

Prof. dr Dragan Gajić

Naš prijatelj Meseć

- II deo -

Sa razvojem nauke (i astronomskih instrumenata) predstave o Mesecu bile su sve realnije. Galilej je 1609. prvi put posmatrao Mesec kroz teleskop. Na crtežima objavljenim u "Sidereus Nuncius" 1610. vide se planine koje je uočio na površini Meseca. Četdesetak godina kasnije Ričoli je velika tamna polja nazvao morima, jer je smatrao da se radi o vodenim površinama.



Hiparhov krater na Mesecu
Hukov crtež iz 1662.g (levo) i savremeni snimak



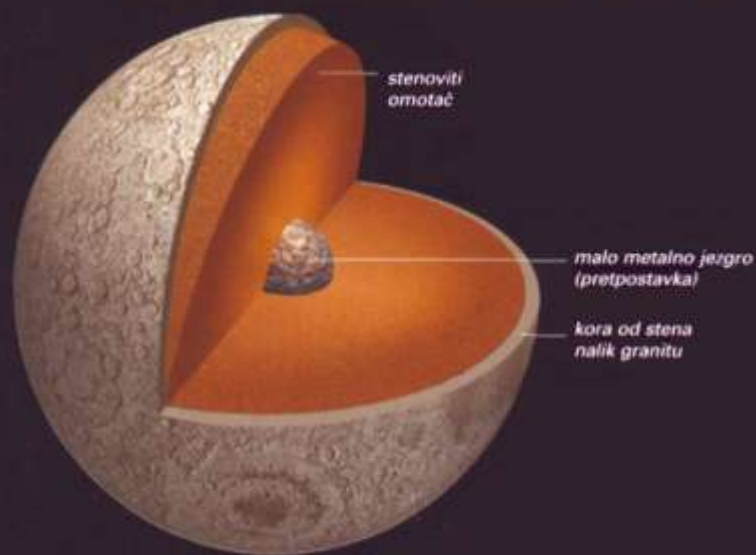
Galileo Galilei: Sidereus Nuntius sa crtežima Mesečeve površine

Šta danas znamo o Mesečevoj građi i reljefu?

Mesečeva kora izgrađena je od stena bogatih kalcijumom. Na vidljivoj strani je debela 48 km, a na nevidljivoj 74 km. Razlike su posledice delovanja Zemlje. Zbog čestih udara meteorita ona je ispucala. Pukotine su duge do 100 km (u reonu nekih kratera i više), a široke su i duboke po nekoliko stotina metara.

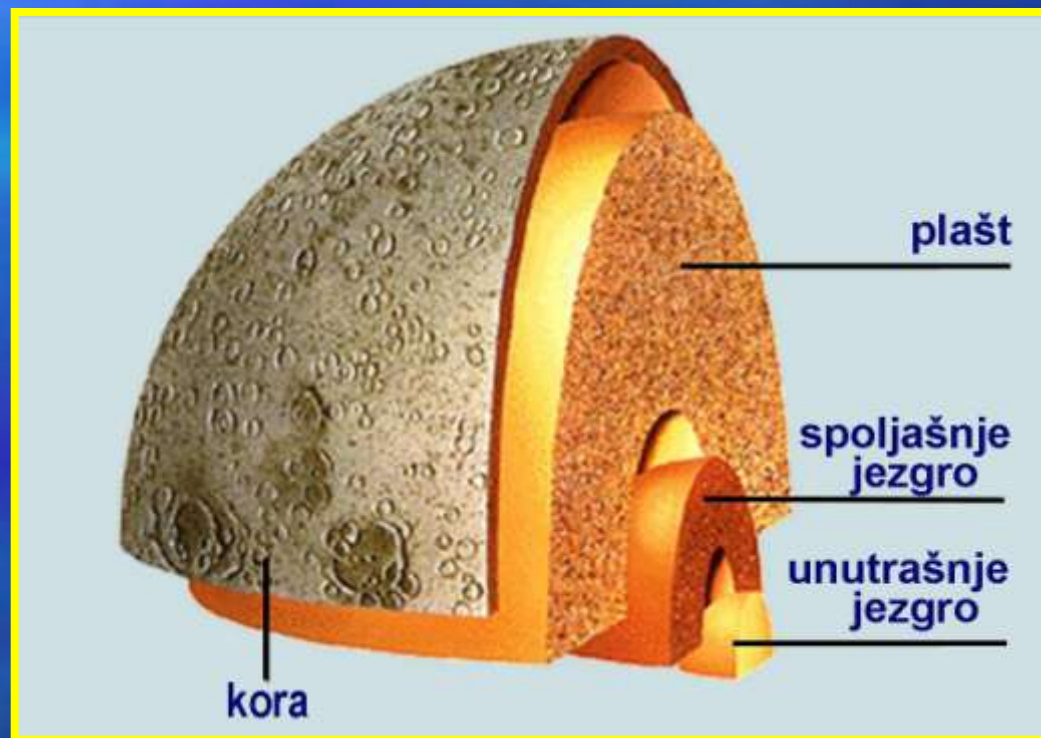
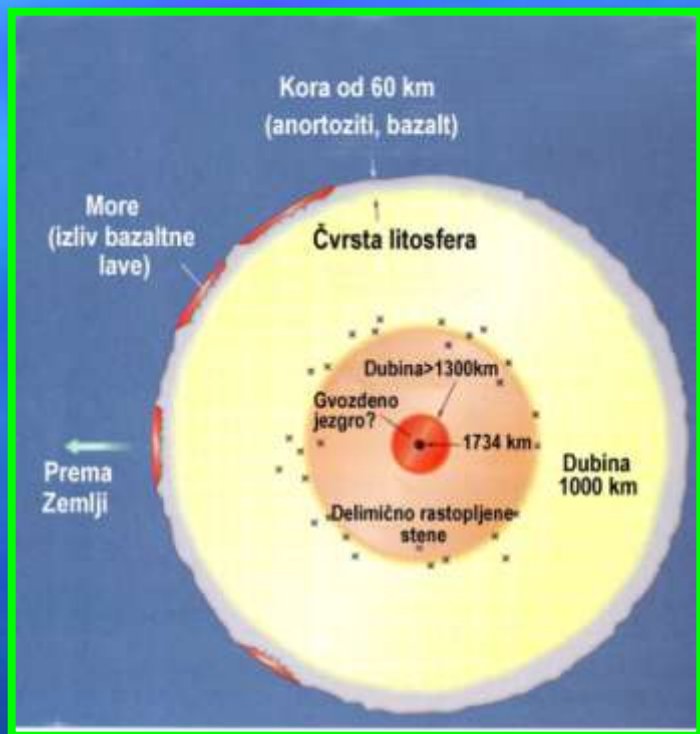


Model unutrašnje građe Meseca



Ispod je kore je silikatni stenoviti omotač, koji je u početku čvrst, ali je na dubini oko 1000 km je rastopljen, zbog rasta temperature sa dubinom.

Prosečna gustina Meseca ukazuje da se u njegovom središtu nalazi malo metalno jezgro ($r \sim 700$ km), na šta upućuju slabi seizmički potresi (mesecotresi), kojih je do 3000 godišnje. Prosečna gustina Meseca mnogo je manja od gustine Zemlje, ali je približno jednaka gustini Zemljinog omotača.



Površina je pokrivena finom prašinom (regolitom), koji sadrži dosta silicijuma u obliku vulkanskog stakla. Ono se javlja kao glazura na fragmentima stena, efikasno reflektuje svetlost i “boji” okolinu. Debljina sloja regolita je nekoliko 10–15 m (ali i manje). Sa dubinom veliina čestica raste. Regolit je nastao drobljenjem tla meteoritskim udarima. Tlo je male toplotne provodnosti (kao staklena vuna).



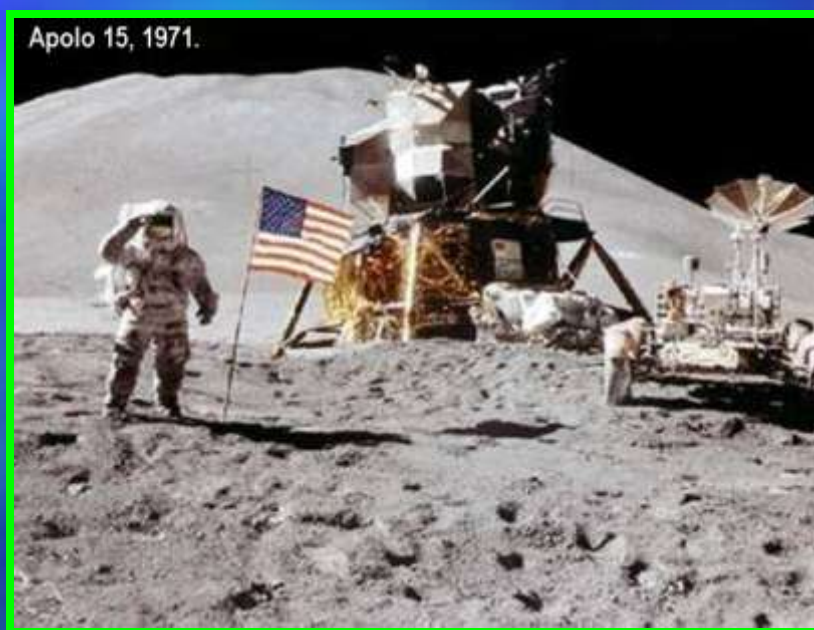
U mladim morima debljina tla je oko 5m, a na starijim visijama oko 10m. Površinski sloj je zasićen jonima vodonika apsorbovanog iz Sunčevog vetra.

Regolit na površini sadrži veliku količinu vulkanskog stakla, koje efikasno reflektuje Sunčevu svetlost.

