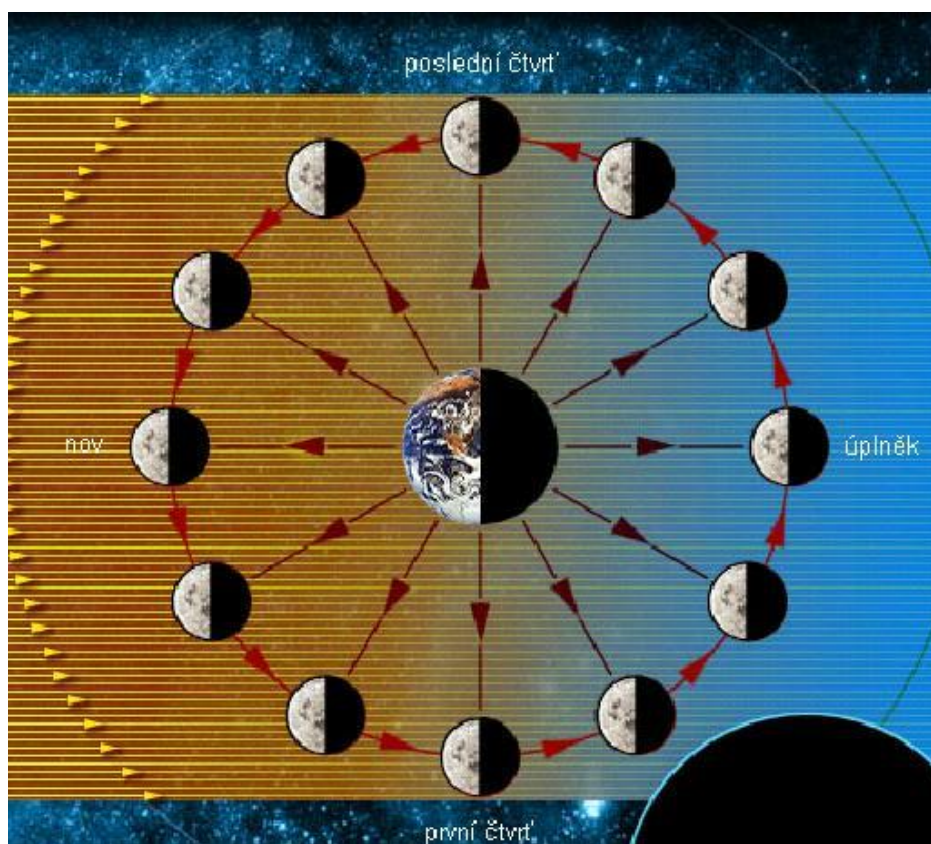
Měsíc září pouze odraženým světlem, které má málo energie na rozdíl od slunečního světla a naši pokožku neohřeje.

- **Proč nemá Měsíc atmosféru?**

Hmotnost Měsíce je malá na to, aby udržela gravitační silou částice atmosféry při teplotách panujících na Měsíci.

*Intenzita gravitačního pole a teplota na povrchu tohoto tělesa jsou dva fyzikální parametry, které určují existenci či neexistenci atmosféry. Částice (molekuly) v případné atmosféře by se pohybovaly rychlostí, která je určována teplotou. Aby mohly opustit gravitační pole Měsíce, musí získat tzv. únikovou rychlost, odpovídající II. kosmické rychlosti pro Měsíc, jejíž hodnota činí  $2,4 \text{ km.s}^{-1}$ . Na osvětlené části Měsíce je teplota  $400 \text{ K}$  již dostatečná k tomu, aby částice získaly potřebnou únikovou rychlost.*

- **Vysvětlete změny fází Měsíce a popište jaké je pořadí kosmických těles při novu?**



K zapamatování fází Měsíce slouží pomocné říkanky. Na severní polokouli, v našich zeměpisných šířkách, se používá francouzská poučka: Když je rostoucí, počáteční, má tvar písmene P – premier = první (odtud: premiéra = první představení). Naopak, je-li starý, má Měsíc tvar D – dernier = poslední (derniera = poslední představení). V české verzi se používá D - dorůstá a C - couvá.

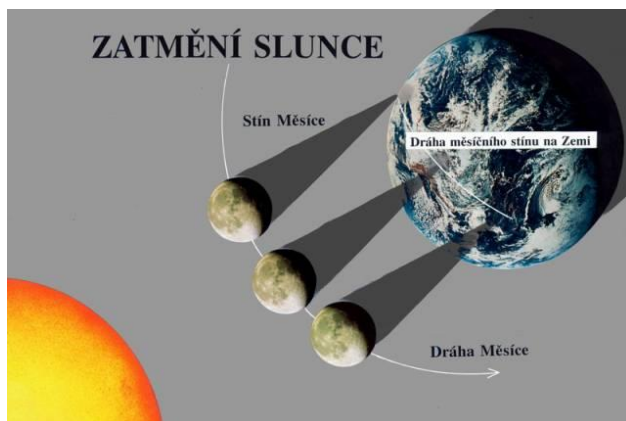
Při novu je osvětlena odvrácená strana Měsíce. Pořadí kosmických těles při něm je následující Slunce - Měsíc - Země.

