



Sveučilište u Zagrebu  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
Kemijski odsjek

Petra Stanić

Studentica 3. godine Preddiplomskog sveučilišnog studija KEMIJA

# **EKSTRATERESTRIČKA VODA**

## **Završni rad**

Rad je izrađen u Zavodu za opću i anorgansku kemiju

Mentor i neposredni voditelj rada: izv.prof. Nenad Judaš

Zagreb, 2018.

Datum predaje prve verzije Završnog rada:

20. srpnja 2018.

Datum ocjenjivanja Završnog rada i polaganja Završnog ispita:

21. rujna 2018.

Mentor rada: izv.prof. dr. sc. Nenad Judaš

Potpis:



## Sadržaj

§ SAŽETAK.....	VI
§ 1. UVOD.....	8
1.1. Ekstraterestrička voda .....	8
§ 2. VODA.....	9
2.1. Astrobiologija .....	9
§ 3. VODA U SVEMIRU .....	10
3.1. Glavni asteroidni pojas.....	10
3.2. Što su patuljasti planeti? .....	13
§ 4. MISIJA DAWN.....	14
4.1. Tijek misije <i>Dawn</i> .....	14
4.2. Vesta i Ceres .....	16
§ 5. JUPITER, SATURN, MARS .....	24
5.1. Jupiter i njegovi mjeseci .....	24
5.2. Saturn i njegovi mjeseci.....	30
5.3. Mars .....	34
§ 6. VODA IZVAN SUNČEVOG SUSTAVA .....	37
§ 7. MOGUĆNOST ŽIVOTA .....	38
§ 8. LITERATURNI IZVORI.....	XXXIX



## § Sažetak

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) američka je svemirska agencija. Svoja istraživanja NASA provodi instrumentima s planeta Zemlje ili pomoću letjelica koje šalje u svemir. Veliki dio svojih istraživanja usmjerava na pronalazak vode u svemiru i naseljivih objekata koji bi mogli podržavati život kakav je poznat na našem planetu. Objekti koji sadrže vodu najčešće su asteroidi Glavnog asteroidnog pojasa te mjeseci planeta Sunčevog sustava. Također, voda je pronađena i izvan Sunčeva sustava. Kroz dugogodišnji rad, NASA je osnovala nekoliko misija koje proučavaju različite planetarne sustave u potrazi za vodom.

Misija *Dawn* svoju je svemirsku letjelicu poslala prema objektima Glavnog asteroidnog pojasa, prema asteroidu Vesta i „patuljastom” planetu Ceresu. Asteroid Vesta drugi je najveći objekt Glavnog asteroidnog pojasa koji se uglavnom sastoji od bazalne stijene. Površina mu je hladna i prekrivena smrznutom lavom. Na ovom objektu nije pronađena voda. S druge strane, Ceres skriva ledeni ocean ispod svoje površine. On je najveći objekt Glavnog asteroidnog pojasa i ulazi u kategoriju „patuljastih” planeta. Ima nekoliko svijetlih područja (kratere i planinu *Ahuna Mons*) na svojoj površini koja su bogata mineralima. Oko Ceresa primjećen je oblak vodene pare koja se pojavljuje u mlazovima što ukazuje da duboko ispod površine Ceresa postoji ocean.

Jupiter i Saturn su planeti na kojima zasigurno nije otkrivena voda, no proučavanjem njihovih planetarnih sustava, otkriveni su bogati vodeni svjetovi; njihovi mjeseci. Jupiterovi najpoznatiji mjeseci su Io, Europa, Ganimed i Kalisto od kojih su najzanimljiviji Europa i Ganimed. Pomoću podataka skupljenih magnetometrom, kojeg je nosila letjelica koja ih je proučavala, pretpostavljeno je da oba mjeseca skrivaju oceane slane vode ispod svoje površine. Uz to, Europa je najsvjetliji mjesec, dok je Ganimed jedini koji ima magnetosferu. Saturnovi najviše proučavani mjeseci su Encelad i Titan. Saturn je jedini planet koji ima prstene oko sebe. Ima ih čak sedam od kojih jedan nastaje izbacivanjem ledenih čestica iz unutrašnjosti mjeseca Encelada. Dio čestica ukrašava površinu mjeseca kako se vraća na nju te je čini bijelom kao da je prekrivena snijegom. Erupcije takvog materijala događaju se iz pukotina na površini nazvanim „tigrovim prugama”. Smjesa ledenih čestica koja dolazi s površine Encelada sastoji se od vodene pare, plinova, organskih tvari, minerala i soli. Titan je drugi najveći mjesec Sunčeva sustava, a Saturnov najveći. On je prekriven jezerima, rijekama i morima od tekućih

ugljikovodika i metana. Titan je vulkanski aktivan mjesec, no iz njegovih vulkana istječe voda. To nam daje sigurnost u postojanje oceana ispod površine.

Mars je planet koji je znanstvenicima dostupan, a najbliži je Zemlji te je zbog toga dobra meta istraživanja. On ima atmosferu, klimu i geološku promjenjivost što ga čini pogodnim mjestom za život. Znanstvenici pretpostavljaju da je Mars nekada imao gušću atmosferu te površinu prekrivenu oceanom slane vode. Atmosfera se razrijedila, a voda je nestala pod utjecajem struje nabijenih čestica koja dolazi iz gornje atmosfere Sunca. Teleskopi sa Zemlje te meteoriti za koje se smatra da su na Zemlju došli s Marsa, omogućili su procjenu količine izgubljene vode. Danas je Mars suh planet, no zadržao je dio vode koju čuva u polarnim kapama.