Interesantno je zapažanje kosmonauta koji su boravili na Meseću. Njihova odeća je bila hermetički izolovana, ali su u kabini modula na obući i odeći unosili lepljivu prašinu. Oni su tvrdili da regolit miriše na barut, da na dodir podseća na sneg, "a i da mu ukus nije tako loš".



Apolo 11.

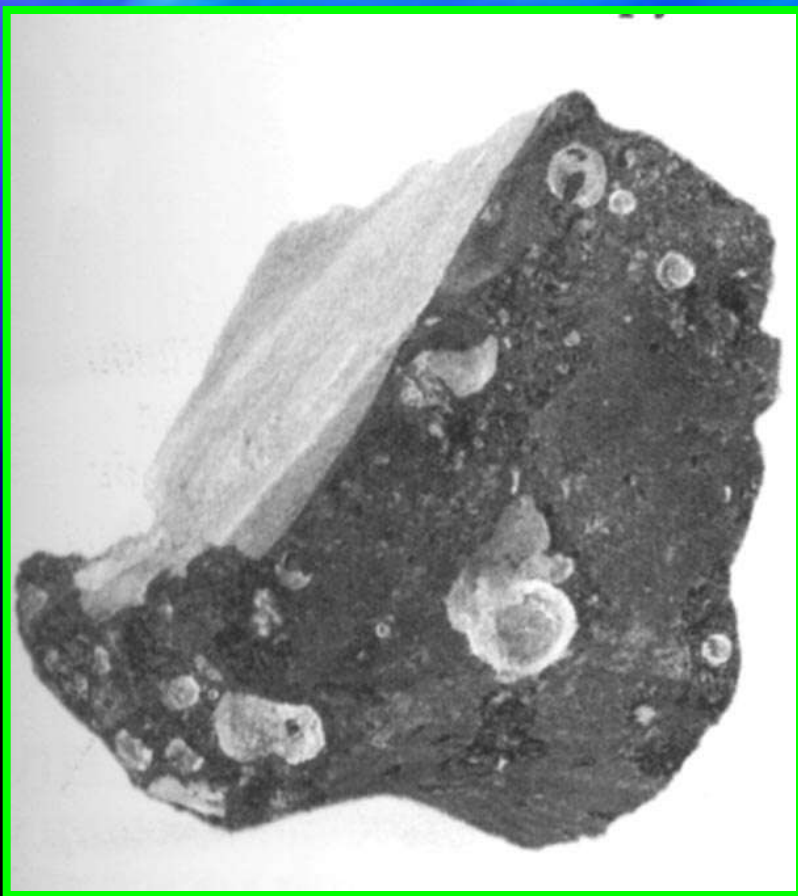


Apolo 15, 1971.



Harison Šmit (Apolo 17)

Ispod površine se uglavnom nalaze vulkanske stene. Kristalizacija stena ukazuje da je ona vršena u magnetnom polju iako ga Mesec nema.

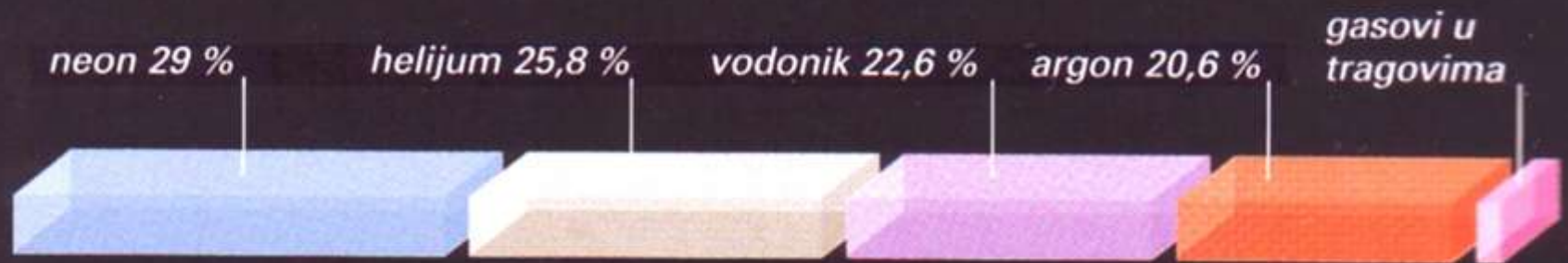


Ispod površinskog regolita do dubine od 250 m je zgusnut sloj. Do dubine od 60 km je metamorfni bazalt (gabro) i njime se završava kora.

Mesečeva atmosfera

Mesec skoro da nema atmosferu (preko milijardu puta je ređa od Zemljine i njena ukupna masa je oko 10 000 kg). Temperatura na površini menja se za 270°C u toku lunarnog dana, a količina gasa blizu površine je 20 puta veća tokom noći, nego tokom dana. Zbog visoke dnevne temperature (120°C) i male gravitacije (brzina napuštanja Meseca je svega 2.38 km/s, a na Zemlji je 11.2 km/s) atmosfera mu se stalno osipa. Obnavlja je Sunčev vetar. Iako Mesec skoro da nema atmosferu ipak su uočene emisione linije koje su rezultat luminescencije molekula gasa pod delovanjem Sunčevog zračenja.

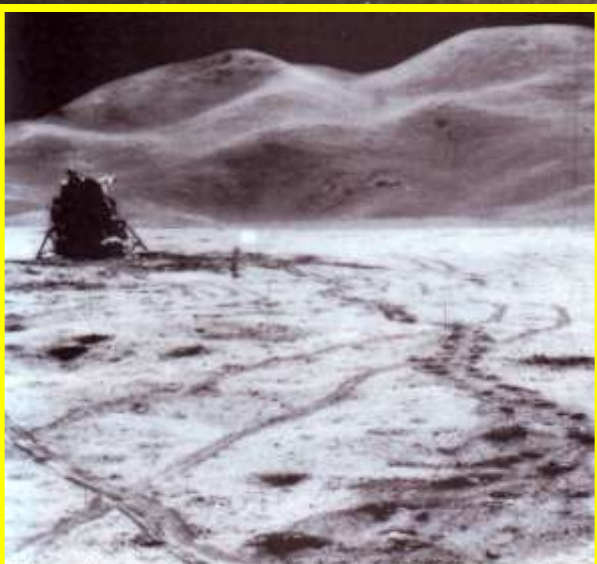
Sastav Mesečeve atmosfere



*Zbog nepostojanja atmosfere
smena dana i noći je trenutna,
nema zore ni sumraka, a
granica između dana i noći je
oštro definisana linija
(terminator).*



*Pošto na Mesecu
nema vetra, a ni
vode, nema ni
erozije. Zato će
tragovi ljudi tamo
trajati milionima
godina.*



Tragovi u regolitu iz misije Apolo 15 biće izbrisani meteoritskim udarima tek za milion godina



Nepostojanje atmosfere omogućilo je proveru Galilejeve tvrdnje da sva tela u slobodnom padu imaju isto ubrzanje, bez obzira na masu.



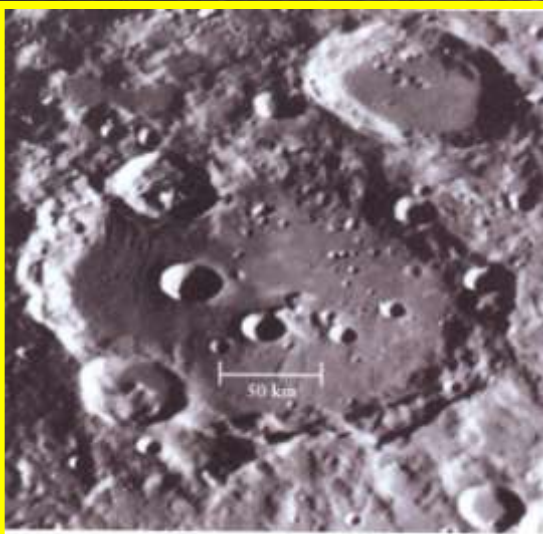
Mesec povoljno utiče na stabilnost Zemljine rotacije. Da nije njega Zemlja bi bila izrešetana i izbrazdana kraterima od udara “nebeskog kamenja”. To bi drastično uticalo na živi svet.

Na Mesecu je preko 17 000 kratera većih od 3.5 km. Nastali su kao posledica udara meteorita, a mora su nastala topljenjem stena i izlivanjem “unutrašnjosti” nakon najvećih udara, kada je usledila vulkanska aktivnost.

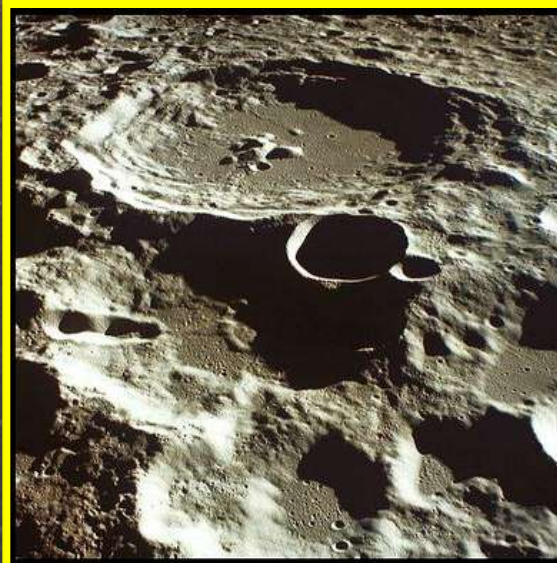


Najveći broj udara desio se u vreme “velikog bombardovanja” pre oko 4 milijarde godina.

I danas brojni meteoriti udaraju u Mesečevu površinu. Da nije njega možda bi padali na Zemlju, a onda ko zna šta bi bilo.

