

Něco teorie o Měsíci:

Země a Měsíc tvoří ve sluneční soustavě jakousi dvoj-planetu. Detailní sumarizující popis encyklopedických pojmů vztahujících se k Měsíci máme zde, abychom si udělali přehled jak to funguje a co jak dlouho trvá.

Měsíc

přirozená družice planety Země vzdálená průměrně 384 – 400 km. Průměr 3.476 km, hmotnost 1/81 hmotnosti Země. Obíhá se siderickou dobou oběhu 27,322 dne (viz též siderický měsíc). Doba oběhu Měsíce kolem Země je shodná s dobou rotace, proto je vidět stále jedna (tzv. přivrácená) strana. Viz též librace Měsíce. Měsíc svítí odraženým slunečním světlem, nemá atmosféru ani vodu. Na povrchu Měsíce lze rozlišit jednak měsíční pevniny s hornatým, silně kráterovým terénem a jednak mare (moře) s plochými planinami tvořenými výlevy bazaltů, které jsou pokryty impaktovými produkty vzniklými z materiálů mare a vysočin. Vysočiny jsou tvořeny původní kůrou Měsíce, brekcioványi horninami anortozit-troktolitového charakteru (převládá vápenatý živec – plagioklas – anortozit), v mare převládají bazalty rozdílného složení (bohaté Al, Ti, Fe). Měsíc má podobně jako terestrické planety slupkovitou stavbu s kůrou (mocnější na přivrácené straně), pláštěm a jádrem. Měrná hmotnost Měsíce a hybný moment indikují malý rozměr jádra. Magnetické pole je zbytkové (remanentní). Měsíc vznikl pravděpodobně na oběžné dráze kolem Země jako důsledek velké kolize Země s kosmickým tělesem (o rozměrech Marsu); existují i názory o vzniku záchytem. 19. 7. 1969 přistála na Měsíci americká kosmická loď Apollo 11 jako první s lidskou posádkou (N. A. Armstrong, E. E. Aldrin).

Anomalistický měsíc

doba mezi dvěma po sobě následujícími průchody Měsíce perigeem. Perigeum měsíční dráhy se posouvá ve směru jeho pohybu, proto je anomalistický měsíc delší než siderický (trvá 27 dní 13 hodin 18 minut 37,4 sekund).

Drakonický měsíc

doba mezi dvěma po sobě následujícími průchody Měsíce týmž uzlem dráhy. Trvá 27 d 5 h 5 min 35,8 s a používá se při výpočtu okamžiku zatmění Slunce a Měsíce.

Siderický měsíc

doba, za kterou se Měsíc při svém oběhu vrátí k téže hvězdě, tj. 27 dní 7 h 43 min 11,54 s.

Siderická doba oběhu

doba, která uplyne mezi dvěma po sobě následujícími návraty tělesa (planety, Měsíce) k téže hvězdě.

Synodický měsíc

doba, za kterou Měsíc vystřídá všechny své fáze. Trvá 29 dnů 12 hodin 44 minut 2,8 sekund. Viz též lunace.

Lunace

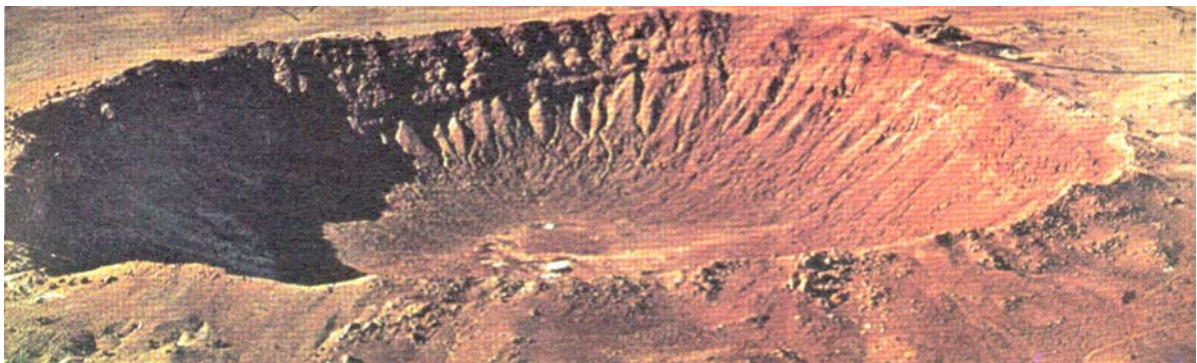
časový interval, za který se vystřídají všechny fáze Měsíce. Jednotlivé lunace se číslují, lunace začíná novem. Viz též synodický měsíc.

