



Mjesec

VRATA U SUNČEV SUSTAV

G. Jeffrey Taylor

Impresum

Naslov, podnaslov: Mjesec, vrata u Sunčev sustav

Izvornik: „The Moon, Gateway to the Solar System“, uvod vodiča „Exploring the Moon, a Teacher’s Guide with Activities for Earth and Space Sciences“, *National Aeronautics and Space Administration*, 1997, EG-1997-10-116-HQ, u javnoj domeni

Autor teksta: G. Jeffrey Taylor

Prijevod: Mirta Jambrović

Urednica: Vernesa Smolčić

Grafičko oblikovanje: Vernesa Smolčić

Nakladnik: VS CREATIVE

Sjedište nakladnika: Donji Hruševac

Mjesto i godina izdavanja: Donji Hruševac, 2019.

Potpora: Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Europsko istraživačko vijeće pri Europskoj uniji (*Seventh Framework Programme under Grant Agreement 337595*)

Platforma: <https://astroucionica.hr>

© 2019. VS CREATIVE

Predgovor

„Površina je fina i prašinasta. Nogom ju je lako podignuti. U finim slojevima nalik ugljenoj prašini lijepi se za potplat i strane mojih čizama“

- druga izjava prvog čovjeka na Mjesecu, Neila Armstronga, kad je stupio na Mjesec u srpnju 1969. godine

U duhu proslave pedesete obljetnice spuštanja prvog čovjeka na Mjesec te stote obljetnice Međunarodnog astronomskog saveza (IAU100) kao dio proslave IAU100 sa zadovoljstvom Vam prenosimo ovaj tekst o Mjesecu koji je 1997. godine napisao planetolog G. Jeffrey Taylor (danas emeritus na sveučilištu *University of Hawai'i at Manoa*) kao uvod u NASA-in vodič „Istraživanje Mjeseca, vodič za nastavnike s nastavnim listićima za rad na temu istraživanja Zemlje i svemira“ (EG-1997-10-116-HQ).

Tekst će vas provesti kroz Mjesečev krajolik, njegova kopna i mora, proći ćete od njegove površine sve do dubina unutrašnjosti, te se upoznati s teorijama o tome kako je, prije četiri i pol milijarde godina, Mjesec nastao.

Za otkrivanje tajni Mjeseca, razumijevanje njegovih sastavnica i nastanka ključni su bili uzorci stijena, tla i prašine s Mjeseca, a većinu njih prikupili su i na Zemlju prenijeli astronauti NASA-inih misija Apollo. Ti uzorci i danas se proučavaju! Stoga ne čudi što je ovaj tekst usredotočen na geologiju te kroz nju otkriva tajne Mjesečeve strukture i prošlosti.

Iako je tekst napisan prije više od 20 godina, nevjerojatno je koliko je još uvijek vjerodostojan, čak i u predviđanju onoga što budućnost nosi u vezi s proučavanjem Mjeseca i iskorištavanjem njegovih resursa. Nakon astronauta NASA-inih misija Apollo (provedenih od 1969. do 1972. godine), do danas više nijedan čovjek nije kročio na Mjesec. Tek je nedavno opet došlo do „poleta“ prema Mjesecu i planova da se astronauti ponovo onamo pošalju, ovoga puta u baze izgrađene na Mjesecu, koje će jednom u budućnosti možda služiti i kao međustanica na putu do Marsa.

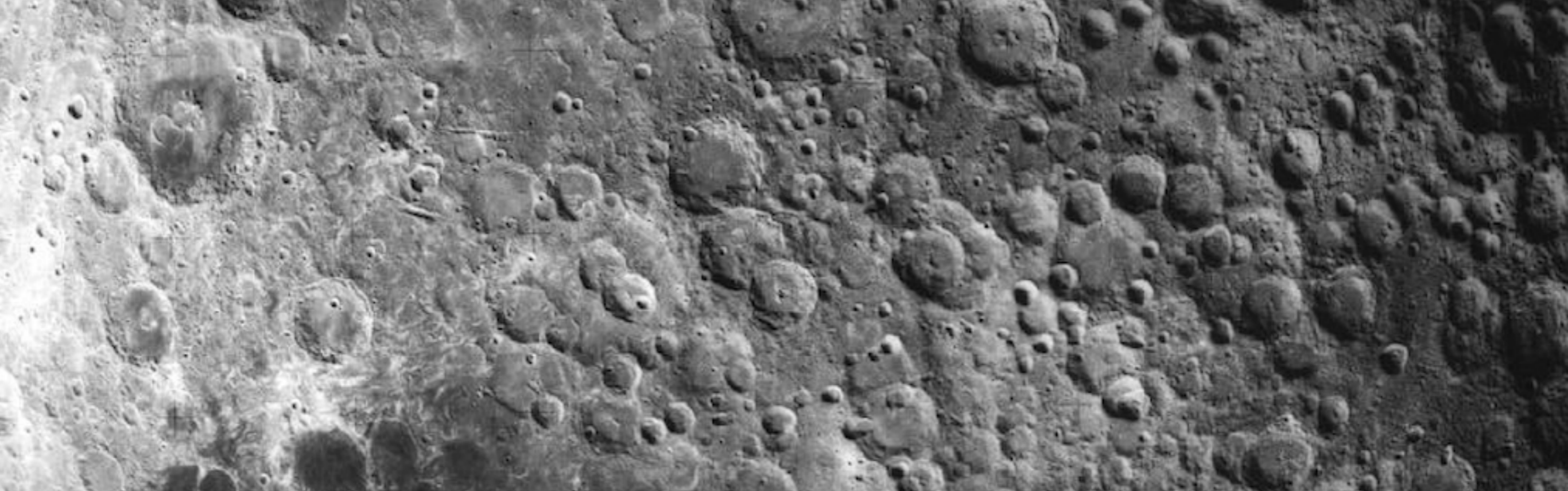
prof. dr. sc. Vernesa Smolčić

Sadržaj

- 1** Mjesec kao vrata u Sunčev sustav
- 4** Mjesečev krajolik
- 9** Prašnjava površina Mjeseca
- 12** Mjesečeve stijene
- 21** Potresi, unutrašnjost i tajanstveno magnetsko polje
- 24** Podrijetlo Mjeseca: velik udar na rastuću Zemlju
- 27** Kratka povijest Mjeseca
- 31** Mjesec i Zemlja: nerazdvojivo povezani
- 33** Život i rad u bazi na Mjesecu
- 35** Gdje kamenje s Mjeseca živi

Poglavlje 1

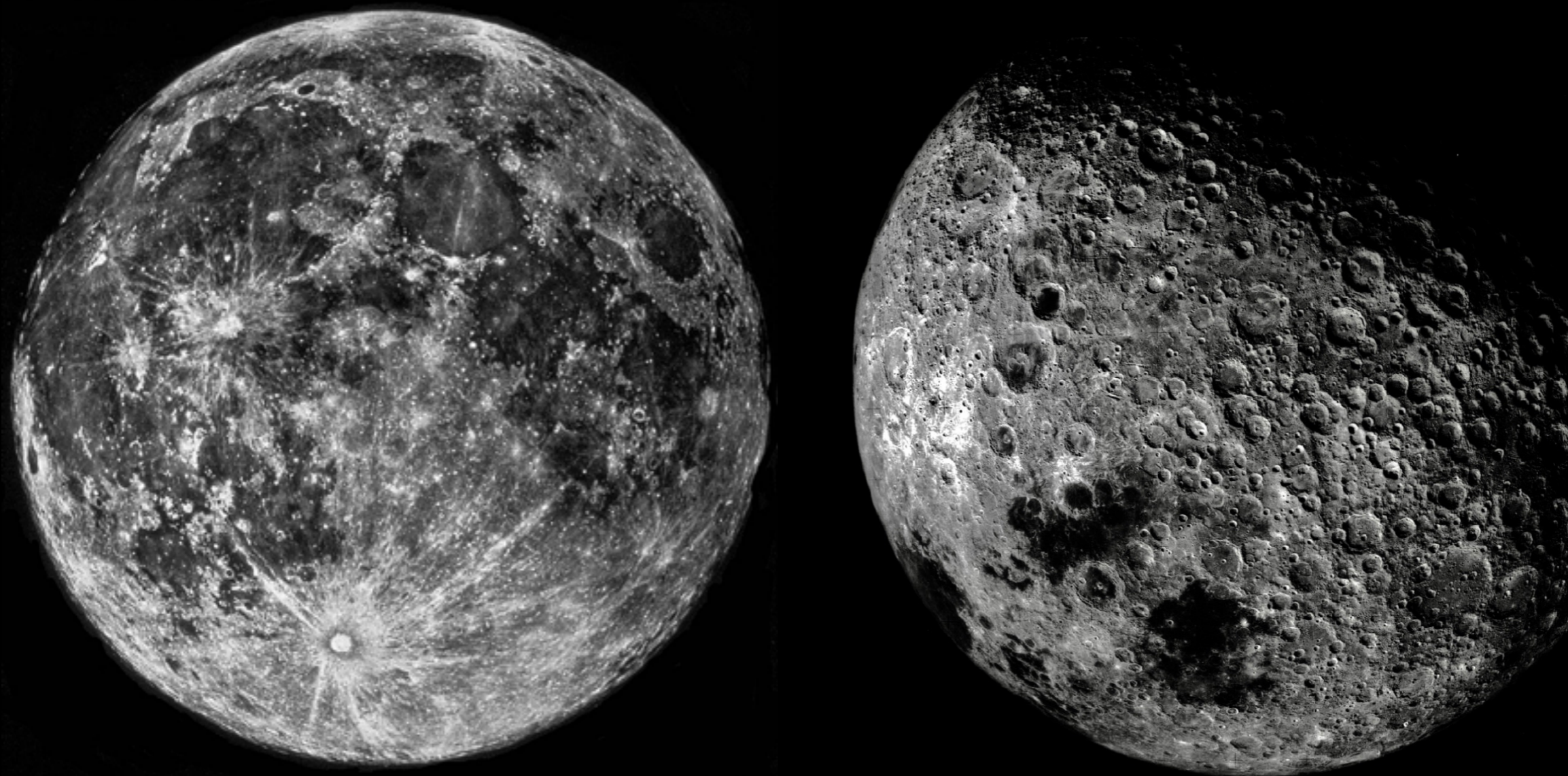
Mjesec kao vrata u Sunčev sustav



Kad su astronauti, tijekom programa Apollo, počeli kopati po površini Mjeseca nisu iskapali samo suhi, tamni talog, nego su i putovali kroz vrijeme. Kamenje i talog koji su kroz program Apollo doneseni na Zemlju sadržavaju ključne tragove o tome kako su Mjesec i Zemlja nastali, o tome kako i kada je došlo do prvoga taljenja, o jačini površinskih udara te njihovim promjenama u vremenu, pa čak i o povijesti Sunca. Većina tih informacija, ključnih dijelova priče o planetu Zemlji, ne može se naučiti proučavanjem kamenja na Zemlji zato što je naš planet toliko geološki aktivan da je obrisao većinu zapisa. Tragovi su izgubljeni u milijardama godina nastajanja planina, vulkanizma, atmosferskog djelovanja i erozije. Tektonske ploče koje se međusobno sudaraju i kiša koja je padala obrisale su većinu Zemljine povijesti, posebno njezino rano doba prije više od četiri

milijarde godina. Na svom vrhuncu Mjesec je bio geološki aktivan, stvorivši nevjerojatan niz proizvoda, ali njegov geološki motor nije bio snažan pa nisu izgubljeni svi podaci o ranim događajima. Mjesečeve tajne zabilježene su u njegovim kraterima, ravnicama i stijinama. Ovaj tekst otkriva tajne koje su znanstvenici koji proučavaju Mjesec otkrili nakon što su misije iz programa Apollo donijele 382 kilograma kamenja i taloga s toga predivnog tijela koje ukrašava noćno nebo.

U tom smislu naglasak je na geologiji. Uzorci doneseni s misija Apollo zvijezde su te predstave. No da bi se shvatilo Mjesec, potrebni su drugi geološki pristupi, poput geološkog kartiranja s fotografija visoke kvalitete, proučavanja sličnih osobina Zemlje (primjerice udarnih kratera) i eksperimenata u laboratorijima.



Mjesec, sprijeda i straga

Fotografija lijevo teleskopski je prikaz one polovice Mjeseca koja gleda prema Zemlji, snimljene u zvjezdarnici Lick u Kaliforniji (Sjedinjene Američke Države). Fotografija desno snimljena je tijekom misije Apolla 16 i većim dijelom prikazuje dalju stranu, osim tamnih dijelova s lijeve strane, koji se vide sa Zemlje, ali jedva. Dva osnovna tipa tla jasno su vidljiva. Kopna, koja se posebno dobro vide na fotografiji dalje strane, svijetla su i imaju mnogo kratera. Mora su tamnija i glatkija; nastala su kada su se depresije napunile tokovima lave. Jedna od nepoznanica o Mjesecu jest zašto se manje mora nalazi na daljoj, a ne na bližoj strani. Primijetite kako je na daljoj strani mnogo kratera koji se nalaze jedan do drugoga. Te goleme udubine nastale su od ranih udara na površinu tla, koji su vjerojatno utjecali i na Zemlju.