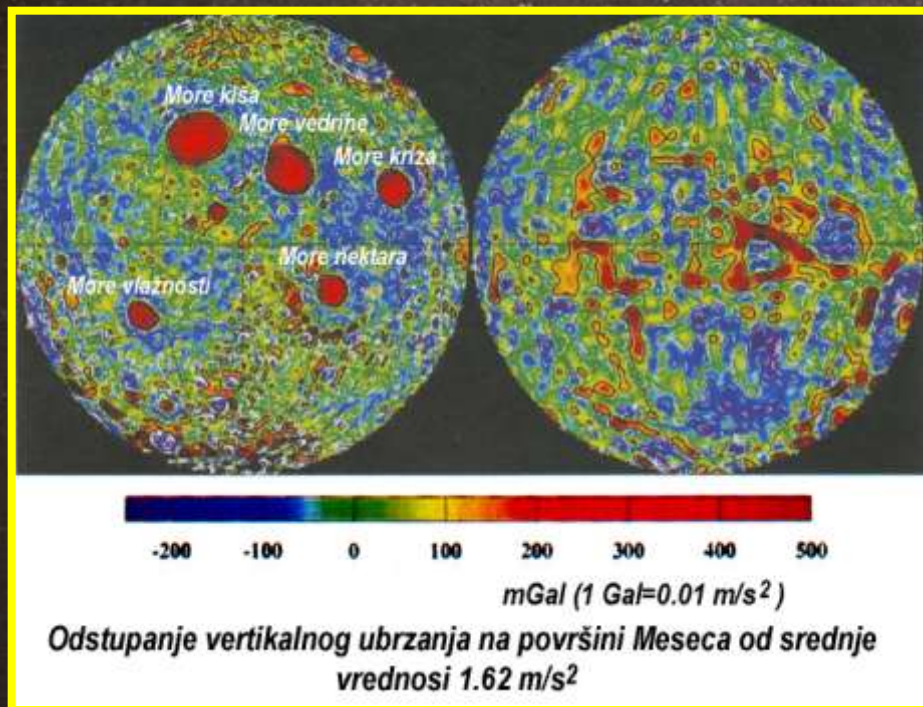


Krater Klavijus



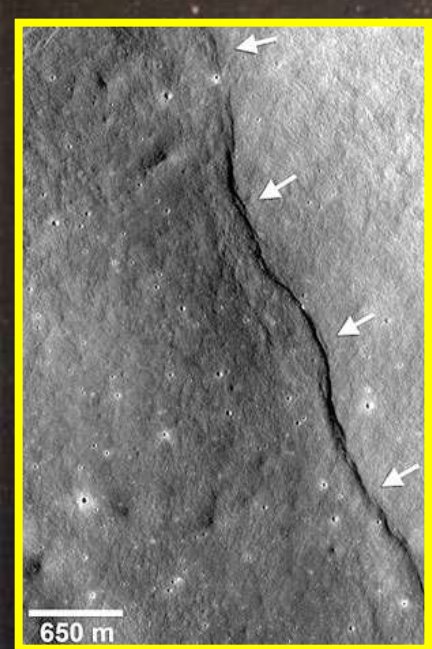
Mesta udara od 2005. do 2008. godine

U toku očvršćavanja, nakon bombardovanja, u morima u stenovitom omotaču (mantiji) nastali su centri veće gustine – maskoni. U tim oblastima je veće ubrzanje na površini Meseca. Ove gravitacione anomalije (0.5% u odnosu na okolinu) mogu da budu uzrok nestabilnosti niskih orbita satelita koji kruže oko Meseca. Satelit PFS-2, koji je 1972. g. postavio Apolo 16, pao je iz tog razloga na površinu i pored korigovanja putanje.



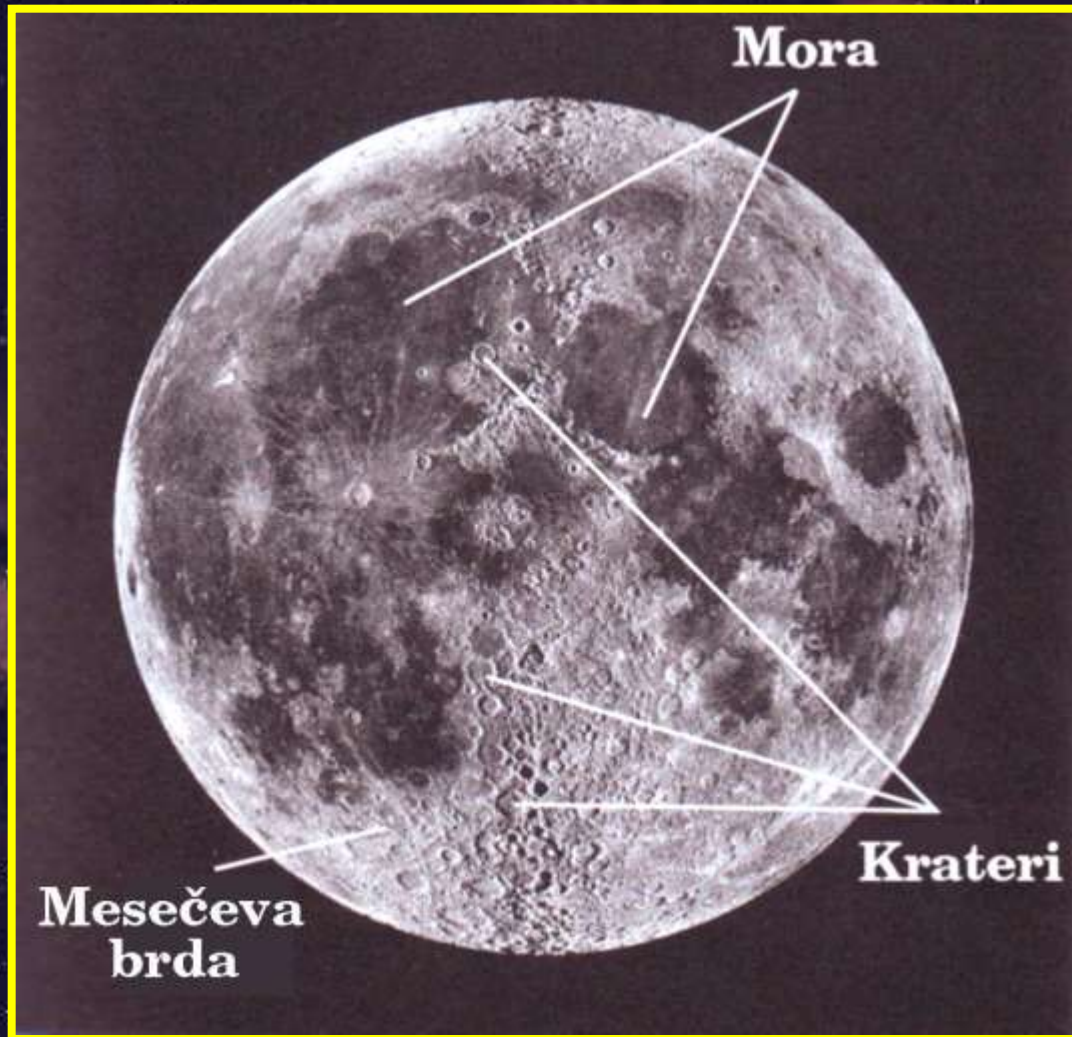
Vulkanska aktivnost je zamrla pre 3.2 milijarde godina i od tada je Mesec tektonski skoro mrtav.

U svojoj ranoj istoriji Mesec je bio tektonski aktivan, ali u sadašnjem trenutku nema veću geološku aktivnost. Ona je danas lokalna (termička i erozija meteoritima). Astronauti koji su boravili na Mesecu uočili su i naglu degazaciju tla (teški gasovi poput argona). Sa Zemlje su uočena lokalna zagrevanja i bleskovi, zamagljivanje snimanih detalja. U dva slučaja snimljeni su spektri takvih gasova u krateru Alfons (Kozirjev, Ezerski, 1958. g.). Spektri su nastali luminescencijom pod delovanjem Sunčevog zračenja.



Novija snimanja pukotina na površini ("Lunnar Reconnaissance Orbite") pokazuju da se one smanjuju. To upućuje da se jezgro Meseca hladi i skuplja tako da neki delovi kore nadvlače nad druge stvarajući grebene. Procene su da se Mesec tokom svog razvoja skupio za oko 200 m i da to i danas traje.

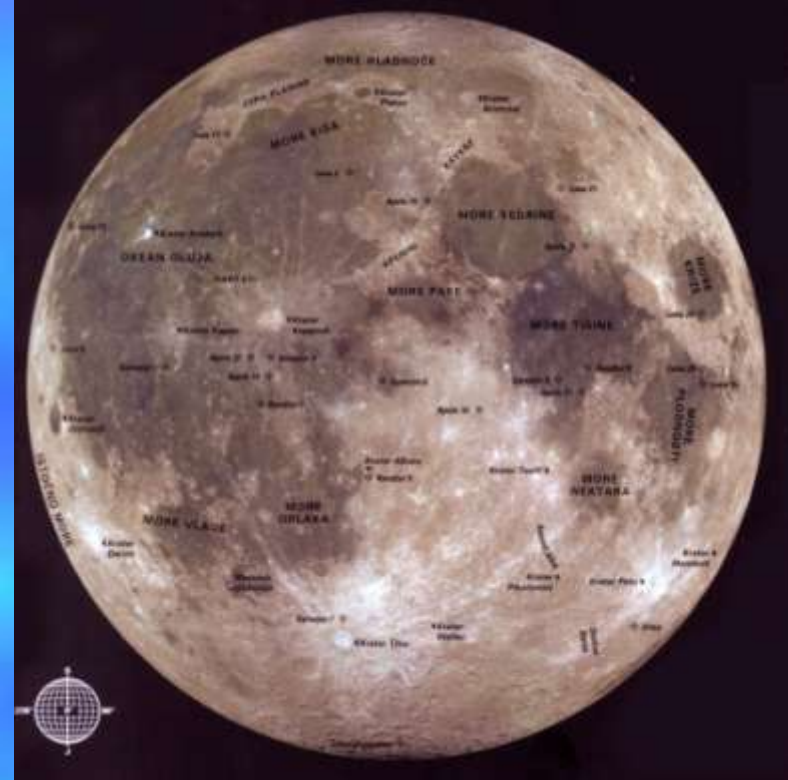
Reljef na Mesecu



Mesec pokazuje dva različita tipa terena sa različitim gustinama udarnih kratera: svetlija brda i tamnija mora u niziji. Mesečeva brda pretrpana su velikim kraterima (prečnika 50 km i više). Mora se sastoje od ravnica bazaltne lave sa nekoliko većih kratera. Bazaltni baseni mora obogaćeni su gvožđem i titanijumom i imaju višak piroksena, a brda su bogata kalcijumom, aluminijumom i feldspatom.