Potruga za vodom proširila se i izvan Sunčeva sustava. U protekla dva desetljeća otkriveni su mnogi egzoplaneti koji imaju uvjete za razvoj života od kojih se kao prvi uzima voda. Vodena para pronađena je na planetu HAT-Pb. Kepler-22b planet je koji se nalazi u naseljivoj zoni, no nije dovoljno istražen da bi se mogao potvrditi njegov sastav. Kepler-62f i Kepler-62g također su planeti koji se nalaze u naseljivoj zoni. Oblake vode i vodeni led sadrži „smeđi patuljak” WISE 0855.

Iako je na mnogim svemirskim objektima pronađena voda, životu kakvog poznajemo nema traga. Istraživanja se nastavljaju u tom smjeru u nadi da će neki planeti tek razviti život dok će se na nekim drugima možda pronaći dokazi već ugašenog života.

## § 1. UVOD

### 1.1. Ekstraterestrička voda

Jesmo li sami u svemiru? Vječno je pitanje koje postavljaju znanstvenici diljem svijeta. NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), američka svemirska agencija, posvetila je tim svojih znanstvenika u istraživanje „svijeta” izvan planeta Zemlje. Tijekom svojih istraživačkih misija unutar Sunčevog sustava, NASA je pronašla izvore vode na mnogim neobičnim mjestima. Takva otkrića bila su zaista nevjerovatna. Činjenica da čovječanstvo ne poznaje živuće vrste koje su neovisne o vodi, kao osnovnom sredstvu života, povezana s pronalaskom vode u svemiru, otvara samo jedna vrata ka pronalasku planeta pogodnih za razvoj života.<sup>12</sup>

Kemijski elementi koji grade vodu, vodik i kisik, jedni su od najzastupljenijih u svemiru što nam gotovo sigurno govori da bi se i voda mogla negdje nalaziti. Astronomi su potvrdili prisutnost vode u golemim oblacima među zvijezdama, u materijalima u svemiru koji predstavljaju nove planetarne sustave te u atmosferi velikih planeta koji kruže među zvijezdama. Voda se nalazi u primitivnim tijelima poput asteroida, kometa i patuljastih planeta poput Ceresa ispod njihove površine i u obliku leda ili pare. Divovski planeti, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun sadrže vodu u svojoj atmosferi, a njihovi mjeseci i prstenovi vodeni led.<sup>1</sup> Također postoje mnoge organske tvari u sastavu asteroida i planeta, koje su od velikog značaja za razvoj života.<sup>12</sup>

Satrunovi i Jupiterovi ledeni mjeseci vjerojatno su najzanimljiviji vodeni svjetovi koji posjeduju oceane ispod svoje površine. Ganimed, Europa i Kalisto, Jupiterovi su mjeseci dok, su Encelad i Titan Satrunovi mjeseci. Istraživanja provedena NASA-inim svemirskim teleskopom *Hubble* potvrdila su da se ispod površine Ganimeda nalazi ocean slane vode, koji je vjerojatno zarobljen između dva sloja leda. Europa i Encelad također imaju tekuće oceane ispod svojih površina, koji, povezani s mineralima bogatim stijenama, mogu činiti skup tri osnovna sastojka potrebna za život: vodu, esencijalne kemijske elemente za biološke procese te izvore energije. Također, pronađeni su znakovi prisutstva vode u trajno zasjenjenim kraterima na Merkuru te na našem mjesecu. No, dok su jedni dijelovi našeg Sunčevog sustava dobro opskrbljeni vodom, na drugima vode ponestaje ili je već trajno nestala. „Kamo odlazi voda?“<sup>1</sup> pitaju se Preston Dyches i Felicia Chou, iz NASAe.<sup>1</sup>



Na Marsu su pronađeni dokazi koji potvrđuju da je davno i na njegovoj površini bilo vode. Za procjenu količine vode koju je Mars izgubio tijekom eona korišteni su posebni teleskopi koji su prema podacima s njegova tla izmjerili da je Mars imao količinu tekuće vode koja je mogla činiti ocean velik kao i polovica njegove sjeverne polutke. Uz to, takav ocean na nekim dijelovima mogao je doseći i dubinu veću od 1,5 kilometar. Ovakvi podatci u potpunosti opravdavaju prethodno pitanje i potiču astronome na daljnje istraživanje. Dio vode na Crvenom planetu nalazi se u ledenim polarnim kapama i ispod površine. Drugi se pak, većinski dio, nalazio u ranoj atmosferi Marsa no odvučen je vjetrom nabijenih čestica koje su potekle od Sunca što je dovelo do sušenja planeta.<sup>1</sup>

Ako razumijemo raspodjelu vode u Sunčevu sustavu, možemo lako prepostaviti kako su nastali planeti, mjeseci, kometi i druga tijela u svemiru prije 4,5 milijardi godina od dima plina i prašine koji je okruživao Sunce. Prostor bliže Suncu bio je topliji i suhlji od onog koji se nalazio dalje od Sunca. Linija koja je dijelila ta dva prostora bila je „linija mraza” koja se nalazila oko današnje Jupiterove orbite. Na mjestima daljim od Sunca, preko „linije mraza”, bilo je dovoljno hladno da se voda kondenzira. Danas se ta linija također primjećuje te predstavlja prosječnu udaljenost na kojoj se led s kometa počne taliti. Znanstvenici tvrde da je u ranim danima Sunčevog sustava bilo previše vruće na unutrašnjim planetima da bi se voda mogla kondenzirati ili prijeći u led zbog čega je tek kasnije bilo moguće dostaviti vodu tim planetima. Smatra se da su vodu dostavljali kometi i asteroidi. NASA-ina misija *Dawn* proučava Ceres, najveće tijelo koje se nalazi u asteroidnom pojasu između Marsa i Jupitera.<sup>2</sup> Istraživači smatraju da Ceres sadrži vodu i ima sličan sastav kao tijela koja su donijela vodu na tri stjenovita unutarnja planeta, uključujući i Zemlju. S druge strane, Jupiter se smatra planetom koji je prvi nastao i koji je dokazano upio najveću količinu vode. Istraživanjem Jupitera i njegove povezanosti s nastankom Sunčeva sustava bavi se NASA-ina misija *Juno*.<sup>1</sup>