Tropický měsíc

doba, za kterou se Měsíc během svého pohybu po hvězdné obloze vrátí k jarnímu bodu; trvá 27 dnů 7 h 43 min 4, 7 s. Vlivem precese je tropický měsíc o 7 s kratší než siderický měsíc.

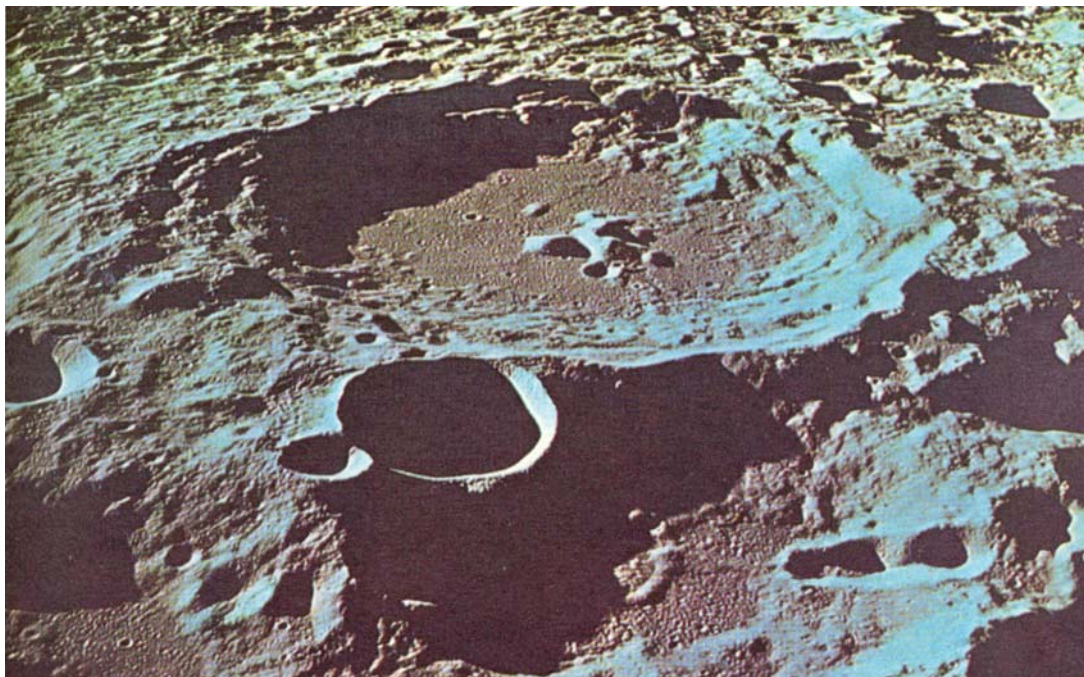
Poměr hmotností obou těles je 1 : 81,3 a je jistou výjimkou, neboť ostatní i ty největší měsíce mají řádově jen 10^{-3} hmotnosti mateřské planety. Také průměr Měsíce je poměrně velký, tj. 0,27 průměru Země. Pro pozemského pozorovatele se jeví Měsíc během svého oběhu v několika měsíčních fázích, jejichž příčina je všeobecně známa. V době těsně před, nebo po novu je slabě viditelná i část Měsíce neosvětlená Sluncem. Jde o tzv. popelavý měsíční svit vznikající tím, že sama Země osvětluje (ovšem odraženým slunečním světlem) Měsíc. Podobně je z Měsíce patrná ta část zemského povrchu, na kterou dopadá měsíční světlo. Doba rotace Měsíce je shodná s dobou jeho oběhu kolem Země, a proto Měsíc přivrací k Zemi stále tutéž stranu. Avšak pozemský pozorovatel díky měsíčním libracím může zhlédnout až 59 % měsíčního povrchu. Tvar Měsíce je poměrně dobře určen z pozorování umělých těles obíhajících kolem Měsíce. Odchyly od kulové symetrie jsou u Měsíce poměrně značné a vnitřní struktura měsíčního tělesa se podstatně liší od stavby Země. Mimo to bylo obrovské množství dat získáno pomocí radarových a laserových měření pozemských i prostorových. Nejvíce informací pak přinesly automatické sondy a expedice vyslané na souputníka Země v letech 1969 až 1973. Dnes je zmapován celý měsíční povrch a rovněž vzorky tohoto tělesa byly velmi detailně studovány v pozemských laboratořích. Povrch Měsíce je až dosud nejlépe