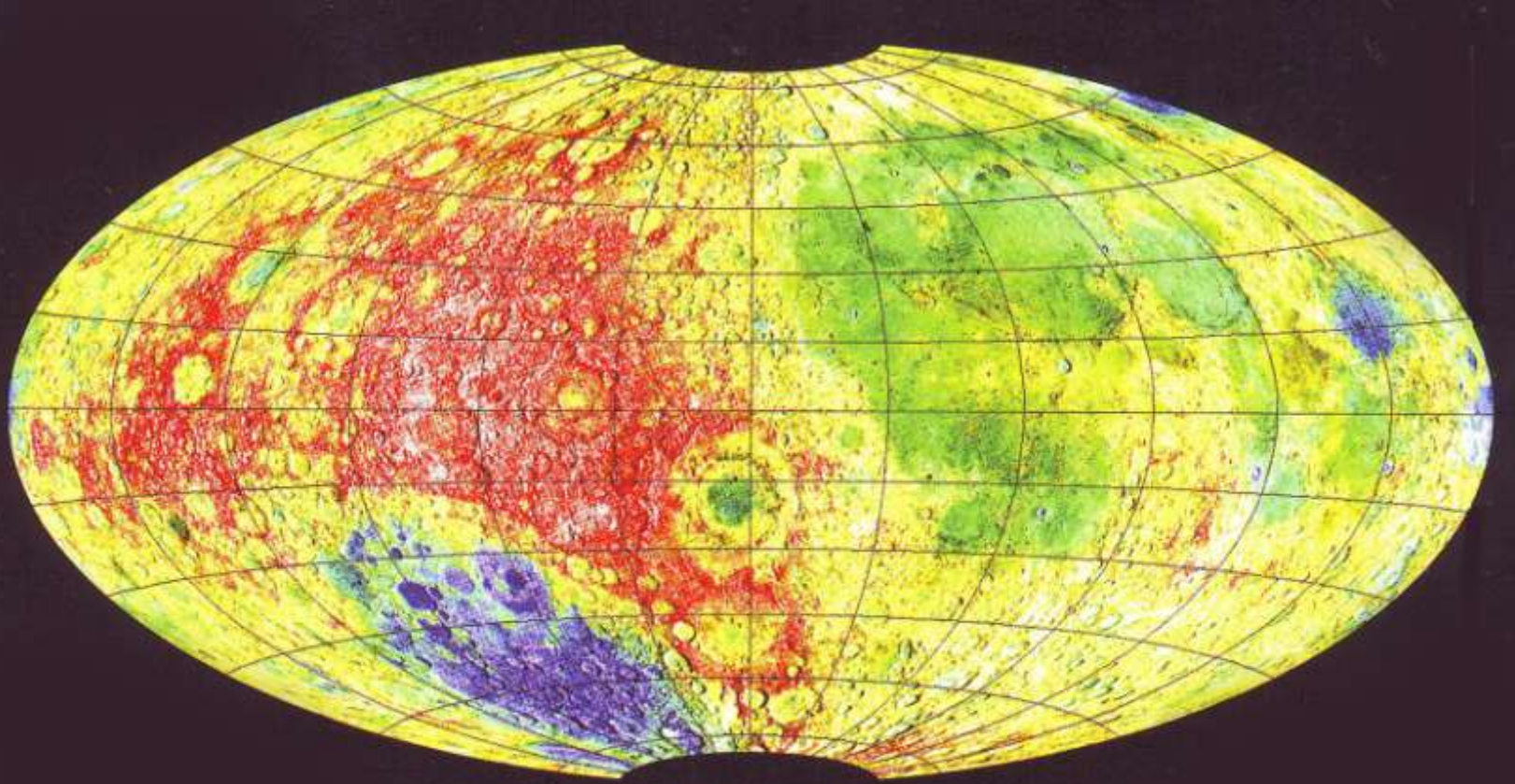
Prvi fotografski atlas Mesečeve površine napravljen je 1897. g. Progres je nastao u kosmičkoj eri. SSSR 1959. šalje Lunu 3 iznad tamne površine. U periodu 1966–67. pet lunarnih orbitera NASA snimili su 99% površine.



Na nevidljivoj strani ima manje kratera i mora.



“Klementina” je preciznim laserom utvrdila visinu reljefa.



Topografska karta Mesečeve površine
plavom bojom označene su niske oblasti, zelenom oblasti
srednje visine, a crvenom visoke

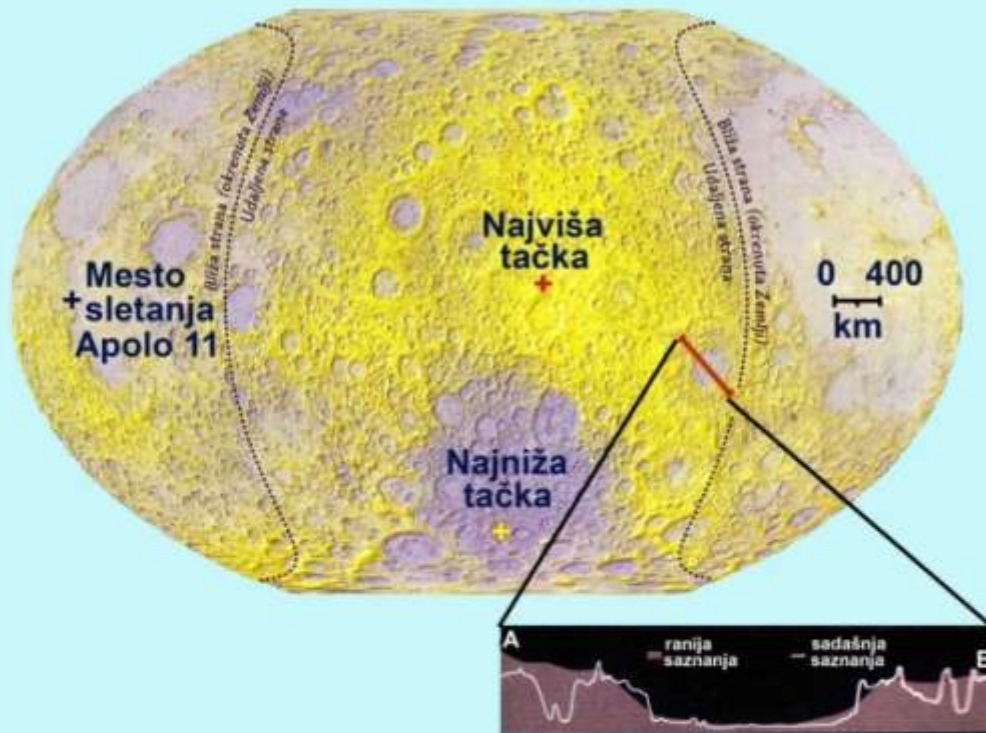
NASA-ina međuplanetarna stanica “Mesečev orbitalni izviđač” (“Lunar Reconnaissance Orbiter”, LRO) je od 23.6.2009. g. u orbiti oko Meseca. Od tada ona snima Mesečevu površinu. Njeni brojni instrumenti mere toplotno zračenje površine Meseca, tragaju za ledom u zasenčenim kraterima, detektuju refleksiju UV zračenja



Lunar Reconnaissance Orbiter - međuplanetarna stanica u orbiti Meseca od 23.6.2009. godine

zvezda sa površine Meseca, prave kartu raspodele vodonikovih atoma na površini, precizno mere visinu reljefa, snimaju površinu satelita sa rezolucijom objekata do 50 cm.

Visinske razlike na Meseću

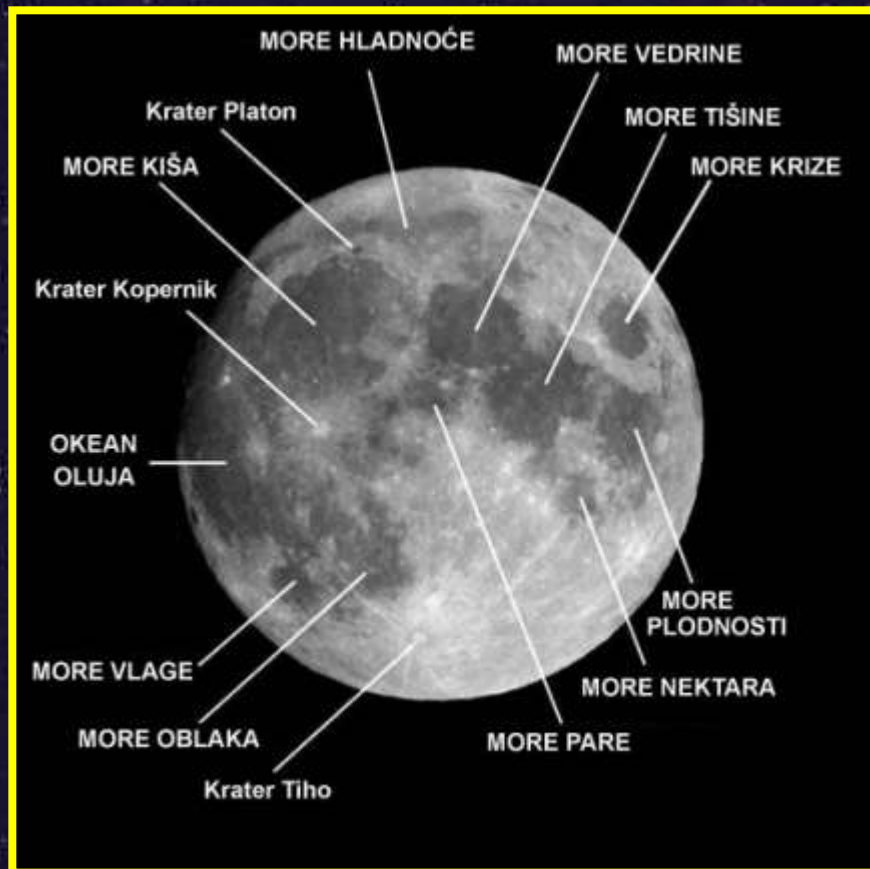


Najniža tačka: -9.12 km (na Zemlji -10.97 km)
Najviša tačka: 10.78 km (na Zemlji 8.849 km)