## § 2. VODA

### 2.1. Astrobiologija

Na već postavljeno pitanje o postojanju živućih vrsta u Svemiru, osim onih poznatih na planetu Zemlji, pokušava odgovoriti astrobiologija. Astrobiologija je novorazvijena interdisciplinarna znanost koja proučava podrijetlo, evoluciju, raspodjelu i budućnost života u Svemiru.<sup>3</sup> Povezuje prirodne i društvene znanosti u potrazi za ekstraterestričkim životom. NASA je 1998. godine

osnovala Institut za astrobiologiju (NAI – *NASA Astrobiology Institute*) kojem je prvi cilj bio proučiti planet Mars, planet koji je prepoznat kao pogodno mjesto za izvanzemaljski život.<sup>4</sup> Do sada nije pronađen dokaz postojanja izvanzemaljskog života, no to ne zaustavlja istraživanje. Nastavak istraživanja vodi ka pronalasku mjesta pogodnih za razvoj života sličnog onom poznatom na planetu Zemlji, odnosno mjesta pogodnih za širenje čovječanstva.

Iako nisu pronađeni znakovi izvanzemaljskog života, znamo da voda u svemiru postoji na mnogim mjestima. Mogućnost nalaženja vode u obliku oceana ispod površina nebeskih tijela potakla je NASA-u na osnivanje organizacije SUBSEA (*Systematic Underwater Biochemical Science and Exploration Analog*) koja će, spajajući istraživanja svemira i oceana, probati pronaći skrivene ekstraterestičke oceane.

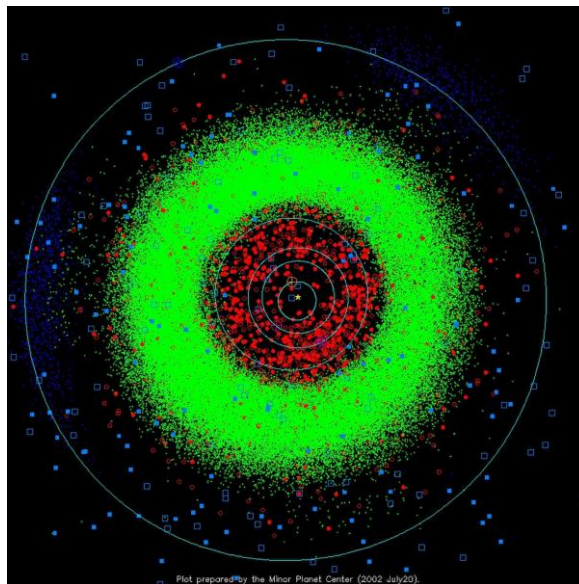
Svi životni procesi provode se uz prisutnost tekuće vode, koja se zbog toga može smatrati ključnim pokazateljem potencijalne naseljivosti. Ono što vodu čini toliko važnom su njezina fizikalna i kemijska svojstva koja su posljedica građe molekule vode te sposobnosti stvaranja vodikovih veza. Molekula vode sastoji se od dva atoma vodika koji su svaki vezani za jedan atom kisika. Voda nema okusa, mirisa i bezbojna je. Postoji u sva tri agregacijska stanja; krutom, tekućem i plinovitom. Pri sobnoj temperaturi je u tekućem stanju i kao takva ima važnu ulogu otapala za mnoge tvari, što je bitno za sve žive organizme. Ima veliki raspon temperature između tališta i vrelišta, visok toplinski kapacitet te površinsku napetost. Anomalija vode jedinstveno je i neočekivano svojstvo koje nema nogo drugih tvari. Voda u svom krutom stanju ima manju gustoću od vode u tekućem stanju, stoga led pluta na površini tekuće vode, npr. sante leda plutaju na površini oceana. Ova pojava je važna, jer led, koji zimi prekriva površine mnogih tekućih i stajaćih voda na Zemlji, štiti „vodeni” život od odumiranja. Kada bi led bio veće gustoće od tekuće vode, pao bi na dno, čime bi izložio ostatak tekuće vode niskim temperaturama te bi se i ona zaledila.<sup>7</sup>

Većina (97,25 %) vode na površini Zemlje nalazi se u oceanima, ledenjacima te polarnim kapama i to je slana voda. Ostatak (2,75 %) je slatka voda i ispunjava većinom rijeke i jezera.<sup>7</sup> Također, važna je simbioza vode i stijena s površine planeta između kojih se događaju mnogi procesi čija je posljedica prijenos energije i tvari potrebnih za razvoj živih sustava.