Poglavlje 2

Mjesečev krajolik

Mjesec nije poput Zemlje. Nema oceane, jezera, rijeke ni potoke. Na polovima nema vjetrom šibana ledena polja (kape). Ruže i tratinčice ne niču iz njegove poput ugljena sive, prašnjave površine. Hrastovi se ne izdižu iznad njegova izrovanog tla. Nema tragova otisaka dinosaurovih stopa. Papučice nisu konjugirale, amebe se nisu razdijelile ni psi zalajali. Na Mjesecu nikada nije zapuhao vjetar i ljudi ondje nikada nisu živjeli. No Mjesec je stoljećima golicao njihovu maštu, a nekolicina sretnika čak je i bila na njemu.

Kopna i mora

Glavne značajke Mjesečeve površine vidljive su golim okom. Na njemu postoje svjetlija i tamnija područja. Ta uočljivo različita područja nazivaju se kopna (lat. *terrae*) i mora (lat. *maria*). Kopna su svjetlija, a mora tamnija. Te tamnije ravnice nazivaju se Mjesečevim morima zato što su ta područja Thomasu Hariotu i Galileu Galileiju, prvim znanstvenicima koji su teleskopom proučavali Mjesec, nalikovala na mora. Latinske nazive *terrae* i *maria* Mjesečevu krajobrazu dao je Johannes Kepler, Hariotov i Galileov suvremenik. Štoviše, čini se da je pomisao kako ti pojmovi odgovaraju pojmovima kopna i mora bila popularna među starim Grcima mnogo prije nego što su teleskopi izumljeni. Premda danas znamo da to nisu mora (na Mjesecu nikada nije bilo tekuće vode), i dalje ta područja na Mjesecu nazivamo morima.

Kopno i krateri

Pobliže proučavanje pokazalo je da se kopna sastoje od bezbroj kratera koji se preklapaju, a veličinom sežu od najmanjih vidljivih na fotografijama (1 metar na najboljim Apollovim fotografijama) do većih od 1000 km. Svi ti krateri nastali su kada su meteoriti udarali u Mjesec. Prije nego što su svemirske letjelice (robotske ili one kojima upravljaju ljudi) sletjele na Mjesec, mnogi znanstvenici vjerovali su da je većina kratera vulkanskog podrijetla. No kako smo otkrivali više o prirodi Mjesečevih kratera i proučavali utjecaj udarnih kratera na Zemlju, postalo je jasno da su Mjesec gađali svemirski projektili. Uzorci koje su na Zemlju donijele misije Apollo potvrdili su sveprisutnu ulogu udarnih procesa u oblikovanju Mjesečeva krajolika.

Izrazom „udar meteorita“ opisuje se proces u kojem su o površinu nekog tijela udarali predmeti iz svemira. Ti predmeti nazivaju se projektilima.

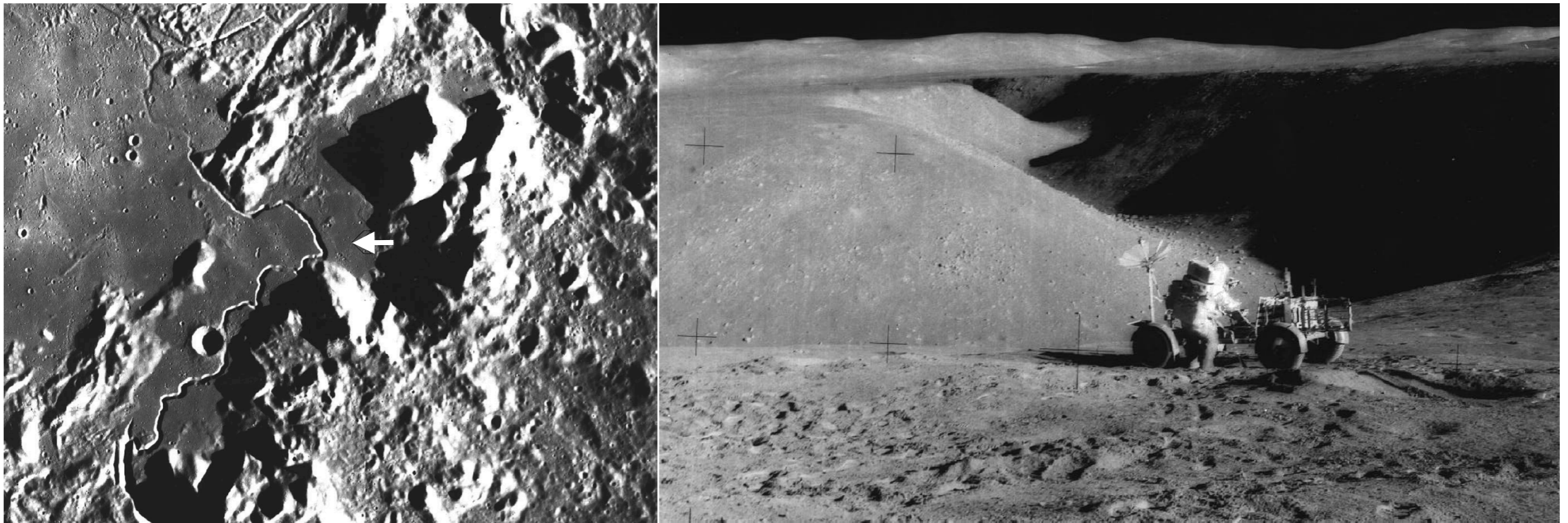
Proces udara je eksplozivan. Veliki projektil neće samo udariti o površinu nekoga planeta. U trenutku kad udari, giba se izuzetno brzo, brže od 20 km/sec (70 000 km/h). Taj susret nije blag. Visokotlačni valovi udaraju i u projektil i u planet koji je taj projektil pogodio. Projektil je toliko uništen prelaženjem udarnih valova da gotovo čitav ispari. Materijal od kojega je sastavljen pogodeni planet snažno se komprimira pa dekomprimira. Jedan manji dio ispari, dio se rastali, ali većina (masa otprilike 10 000 puta veća

od mase projektila) bude izbačena iz pogođenog područja i nakuplja se oko rupe koja nastane od udara. Dno toga kratera niže je od izvorne površine tla, a materijal nakupljen na rubovima viši. To je karakterističan oblik udarnoga kratera i razlikuje se od vulkanskih kaldera (na kojima nema nakupljenog materijala) ili piroklastičnih (cinder) vulkana (središnja rupa nalazi se iznad izvorne površine tla). Osim toga, mala količina pogođene površine

biva odbačena na velike udaljenosti po radijalnim stazama koje se nazivaju zrakama.

Mora

Mora pokrivaju 16 posto površine Mjeseca i sastavljena su od tokova lave koji su ispunili relativno niska područja, većinom unutar golemih udarnih udubina (bazena). Stoga, premda Mjesec



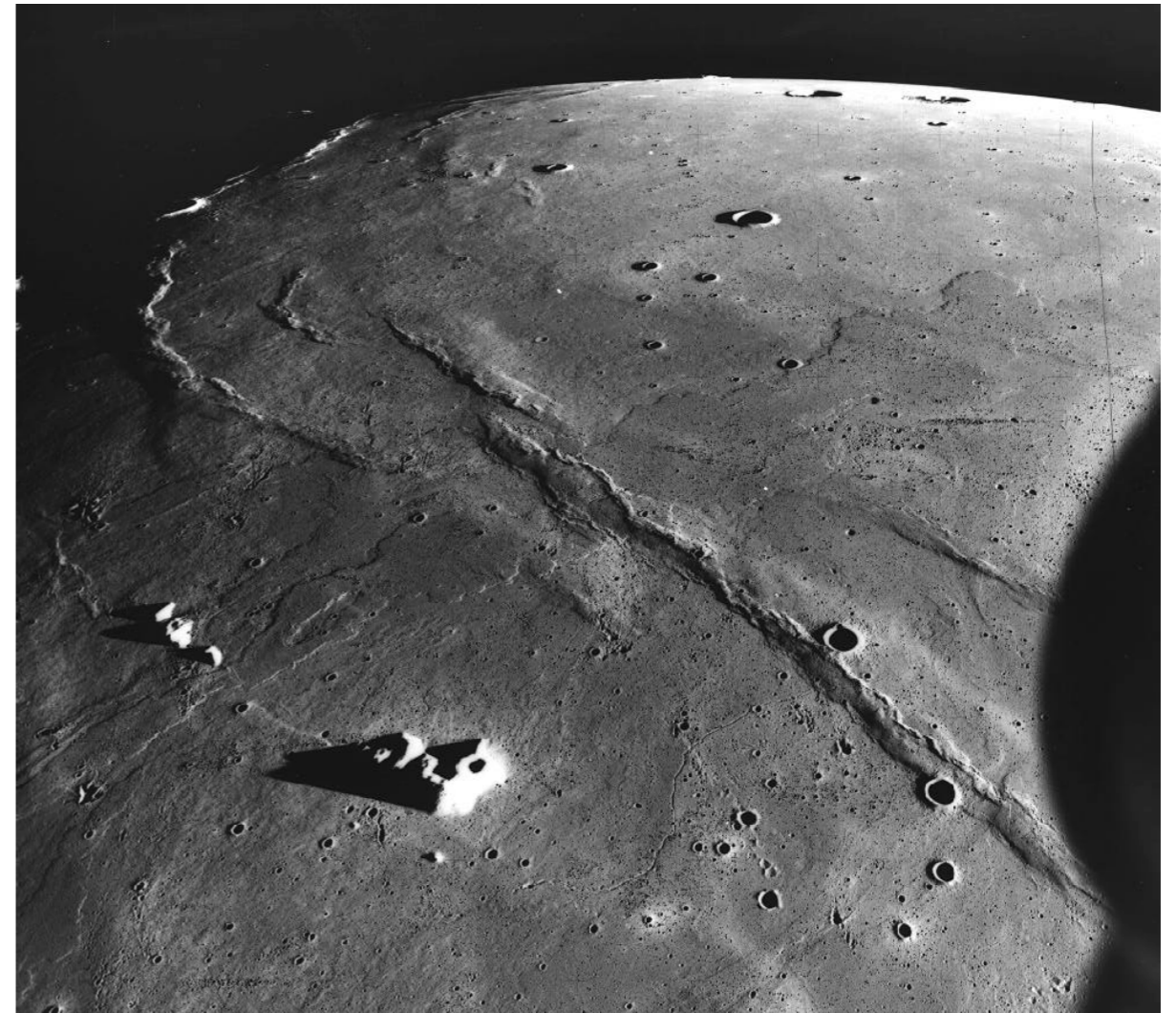
Riječni kanali ili kanali lave

O podrijetlu dolina, koje se nazivaju prokopima [U literaturi će se naći i nazivi graba ili jarak; nap. ur.], a nalikuju na riječne doline, raspravljalo se i prije nego što je misija Apollo 15 obišla jednu od njih, Hadleyjev prokop, prikazanu ovdje, a snimljenu iz orbite (bijela strelica pokazuje točku na koju je letjelica sletjela) i s površine Mjeseca. Neki znanstvenici tvrdili su da su prokopi riječne doline, što bi značilo da je na Mjesecu u nekom trenutku bilo tekuće vode. Drugi su smatrali da prokopi nalikuju na kanale koji nastaju od toka lave. Ono što je posada Apolla 15 ondje uočila, te uzorci doneseni otamo, riješili su taj spor: prokopi su vulkanskoga podrijetla.

nema mnogo vulkanskih kratera, on jest doživio vulkansku aktivnost. Poblize proučavanje odnosa između kopna i mora pokazuje da se ta aktivnost dogodila nakon što su nastala kopna i nakon što je nastala većina kratera. Stoga, mora su mlađa od kopna.

Kako znamo da su tamne nizine prekrivene tokom lave? Zašto ne nekom drugom vrstom kamenja? Čak i prije nego što su misije Apollo donijele uzorke iz Mjesečevih mora, mnogi su znanstvenici vjerovali da su nizine vulkanskog podrijetla. Imaju neke osobine izuzetno nalik na tokove lave. Druge nalikuju na kanale lave, koji na Zemlji nastaju na nekim oblicima tokova lave. Treće pak osobine nalikuju na urušenja u podzemnim vulkanskim područjima koja se nazivaju tunelima lave. Te i druge značajke još su i prije misija Apollo uvjerile većinu znanstvenika koji proučavaju Mjesec da su mora zapravo nizine nastale od lave. To su potvrdili uzorci prikupljeni iz tih mora, a koji su vrsta vulkanske stijene koja se naziva bazaltom.