Visinska karta reljefa Mesca napravljena pomoću
LOLA - laserskog altimetra na Lunar Reconnaissance
Orbiter-a

LRO je napravio preko tri milijarde površinskih očitavanja koje je vršio laserski altmetar, potpuno je katalogizovao preko 5000 kratera širih od 20 km. Slika reljefa koja je dobijena pomoću LRO ukazuje da je on mnogo "krševitiji" nego što se ranije mislilo. Dobijeni obrasci ukazuju da su pre oko 3.8 milijardi godina dve asteroidne oluje šibale i Mesec i Zemlju.

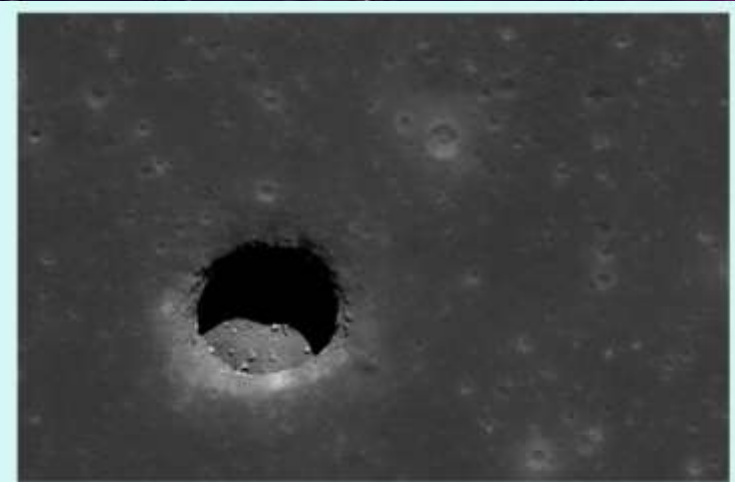
Mesečeva mora: na vidljivoj polulopti zauzimaju 30% površine, a na nevidljivoj samo nekoliko procenata (tamo se teže formiraju jer je kora deblja). Prečnik mora je između 500 i 1000km. Pokrivena su materijalom sličnom lavi. Najveće morsko prostranstvo je Okean Oluja, čija je veličina skoro kao Sredozemno more.



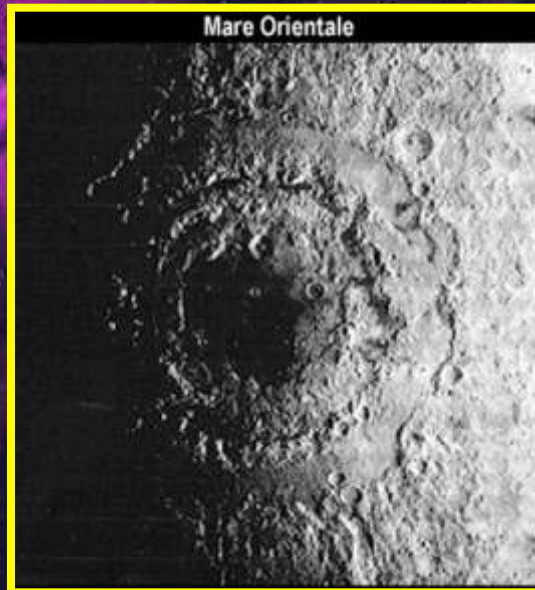


Većina mora je kružnog oblika ili su delovi kruga sa jednostrukim ili višestrukim sistemom prstenova.

More Kiša

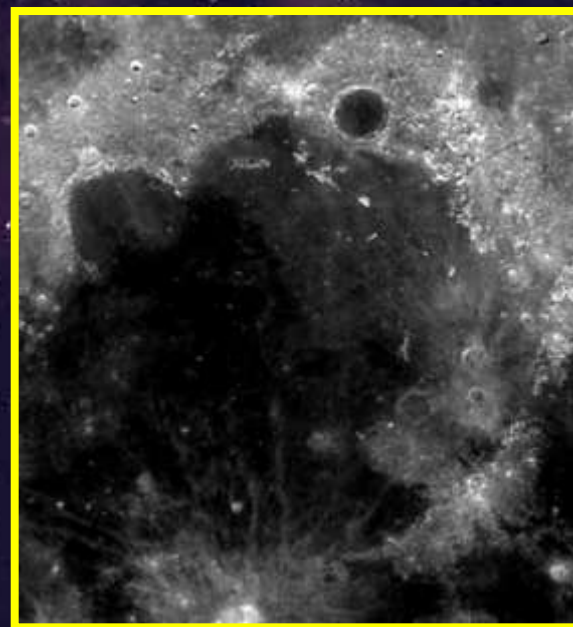


Predeo u Mare Tranquillitatis (More Tišine). Snimljeno sa Zemlje 24.4. 2010. Širina snimljenog dela Mesečeve površine je oko 400 m (NASA).



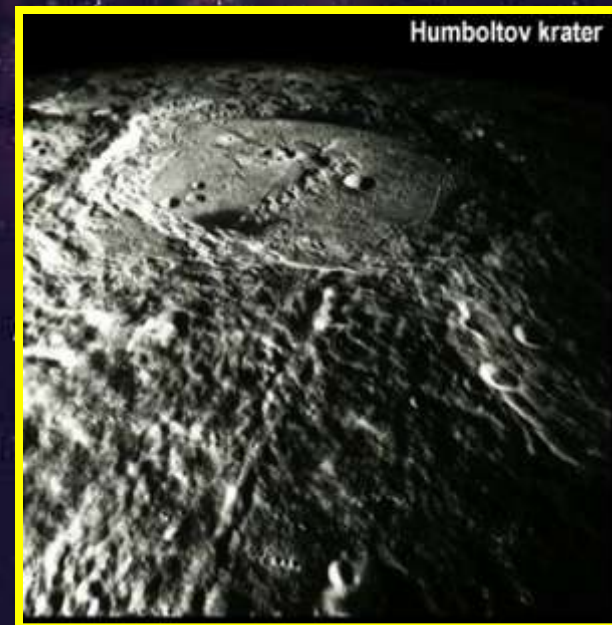
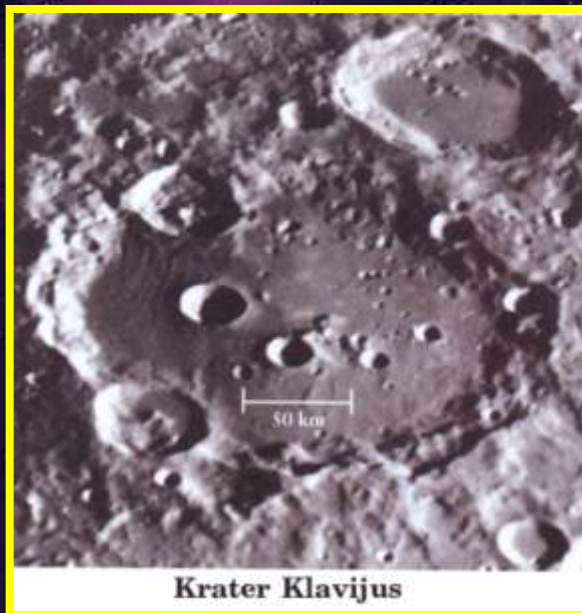
Mare Crisium - udarni krater ispunjen lavom. Starost 3.9 milijardi godina. Prečnik 563 km.

Najveće kružno more je More Kiša (Mare Imbrium) sa prečnikom od 1300km. Nastalo je pre 3.9 milijardi godina, udarom koji umalo nije raspolutio Mesec. Materijal od udara pokrio je čitavu površinu satelita.



Cirkovi – krateri okruženi planinama dužine do 250km i visine do 5km. Dno im je uglavnom niže od okoline. Primer je More Krize.

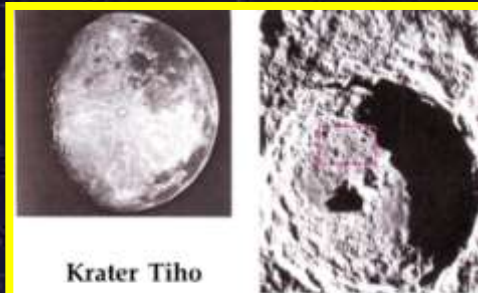
Krateri – nastali udarom meteorita brzine 72 000 km/h. Dimenzije kratera su oko 15 puta veće od dimenzija udarnog tela. Manji su od cirkova. Obično su kružni (95%), osim ako impaktor nije samo “očesao” površinu. Kratera većih od 1km ima preko milion.