## § 3. VODA U SVEMIRU

### 3.1. Glavni asteroidni pojas

Glavni asteroidni pojas nalazi se između planeta Marsa i Jupitera, na udaljenostima od 2,2 do 3,2 astronomske jedinice od Sunca (Slika 1), a ispunjen je milijardama objekata, asteroida različitih veličina.<sup>2,12,13</sup> Planetoidi odnosno asteroidi, „zvijezde”, komadići su kamena koji su preostali od trenutka nastajanja Sunčeva sustava.<sup>2,13</sup> Četiri najveća asteroida u pojasu su Ceres, Vesta, Pallas te Higijsa i oni čine polovicu mase pojasa.<sup>12</sup>



Slika 1. Prikaz raspodjele asteroida u Sunčevu sustavu – elipse predstavljaju orbite planeta; zeleno su prikazani asteroidi Glavnog asteroidnog pojasa; crveno su prikazani asteroidi koji izlaze iz Glavnog asteroidnog pojasa te se zbog gravitacijskih sila mogu sudariti sa Zemljom

(izvor: <https://www.space.com/16105-asteroid-belt.html>)

### 2.2.1. Nastanak i sastav Glavnog asteroidnog pojasa

Poznata je teorija prema kojoj je Glavni asteroidni pojas nastao raspadom planeta, no zbrajanjem ukupne njegove mase, mase svih čestica zajedno, NASA zaključuje da je ta masa izrazito mala u odnosu na masu koju je taj planet morao imati. Zapravo, Glavni asteroidni pojas i otkriven je na temelju te ideje. U 18. stoljeću, njemački astronom Johann Daniel Titius (Tietz), primjetio je matematički model rasporeda planeta Sunčevog sustava te je pretpostavio mogućnost postojanja planeta između Marsa i Jupitera. Grupa astronoma pod imenom „Nebeska policija” krenula je u potragu za nestalim planetom. Prvi objekt koji je pronađen u suradnji s Giuseppeom Piazzijem bio je Ceres, a nakon godinu dana pronađen je i Pallas. Vjerovalo se kako su to također planeti no kako je godinama kasnije otkriveno još sličnih

svemirskih tijela, zaključilo se da su svi premali u odnosu na prave planete, te su svrstani u razred asteroida.<sup>2,10</sup>

Tijekom ranog nastanka Sunčevog sustava, planeti su nastali utjecajem gravitacijske sile na kamenje i prašinu koji su kružili oko Sunca.<sup>2</sup> No, gravitacija nije povukla sav materijal; ostao je dio materijala raspršen u svemiru. Preostali oblak čestica nalazio se točno između Marsa i Jupitera i tako je nastao Glavni asteroidni pojas.

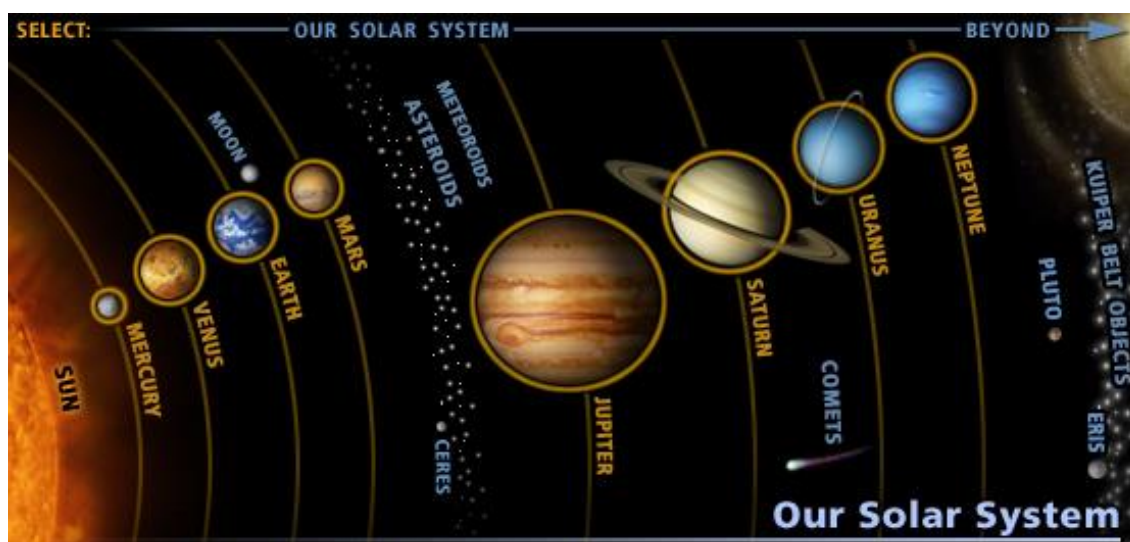
Sunčev sustav nije jedini u kojem je nastao asteroidni pojas. Oko zvijezde zeta Leporis nalazi se oblak prašine koji čini asteroidni pojas. Profesor Michael Jura, sa Sveučilišta u Kaliforniji, tvrdio je da je pojas oko zeta Leporisa sličan onom koji se razvio prilikom nastanka Sunčevog sustava. Također, postoje znakovi prisutnosti asteroidnih pojasa i kod ostalih zvijezda, što može sugerirati da su takvi pojasi česta pojava. Drugi dokaz postojanja asteroidnih pojasa su zvijezde slične Suncu, „bijeli patuljci” na čiju površinu, u trenutku kraja njihova života, pada kamenje.<sup>2</sup> Kako bi se asteroidni pojas Sunčeva sustava razlikovao od ostalih, naziva se Glavni asteroidni pojas.<sup>12</sup>

Većina asteroida Glavnog asteroidnog pojasa sastavljena je od stijena i kamenja, no neki sadrže metale: željezo i nikal. Ostatak asteroida su smjesa tih materijala i metala, no također na njima je moguće pronaći i materijale bogate ugljikom. Asteroidi koji se nalaze na velikim udaljenostima od Sunca sadrže led. Također, Glavni asteroidni pojas čine i asteroidi koji sadrže vodu, ali nisu dovoljno veliki da bi imali atmosferu pa ih stoga ne možemo svrstati među planete (Slika 2, str. 13).<sup>2</sup>