probádaným terénem jiného tělesa než Země. Až do šedesátých let tohoto století bylo zmapováno ze Země přibližně 65 % měsíčního povrchu, avšak v současné době, díky kosmickým výzkumům, je známa, až snad na nepatrný zlomek, topografie celé měsíční koule. Označení jednotlivých velkých útvarů na měsíčním povrchu pocházejí ze 17. století, kdy Galileo označil velké tmavé oblasti jako měsíční moře – maria. Jim posléze v roce 1651 astronom Riccioli přiřadil latinské názvy jako např. Mare Imbrium, Foecunditatis apod. Ostatní části byly označeny jako náhorní roviny, hory a pohoří. Jestliže název moře je čistě obrazný, pak názvy pohoří celkem dobře vystihují skutečný vzhled příslušné krajiny. Náhorní roviny jakož i pohoří jsou rozrušeny velikým množstvím kráterů. Z třiceti známých moří na Měsíci jsou téměř všechna na přivrácené straně, kdežto jen čtyři jsou na odvrácené straně. Znamých a registrovaných kráterů je kolem 3000, skutečný počet je mnohem větší. Krátery jsou typickými měsíčními útvary (právě tak jako objekty v planetární soustavě Merkuru a Marsu). Kráter je konkávní prohlubeň, kolem které je vyvýšený val. Četné krátery mají centrální vyvýšeninu. Průměry kráterů se pohybují ve velkém rozmezí. Nejmenší jsou vlastně mikroskopické jamky způsobené dopadem nepatrných meteoritů, avšak největší krátery, jako například kráter Bailly, dosahují průměru až 300 km. Jestliže pozemský meteorický kráter v Arizoně má průměr 1,2 km a hloubku přibližně 170m, pak typický měsíční protějšek, jako kráter Koperník, má průměr 90 km a hloubku téměř 4000 metrů.



Arizonský kráter

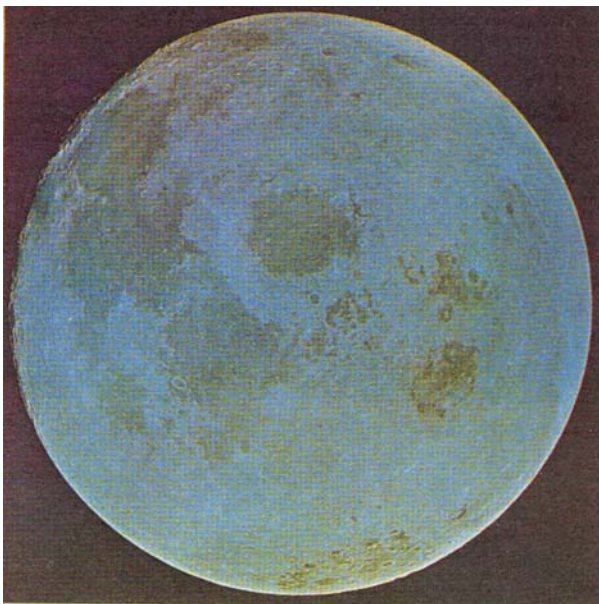
Krátery, jak již vyplývá z výkladu, nesou jména významných astronomů a vědců, kteří se zasloužili o rozvoj astronomie, fyziky, matematiky apod. Struktura jednotlivých kráterů a vzájemné překrývání valů prozrazují, že některé jsou staršího data, jiné vznikly později. Okrajové valy velkého kráteru jsou pokryty malými, mladšími prohlubněmi, které se označují též jako krátery sekundární a někdy tvoří celé paprsky, rozbíhající se například od kráterů Tycho či Koperník.