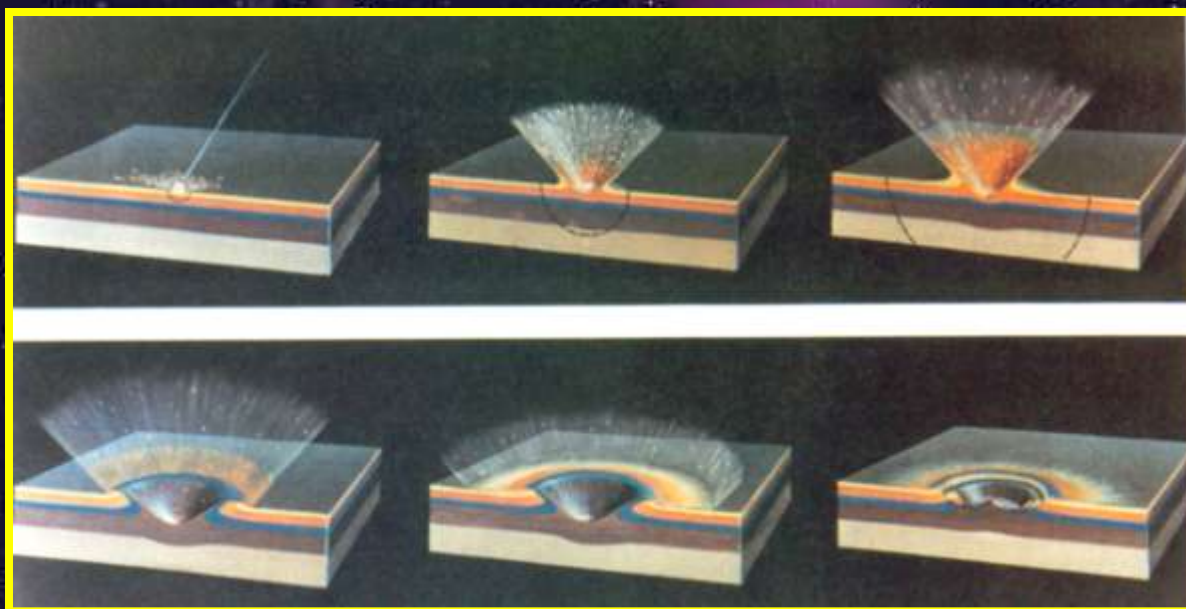
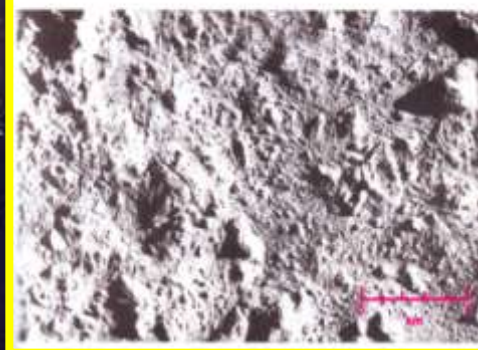
Manji od 10 km – oblik činije. Dubina 20% prečnika.

Između 10 i 150 km – spoljašnji zidovi urušeni u jamu. Obično imaju centralno uzvišenje. Duboki su nekoliko km.

Veći od 150 km – okruženi su planinskim prstenovima, nastalih očvršćavanjem talasa rastopljenog materijala.



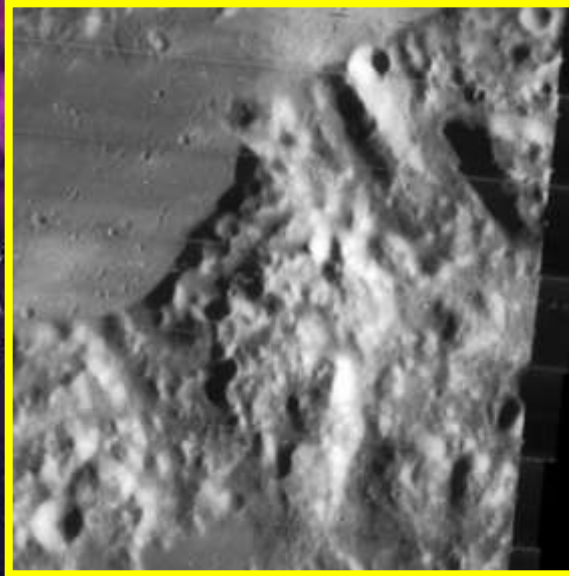
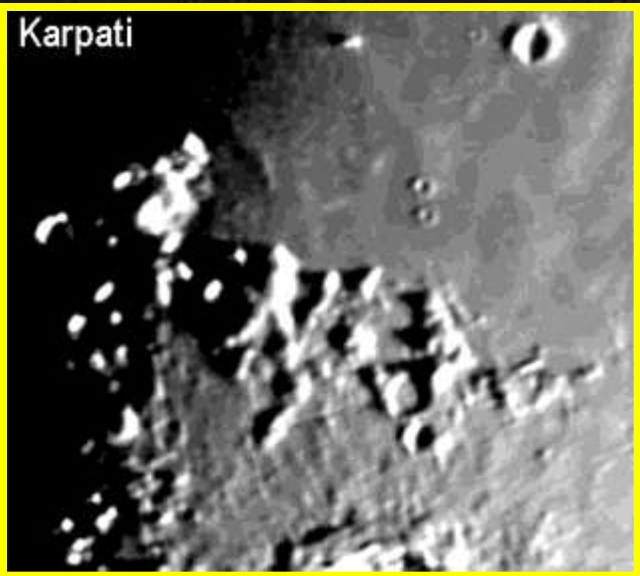
Krater Tiho



Aristarchus Crater - udami krater star oko 300 miliona godina. Prečnik 37 km.

Planinski venci: dugi na stotine kilometara. Najviši je Lajbnicov vrh – 9km iznad srednjeg nivoa.

Karpati

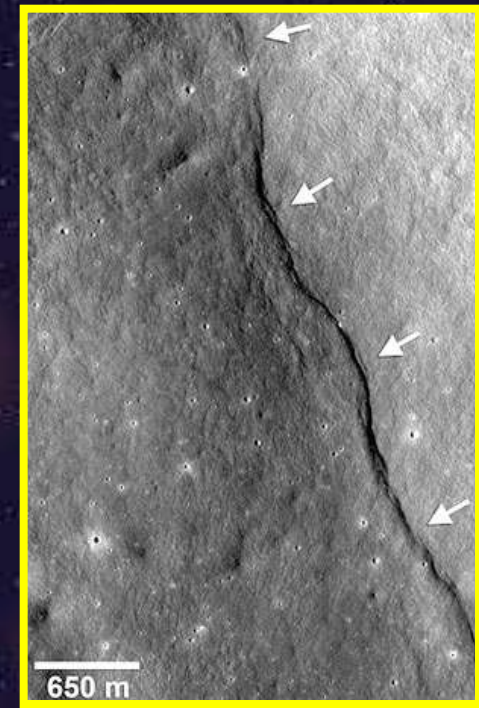


Montes Apenninus-
visina 3km, starost 3.9
milijardi godina, planinski
venac dužine 600 km oko
Mora kiše

Pukotine – do 100 km dužine. Širine i dubine po nekoliko stotina m.

Doline – širine do 10 km dužine 180 km i više.

Svetli zraci – iz kratera. Presecaju druge oblike reljefa. Primer zraka iz kratera Tihoo dužine skoro 4000 km.

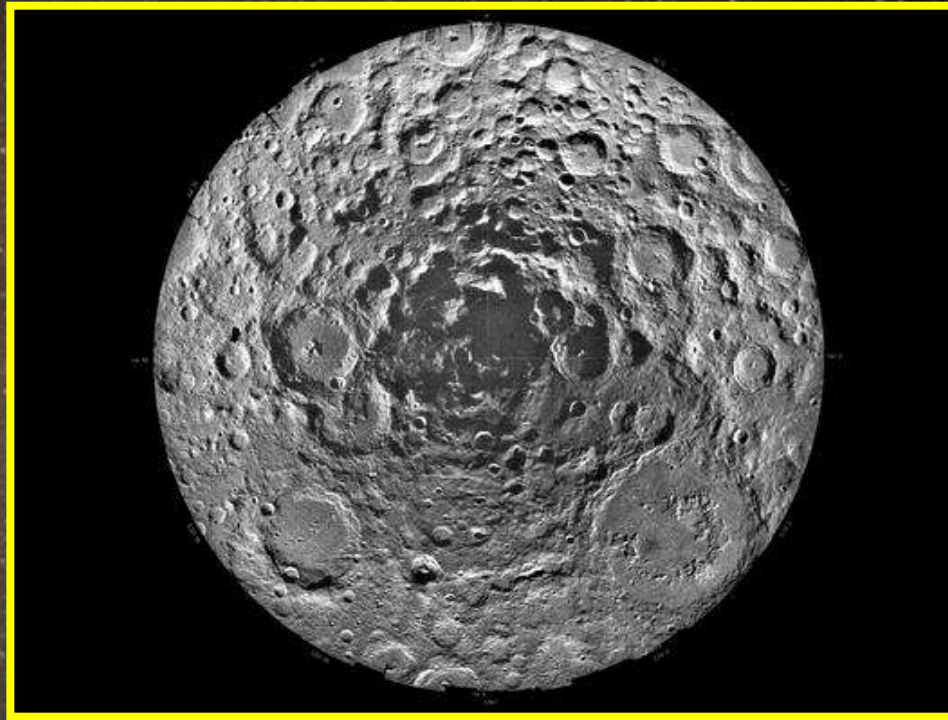


Dolina Taurus-Litrov na obodu Mora vedrine na tamnoj strani Meseca. Tu se decembra 1972. spustila poslednja misija sa ljudskom posadom (Apolo 17). Prečnik doline je oko 30 km. Nastala je pre 3.85 milijardi godina, ali sadrži i minerale olivina od pre 4.6 milijardi godina.