Ostali veliki asteroidi u Glavnom asteroidnom pojasu su asteroid Vesta kojeg po veličini slijede Pallas i Higijeja. Oni su svi širine oko 400 km što ih čini manjima od posljednjeg asteroida koji je svrstavan u tu kategoriju, Ceresa. Ceres je širok 950 km te je naknadno svrstan u kategoriju patuljastih planeta. Ostali asteroidi značajno su manji zbog čega ne mogu poprimiti sferičan oblik; pa su najčešće nepravilnog oblika. Asteroidi se klasificiraju u tri skupine prema moći kojom njihova površina odražava svjetlost i prema kemijskom sastavu. Dominirajuća skupina su asteroidi C-tipa u koju ubrajmo 75 % svih asteroida. Ti asteroidi sadrže ugljik, zbog čega u imenu nose slovo C, oznaku kemijskog elementa ugljika. Takvi asteroidi su tamni, gotovo crni, a sličnog su sastava kao i karbonski kondriti pronađeni na Zemlji. Pretpostavlja se da su ti kondriti dijelovi otrgnuti s asteroida. Asteroidi C-tipa dijele se u podskupine: asteroide B-tipa, F-tipa i G-tipa. Asteroidi S-tipa čine 17 % asteroida, a nalaze se u unutrašnjem asteroidnom pojasu. Svjetliji su od ugljičnih i sadrže leguru nikla i željeza pomiješanu sa

željezovim i magnezijevim silikatima. Slovo S dolazi od silikata. Posljednja skupina asteroida je ona M-tipa, što znači da se najčešće sastoje od metala, najčešće samo od legure nikla i željeza. Nalaze se u središnjem dijelu asteroidnog pojasa. Postoji još nekoliko skupina asteroida, no te su skupine vrlo rijetke.<sup>2</sup>

Već spomenuti Ceres, kojeg danas klasificiramo kao *dwarf*, patuljasti, planet jedan je od najistraženijih objekata Glavnog asteroidnog pojasa s obzirom na to da je na njemu pronađena voda.



Slika 2. Sunčev sustav – područje između Marsa i Jupitera prikazuje Glavni asteroidni pojas; u njemu se nalazi Ceres

(izvor: <https://casadeosiris.wordpress.com/2011/01/06/universalis/sistema-solar4/>)

### 3.2. Što su patuljasti planeti?

Do 24. kolovoza 2006. u Sunčevom sustavu brojalo se 9 planeta: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton.<sup>15</sup> Tako se učilo tri četvrtine stoljeća, dok Međunarodni astronomski savez (IAU, eng. *International Astronomical Union*) nije Pluton izbacila iz kategorije planeta i prevela ga u novu kategoriju patuljastih planeta. Patuljasti planet je nebesko tijelo koje se nalazi u orbiti oko Sunca, ima dovoljnu masu da vlastitom gravitacijom prevlada sile krutog tijela zbog čega ima hidrostatski ravnotežni, gotovo okrugli oblik. Također, nema očišćeno susjedstvo oko sebe i nije satelit.<sup>16</sup> U prosjeku patuljasti planet kruži oko Sunca na udaljenosti od 5,87 milijardi kilometara, zbog koje je potrebno 248 godina da bi prešao jedan krug.<sup>15</sup> Pluton je patuljasti planet po toj definiciji te je također prepoznat kao prototip nove kategorije transneptunskih objekata. Manji je od „pravih” planeta, a s druge strane planeti imaju

očišćenu okolinu, po čemu jasno možemo razlikovati te dvije kategorije. Takvih nebeskih tijela ima na tisuće, no IAU za sada samo njih pet svrstava u tu kategoriju: Pluton, Eris, Haumeu, Makemake i Ceres.<sup>15</sup>

## § 4. MISIJA DAWN

*Dawn* misija jedan je od NASA-inih projekata koji je osnovan s ciljem proučavanja Sunčevog sustava i njegovog nastanka. Kroz proteklo desetljeće otkad je pokrenuta, proučava dva najveća objekta Glavnog asteroidnog pojasa, asteroid Vesta i patuljasti planet Ceres.<sup>16</sup> Vjeruje se da su Vesta i Ceres nastali u samom početku postojanja Sunčevog sustava, zbog čega su pogodan teren za izvor informacija koje traži tim astronoma *Dawn* misije.

Svemirski brod *Dawn* (Slika 3, str. 15) lansiran je sa Zemlje 27. rujna 2007. godine iz zrakoplovne stanice *Cape Canaveral* koja se nalazi na Floridi.<sup>18</sup> To je jedini svemirski brod koji je posjetio patuljasti planet i kružio oko dvije mete u jednoj misiji, a spomenuta misija je prva koja je proučavala tijela Glavnog asteroidnog pojasa. Misijom *Dawn* upravlja *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) za NASA-inu Upravu za znanstvene misije u Washingtonu. Misija je dio *Discovery programa* kojim upravlja NASA-in *Marshall Space Flight Center* iz Huntsvillea, Alabame, a za cjelokupnu misiju odgovorno je Sveučilište u Kaliforniji, Los Angeles (UCLA, engl. *University of California, Los Angeles*);<sup>18</sup>