Mora ispunjavaju mnoge od divovskih udarnih udubina (odnosno bazena) koje krasi bliže Mjesečevu stranu. (Uvijek je ista Mjesečeva polutka okrenuta prema Zemlji zato što je Zemljina gravitacija „zaključala“ Mjesečevu rotaciju.) 1960-ih godina neki su znanstvenici tvrdili kako to ukazuje na uzročno-posljedičnu vezu: udar ne samo da je izazvao nastanak velikog kratera, nego je i doveo do taljenja Mjesečeve unutrašnjosti. Stoga su, tvrdilo se, udari potaknuli vulkanizam. Međutim, pomno geološko



Tokovi lave kapaju po Moru kiša

Dugački tokovi lave (od donjeg lijevog do gornjeg desnog kuta, prolazeći kroz sredinu fotografije) u Moru kiša. Ti tokovi dugi su i do 400 kilometara (na ovoj Apollovoj fotografiji ne vidi se čitava duljina toka), a na rubovima im se nalaze 30 metara visoke litice. Grebeni koji prolaze otprilike okomito u odnosu na tokove lave nazivaju se namreškanim grebenima. Oni su nastali nakon tokova jer se nisu mogli oduprijeti toku lave. Glatke nizine koje okružuju izražene tokove lave također su lava, ali starija, pa je rubove teže vidjeti. Krateri zdesna, koji se protežu uz greben u promjeru su široki otprilike pet kilometara.

kartiranje uz korištenje visokokvalitetnim teleskopskim fotografijama pokazalo je kako mora moraju biti znatno mlađa od bazena u kojima se nalaze. Primjerice, kada je došlo do udara od kojeg je nastao veliki bazen Mora kiša (desno oko „Čovjeka na Mjesecu“), materijal iz tla izbačen je u zrak i od njega su nastale planine oko bazena Mora vedrine (lijevo oko); stoga Vedrina mora biti starija od Kiše. Bazen Mora vedrine ujedno je i dom Moru vedrine. Da je lava u Moru vedrine nastala istodobno kad i bazen, na njoj bi se morali vidjeti učinci silovita udara od kojega je nastao bazen Mora kiša, a ne postoje tragovi o tome.

Nadalje, mora sadržavaju mnogo manje kratera nego naslage u bazenima, što znači da kraće postoje (što je starija površina, to je veći broj kratera). Naravno, uzorci iz Apollo misija potvrdili su te pronicave geološke tvrdnje i pokazali kako su mora koja se nalaze u nekima od bazena nastala milijardu godina nakon nastanka bazena.

Jedna druga vrsta naslaga koja se povezuje s morima, premda je ima i na područjima kopna, poznata je kao tamna naslaga plašta. Ta naslaga vidljiva je samo teleskopima ili iz svemirske letjelice koja se nalazi u blizini Mjeseca, ali svejedno je bitna. Prije Apollovih misija većina znanstvenika vjerovala je da su tamne naslage plašta nastale od eksplozivnih vulkanskih erupcija

poznatih pod nazivom piroklastične (u doslovnom prijevodu: „komadi vatre“) erupcije. Čini se da su se neke od tih naslaga povezivale s niskim, širokim, tamnim piroklastičnim vulkanima, što je bilo u skladu sa shvaćanjem da su nastali od piroklastičnih erupcija – tako, naime, piroklastični vulkani nastaju na Zemlji. Ovaj geološki zaključak dokazan je misijom Apollo 17, koja je donijela uzorak „narančastoga tla“, zbirke sićušnih staklenih kapljica, poput onih pronađenih u Zemaljskim piroklastičnim erupcijama.

Tajne mora

I dalje postoje neke nepoznanice u vezi s morima. Kao prvo, zašto nema vulkana, osim piroklastičnih vulkana koji se povezuju s tamnim naslagama plašta? Kao drugo, ako nema vidljivih vulkana, odakle je lava eruptila? U nekim slučajevima vidimo da je lava potekla s rubova golemih udarnih udubina, možda kroz koncentrične pukotine. No u većini slučajeva ne vidimo mjesta s kojih je potekla lava. Još jedna zanimljiva značajka jest to što se gotovo sva mora nalaze na onoj strani Mjeseca koja je okrenuta prema Zemlji. Većina znanstvenika pretpostavlja da je do te neujednačenosti došlo zbog toga što je kora kopna deblja na daljoj Mjesečevoj strani, zbog čega se bazalti teško probijaju sasvim do površine.

Poglavlje 3

Prašnjava površina Mjeseca



Neke posjetitelje vulkana Kilauea na Havajima, nakon što vide golemi krajolik prekriven svježom lavom, katkad se zna čuti kako kažu „Izgleda baš kao Mjesec.“ E, pa, ne izgleda. Svježi tokovi lave na Kilaueai i drugim aktivnim vulkanima obično su tamnosivi i goli kao Mjesec, ali tu svaka sličnost prestaje. Površina mjeseca je boje ugljena; pješčana je i ima mnogo fine naslage. Kroz milijarde godina udari meteorita samljeli su nekoć svježije površine u prah. Zbog toga što Mjesec gotovo da i nema atmosferu, čak i najmanji meteorit udara u nezaštićenu površinu punom kozmičkom brzinom od najmanje 20 km u sekundi. Neke stijene leže razbacane po površini, nalik na stijene koje izviruju iz svježega snijega na padinama Aspena ili Vaila. Čak ni te stijene neće dugo izdržati, možda nekoliko stotina milijuna godina, prije nego što ih nemilosrdna kiša brzih projektila samelje u prah. Naravno, povremeno dođe kakav veći projektil, recimo veličine automobila, i iskopa novi sloj stijena ispod prekrivača od prašnjave naslage. Meteorski pljusak tada počinje mljeti nove stijene, polako, ali neminovno.

Prašnjavi prekrivač koji prekriva površinu Mjeseca naziva se lunarnim regolitom, što je pojam kojim se opisuju mehanički nastali slojevi otpada na površinama planetā. Mnogi znanstvenici nazivaju ga i „Mjesečevim tлом“, ali on ne sadržava nijednu od organskih tvari koje se nalaze u tlima na Zemlji. Neki ljudi služe se pojmom „naslaga“ [ili „talog“, ili „sediment“, prim. ur.] kada govore o regolitu. Premda se nalazi posvuda, regolit je tanak, od dva metra na najmlađim morima do možda 20 metara na najstarijim kopnenim površinama.



Grabljanje Mjesečeve prašine

Jedan od najkorisnijih načina da se dobiju uzorci kamenja s Mjeseca jest da se grabljama prođe kroz regolit. Tako djelići kamenja veći od otprilike jednog centimetra ostanu na zupcima posebnih grablji, a manji komadići propadnu kroz njih. Primijetite velik raspon u veličini djelića kamenja. Jedan veliki kamen leži u blizini grablji, a jedan srednje veliki kamen vidi se između astronautovih nogu zajedno s bezbroj drugih kamenčića. Većina regolita manja je od sitnoga pijeska. Otisci astronautovih stopala jasno su vidljivi zbog toga što se regolit sastoji od velikog postotka sićušnih čestica (otprilike 20 % čestica regolita manje je od 0,02 milimetra).

Mjesečev regolit ima i dobrih i loših strana. S jedne strane, u njemu se nalazi mješavina lunarnih materijala prisutnih u tlu, pa jedna lopata tog materijala sadržava većinu tipova kamenja koje se pojavljuje u tom području. Sadržava čak i neke djeliće kamenja koje je ondje odbačeno u udarima koji su se dogodili u udaljenim područjima. Stoga je regolit izvrsna zbirka kamenja. Sadržava i tragove o udarima koji su se dogodili tijekom proteklih nekoliko stotina milijuna do milijarde godina, ključne informacije za shvaćanje stope udara na Zemlju u tom razdoblju. S druge strane, ti tragovi o udarima nisu baš jasno zapisani, a mi se zasad još nismo ni približili tomu da ih shvatimo. Osim toga, regolitni prekrivač umnogome zamagljuje pojedinosti geologije bazične stijene. Zbog toga je terenski rad tijekom misija Apollo bio težak i otežavao nam je shvaćanje povijesti Mjeseca.

Regolit se sastoji od onoga što bismo i očekivali od gomile otpadnog materijala nastale udarom. Sadržava komadiće stijena i minerala koji potječu iz izvorne bazične stijene. Sadržava i staklaste djeliće nastale od udara. U mnogim mjesečevim regolitima, polovica čestica sastoji se od komadića minerala međusobno povezanih udarnim staklom. Znanstvenici te predmete nazivaju aglutinatima. Kemijski sastav regolita odražava sastav bazične stijene ispod njega. Regolit u kopnima bogat je aluminijem, a njime su bogate i stijene koje se ondje nalaze. Regolit u morima

bogat je željezom i magnezijem, glavnim sastavnicama bazalta. Dolazi do zanemariva miješanja bazaltnih spojeva iz tla ili iz udaljenih kopnenih područja, nedovoljno da zamaskira temeljnu razliku između kopna i mora.

Jedna od možda vrlo bitnih informacija sadržanih u kompleksnoj gomili materijala na površini Mjeseca jest povijest Sunca. Najbliža zvijezda odašilje velike količine čestica koje se nazivaju Sunčevim vjetrom. Sastavljene većinom od vodika, helija, neona, ugljika i dušika, čestice Sunčeva vjetra udaraju o površinu Mjeseca i usađuju se u zrnca minerala. Količina se s vremenom povećava. U pravilu, analizom tih proizvoda Sunčeva vjetra, posebno njihova izotopnog sastava, možemo odrediti jesu li se s vremenom promijenili uvjeti unutar Sunca.

Isti ti plinovi Sunčeva vjetra mogu se pokazati korisnima kada ljudi jednoga dana osnuju trajna naselja na Mjesecu. Sustavi za održavanje života zahtijevaju elemente koji daju život: vodik i kisik (za vodu), ugljik i dušik. Mnogo se kisika nalazi u silikatima, minerali u mjesečevu kamenju (otprilike 50 % po volumenu) i Sunčev vjetar čine ostatak. Dakle, kada su astronauti iskapali Mjesečev regolit da ga donesu na Zemlju, nisu samo uzimali uzorke, nego su i tražili minerale!

Poglavlje 4

Mjesečeve stijene

Geolozi mogu nevjerojatno mnogo naučiti o nekome planetu pregledavajući fotografije i koristeći se drugim oblicima podataka prikupljenih na daljinu, ali u nekom trenutku ipak moraju prikupiti neke uzorke. Primjerice, premda su geolozi preko fotografija neupitno utvrdili da su mora mlađa od kopna, nisu znali njihovu točnu starost u godinama. Stijene su ujedno i ključ za provjeravanje određenih pretpostavki. Primjerice, smatralo se da su mora prekrivena tokovima lave, ali dok nismo prikupili uzorke iz njih nismo to sa sigurnošću mogli tvrditi. Osim toga, nijednom drugom metodom osim laboratorijskom analizom ne može se utvrditi kemijski i mineraloški sastav stijene. Što je najvažnije, uzorci su puni iznenađenja i kazuju nam stvari koje nismo očekivali. Najbolji primjer geološkoga iznenađenja su kopna, a to iznenađenje dolazi s velikim posljedicama za naše razumijevanje toga kako je Zemlja izgledala prije 4,5 milijarde godina.

Stijene na kopnima, ocean Mjesečeve magme i možda kataklizma

Ma kako čudno zvučalo, prvo kamenje s kopna prikupljeno je za prvog slijetanja na Mjesec, što je učinila misija Apollo 11, koja je sletjela na More tišine, *Mare Tranquillitatis*. Premda je većina prikupljenoga kamenja uistinu bila bazaltna, neki komadići kamenja, čija se veličina mjeri u milimetrima, prilično su se razlikovali od njih. Sastojali su se uglavnom od minerala plagioklasa feldspata; neki djelići bili su isključivo plagioklas. Takve stijene nazivaju se anortozitima. Neki znanstvenici natuknuli

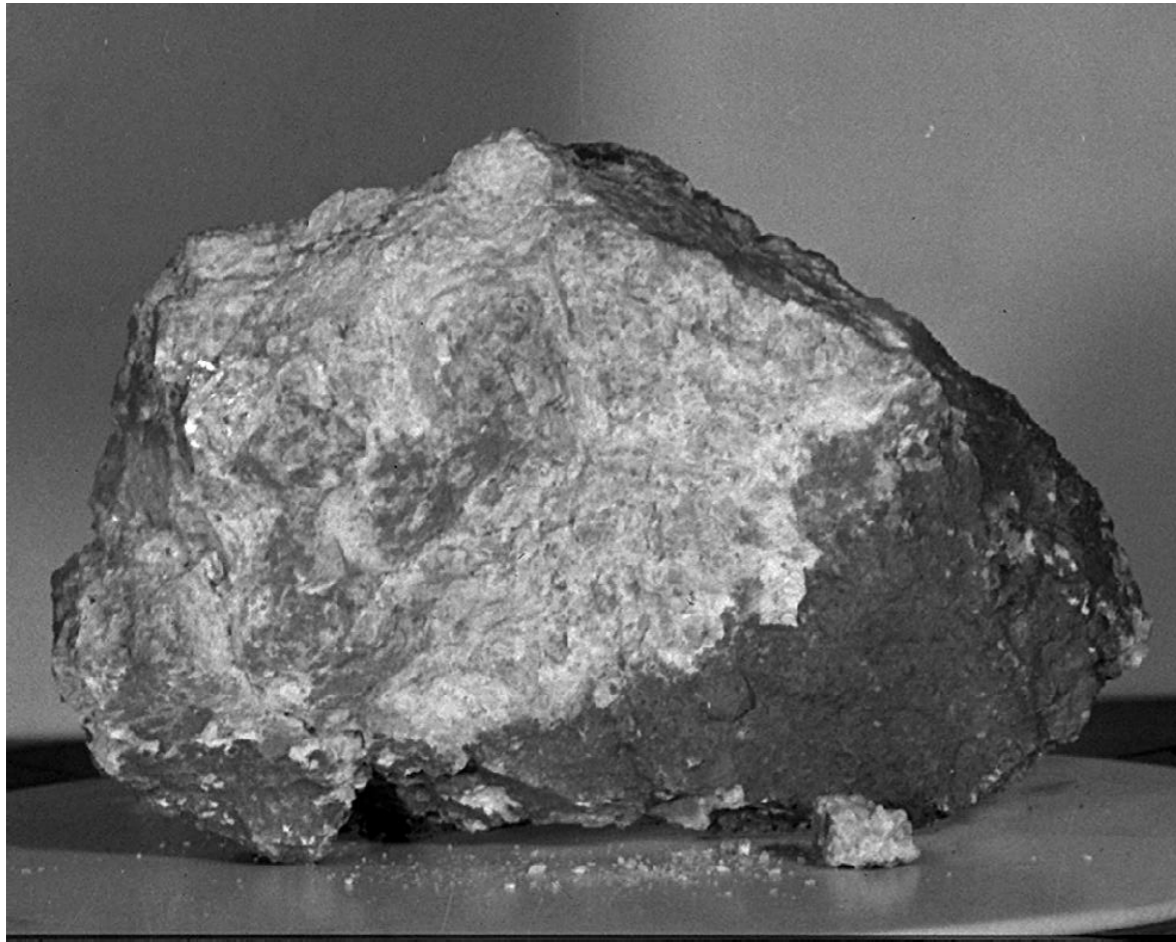


Astronaut geolog bavi se terenskim radom na Mjesecu

Geolog Harrison H. Schmitt proučava veliku stijenu na mjestu gdje se spustio Apollo 17. Ova velika stijena sadržava bezbrojne djeliće kamenja koje se stopilo od silovita udara od kojeg je nastao 750 kilometarski bazen Mora vedrine na Mjesecu.