Voda na Meseču

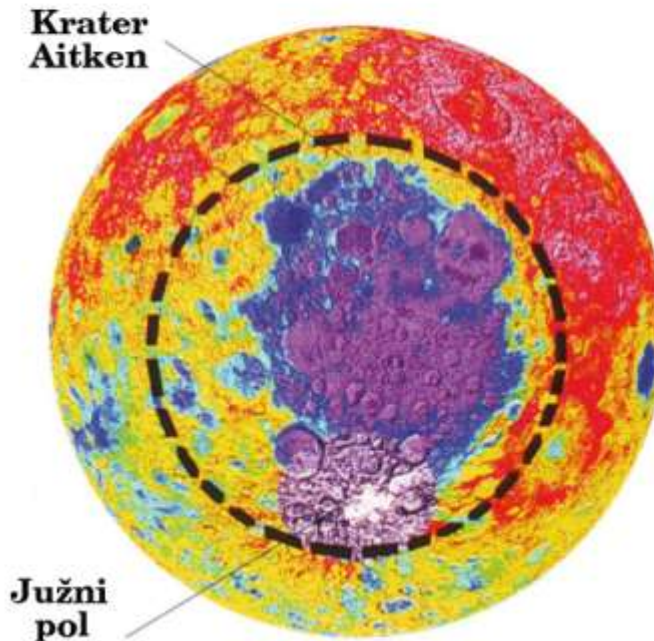
Postoji još jedna interesantna posledica udara tela u Meseč.



Clementine (1994.) je na južnom Mesečevom polu detektovala vodeni led.

Prisustvo vodonika potvrdilo je da na Mesečevim polovima postoji voda (kapilarna i zamrznuta), ostatak udara kometa.

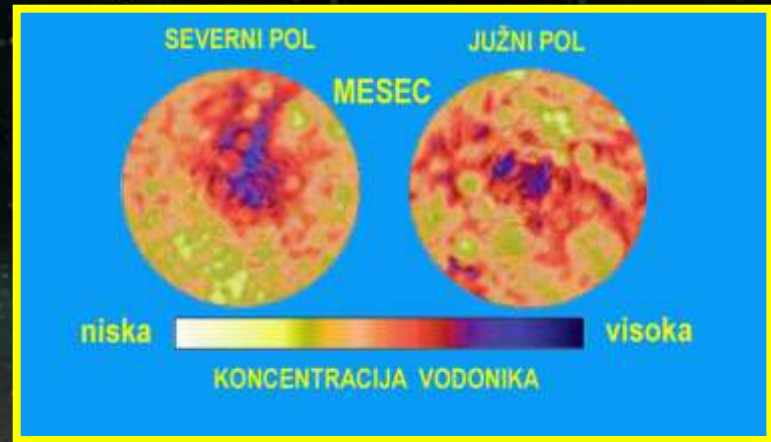
Krater Aitken na južnom Mesečevom polu. Prečnik 2500 km, dubina 12 km. Nastao pre 3.9 milijardi godina, udarom asteroida od 100 km. Sadrži dosta oksida gvožđa i titan. Otkriven 1962, a misija NASA-e Klementina ga detaljno mapirala 1994. g.



“Lunar Prospector” – namerno oboren 1999. u basen Eitken na južnom polu. Događaj praćen sa Zemlje i pomoću Hablovovog teleskopa. Na osnovu izbačenog materijala trebalo je da se utvrdi sadržaj leda. Nije bilo oblaka prašine ni drugih efekata. Napravio je kartu raspodele Ti, Fe, Al, K, Ca, Si, Mg,... Pre obaranja detektovao jak signal, koji je ukazivao da 1–10% leda na južnom polu potiče od vode.



Misija trajala 158 dana i koštala je 63 miliona \$. Kružio je po polarnoj orbiti. Dimenzije sonde 1.4x1.6 m, masa 158 kg. Sadržao gama, neutronske, alfa spektrometar, magnetometar, elektronski reflektometar, Dopler gravitacioni eksperiment.



Led, verovatno, potiče od kometa (egzogeni voda), koje su pale na Mesec. Voda se zadržala u kraterima koji su uvek u senci. Na severnom polu ima 50–100% više vode nego na južnom, koji ima više kratera u senci. Ove zalihe vode ne podrazumevaju mogućnost postojanja vode u tečnom stanju na Mesecu.

Prelet “Deep Impacta” i sonde “Cassini” pored Meseca potvrdili su i postojanje endogene vode, koja je nastala na samom satelitu. Ove vode ima više nego što se i moglo pretpostaviti. Njena koncentracija u tlu je mala i difuzno je raspoređena po čitavoj površini. Ima je oko 1l po toni tla.



Snimak Mesečeve površine koji ukazuje na postojanje endogene vode

Interesantno je da su u kontejnerima sa uzorcima sa Meseca koje su donosili kosmonauti Apola nađeni tragovi vode. Smatralo se da su se oni “ovlažili” u Zemljinjnoj atmosferi.

Endogena voda najverovatnije je nastala tako što su protoni Sunčevog vetra prilikom “bombardovanja” Mesečeve površine razbijali hemijske veze u mineralima bogatim kiseonikom. Postoji verovatnoća da je došlo do vezivanja oslobođenog kiseonika i protona Sunčevog vetra.

Japanska letelica Kaguya je, na osnovu istraživanja kratera Šeklon, ustanovila da na južnom polu Meseca nema vode, što opovrgava nalaze Clementine, Lunar Prospector i radioteleskopa Aresibo.

Dilema oko postojanja vode na Mesecu ostaje!

Како је настао Месец?

И рече Бог: нека буде свјетлост. И би свјетлост.



*И створи Бог два видјела велика:
видјело веће да управља даном,
и видјело мање да управља ноћу,
и звијезде.*

(Прва књига Мојсијева која се зове Постање)

Stvarno kako je nastao Mesec?

Postoji nekoliko teorija:

- 1. Binarni sistem Zemlja–Mesec nastao je pre 4.8 milijardi godina od iste mase, pa bi oba tela trebalo da imaju isti sastav. Sastav ova dva tela je sličan, ali ima i značajnih razlika. Na Mesecu su manje zastupljeni lako topivi isparljivi materijali, nema vode, ni oksida gvožđa. Ova teorija je napuštena. Kujper je 1954. modifikovao – radioaktivnost je otopila Mesečevo jezgro i dobar deo njegove mase je odbačen ka Zemlji. Zato se danas razlikuju gustine ovih tela ($\rho_Z=5.5 \text{ g/cm}^3$, $\rho_M=3.3 \text{ g/cm}^3$).*
- 2. Dž. Darwin: Pre 4 milijarde godina Zemlja je brže rotirala (dan trajao 5h). Mesec se “otkačio” od Zemlje. Fišer je tvrdio da je tako nastao Pacifički basen. Teorija nije mogla da objasni nagnutost Mesečeve ose u odnosu na Zemljin ekvator.*

3. Harold Urey i Horst Gerstekorn – Mesec je nastao kondenzacijom gasova u dubini Sunčevog sistema. Zbog neke anomalije (npr. udara asteroida) gurnut je u Zemljino privlačno polje, gde se sa bliske orbite ustalio na današnju. Problem: nesklad sadašnjeg kretanja Meseca i vremenskog perioda za to. Gilbert, Vegener i Mek Donald su napravili modifikaciju ove teorije – Zemlja je privukla više malih protoMeseca koji su se spojili u jedno telo. Teorijom bi se rešio problem putanje i mase, ali bi u tom slučaju Mesec morao da bude star manje od milijardu godina, a istraživanja pokazuju da su planinski venci na Mesecu znatno stariji.

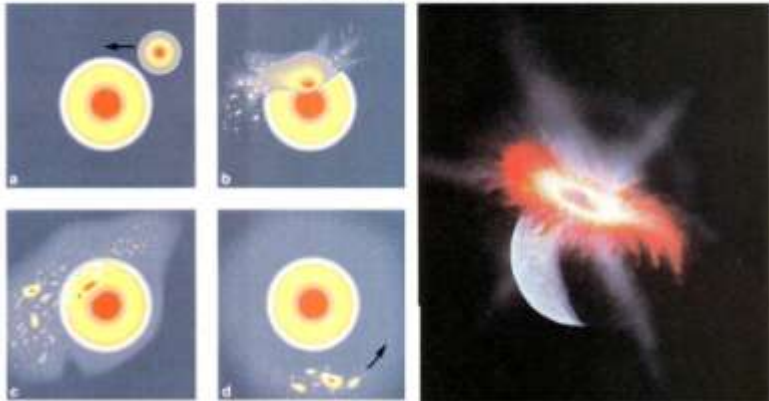
Nastanak Meseca



4. Danas najprihvatljiviju teoriju dali su V. Hartman i D. Dejvis 1975. godine. Po ovoj teoriji se tvrdi da je pre (4.527 ± 0.010) milijardi godina (30–50 miliona nakon nastanka Sunca) Mesec nastao u sudaru jednog tela veličine Marsa sa, u to vreme, polurastopljenom Zemljom. Kameron i Vord su izračunali da su dimenzije tog tela morale da budu $1/3 R_Z$ ili čak $1/2 R_Z$. Telo su nazvali Teja.