### 4.1. Tijek misije *Dawn*

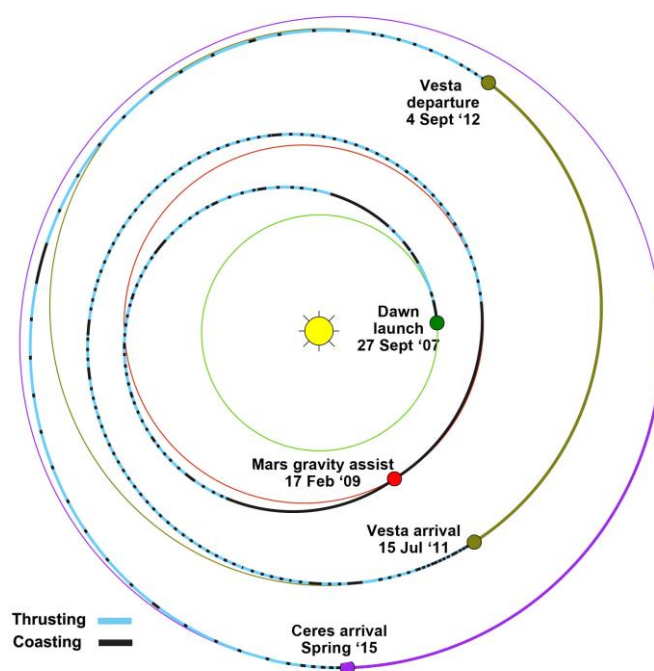
Asteroid Vesta i patuljasti planet Ceres odabrani su kao ciljani objekti misije, jer su se razvili u dvije potpuno različite vrste tijela, a oboje govore o uvjetima i procesima tijekom ranog razvoja Sunčevog sustava. Od svog nastanka ostali su gotovo nepromijenjeni što daje točnije podatke. U vrijeme nastanka Sunčevog sustava materijali, od kojih su kasnije sačinjena svemirska tijela, varirali su u svom sastavu ovisno o udaljenosti od Sunca. Tijela koja su bila bliže Suncu nastajala su iz zemljanih, kamenih i stjenovitih materijala što ih čini suhima, dok su tijela na većim udaljenostima od sunca ledena te su uglavnom nastala od ledenih materijala. Tako je Vesta asteroid koji je suho tijelo s površinom prekrivenom stijenama i sličnom Zemlji, dok Ceres ima sličnosti s ledenim mjesecima izvan Sunčevog sustava, a površina mu je ledena, prekrivena mineralima i solima.



Slika 3. Lansiranje letjelice *Dawn*; 27. rujna 2007. u 7:34 sa zračne postaje *Cape Canaveral* (izvor: <https://www.jpl.nasa.gov/blog/2017/9/dear-dawniversaries>)

Kako bi izvršio svemirsku misiju, svemirski brod *Dawn* nosi tri instrumenta koja se zajedno koriste za karakterizaciju proučavanih objekata. Oprema svemirskog broda sastoji se od vidljive kamere za fotografiranje Veste i Ceresa, kartografskog spektrometra za određivanje kemijskog sastava površina te detektora gama zraka i neutrona za određivanje zastupljenosti kemijskih elemenata koji izgrađuju stijenu (GRaND, engl. *Gamma Ray and Neutron Detector*).<sup>17</sup> Podatci prikupljeni pomoću sva tri instrumenta daju ukupnu informaciju o gravitacijskom polju te osnovnim svojstvima i unutarnjoj strukturi objekata.<sup>16</sup>

*Dawn* je u nepune tri godine nakon lansiranja, 2011., prešao je 2,8 milijarde kilometara te je stigao do asteroida Vesta gdje se zadržao do rujna 2012 (Slika 4, str. 16).<sup>17,20</sup> Sljedećih 4,9 milijardi kilometara putovao je do Ceresa te je ušao u orbitu patuljastog planeta 6. ožujka 2015.



Slika 4. Putanja letjelice *Dawn* od kad je lansirana do dolaska na Ceres

(izvor:<http://www.dawn-mission.org/mission/>)

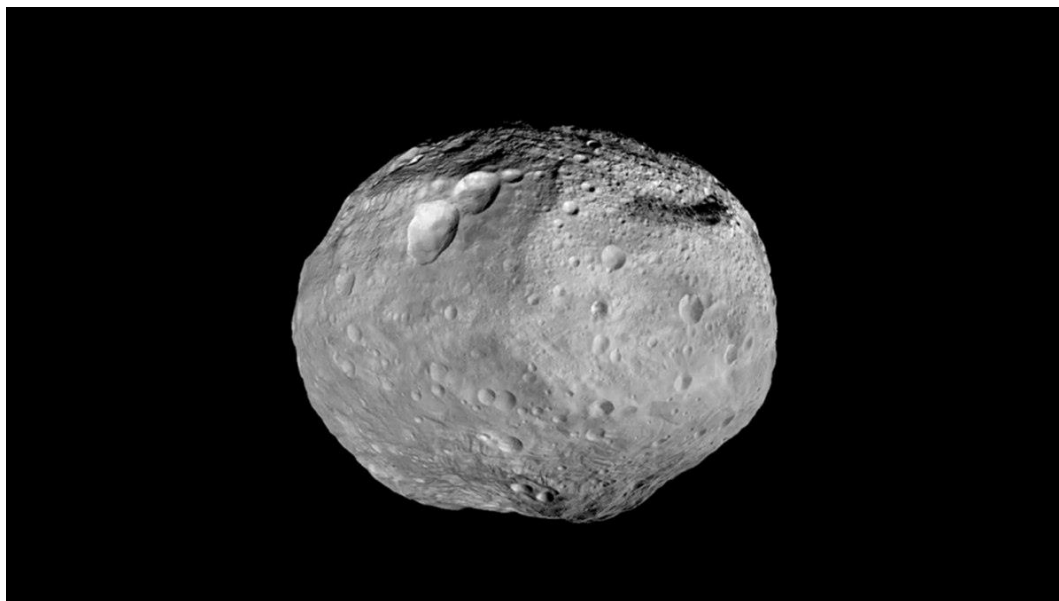
## 4.2. Vesta i Ceres

### 4.2.1. Asteroid Vesta

Prva stanica letjelice *Dawn*, u srpnju 2011., bio je drugi najveći objekt glavnog asteroidnog pojasa, asteroid Vesta, širok 530 km (Slika 5, str. 17). Vesta je također najsvjetliji objekt Glavnog pojasa, čija je površina tri puta svjetlija od površine Zemljinog Mjeseca, a ima svijetle i tamne mrlje po površini. Službeno ime ovog asteroida je 4 Vesta, jer je četvrti po redu otkriveni asteroid. Otkriven je u ožujku 1807. godine.<sup>21</sup>