su kako je moguće da su ti djelići doletjeli na mjesto na koje je sletio Apollo 11 nakon udaljenih udara na području kopna. Stoga, tvrdili su, kopna su prepuna plagioklasa. Bila je to hrabra ekstrapolacija koju su naknadne misije Apollo koje su sletjele na ta područja potvrdile.

No za neke znanstvenike to nije bilo dovoljno. Ako su kopna obogaćena plagioklasom, kako je do toga došlo? Jedan način da do toga dođe jest flotacija u magmi (rastaljenoj stijeni). To se



Komad izvorne Mjesečeve kore veličine šake

Ovaj uzorak stijene prikupljen je tijekom misije Apollo 15. Riječ je o anortozitu, stijeni koja se sastoji od malo čega drugoga osim minerala feldspata. Anortoziti su nastali od golemog sustava magme, oceana Mjesečeve magme, koji je okruživao novonastali Mjesec. Zbog njegove važnosti u shvaćanju podrijetla Mjesečeve kore, ova stijena dobila je nadimak „stijena postanka“.

dogođa u debelim podzemnim slojevima magme na Zemlji. Dakle, plagioklas je plutao u magmi. No ako su **sve** Mjesečeve kopnene površine bogate plagioklasom, to znači da je magma morala teći po cijelome Mjesecu. Rani Mjesec morao je biti prekriven oceanom magme, koji se danas obično naziva oceanom

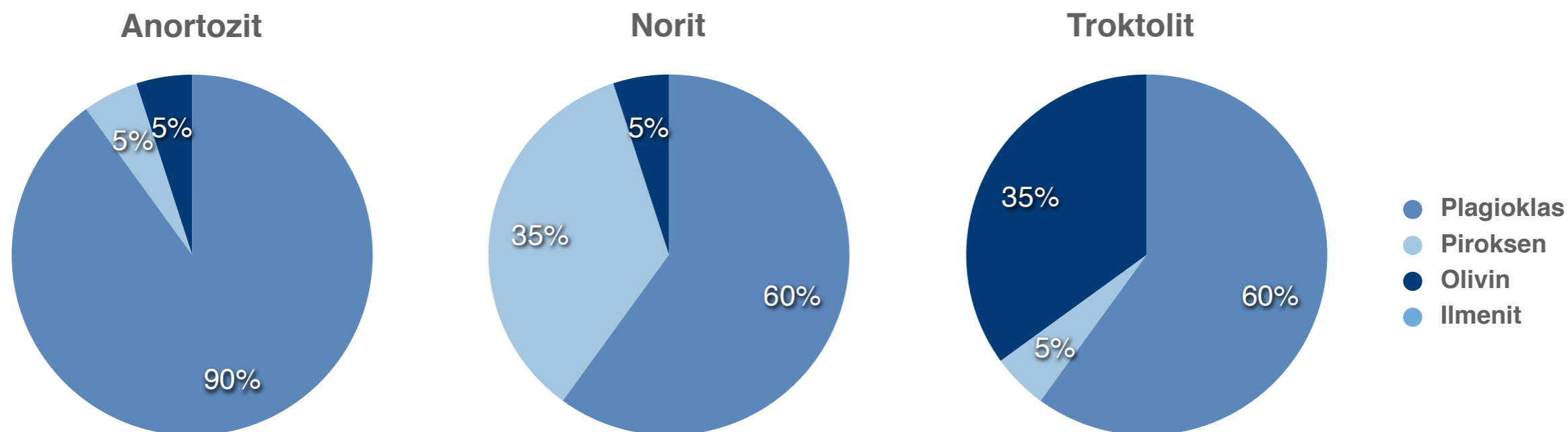


Razbij i pomiješaj, pomiješaj i rastopi

Ovaj kamen, koji je na Zemlju donijela misija Apollo 16, svjedoči o djelovanju udara na koru planeta. Riječ je o mješavini djelića kamena i minerala, od kojih su neki sami po sebi već složena mješavina ostataka kamena. Geolozi te složene stijene nazivaju brečama.

Mjesečeve magme. Premda neki znanstvenici nisu uvjereni u točnost pretpostavke o oceanu magme, ništa što smo otad naučili ne proturječi shvaćanju da je prije 4,5 milijarde godina Mjesec bio prekriven slojem magme debelim stotine kilometara. To shvaćanje preneseno je i na mladu Zemlju, pa čak i na Mars i

Udjeli minerala u kopnenim stijenama



neke asteroide. A do svega toga došlo je zato što su kreativni i hrabri znanstvenici vidjeli posebnu važnost u nekoliko desetaka bijelih djelića anortozita razbacanih po crno-sivoj gomili Mjesečeva regolita.

Koncept oceana magme 1994. godine preispitala je američka misija na Mjesec pod nazivom Clementine. Clementine je dva mjeseca provela u orbiti od jednog do drugog pola, i za to je vrijeme snimila tisuće fotografija u nekoliko valnih duljina.

Znanstvenici sa Sveučilišta na Havajima razvili su metodu kojom se može odrediti sadržaj željeza Mjesečeve površine prema udjelima intenziteta svjetla koje se odražava u različitim valnim duljinama. Pretpostavka o oceanu magme predviđa da bi

Mjesečeva kopna trebala sadržavati nizak maseni udio željeza, manje od otprilike 5 % (kada je zabilježen kao željezov oksid, FeO). Prema mjerenjima misije Clementine, kopna u prosjeku imaju malo manje od 5 % masenog udjela FeO, što se slaže sa shvaćanjem o oceanu magme.

Na kopnima se nalaze i drugi tipovi magmatskih stijena. One kojih ima najviše nazivaju se noriti i troktoliti, stijene koje su jednako dijelom sastavljene od plagioklasa i olivina, ili plagioklasa i piroksena (i olivin i piroksen silikatni su minerali koji sadržavaju željezo i magnezij). Određivanje starosti ukazuje na to da su te stijene malo mlađe od anortozita i da su nastale nakon što se ocean magme kristalizirao.

Teško je raditi sa stijenama na kopnima zato što su svi ti udari od kojih su nastali krateri koji se tako dobro vide na fotografijama kopna, uzeli danak stijenama. Većina stijena na kopnima složene su mješavine drugih stijena. Izvorne magmatske stijene rastalile su se, pomiješale, porazbijale i općenito su ih uništili udari kroz Mjesečevih prvih pola milijarde godina. Te složene stijene nazivamo brečama. Neke su tako pomiješane da sadržavaju breče unutar breča unutar breča. Većina anortozita, norita i troktolita zapravo su djelići stijena unutar breča. Vrlo je teško izdvojiti ih.

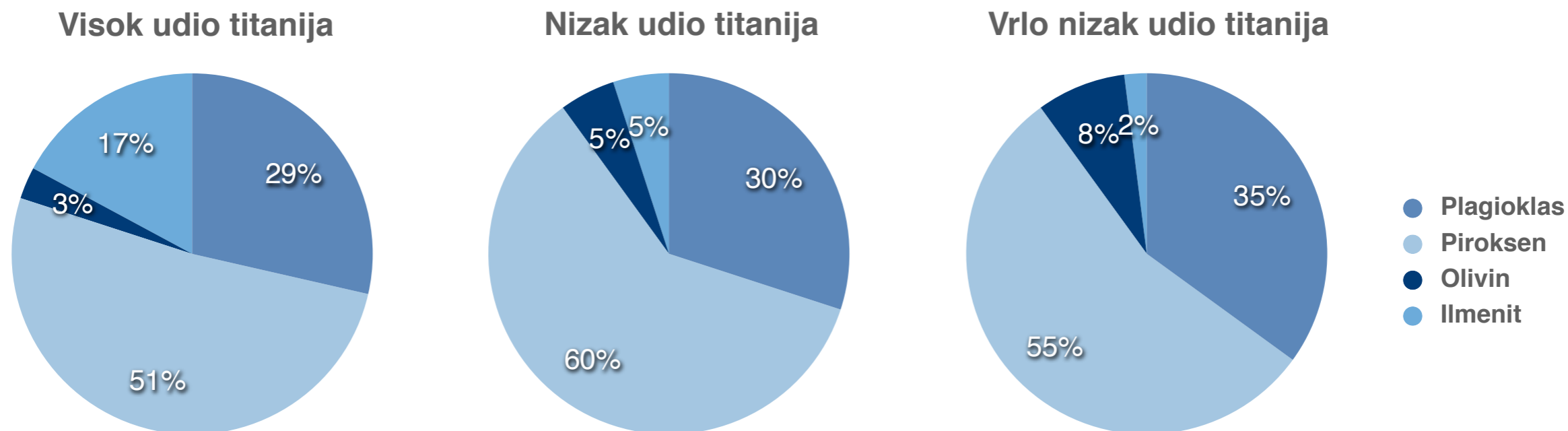
Jedna zanimljivost u vezi s brečama na kopnima, posebno onima koje nazivamo brečama rastaljenim od udara (to su stijene koje su se djelomično rastalile od nekog udara), jest to što većina njih potječe iz relativno kratkog razdoblja, od otprilike 3,85 do 4 milijarde godina. To je neke znanstvenike navelo da predlože (ponovo hrabro – čini se da znanstvenici koji proučavaju Mjesec nisu plašljivi!) da je u tom kratkom razdoblju Mjesec bio izložen izuzetno jakim udarima. Ako se to jest dogodilo, vjerojatno je zadesilo i Zemlju, možda dovevši i do nastanka prvih sedimentnih bazena i, moguće je, sprečavajući nastanak prvoga života na ovom planetu ili naštetivši životu, u kakvom god on obliku bio razvijen prije četiri milijarde godina. Ta pretpostavka o kataklizmičnom bombardiranju Mjeseca još nije dokazana. Moguće je da zaključak kako kopnene breče rastaljene od udara potječu iz relativno kratkog razdoblja odražava samo loše uzorkovanje – možda smo uzeli uzorke samo iz jedne ili dviju



Remek-djela s više prstenova

Mjesec ima otprilike 35 prstenastih (s više od jednog prstena), kružnih udarnih tvorevina većih od 300 km u promjeru. Tvorevina prikazana na ovoj fotografiji, Istočni bazen, ima tri vrlo izražena prstena. Promjer vanjskoga je 930 km. Moguće je da su svi ti divovski krateri nastali u kratkome razdoblju između 3,85 i 4 milijarde godina. Znanstvenici ne mogu sa sigurnošću reći kako prstenovi nastaju tijekom udara.

Udjeli minerala u bazaltima Mjesečevih mora



velikih udarnih udubina. Tu pretpostavku možemo provjeriti prikupimo li uzorke s još mnogo drugih lokaliteta na Mjesecu.

U usporedbi s drugim uzorcima s Mjeseca, mnoge breče na kopnima i nekoliko magmatskih stijena, obogaćeno je nizom elemenata koji većini nas nisu poznati. To su oni elementi koji se obično ne nalaze u brojnim mineralima u stijenama. Posljedica toga je da kako se magma kristalizira, onaj njezin dio koji je još tekući postupno postaje bogatiji tim posebnim elementima. Stijene koje ih sadržavaju nazivaju se krep, što dolazi od pojmova kalij (čiji je kemijski simbol **K**), rijetki zemni metali (skraćeno **REE**, prema engleskom rare-earth elements) i fosfor (**P**). Većina stručnjaka za Mjesec smatra da je krep posljednji

ostatak kristalizacije oceana magme. Golemi udari zadiru duboko u dublju koru Mjeseca i iskapaju je, miješajući je s ostalim otpadom i tako nastaju krep breče.