Kráter Tycho

Valy kráterů zřejmě podléhaly , a snad ještě podléhají jakémusi druhu kosmické eroze způsobené dopadem meziplanetárních částic mikroskopických rozměrů na měsíční povrch. Životní doba kráteru o průměru 1 cm se odhaduje přibližně na milión let, kdežto velké útvary zůstanou erozí prakticky nedotčeny, i když se jejich povrch pochopitelně časem pokryl jemným prachem a sutí. Původ kráterů je zřejmě u převážné většiny impaktní, to znamená, že vznikaly především dopadem velkých hmot. Jenom nepatrné procento prozrazuje již odumřelou vulkanickou činnost jako například známý kráter Alphonsus. Největšími impaktními krátery jsou ve skutečnosti zřejmě moře, především Mare Orientale, které má průměr 1000 km. Celková struktura naznačuje, že bylo vyplněno lávou. I Moře jsou většinou téměř kruhové útvary vyplněné bazaltem, čedičem, tj. tmavou ztuhlou lávou. Jejich průměry jsou 300 km až 1000 km. Teorii impaktního vzniku moří podporuje i skutečnost, že mnohá pohoří, která je obepínají, např. Apeniny, jsou ve skutečnosti jakýmisi valy kolem obrovských impaktních útvarů, které byly zality lávou. V mořích je poměrně málo kráterů vesměs malých a soudí se, že stáří bazaltu nebo vytvoření příslušné horniny.) Impaktní teorii vzniku kráterů podporuje i tato úvaha: dopad tělesa o průměru 1 km a hmotnosti kolem 2×10^{13} kg rychlostí 30 km/s na povrch Měsíce by uvolnil energii přibližně 10^{22} J. Energie, která je třeba k roztavení hornin zaplavujících takové krátery, jako je Tycho, Clavius nebo Mare Orientale, je 10^{21} J až 10^{26} J. Znamená to tedy, že dopad tělesa, která by nebyla větší než malá planetka, by zcela postačil na vytvoření velkých povrchových měsíčních útvarů. Na povrchu moří však jsou některé útvary, které nepochybně vznikly v průběhu tuhnutí lávy. Jsou to zejména:

- a) a) zvrásnění, což jsou podlouhlé útvary stovky metrů vysoké a mnoho kilometrů dlouhé, táhnoucí se napříč moři, mohou to být vrcholky pohoří, která byla zalita lávou
- b) b) brázdy, zlomy na povrchu moří,
- c) c) dómy, které jsou konvexními vypuklinami, vznikající při výronu a přetékání lávy na již ztuhlý povrch moří
- d) d) stružky, které mají často meandrovitý nebo sinusovitý tvar a jsou pravděpodobně bývalými koryty tekoucí lávy. Povrch Měsíce je mimoto pokryt tenkou, velmi dobře promíchanou vrstvou jemného prachu a rozrušených hornin. Pro tuto směs byl zvolen název regolit.



Regolit je produktem dopadů meteoritů na povrch Měsíce, při kterých byly vyvrženy do okolního prostoru rozdrčené a přetavené zbytky měsíčních hornin. Regolit pokrývá měsíční povrch v síle 2 až 10 metrů v oblasti moří a podle předběžných odhadů ve vysokých oblastech měsíčních pohoří regolitová vrstva bude silná jen několik cm. Díky tomu má měsíční půda strukturu a soudržnost jako jemný písek promíšený velkým množstvím prachu.