Na površini Veste pronađene su neobične stijene što postavlja mnoga pitanja o njegovom nastanku. Za vrijeme nastajanja, visoka temperatura razvijala se na površini asteroida, no njegova velika masa pomogla je zadržati tu toplinu koja je talila stijene i materijale od kojih se razvila Vesta. Vesta je razvila oblik sličan Zemlji, poput sferoida. Prvotni oblik ovog asteroida bio je kugla, no dva teška sudara koja je pretrpjela stvorila su dva velika kratera na južnom polu te su promijenila oblik asteroida.<sup>26</sup> Za razliku od ostalih asteroida, Vesta ima unutrašnjost koja se sastoji od tri dijela: središnje jezgre od željeza i nikla, stjenovitog plašta i vanjske kore ohlađene lave.<sup>22,25</sup>





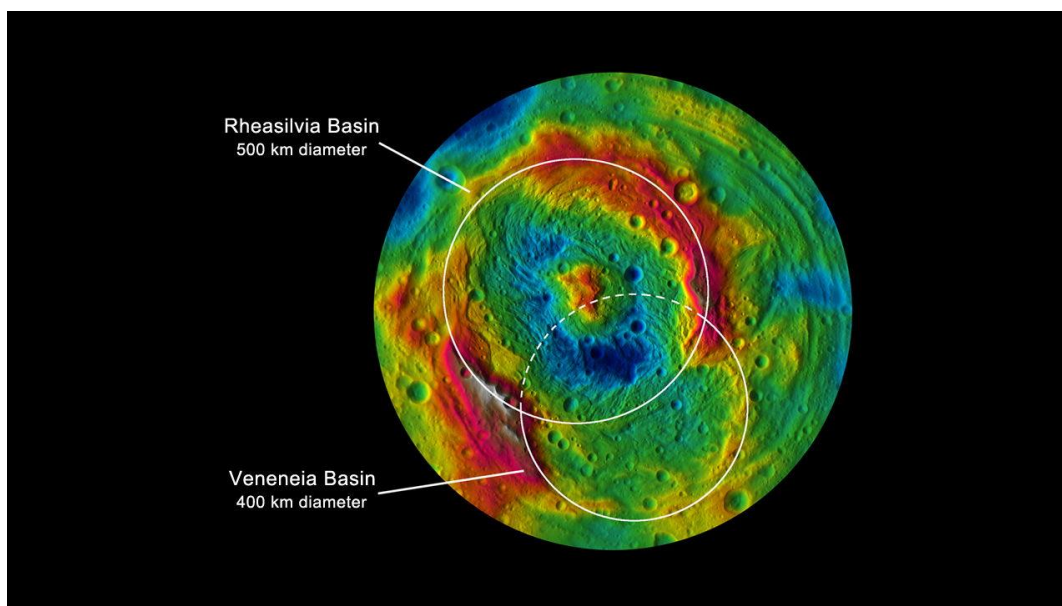
Slika 5. Asteroid Vesta

(izvor: <https://www.space.com/23488-protoplanet-vesta-formation-mystery.html>)

Vesta ima površinu od bazalne stijene, smrznute lave, koja se izlazila iz vruće unutrašnjosti neposredno nakon formiranja, prije 4,5 milijarde godina. Također, teleskopska istraživanja otkrila su područja bogata mineralima.<sup>21</sup> Krater *Rheasilvia* koji se nalazi na jugu asteroida širok je 460 km, te je dubok 13 km. Izazvan je masivnim sudarom prilikom kojeg je 1 % asteroidnog volumena, odnosno pola milijuna kubičnih milja stjenovitog materijala, odletilo u svemir. Krhotine asteroida, Vestoidi<sup>25</sup>, rasporedile su se po svemiru u obliku prašine, kamenja i gromada. Za neke se smatra da su završile padom upravo na planet Zemlju.<sup>21</sup> Podijeljena unutrašnjost Veste dokazana je proučavanjem tri vrste meteorita koji su pronađeni na planetu Zemlji. HED meteoriti, hovarditi, eukriti i diogeniti, dijelovi su unutrašnjosti asteroida Vesta. Eukriti su dijelovi asteroidne kore, diogeniti dijelovi plašta dok su hovarditi smjesa materijala prethodnih dviju vrsta.<sup>27</sup> Pokraj kratera *Rheasilvia* nalazi se krater *Venenia*, koji je također nastao kao posljedica sudara. Krater *Venenia* širok je 395 km (Slika 6, str. 18).<sup>24</sup>