More: tokovi lave i vodoskoci vatre

Misije na području mora donijele su na Zemlju mnogo uzoraka bazalta. Bazalt se od kopnenih stijena razlikuje po tome što ima više olivina i piroksena, a manje plagioklasa. Mnogi od njih sadržavaju iznenađujuće velike količine ilmenita (titanijskog željeza), minerala heksagonske simetrije. U prvoj seriji uzoraka bilo je toliko ilmenita (i nekih drugih, njemu srodnih minerala) da su prozvani bazaltima „bogatim titanijem“, u čast izuzetno velikoj



Komad toka lave

Ovaj tipični uzorak bazalta iz mora sastoji se većinom od smeđeg piroksena (sivkastog na fotografiji) i bijelog feldspata. Rupe u ovim uzorcima smrznuti su mjehurići plina. Neki uzorci bazalta imaju mnogo takvih mjehurića (koje geolozi nazivaju vezikulama), dok drugi nemaju nijedan.

količini titanija u bazaltima Mjesečevih mora, u usporedbi sa zemaljskim bazaltima. Druga misija, Apollo 12, donijela je bazalte koji su imali manju koncentraciju titanija pa su oni prozvani bazaltima s „niskim udjelom titanija“. Naknadne misije, uključujući automatiziranu misiju koja je trebala prikupiti uzorke, a na Mjesec ju je poslao Sovjetski Savez, donijela je bazalte iz Mjesečevih mora koji su imali još nižu razinu titanija, pa su oni prozvani bazaltima s „vrlo niskim udjelom titanija“. Većina znanstvenika smatra da bazalti Mjesečevih mora sadržavaju širok spektar

udjela titanija. Podaci dobiveni iz misije Clementine to potvrđuju i pokazuju da bazalti bogati titanijem nisu vrlo česti na Mjesecu.

Oblici minerala zrnaca i to kako su srasli s bazaltima Mjesečevih mora ukazuju na to da su te stijene nastale u tokovima lave; neke tanje (debljine možda jednog metra), neke deblje (do možda 30 metara). To nije neobično za bazaltne tokove na Zemlji. I mnogi bazalti Mjesečevih mora sadržavaju rupe koje se nazivaju vezikulama, a nastale su od mjehurića plina koji su ostali zarobljeni kad se lava ukrućivala. Njih sadržavaju i bazalti na Zemlji. Na Zemlji, plinovi koji u velikome broju „bježe“ iz lave ugljikov su dioksid i vodena para, u društvu sumpora i klora. Ne možemo s jednakom sigurnošću govoriti o tome koji su plinovi „pobjegli“ iz Mjesečeve lave, premda znamo da vodena para nije među njima jer na Mjesečevim stijenama ne postoje znakovi koji bi upućivali na postojanje vode ili vodonosnih minerala. Najsigurnije bi bilo pretpostaviti da je riječ o mješavini ugljikova dioksida i ugljikova monoksida, uz dodatak sumpornih plinova. [Prvotne analize uzoraka prikupljenih u misijama Apolla dovele su znanstvenike do zaključka da na Mjesecu ne postoje vodonosni minerali. Ti zaključci pobijeni su naknadnim proučavanjem tih uzoraka. Primjerice, 2007. godine proučavanje uzoraka zelenog stakla prikupljenog u misiji Apollo 15 i uzoraka poznatog narančastog tla prikupljenog u misiji Apollo 17, pokazalo je da uzorci sadržavaju znatne količine sumpora i vode, s vrlo malo ugljikova dioksida i monoksida. Procijenjena količina hlapljivih tvari usporediva je s količinom u bazaltima iz Zemljinih

srednjeoceanskih grebena. Stoga bi navedenu pretpostavku o tome da su plinovi koji su „pobjegli“ iz Mjesečeve lave mješavina „ugljikova dioksida i ugljikova monoksida, uz dodatak sumpornih plinova“ trebalo revidirati u mješavinu „sumpornih plinova, vodene pare, uz male količine ugljikova dioksida i monoksida“, prim. ur.]

Na Zemlji, kad se količina plina otopljena u magmi (tako se lava naziva dok je još pod zemljom) izrazito poveća, on se silovito oslobađa i uzrokuje eksplozivnu erupciju. Na mjestima poput Havaja, primjerice, lava eruptira u velikim vodoskocima visokim i do nekoliko stotina metara. Zatim pada na tlo u malim komadima i tako nastaju piroklastične naslage. To se događa i na Mjeseću, a nastaju naslage koje se talože na bokovima vulkana i u njegovoj okolini. Neki od tih uzoraka prikupljeni su tijekom misije Apolla 17. Taj uzorak, nazvan narančastim tlom, sastoji se od bezbroj malih zrnaca narančastoga stakla. Staklena su zato što su se brzo ohladila pa nije bilo dovoljno vremena da se u njima razviju kristali.

Mali uzorci piroklastičnoga stakla pronađeni su i na drugim predjelima. Neki su zeleni, neki žuti, neki pak crveni. Razlike u boji odraz su količine titanija sadržane u staklu. U zelenom staklu ga je najmanje (maseni udio iznosi otprilike 1 %), a u crvenom najviše (maseni udio iznosi 14 %) – više i od udjela titanija u bazaltima Mjesečevih mora s najvećim udjelom titanija.

Pokusi provedeni na bazaltima Mjesečevih mora i piroklastičnome staklu pokazuju da je to staklo nastalo kada se unutrašnjost Mjeseća djelomično rastalila. (Za razliku od čistih tvari, stijene nemaju jedinstvenu temperaturu taljenja, nego se tale u rasponu temperatura; za neke bazalte, primjerice, taj raspon je od 1000 do 1200 °C.) Pokusi su pokazali i da je do taljenja došlo na dubini od 100 do 500 km te da su stijene koje su se djelomično rastalile većim dijelom sadržavale olivin i piroksen, te ilmenit u područjima u kojima su nastali bazalti s visokim udjelom titanija. Prema tom shvaćanju dalo bi se zaključiti da su te duboke stijene, bogate olivinom i piroksenom, nastale iz Mjesečeva oceana magme: dok je plagioklas plutao kako bi stvorio anortozite u kori kopna, gušći minerali, olivin i piroksen, potonuli su. Stoga, premda se anortoziti i bazalti Mjesečevih mora izrazito razlikuju po dobi i sastavu, njihovo je podrijetlo blisko povezano.

Što je sljedeće?

Znanstvenici još proučavaju uzorke koje su donijele misije Apollo. Nove analitičke tehnike i naprednije shvaćanje toga kako djeluju geološki procesi daje novi vjetar u jedra proučavanju tog područja. Naposljetku će nam trebati dodatni uzorci i opsežan terenski rad kako bismo u potpunosti spoznali Mjesec, njegov nastanak i daljnji razvoj. Ta uzorkovanja i odlasci na teren vjerojatno će u kombinaciji odraditi svemirske letjelice na robotsko upravljanje i one s ljudskim pilotima.

U međuvremenu, priroda nam je pružila jedan dodatni izvor materijala: uzorci s Mjeseca dolaze nam besplatno u obliku Mjesečevih meteorita. Dosad je identificirano trinaest meteorita, jedan je pronađen u Australiji, a ostali na Antarktici. [„Dosad” se odnosi na 1997. godinu kada je izvorni tekst objavljen; do 2019. godine pronađeno je više od 370 meteorita s Mjeseca, prim. ur.] Sigurni smo da dolaze s Mjeseca na temelju izgleda te kemijskog i izotopnog sastava, ali, naravno, ne znamo s kojeg dijela Mjeseca dolaze. Ti uzorci idu u prilog tezi o oceanu magme. Što je najvažnije, spoznaja da meteoriti mogu završiti na Zemlji nakon udara na Mjesecu daje potvrdu i mišljenju da su na Zemlju pali i meteoriti s Marsa. Zajednički naziv za meteorite s Marsa jest SNC meteoriti.

Kada ne bismo toliko znali o Mjesecu, nikada ne bismo mogli identificirati meteorite s Mjeseca pa stoga ne bismo mogli tako uvjerljivo tvrditi da su neki meteoriti s Marsa.



S Mjeseca, besplatno

Prvi meteorit s Mjeseca, pronađen na Antarktici, potječe s Mjesečeva kopna te je, kao i većina stijena na kopnima, udarna breča. Lunarni meteoriti dokazuju da neki predmeti mogu biti otrgnuti od nekih drugih velikih predmeta a da ih ne rastale, što daje vjerodostojnost mišljenju kako skupina od dvanaest meteorita dolazi s Marsa.

Potresi, unutrašnjost i tajanstveno magnetsko polje

Mjesec ne podrhtava i ne trese se kao Zemlja. Gotovo svi potresi na Mjesecu slabiji su od Zemljinih neprestanih podrhtavanja. Naj snažniji potresi na Mjesecu dosežu tek petu magnitudu (potres dovoljno snažan da iz kuhinjskih ormarića ispadne posuđe), a oni se događaju otprilike jedanput godišnje. To je jasan dokaz da u ovom trenutku Mjesec nije geološki aktivan. Na Mjesecu, za razliku od Zemlje, nema unutarnjih gibanja zbog kojih se pomiču tektonske ploče ili nastaju žarišne točke koje potiču nastanak vulkanskih predjela poput Havaja. U očima astronoma ta seizmička neaktivnost divna je vrlina. Nepostojanje atmosfere, koja bi izazvala treperenje zvijezda, u kombinaciji sa slabom aktivnošću potresa, čini Mjesec idealnim mjestom za postavljanje teleskopa.

Podaci o potresima na Mjesecu dostupni su nam zahvaljujući četirima seizmometrima koje su postavile misije Apollo. Osim što nam kazuju koliko je tih potresa i koje su oni jačine, podaci dobiveni kroz Apollovu seizmičku mrežu pomažu nam da donesemo neke zaključke o unutrašnjosti Mjeseca. Na Zemlji, seizmologija nam je omogućila da saznamo kako naš planet ima tanku koru (od 20 do 60 km na kontinentima, od 8 do 10 km na oceanskim pločama), debeli silikatni plašt (koji dopire do 2900 km u dubinu) i veliku jezgru od metalnog željeza (koja se prostire od 2900 km dubine do središta koje se nalazi na 6370 km). Mjesec je potpuno drugačiji. Kora je deblja od kontinentalne kore Zemlje, u rasponu od 70 km na onoj strani Mjeseca koja je okrenuta prema Zemlji, do možda 150 km na daljoj strani. Bazalti Mjesečeva mora

čine tanki pokrov, uglavnom bogat plagioklasom, u prosjeku debljine samo 1 km (ti podaci većinom su dobiveni iz fotogeoloških istraživanja). Dokazi iz uzoraka prikupljenih na rubovima velikih bazena, bazena Mora kiše i bazena Mora vedrine, i od dalekosežnih instrumenata koji su bili u svemirskim letjelicama dviju misija Apollo i misija Clementine i Lunar Prospector, daju naslutiti da donja kora možda ne sadržava onoliko plagioklasa koliko gornja polovica kore. Ispod kore je Mjesečev plašt, koji čini najveći dio Mjeseca. Moguće je da postoji razlika u tipovima stijena iznad i ispod dubine od 500 km, koja možda označuje dubinu oceana Mjesečeve magme. Ispod plašta leži mala Mjesečeva jezgra sastavljena od metalnog željeza. Ne zna se koliko je ta jezgra velika, ali pretpostavlja se otprilike 100 do 400 km.