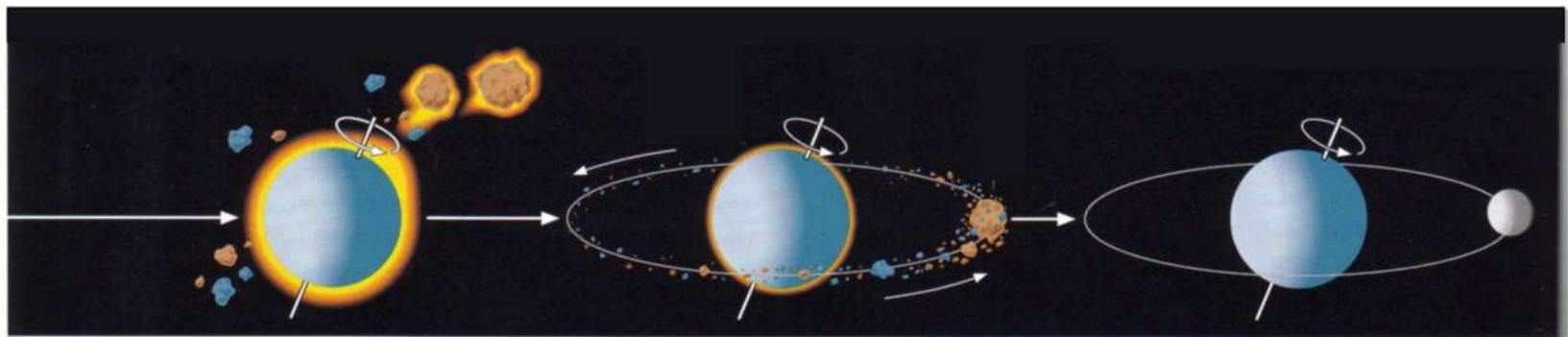
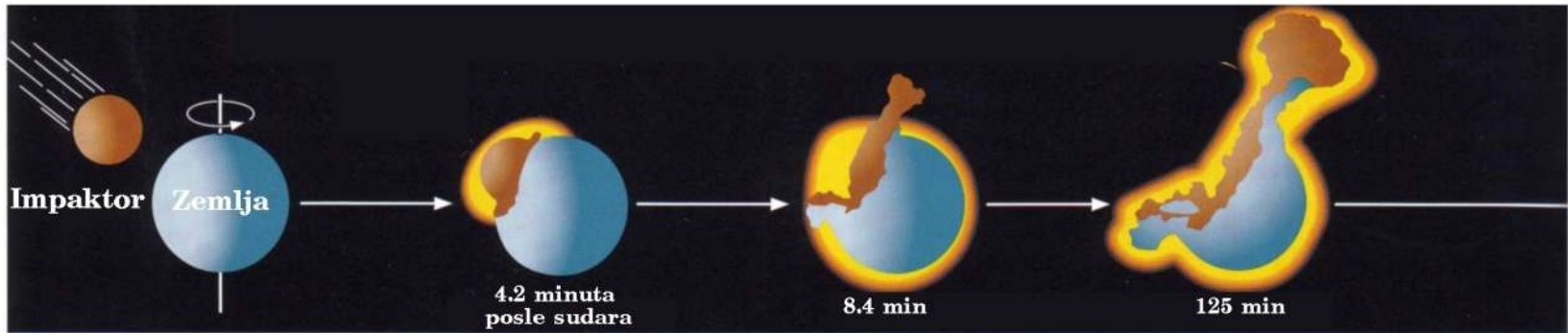
Telo je udarilo u Zemlju pod velikim uglom. Površinski omotač Zemlje i telo impaktora su isparili i odleteli u okolinu planete. Rastopljena Zemlja je ponovo očvrsla, a od odbačenog oblaka kondenzacijom je nastao Mesec. Prvobitna orbita Meseca bila je mnogo bliže Zemlji od današnje. U to vreme dan na Zemlji trajao je oko 10 h. Zbog plimskih delovanja Mesec je prešao na današnju orbitu, a dan na Zemlji poprimio je današnje trajanje.

Nastanak Meseca

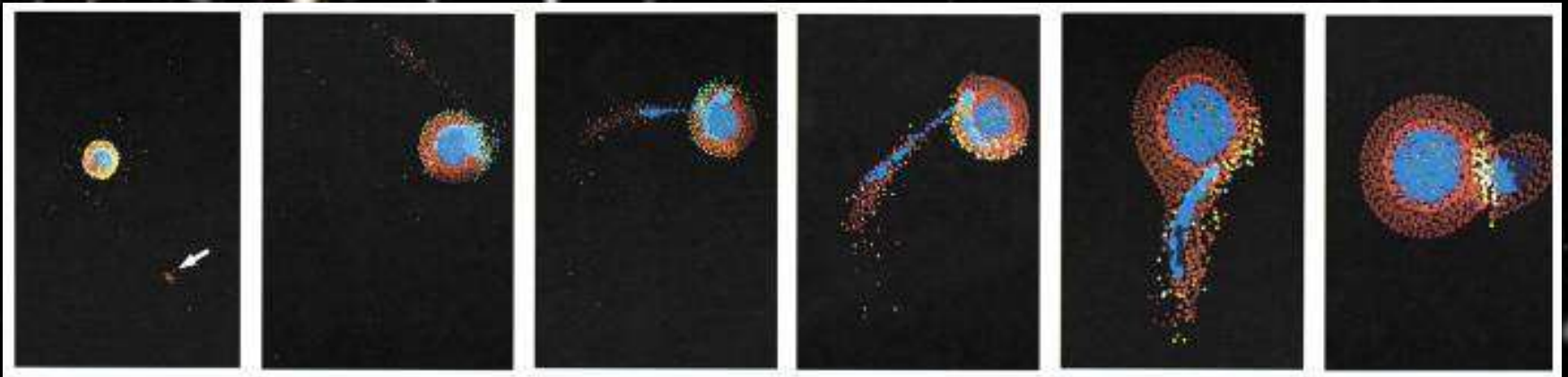


U sudaru je stvoren Mesec, ali je došlo i do promena u Zemljinom kretanju. Danas Mesec deluje stabilizirajuće na kretanje Zemlje.

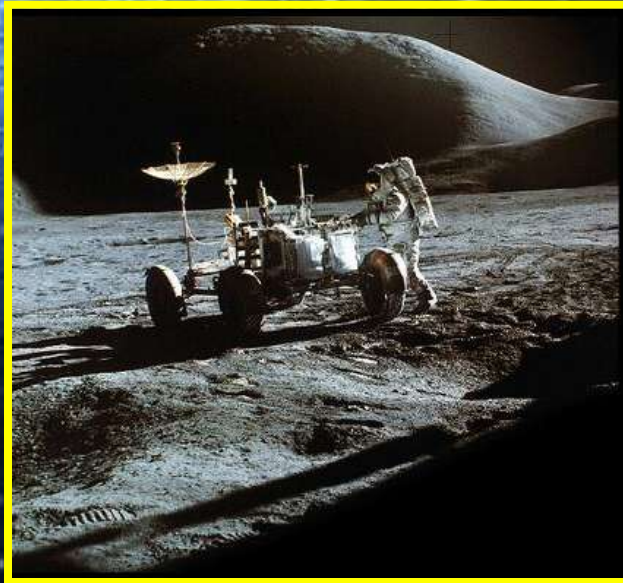
Nastanak Meseca i nagninjanje Zemljine ose

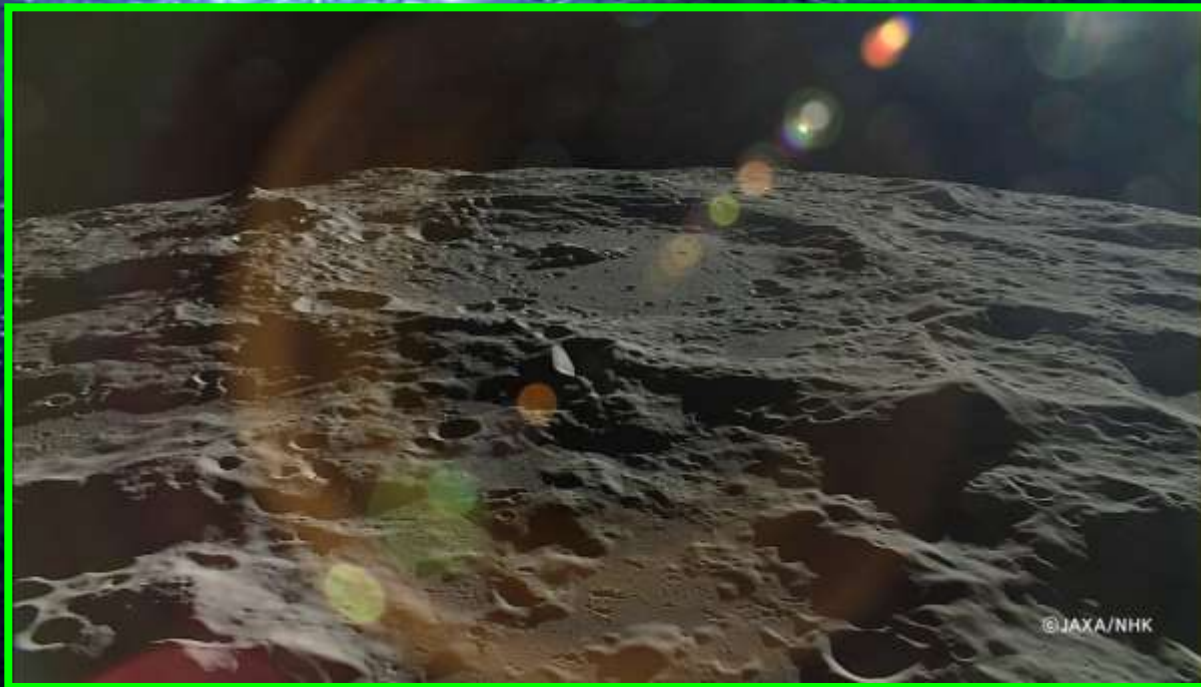


Periodi Mesečeve rotacije i revolucije brzo su se poklopili po njegovom nastanku. Uticaj Zemlje doveo je do velikih razlika u izgledu strana. Tamna strana je za 5km u proseku viša od svetlije u odnosu na centar masa koji je bliže Zemlji, a kora je na toj strani za 26 km deblja. Pošto je vidljiva strana niža, tu je vulkanska magma lakše isplivala na površinu i kroz pukotine plavila niske predele najvećih kratera, stvarajući bazaltna mora.



Još malo prizora sa Mesečine...







Možda ćete uz pomoć ovakvih snimaka i surovo realnih činjenica male bolje sagledati kakav je naš satelit.

A možda je bilo bolje da sve to nismo znali?

Onako je bilo romantičnije!



HVALA NA PAŽNJI