Barva měsíční půdy je temně šedá s odstínem do hněda. Většina částic v regolitu jsou velmi jemná zrnka o průměru 10-50 mikrometru, mezi nimiž se vyskytují poněkud větší kuličky přetaveného materiálu ve formě skla nebo obsidiánu. Dále je zde možno nalézt vyvřelé horniny, které zřejmě prošly procesem tavení, krystalizace a mechanického drcení. Některé tyto horniny mají na svém povrchu nepatrné jamky, jejichž stěny jsou sklovité,

zřejmě to jsou stopy dopadu malých meteoritů. Konečně jistou část regolitu tvoří i velice hrubě rozdrčený konglomerát různých hornin. Tato struktura půdy má typické tepelné a optické vlastnosti. Již pozemská pozorování ukázala, že tepelná vodivost měsíční půdy je velmi malá. Subsolanární bod na Měsíci dosahuje teploty 400° K, naproti tomu na odvrácené straně nepřesahuje teplota 110° K. Albedo měsíčního povrchu je v průměru velmi nízké 0,07. Chemické složení měsíčního povrchu je v podstatě chemické složení bazaltu odpovídající pozemskému čediči. Obsah volného železa je velmi nízký. Oblasti moře obsahují více vázaného železa a kobaltu, kdežto nikl se vyskytuje spíše v náhorních rovinách. Většina těžkých prvků je relativně velmi chudě zastoupena, což naznačuje, že alespoň povrch Měsíce prošel určitou diferenciací při svém vzniku. Měsíční láva má poměrně vysoký obsah železa a titanu vázaného v minerálech, což není běžné u analogických hornin na Zemi. Veškerý

materiál z Měsíce ukazuje, že na vytváření měsíčních hornin se nikdy nepodílela voda. Právě tak nejsou známy žádné stopy jakéhokoli současného nebo minulého života na Měsíci. Některé údaje o chemickém složení hornin z různých míst na měsíčním povrchu jsou v tabulkách 1 a 2. Stáří měsíčních hornin bylo určeno radioaktivní metodou na základě změn krypton - argon, rubidium - stroncium a uran - olovo. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 3. Vzorky z moří mají většinou stáří o něco menší než vzorky z náhorních rovin. Krystalické horniny z Mare Tranquillitatis jsou staré asi $3,7 \times 10^9$ let. Kdežto vzorky z Oceanus Procellarum jsou asi o sto až dvě stě miliónů let mladší. Nejmladší horniny byly nalezeny na rozhraní Mare Imbrium a Apenin (asi $3,3 \times 10^3$ let). Nejstarší horniny, vesměs jsou to úlomky, jsou $4,7 \times 10^9$ let staré. Ve srovnání s pozemskými horninami jsou měsíční útvary starší v průměru asi o 1 miliardu let, neboť nejstarší pozemské útvary vznikly před $3,6 \times 10^9$ let. Z toho ovšem neplyne, že by Měsíc jako těleso byl skutečně starší než Země. To co je pozorováno je rozdíl ve stáří povrchových útvarů a důkaz toho, že jakákoliv horotvorná činnost na Měsíci ustala mnohem dříve než na Zemi. Nitro Měsíce je zřejmě zcela odlišné v porovnání s nitrem Země. Průměrná hustota měsíčního tělesa je 3340 kg/m^3 a zdá se, že měsíční těleso je poměrně velmi homogenní. Odhad tlaku v jeho nitru vede k číslu 470 MPa, což je tlak, který panuje asi 150 km pod povrchem Země. V laboratořích již takové tlaky byly dosaženy a ukazuje se, že normální křemičitany běžné v pozemských i měsíčních horninách za těchto podmínek zvýší svou hustotu sotva o 10 %. Znamená to, že hustota v celém měsíčním tělese je pravděpodobně prakticky stejná a patrně jen zcela malá oblast kolem středu Měsíce je v tekutém, resp. viskózním stavu. O tom, že měsíční kůra a valná část nitra tohoto tělesa je velmi tuhá, svědčí několik skutečností.

- a) a) Z tíhových anomálií zjištěných z pohybů umělých družic na dráze Měsíce se zjistilo, že v určitých místech pod povrchem je určitá koncentrace hmoty, tzv. mascony (odvozeno od slova mass concentration). Lze si je představit jako tuhá tělesa větší hustoty uložená v hloubkách 40 km až 150 km pod měsíčními moři. Tím ovšem není jednoznačně řečeno, že by to musela být nutně nějaká tělesa, která by dopadla a vnořila se do Měsíce. Jestliže tedy mohou hmoty s větší hustotou zůstat pod povrchem Měsíce a neklesat do jeho středu, znamená to, že přemísťování látky uvnitř Měsíce již dávno ustalo.
- b) b) Dalším takřka dokonalým důkazem o tuhosti měsíčního tělesa jsou měsíce-třesení. Seismografy umístěné na povrchu Měsíce dávají již několik let souvislé záznamy výskytů otřesů měsíčního tělesa. Ukázalo se především, že Měsíc je seismicky oproti Zemi velice klidný.