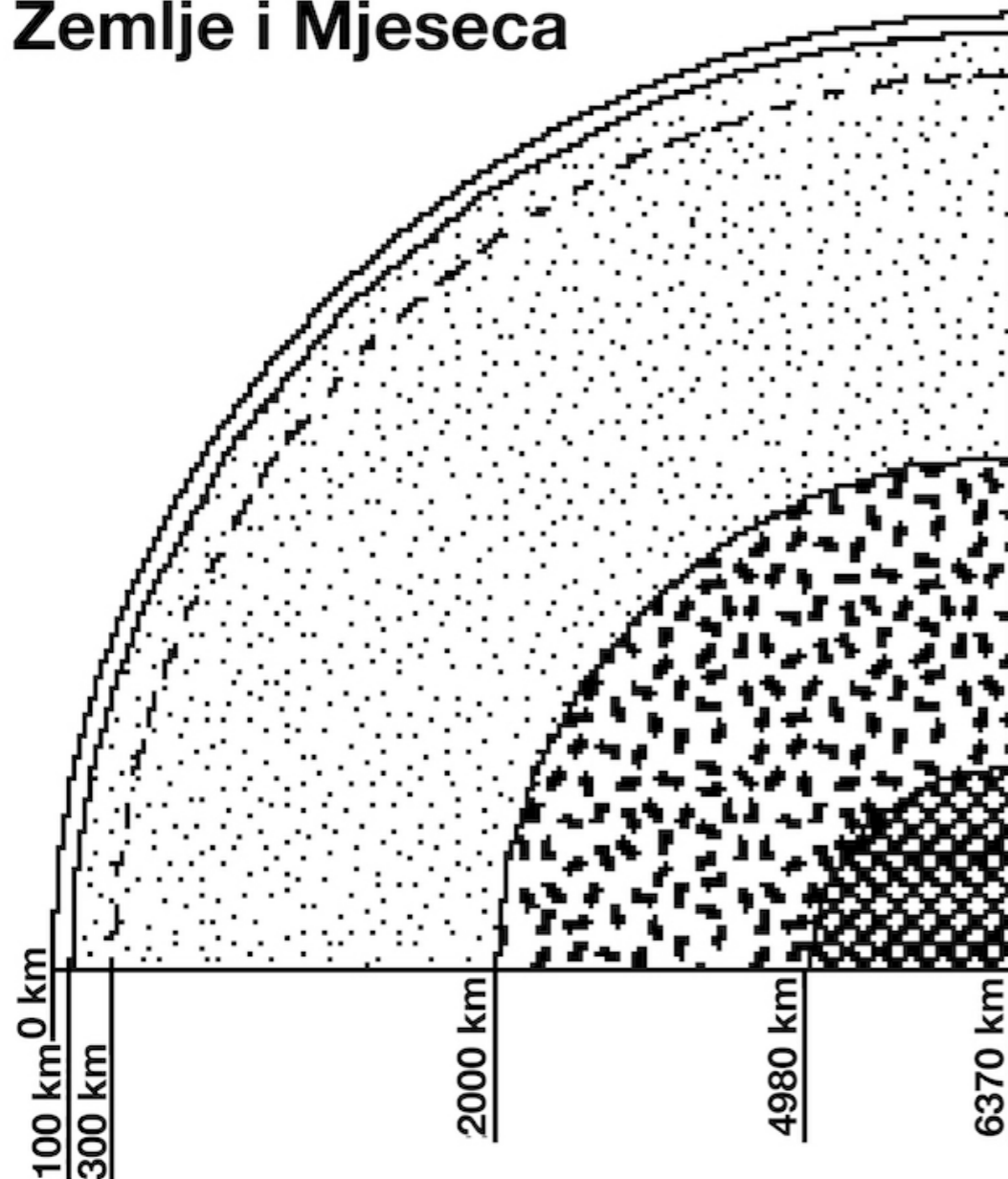
No ta mala jezgra je bitna. Mjesec nema snažno magnetsko polje pa njegova jezgra ne stvara magnetizam onako kako to čini Zemljina jezgra. No nekoć ga je stvarala. Mjesečeve su stijene magnetizirane i snaga magnetskoga polja izmjerena je posebnim tehnikama. Usto, starije stijene imaju jači magnetizam, što ukazuje na to da je Mjesečevo magnetsko polje bilo jače u dalekoj prošlosti pa se smanjilo na svoje sadašnje slabo stanje. Ne zna se zašto se to dogodilo, a ono što se zna je sljedeće: ne možemo se navigirati po Mjesecu služeći se kompasom!

Postoje i druge nepoznanice vezane uz Mjesečev magnetizam. Premda je njegovo polje oduvijek slabo, a sada je i izuzetno

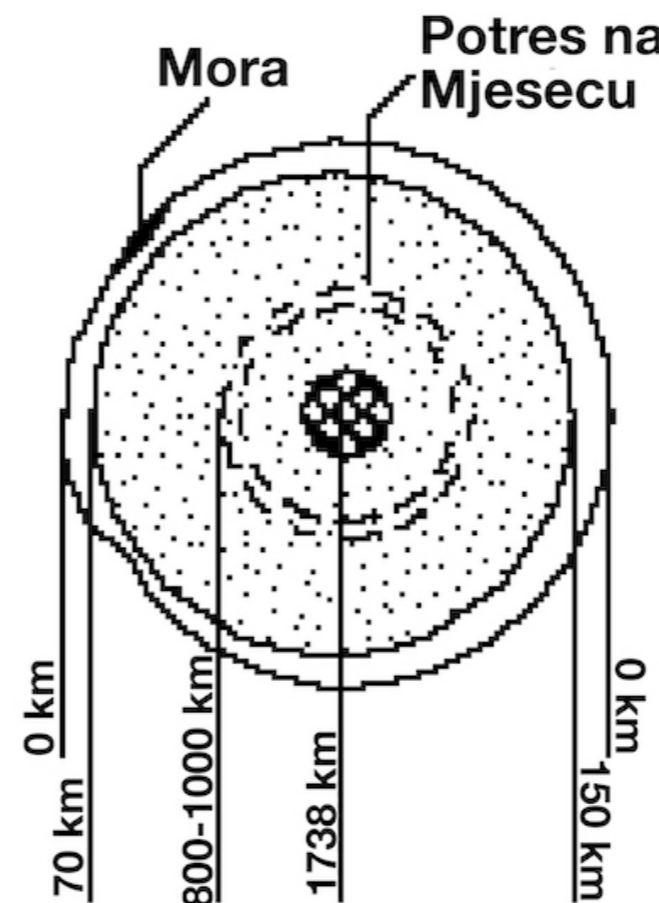
slabo, postoje mala područja na Mjesecu koja imaju mnogo snažnija magnetska polja od područja koja ih okružuju. Te magnetske anomalije još nismo u potpunosti uspjeli shvatiti. Neki znanstvenici povezuju ih s djelovanjem velikih udara, onih od kojih

nastaju bazeni. Drugi su natuknuli kako je moguće da su ionizirani plinovi nastali kada su kometi koji su udarili u Mjesec možda potaknuli pojavu snažnih magnetskih anomalija u udarnim kraterima.

Usporedba Zemlje i Mjeseca



-  Kora
-  Plašt
-  Vanjska jezgra
-  (Unutarnja) jezgra



Unutrašnjost Mjeseca i Zemlje
Znanstvenici su saznali od čega su sastavljeni unutrašnjost Mjeseca i Zemlje koristeći se većim brojem tehnika, od kojih je najvažnija seizmologija, znanost koja se bavi proučavanjem potresa na Zemlji (i, naravno) valova nastalih od potresa na Mjesecu. Zemlja ima mnogo veću metalnu jezgru od Mjeseca.

Podrijetlo Mjeseca: velik udar na rastuću Zemlju

Dugo je najnerješivija tajna vezana uz Mjesec bila kako je nastao. Taj problem stotinama je godina zbunjivao filozofe i znanstvenike. Sve pretpostavke imale su neku manu koja ih je automatski isključivala, premda su njihovi zagovornici tvrdoglavo pokušavali objasniti i ukloniti njihove nedostatke. Pretpostavka o „zarobljivanju“, koja opisuje kako je Zemlja „zarobila“ Mjesec koji je već bio do kraja razvijen, nije bila vjerojatna. Posljedica bliskoga susreta sa Zemljom bio bi ili sudar ili odbacivanje Mjeseca u drugu orbitu oko Sunca, i to vjerojatno tako da se više nikada ne susretne sa Zemljom. Pretpostavka o fisiji navodila je kako se najranija Zemlja tako brzo vrtjela da je jedan njezin djelić odletio, ali nije mogla objasniti kako je došlo do toga da se Zemlja tako brzo okreće oko svoje osi (jedanput svaka 2,5 sata) i zašto se Zemlja i Mjesec više ne okreću tako brzo. Pretpostavka o dvostrukom planetu govori o tome kako su Zemlja i Mjesec nastali zajedno, kao dvotijelni sustav od samoga početka. No tom pretpostavkom teško se može objasniti Zemljina brzina rotacije i kako je materijal od kojega je nastao Mjesec završio u orbiti oko Zemlje te ondje ostao, umjesto da padne na Zemlju. (Ti problemi vezani uz količinu vrtnje uključuju i Zemljinu rotaciju i Mjesečevo gibanje oko Zemlje. Količina rotacije i revolucije kvantificira se fizikalnom osobinom koja se naziva zamahom odnosno kutnom količinom gibanja.) Taj problem toliko je frustrirao znanstvenike da su neki od njih izjavili kako je možda znanost dokazala da Mjesec ne postoji! Ti iritantni problemi vezani uz klasične pretpostavke o podrijetlu Mjeseca naveli su znanstvenike da u obzir uzmu neka

druga rješenja. Ta potraga dovela je do naizgled bizarne pomisli da je Mjesec nastao kada je projektil veličine Marsa (dakle, polovice Zemljina promjera i jedne desetine njezine mase) udario u Zemlju kad je ona bila na otprilike 90 % sadašnje veličine. Od eksplozije koja je nastala, goleme količine zagrijanoga materijala odletjele su u orbitu oko Zemlje i Mjesec je nastao od toga otpadnog materijala. Ta nova pretpostavka, koja je niknula 1984. godine iz sjemena posijanog sredinom 1970-ih, naziva se teorijom o velikom udaru. Njome se objašnjava zašto se Zemlja okreće i zašto ima veću metalnu jezgru od Mjeseca. Nadalje, suvremene teorije o tome kako su planeti nastali od manjih tijela, koja su pak nastala od još manjih tijela, predviđaju kako bi, u trenutku kada je Zemlja bila gotovo oblikovana do kraja, u blizini postojalo i tijelo mase jedne desetine mase Zemlje. Stoga nije nevjerojatno da je zaista došlo do velikog udara od kojega je nastao Mjesec. Zapravo, vjerojatnost je toliko velika da je moguće kako je to bilo neizbježno.

Čovjek bi pomislio da će sudar dvaju planeta, od kojih je jedan velik gotovo kao Zemlja, a drugi veličine Marsa, imati katastrofalne posljedice. Količina energije prisutna u tom trenutku nezamisliva je. Mnogo više od milijuna trilijuna tona materijala isparilo je i rastalilo se. U nekim dijelovima oblaka oko Zemlje temperature su prelazile 10 000 °C. Taj planet u nastajanju, veličine Marsa, i njegova metalna jezgra stopili su se sa Zemljom.



Da, to zvuči katastrofično. No iz svega toga nastao je Mjesec, a Zemlja je narasla na svoju gotovo konačnu veličinu. Bez toga nasilnog događaja u ranoj povijesti Sunčeva Sustava, ne bi bilo Mjeseca na Zemljinu nebu, a Zemlja se ne bi tako brzo vrtjela kao sada (a to čini zato što ju je taj veliki udar ubrzao). Dani bi možda trajali čak godinama. No s druge strane, nas možda ne bi ni bilo da to primijetimo.

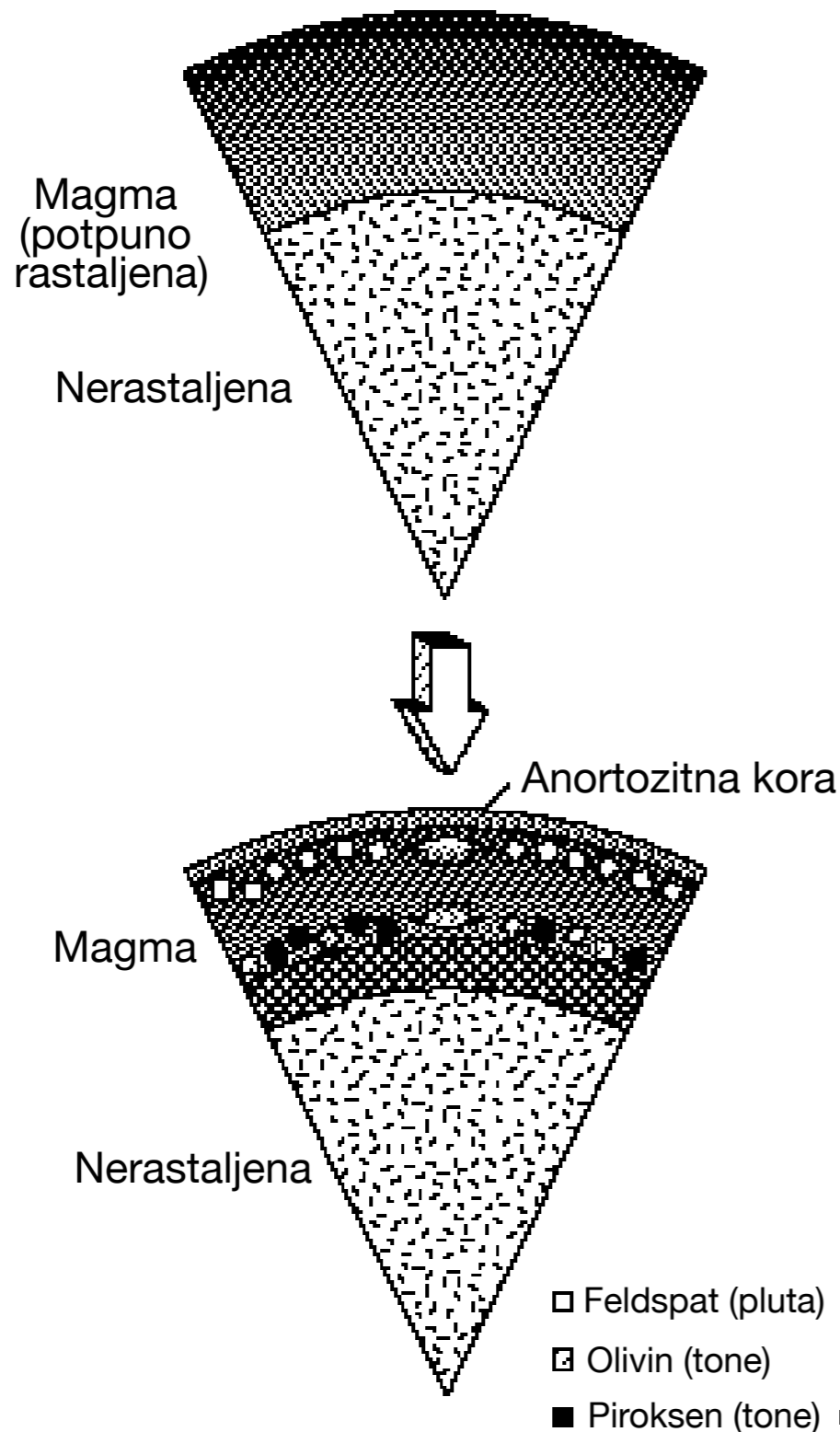
TRES!