- **Objasněte příčinu zatmění Slunce a Měsíce. Proč zatmění neprobíhají každý měsíc?**

Zatmění Slunce vznikají při dopadu stínu vrženého Měsícem na Zemi. Pro pozorovatele na zemském povrchu je sluneční kotouč zakryt měsíčním diskem buď z části, nebo úplně. Tuto základní představu upřesníme: Průměr Měsíce je zhruba 400krát menší než průměr Slunce, ale je 390krát blíže k Zemi. Proto mají obě tato tělesa přibližně stejné úhlové průměry, tedy stejnou velikost kotoučů na obloze. Přesněji střední úhlový průměr Měsíce je nepatrně menší než střední úhlový průměr Slunce. Rozdíl je však tak malý, že kolísání vzdálenosti mezi Zemí a Měsícem jej překonává, takže máme období, kdy je Měsíc nepatrně větší než Slunce.



*Poměr průměrů Slunce a Měsíce je roven 400, zatímco poměr středních vzdáleností Země – Slunce a Země – Měsíc je asi 390. Obě vzdálenosti se mění, neboť Země kolem Slunce i Měsíc kolem Země obíhají po eliptických drahách. Proto např. zatmění Slunce jsou prstencová, úplná nebo v případě, kdy stín Měsíce nedopadne na Zemi, nestávají vůbec.*



Zatmění Měsíce vzniká tehdy, jestliže se Měsíc dostane do zemského stínu, při zatmění je Měsíc vždy v úplňku. Ale nenastává při každém úplňku, navíc musí být splněna podmínka, aby Měsíc byl v blízkosti uzlu své trajektorie. Zatmění lze pozorovat z celé zemské polokoule přivrácené k Měsíci. Ročně mohou být pozorována nanejvýš tři zatmění Měsíce. Ani při úplném zatmění nezmizí Měsíc z oblohy.

- **Proč má Měsíc při zatmění načervenalou barvu?**

Měsíc se při zatmění nachází se v zemském stínu, jeho zbarvení je hnědé až cihlově červené. Je to způsobeno lomem slunečního světla v zemské atmosféře, rozptyluje nejmeně právě červené světlo. Tedy situace je taková, že na jedné přímce leží Slunce – Země – Měsíc.



- Jak by vypadalo zatmění Slunce a Země pozorovatelné z Měsíce?**

*Úhlový průměr Slunce pozorovatelný z Měsíce je stejný jako ze Země, ale úhlový průměr Země je čtyřikrát větší než Měsíce, zatmění Země prakticky nenastane, neboť po povrchu Země se bude přesouvat pouze malý stín Měsíce. Zatmění Slunce naopak bude dobře pozorovatelné.*

- Základní charakteristiky soustavy Země – Měsíc jsou:**

Země: povrch..... $5,10 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$   
objem..... $1,08 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$   
hmotnost....  $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$   
poloměr..... $3,39 \cdot 10^6 \text{ m}$   
průměrná hustota... $5,52 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^3$ .

Měsíc: povrch..... $3,79 \cdot 10^{13} \text{ m}^2$   
objem..... $2,20 \cdot 10^{19} \text{ m}^3$   
hmotnost... $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$   
poloměr.... $1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$   
průměrná hustota...  $3,34 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^3$   
průměrná vzdálenost od Země  $3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

**Jakým modelem můžeme znázornit soustavu Země – Měsíc?**

Na základě výše uvedených údajů si představme místnost o délce 560 cm. V rohu místnosti u jedné její stěny leží míč na házenou o průměru 18 cm (Země), v druhém rohu u téže stěny se nachází míček na tenis o průměru 5 cm (Měsíc).