Na Zemi se uvolní během roku přibližně $8 \times 10^{10} \text{ J}$ v seismických otřesech, kdežto na Měsíci pouze kolem 10 GJ, což odpovídá energii uvolněné při výbuchu 200 t TNT. Znamená to tedy, že otřesy na Měsíci jsou vzácné a většinou jsou způsobeny dopady větších meteoritů. Doznívání seismických vln je mnohem delší než na Zemi, kde poddajnost zemského tělesa seismické vlny rychle tlumí. Jinými slovy řečeno, otřesem rozkmitaný Měsíc dlouho "doznívá". Doba útlumu seismických vln na Zemi je přibližně 4 až 5 minut, naproti tomu na Měsíci až několik hodin. V současné době je známo několik oblastí, ve kterých vznikají měsíce-třesení, nikoli však dopadem meteoritů. Tak například z jednoho místa v hloubce kolem 800 km se opakují měsíce-třesení v pravidelném intervalu jednoho synodického oběhu kolem Země. Znamená to, že gravitační síly vyvolávají v místech, kde Měsíc ještě není tektonicky stabilní, pravidelné změny. Ovšem intenzita těchto měsíce-třesení je nepatrná v porovnání se zcela běžnými podobnými otřesy, které se odehrávají v počtu přibližně 1000/den na Zemi. Magnetické pole větší než 10^{-9} T (což je prakticky nulové pole) nebylo na Měsíci prokázáno. Podle novějších výsledků sice existují určitá lokální magnetická pole přibližně 10^{-8} T , které však mohou mít původ v nějakých meteorických tělesech pod povrchem Měsíce apod. Celkově možno říci, že Měsíc magnetické pole nemá nebo je zanedbatelně nepatrné. Tato skutečnost se vysvětluje tím, že Měsíc nemá tekuté jádro toho rozsahu a vlastností jako Země. Z poměru velikosti těles vyplývá, že Měsíc tvoří se Zemí jakousi dvoj-planetu. Lze předpokládat, že obě tělesa vznikala současně, že však pro konečné utváření Země, zejména povrchové struktury, byla rozhodující celková hmota planety. Měsíc, který je menší než Země a jehož hmotnost je jen $1/81,302$ hmotnosti Země to je cca $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$, pozbyl téměř okamžitě atmosféru, což vyloučilo jakékoliv pozdější tvoření hornin obsahujících vodu a samozřejmě vylučuje i přítomnost vody na Měsíci. Současně však chrání útvary jako krátery a pohoří před erozivními účinky tak jak je známe na Zemi i na Marsu. Měsíc představuje určitou konzervaci stavu a vzhledu, jaký měla naše Země záhy po vytvoření první pevné kůry. Na Zemi však pokračoval po dlouhou dobu horotvorný mechanismus, který několikrát změnil celkovou tvářnost Země, naproti tomu na Měsíci zůstaly povrch a patrně i celá struktura tělesa valně nedotčeny. Zřetelné nehomogenity v měsíčním tělese, které byly zjištěny pomocí družic, nasvědčují tomu, že Měsíc pravděpodobně vznikl nakupením menších hmot. V Zemi, díky poddajnosti zemského nitra, došlo pozvolna k diferenciaci těžších a lehčích prvků a vyhlazení jakékoli nestejnorodosti. Naproti

tomu na Měsíci, který je sice chemicky dostatečně stejnorodý, zůstaly některé "zhuštěniny" někde na cestě mezi povrchem a středem Měsíce.

Tím jsme si přiblížili některé pojmy a základy, které nám snáze pomůžou pochopit další kapitoly. Těším se s vámi tedy na shledanou u třetí části povídání o Měsíci a EME provozu.