Mjesec je možda nastao kada je tijelo veličine Marsa udarilo u Zemlju u trenutku kada je naš budući dom bio otprilike 90 % dovršen. Od toga silovita udara Zemlja se povećala, a isparen i rastaljen materijal razletio se u orbitu. Od tih otpadnih materijala nastao je Mjesec. Autor ove slike je William K. Hartmann, jedan od znanstvenika koji su osmislili pretpostavku o velikom udaru od kojega je nastao Mjesec.

Poglavlje 7

Kratka povijest Mjeseca

Ocean Mjesečeve magme



U osnovnim crtama znamo što se dogodilo Mjesecu nakon što ga je stvorio veliki udar. Prvi bitan događaj, koji je možda bio posljedica velikoga udara, bio je nastanak i kristalizacija oceana magme. Nitko ne zna koliko je taj ocean bio dubok, ali najbolja pretpostavka je da je bio dubok barem 500 km. Prvi minerali koji su nastali u tome začudnom sustavu magme bili su silikati željeza i magnezija, olivin i piroksen. Bili su gušći od magme, tako da su potonuli, kao kamenje u ribnjaku, samo ne tako brzo. Naposljetku je nastao plagioklas feldspat, a kako je bio manje gustoće od magme, počeo je plutati prema vrhu, kao mjehurići u gaziranome piću. Nakupljao se i napravio planine anortozita, stvarivši tako prvu Mjesečevu koru. Faza oceana magme završila je prije otprilike 4,4 milijarde godina.

Gotovo odmah nakon što je nastala kora, možda čak i dok je još bila u nastajanju, duboko u Mjesecu počeli su se stvarati drugi tipovi magme, koji će tvoriti norite i troktolite na kopnima. Velika nerazriješena tajna jest gdje su se točno u Mjesecu oni počeli stvarati i koliko duboko. Mnogi stručnjaci za Mjesec vjeruju da su ti oblici magme nastale od nerastaljenih dijelova Mjeseca ispod

Tonuti i plutati u oceanu magme

Ubrzo nakon što je nastao, Mjesec je okružen golemom ljuskom rastaljenih stijena, nazvanom oceanom Mjesečeve magme. Kako su u njemu nastajali kristali, tako su oni gušći, poput olivina i piroksena potonuli, a oni rjeđi, poput feldspata, isplutali su prema površini, tako stvarivši izvornu anortozitnu koru na Mjesecu. Taj proces može se prikazati ubacivanjem čačkalica i novčića u čašu vode: čačkalice (koje „glume“ feldspat) plutaju, a novčići (olivin i piroksen) tonu.

oceana magme. U svakom slučaju, ti oblici magme podignuli su se i prodrli u anortozitnu koru, stvorivši tako velike i male nakupine stijena i kamenja, možda čak i izbivši na površinu. Neki od tih oblika kemijski su reagirali s talogom oceana magme (krep), a drugi su možda otopili dio anortozita. Ovo razdoblje povijesti Mjeseca završilo je prije otprilike 4 milijarde godina.

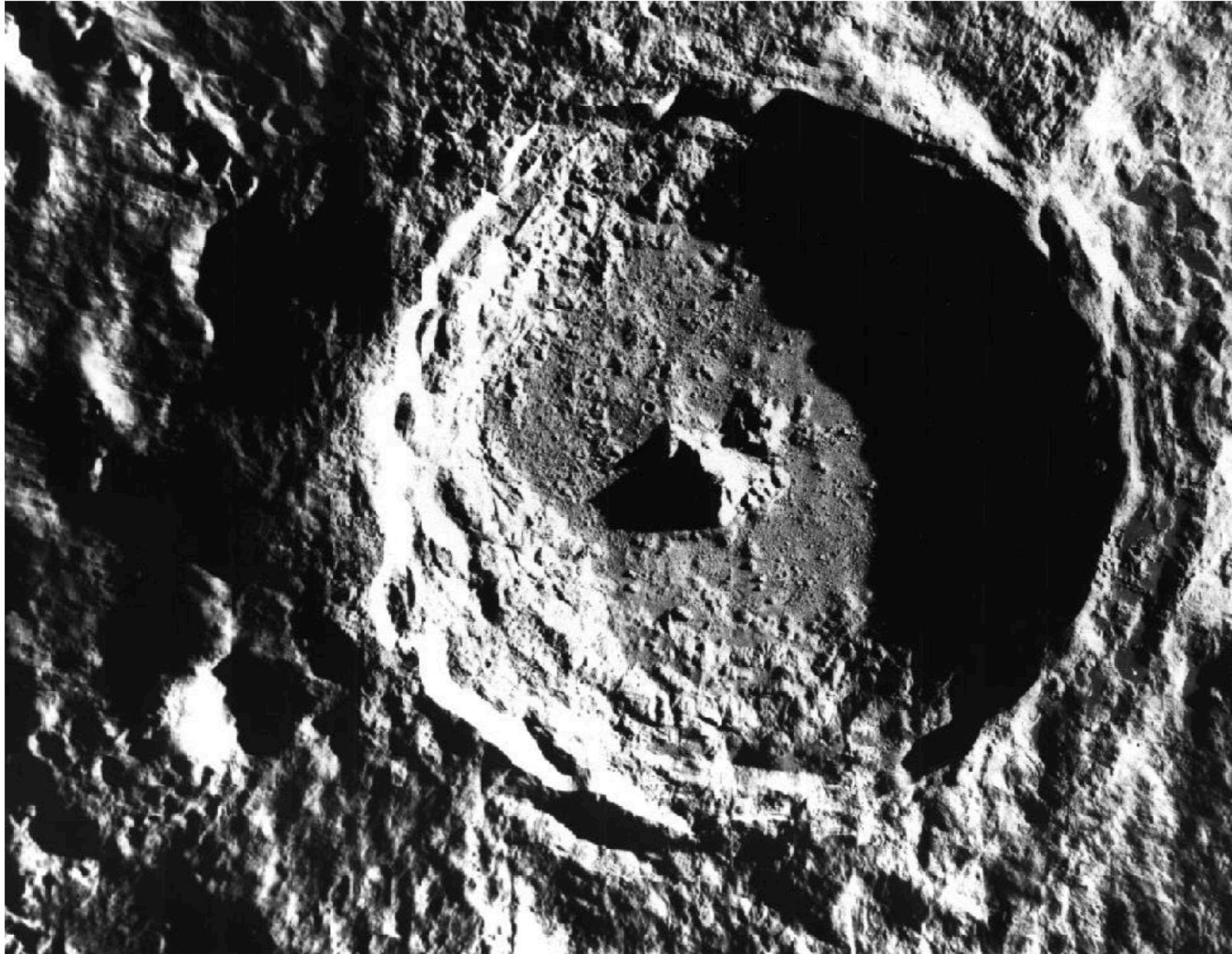
Kroz ta prva razdoblja, zaostali projektili nastavili su bez prestanka pogađati Mjesec, preobličujući stijene odmah po nastanku. Kora se miješala do dubine od barem nekoliko kilometara, a možda čak i do 20 km, kao da je divovski traktor preoraio Mjesečevu koru. Premda to još nije dokazano, stopa udara možda se smanjila prije 4,5 i 4 milijarde godina, ali zatim je izrazito porasla, proizvevši većinu velikih bazena vidljivih na Mjesecu. Pretpostavlja se da se to kataklizmičko bombardiranje događalo prije 4 do 3,85 milijardi godina.

Nakon što se stopa udara primirila, mogla su nastati mora. Bazalti, poput onih koji čine površine tamnih mora, nastali su prije 3,85 milijardi godina, ali ne u onom obujmu kao poslije, a siloviti udari uništili su sve ravnice lave koje su dotad možda bile nastale. Međutim, između 3,7 i otprilike 2,5 milijarde godina (donja granica je vrlo nesigurna), lava je tekla po površini Mjeseca, stvorivši mora i ukrasivši Mjesečevo lice. S bazaltima su došle i piroklastične

erupcije, visoki vodoscoci vatre koji su užarene kapljice rastaljenog bazalta slali nekoliko stotina kilometara uvis.

Otkad je prestao vulkanizam mora, udar je bio jedina sila koja je djelovala na Mjesecu. Nastali su neki zadivljujući krateri, primjerice Kopernik (90 km u promjeru) i Tycho (85 km). Te razbacane jarke zrake otpadnoga materijala po tamnome Mjesečevu krajoliku, dodatno su ga ukrasile. Zapravo, dio materijala koji je odletio s Tycha izazvao je odron otpadnoga materijala na mjestu na koje će mnogo godina poslije sletjeti Apollo 17. Uzorci s tog mjesta ukazuju na to da su klizište i neki krateri u blizini nastali prije otprilike 110 milijuna godina. Stoga se to doba naziva dobom kratera Tycho. To što smo mogli odrediti starost jednoga udarnog kratera koji se nalazi više od 2000 km daleko od mjesta gdje smo sletjeli, velika je pobjeda geologije!

I udari posljednjih milijardi godina pomiješali su nekoliko gornjih metara kore i nastao je prašnjavi Mjesečev regolit. Sunce je nastavilo usađivati sićušni dio sebe u regolit, ostavljajući svoj tajanstveni zapis i pružajući izvore budućim istraživačima. A nedavno, geološki gledano prije samo nekoliko sekunda, nekoliko međuplanetnih putnika ostavilo je tu i tamo svoje otiske na prašnjavu tlu.



Anatomija udarnog kratera

Krater Tycho na južnim kopnima Mjesečeve bliže strane promjera je 85 kilometara. Njegovi terasasti zidovi uzdižu se 3 do 4 kilometra iznad njegova podnožja. Rub mu se izdiže iznad okolnoga područja, a podnožje mu je ispod njega. Glatki materijal u podnožju kratera sastoji se od stijene rastaljene od udara, koja je u kasnijim fazama iskopavanja tekla poput lave po rastućemu podnožju. Iz njega su, kao odgovor na golemo povećanje, a zatim smanjenje pritiska, izniknule planine visoke dvije tisuće metara, koje su na površinu povukle materijal iz dubine čak do deset kilometara u kori. Prekrivač nastao od toga materijala, a koji okružuje krater, naziva se pokrivačem izbačenog materijala; što je ta gomila otpadnog materijala udaljenija od kratera, to je tanja (to se posebno dobro može primijetiti na lijevoj strani fotografije).

Premda se ne vide na ovoj fotografiji, i iz velikih kratera poput Tycha isijavaju zrake. One nastaju kada otpadni materijal izbačen iz kratera padne na tlo i raskopa još jedan dio Mjesečeva krajolika po radialnim stazama. Udar od kojega je nastao Tycho izazvao je klizište i nekoliko sekundarnih udara na mjestu na koje je sletio Apollo 17, a koje je udaljeno više od 2000 kilometara. Analiza uzoraka prikupljenih tijekom misije Apollo 17 ukazuje na to da su se ti događaji dogodili prije 110 milijuna godina. Dakle, Tycho je nastao prije 110 milijuna godina.

Mjesec i Zemlja: nerazdvojivo povezani

Mjesec bi trebao biti posebno privlačan onima koje zanima Zemlja. Ta dva tijela nastala su blizu jedno drugome, rano stvorila plašteve i koru, dijelila isto postformacijsko bombardiranje, i posljednjih 4,5 milijardi godina kupala se na istome toku zračenja Sunčeve svjetlosti i Sunčevih čestica. Evo nekoliko primjera iznenađujućih načina na koje znanost o Mjesecu može doprinijeti razumijevanju Zemljina djelovanja i otkrivanju njezine geološke prošlosti.

Podrijetlo sustava Mjeseca i Zemlje. Ma kako da je Mjesec nastao, njegov nastanak morao je izuzetno snažno utjecati na Zemlju. Premda je većina znanstvenika zaključila da je Mjesec nastao kao posljedica silovita udara u rastuću Zemlju, ne znamo mnogo o pojedinostima toga čudesnog događaja. Ne znamo je li Mjesec nastao većinom od materijala sa Zemlje ili većinom od projektila, ne znamo do kojih bi kemijskih reakcija došlo u oblaku taljevine i pare, ni kako je točno Mjesec nastao iz toga oblaka.