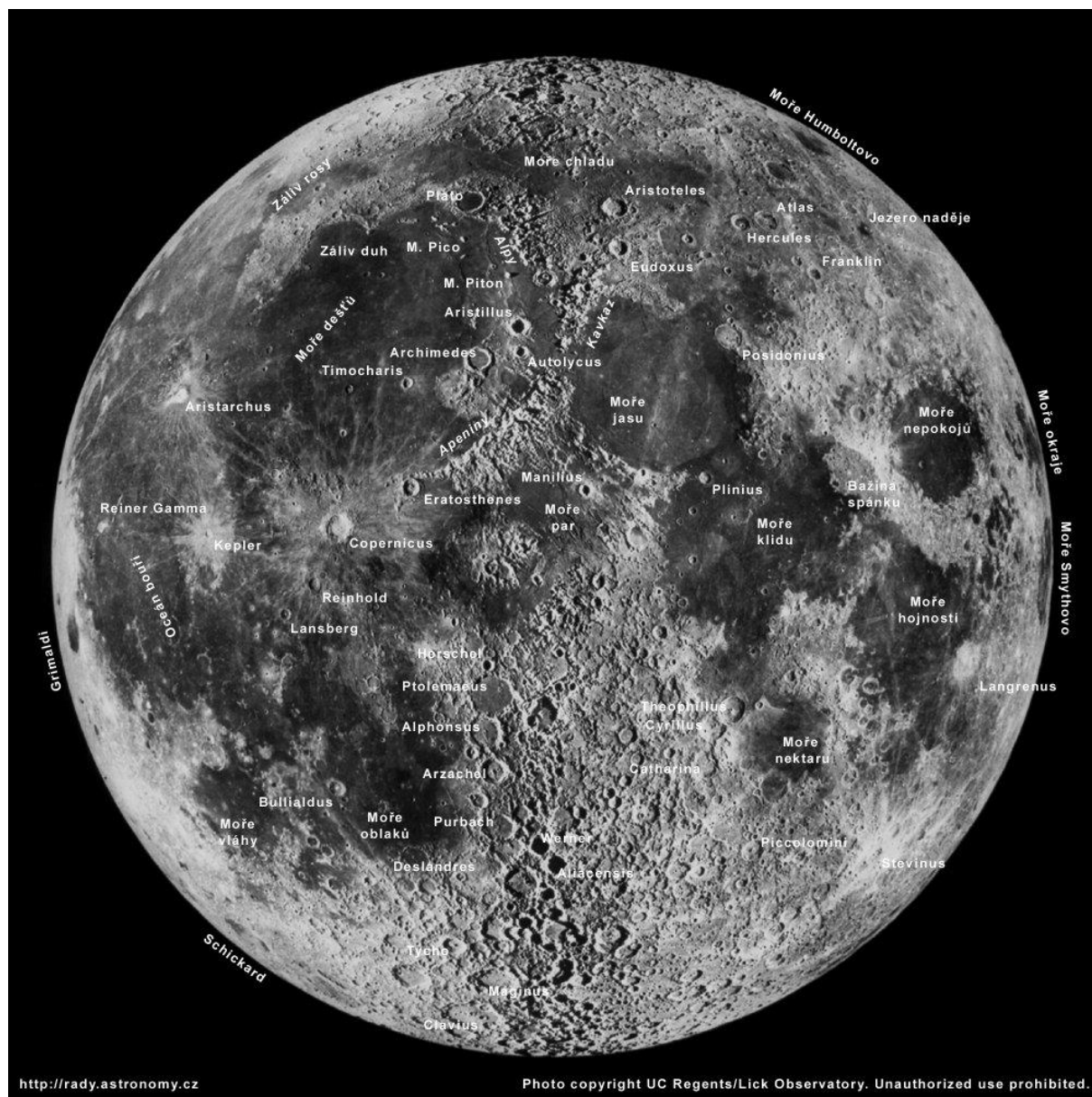


Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- Na následujícím snímku naleznete na povrchu Měsíce útvary: Moře dešťů, klidu a jasu; krátery Tycho, Koperník, Archimédes, Kepler.

Při pozorování vybraných útvarů na Měsíci je optimální použití dalekohledu se zvětšením  $Z = (20 - 25)$ krát. Naleznete tyto útvary a zakreslete do obrázku.



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.

## Literatura:

- [ 1 ] Gabzdyl, P.: Prohlídka Měsíce. Aldebaran, Valašské Meziříčí 2002.
- [ 2 ] Grygar, J.: Vesmírná zastavení. Panorama, Praha 1990.
- [ 3 ] Perelman, J. I.: Zanimatělnaja astronomija. GITTL, Moskva 1954.
- [ 4 ] Sadil, J.: Měsíc. Orbis, Praha 1953.
- [ 5 ] Štefl, V., Krtička, J.: Didaktika astrofyziky. [www.physics.muni.cz/astrodidaktika/](http://www.physics.muni.cz/astrodidaktika/)
- [ 6 ] <http://www.nineplanets.org/>
- [ 7 ] <http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm>
- [ 8 ] <http://hubblesite.org/newscenter/>
- [ 9 ] <http://www.eso.org/>
- [ 10 ] <http://www.aldebaran.cz/>
- [ 11 ] <http://navod.hvezdarna.cz/>
- [ 12 ] <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/>