Oceani magme. Shvaćanje da je Mjesec imao ocean magme središnje je načelo znanosti o Mjesecu otkad se prvi put ta pomisao rodila u ljudskome umu nakon što su 1969. godine doneseni prvi uzorci s Mjeseca. Sada se to shvaćanje primjenjuje i na Zemlju, Mars i asteroide. Taj pogled na rane faze razvoja planeta mnogo je drugačiji od onoga 1950-ih i 1960-ih. Tada je većina znanstvenika (ali ne svi) vjerovala da su planeti nastali hladni, a potom se zagrijavali. Spoznaja da je Mjesec imao ocean magme promijenila je sve to i dovela do jednoga sasvim novog pogleda na Zemljinu najraniju povijest.

Povijest ranih udara na Zemlju i Mjesec. Tisuće kratera na površini Mjeseca bilježe Zemljinu povijest udara. Većina tih kratera nastala je prije 3,9 milijardi godina. Neki znanstvenici tvrde da je Mjesec doživio kataklizmičke udare (znatno povećanje broja udarnih projektila) prije 3,85 i 4 milijarde godina. Ako se to zaista dogodilo,

te ako je i Zemlja bila izložena tome „blitzkriegu“, to bi svakako utjecalo na razvoj Zemljine najranije kore. Faza silovitih udara mogla je utjecati i na razvoj života na Zemlji, možda odgodivši njegovu pojavu.

Udari, izumiranje i evolucija života na Zemlji. Mehanizmi evolucije i masovno izumiranje nisu do kraja shvaćeni. Jedna mogućnost jest da je povremeno povećanje stope udara na Zemlju izazvalo dio masovnih izumiranja. Primjerice, masovna izumiranja krajem razdoblja krede (prije 65 milijuna godina), a koja uključuju i propast dinosaura, možda je izazvao jedan veliki udar. Pokušaji da se valjanost te ideje provjeri određivanjem starosti udarnih kratera na Zemlji ne mogu uroditi plodom zato što ih je premalo. No Mjesec ima mnogo kratera koji su nastali u proteklih 600 milijardi godina (a za to razdoblje imamo bogat fosilni zapis). Za njih bi se moglo odrediti otkada potječu i moglo bi se provjeriti koliko je stvaran nagli porast zabilježenih udara.

Kako djeluju geološki procesi. Mjesec je prirodni laboratorij za proučavanje nekih geoloških procesa koji su oblikovali Zemlju. Pravo je mjesto za proučavanje pojedinosti o nastanku kratera zato što se na njemu nalazi toliko dobro očuvanih kratera svih veličina. Osim toga, Mjesec je jedno od mjesta na kojima je došlo do vulkanizma, ali pri slabijoj gravitaciji nego bilo na Zemlji bilo na Marsu.

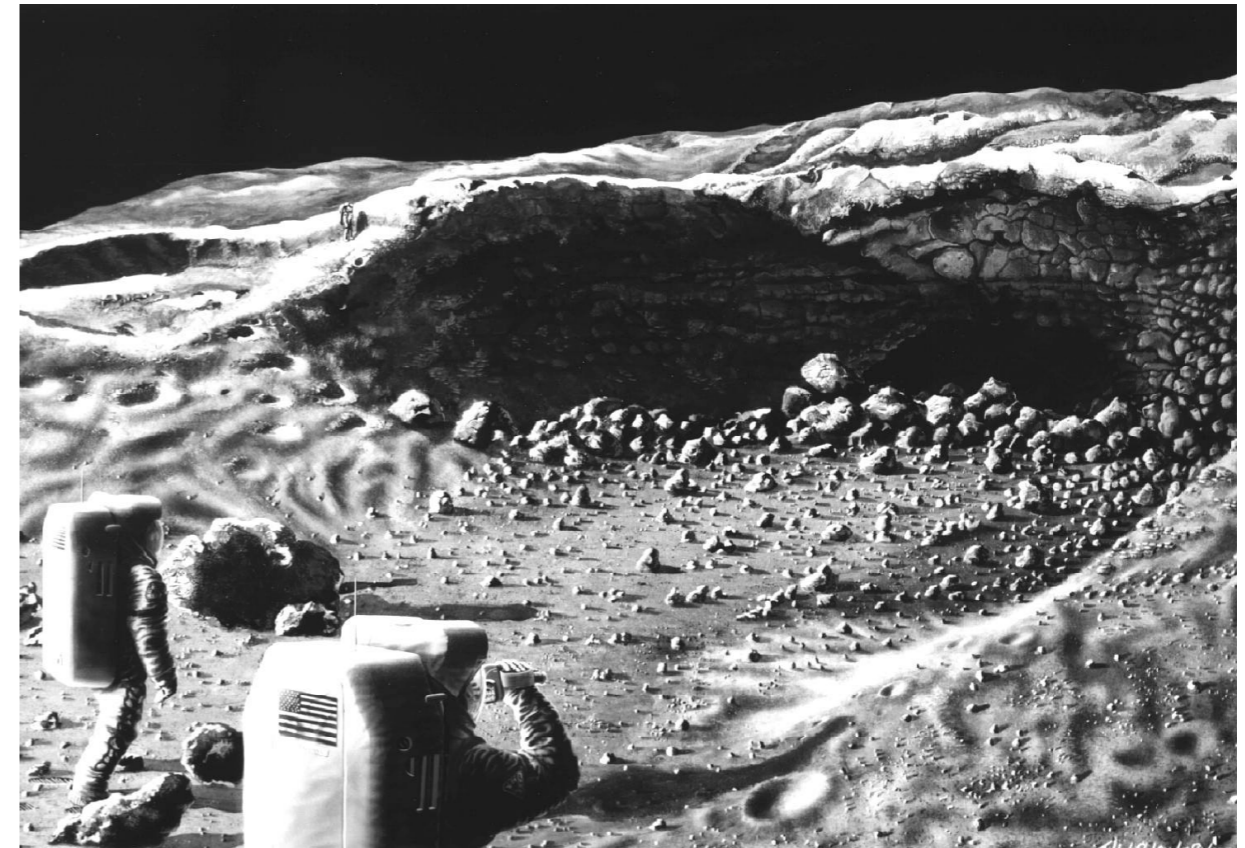
Poglavlje 9

Život i rad u bazi na Mjesecu



Ljudi će se jednoga dana vratiti na Mjesec. Kada to učine, ondje će i ostati. Izgradit će bazu na Mjesecu, prvo naselje na početku međuplanetne migracije koja će čovjeka u konačnici odvesti kroz čitav Sunčev sustav.

Mnogo toga moći će se raditi u bazi na Mjesecu. Geolozi će jednakim intenzitetom i jednakom strašću proučavati Mjesec kao što to čine na Zemlji, s naglaskom na terenskom radu. Astronomi će moći divno opažati svemir s Mjeseca. Znanstvenici koji proučavaju Sunce izravno će proučavati Sunčev vjetar i istraživati prijašnja djelovanja zarobljena u slojevima regolita. pisci i umjetnici nadahnjivat će se krajolikom toliko drugačijim od krajolika Zemlje. Znanstvenici koji se bave proučavanjem života proučavat će kako se ljudi prilagođavaju gravitacijskome polju jedne šestine jačine u odnosu na Zemljino i pronaći načine da ljudi uzgajaju biljke u lunarnim staklenicima. Inženjeri će pokušavati pronaći načine kako da složena postrojenja u neprijateljskoj okolini djeluju bez prestanka. Inženjeri rudarstva i kemijski inženjeri odredit će kako izvlačiti resurse iz Mjesečevih stijena i regolita. Naizgled suha površina Mjeseca sadržava dovoljno sastojaka kako bi se podržao život u bazi na Mjesecu (kisik i vodik za vodu, dušik i ugljik za rast biljaka), uključujući građevne materijale kojima će se izgraditi i održavati baza (regolit se može oblikovati u cigle; željezo, titan i aluminij mogu se rastaliti i iskoristiti za izradu alata i građevnih materijala). Bit će to jedno uzbudljivo, visokotehnološko, daleko mjesto nastanjeno pustolovnim dušama.



Geologija u lunarnoj bazi

Najbolja geologija ona je koja se obavlja na terenu. Da bismo razumjeli stijene, moramo ih proučiti izbliza, kartirati njihovu rasprostranjenost, vidjeti strukture u njima i odlomiti uzorke s njih kada je to potrebno. Terenska geologija obavljena tijekom misija Apollo bila je otežana nedostatkom vremena koje su astronauti mogli odvojiti za nju. No to će se promijeniti kada se ljudi trajno nastane na Mjesecu. Geolozi će moći provesti sve vrijeme koje im je potrebno kako bi dešifrirali priču zabilježenu u nastanku lunarnih stijena. Ovaj umjetnički prikaz prikazuje tri astronauta (jednog u daljini) kako proučavaju vanjski dio tunela lave, podzemnog kanala kojim je užarena lava tekla do mjesta erupcije udaljenog možda i stotine kilometara.

Poglavlje 10

Gdje kamenje s Mjeseca živi



Otkad su stigli na Zemlju, prema uzorcima s Mjeseca postupa se s poštovanjem kakvo zaslužuju. Većina blaga s Apolla nalazi se u ustanovi za pohranu kamenja s Mjeseca (engl. *Lunar Curatorial Facility*) u svemirskom centru *Johnson Space Center*, u Houstonu u državi Texas u SAD-u. Mali postotak čuva su u pomoćnoj zgradi u zrakoplovnoj bazi *Brooks* pokraj San Antonija u Texasu. Ondje je smješten za slučaj da Houston zadesi kakva katastrofa, primjerice uragan, i da se uzorci unište. [Uzorci su 2002. godine iz baze *Brooks* premješteni u novu ustanovu unutar ustanove *White Sands Test Facility* u Las Crucesu u Novom Meksiku, SAD; prim. ur.] Mnogi mali uzorci nalaze se i u laboratorijima znanstvenika po cijelome svijetu. U tim laboratorijima entuzijastični znanstvenici i dalje pokušavaju dokučiti Mjesečeve tajne.

Ustanova za pohranu kamenja s Mjeseca jedno je od najčišćih mjesta na svijetu. Da biste onamo ušli, morate nositi bijelo odijelo, čizme, kape i rukavice, odjeću iz milja nazvanu „zečjim odijelima“. Prijedite rukavicom po ormariću od nehrđajućeg čelika i na njoj neće ostati ni traga prašine zato što se zrak pročišćava kako bi se iz njega uklonile sve čestice koje bi ga mogle zagaditi.

Uzorci su pohranjeni u velikome spremištu, vade se isključivo jedan po jedan i stavljaju u pretinac s rukavicama. Kamenje možete izvaditi tako da stavite ruke u crne gumene rukavice i tako preokrenete kamen, osjetite njegovu težinu i gustoću, i povežete se s njim. Stereomikroskop omogućit će vam da ga promotrite izbliza. Odlučite li da vam treba uzorak (pod uvjetom, naravno, da

ste dobili dopuštenje da ga uzmete), stvar u svoje ruke preuzimaju profesionalni obrađivači uzoraka uzetih s Mjeseca. Uzorak se fotografira prije nego što se s njega otkine novi uzorak i nakon toga. To oduzima mnogo vremena, ali je korisno kako bismo znali u kojem su međusobnom odnosu svi uzorci. U mnogim slučajevima možemo odrediti smjer u kojem se određeni dio neke stijene nalazio na površini Mjeseca prije nego što je prikupljen.

Odabrani mali broj uzoraka donesenih s Mjeseca izložen je u javnim muzejima, a samo se tri uzorka smiju dotaknuti. Svi ti komadi kamenja koje se smije dodirivati odlomljeni su s iste bazaltne stijene uzete tijekom misije Apollo 17. Jedan se nalazi u muzeju *Smithsonian Air and Space Museum* u Washingtonu; drugi je u zgradi *Space Center Houston* koja se nalazi pokraj svemirskoga centra *Johnson Space Center*; treći je na dugoročnoj posudbi muzeju *Museo de Las Ciencias* na sveučilištu *Universidad Nacional Autonoma de Mexico* u Meksiku. Posjetitelji tih izložbi mogu se diviti jedinstvenome doživljaju da golim rukama dotaknu djelić Mjeseca. [Danas postoji 8 svjetskih lokacija na kojima se komadi bazaltne stijene iz misije Apollo 17 smiju dotaknuti: uz tri već navedene, još je jedan komad kamena dostupan u SAD-u (*Kennedy Space Center Visitor Complex*, na otoku Merrittu na Floridi), dva su u Kanadi (*H. L. McMillan Space Center* u Vancouveru i *Montreal Science Center* u Montrealu), jedan u Australiji (*Geoscience Australia* u Canberri), te jedan u Europi (*Museon* u den Haagu u Nizozemskoj); prim. ur.]



Sigurna luka za dragocjeno kamenje

NASA je pohranila zbirku uzoraka kamena s Mjeseca u posebno izgrađenoj ustanovi za pohranu kamena, a nalazi se u svemirskome centru *Johnson Space Center* u Houstonu, u Texasu. Ti materijali neprocjenjive vrijednosti drže se u atmosferi bogatoj dušikom, koja je kemijski mnogo manje reaktivna od uobičajenoga zraka bogatog kisikom. Znanstvenici koji rade u toj ustanovi nose odjeću koja nema „mucice“ , iz milja nazvanu zečjim odijelom, a uzorcima rukuju u pretincima s rukavicama. Na ovoj fotografiji Roberta Score proučava dio kamena koji je donijela misija Apollo 16, a Andrea Mosie (lijevo) promatra je dok to čini.