Vesta nema atmosferu te je veoma hladan i suh asteroid zbog čega nije očekivano da bi se moglo pronaći vodu na njegovoj površini. Kada bi se voda nalazila na površini isparavala bi. No, Vesta je prekriven stijenama u čiji sastav ulaze hidratizirani minerali. Postavlja se pitanje porijekla tih minerala. Znanstvenici smatraju da su hidratizirani minerali na površinu asteroida stigli u doba formiranja Sunčeva sustava te da su donešeni kamenjem i prašinom koja je još ispunjavala međuprostor svemirskih tijela. S druge strane, površinski minerali upućuju na

moćnost postojanja ledenog oceana duboko ispod površine asteroida. Kada bi postojao, instrumenti svemirske letjelice Dawn ne bi ga mogli detektirati. Nepravilna površina prekrivena hidratiziranim mineralima moguća je posljedica udaraca meteorita koje je pretrpjela Vesta. Ti udarci oštetili bi površinu asteroida te izložili „skriveni led” koji bi se pod utjecajem temperature istalio te pukotinama putovao do površine.<sup>25</sup>



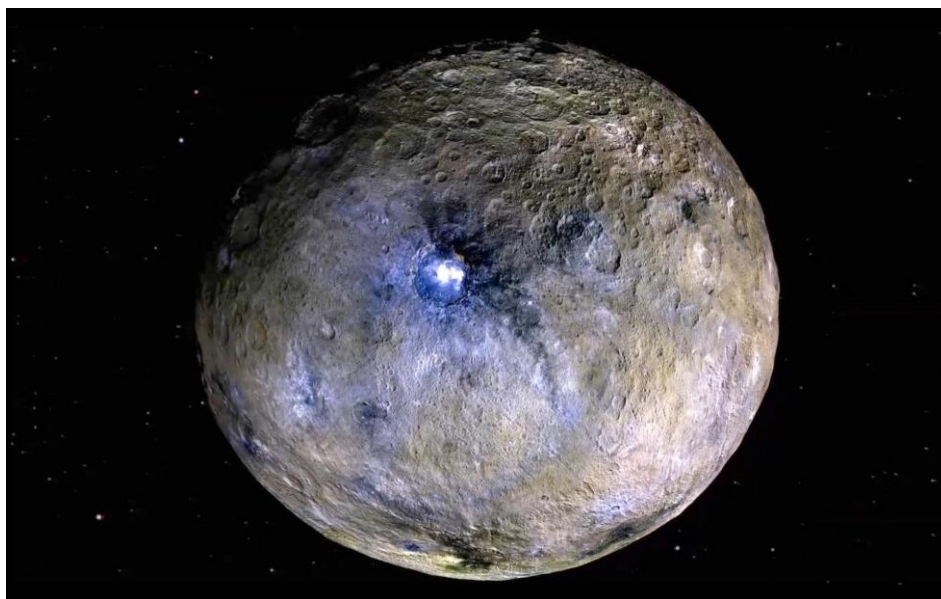
Slika 6. Topografska karta asteroida Vesta – krateri *Rheasilvia* i *Veneneia*  
(izvor: <https://www.space.com/19767-asteroid-vesta-violent-collision-history.html>)

#### 4.2.2. Patuljasti planet Ceres

Patuljasti planet Ceres (Slika 7, str. 19) na prvi pogled izgleda kao tamna, ledena stjenovita kugla, kakve nalazimo unutar Sunčeva sustava. Istraživanja provedena u proteklom desetljeću pokazuju drugačije. Ceres je u posvuda prekriven mineralima, ledom te vodenim klatratima (kavezi sačinjeni od molekula vode u kojima su zarobljene molekule plina). Kao takav pokazuje svojstva tijela koja se nalaze izvan Sunčeva sustava.<sup>34</sup>

Znanstvenici misije *Herschel*, između 2012. i 2013. godine, prvi su otkrili oblak vodene pare oko patuljastog planeta Ceresa, najvećeg objekta Glavnog asteroidnog pojasa (25 % ukupne mase pojasa). Primjetili su da oblačići vodene pare periodično iskaču s Ceresa brzinom od oko 6 metara u sekundi. Kada se Ceres nalazi u dijelu svoje orbite bližem Suncu, površinski led se grije te isparava; kada se nalazi u hladnijem dijelu svoje orbite ta pojava se ne događa.<sup>28</sup> Misija

*Herschel* koristi svemirski teleskop koji pomoću zračenja u dalekom dijelu infracrvenog spektra proučava Svemir i traži podatke o nastanku Sunčeva sustava. Misijom *Herschel* upravlja Europska svemirska agencija (ESA, engl. *European Space Agency*) u suradnji s NASAom. „Ovo je prvi put da je vodena para nedvojbeno otkrivena na Ceresu ili bilo kojem drugom objektu u Glavnom asteroidnom pojasu što dokazuje da Ceres ima ledenu površinu te da ima atmosferu.” rekao je Michael Kuppers iz ESA-e.<sup>28</sup>



Slika 7. Patuljasti planet Ceres

(izvor: <http://www.sci-news.com/space/dawn-water-ice-ceres-04493.html>)

Teleskopom *Hubble* prikupljeni su podatci o obliku patuljastog planeta (Slika 8, str. 20). Ceresova rotacija pokazuje da je gotovo okrugao; promjer ekvatora iznosi 950 km i veći je od onoga na polovima. Ceres je po obliku i sastavu sličniji Zemlji i Marsu nego svojim susjedima, asteroidima; ima podijeljenu unutrašnjost s pretpostavljenim ledenim oceanom ispod površine te tvrdom jezgrom. Astronomi smatraju da bi, ako ledeni ocean ispod površine zaista postoji, patuljasti planet imao više vode nego planet Zemlja; 25 % ukupne mase.<sup>29</sup>

Prethodno prikupljeni podatci o Ceresu bili su dobra priprema za istraživanje misije *Dawn*. Svemirski brod misije *Dawn*, 6. ožujka 2015. godine, ušao je u orbitu patuljastog planeta Ceresa.<sup>28</sup> Prve slike letjelice prikazivale su tamni objekt prekriven kraterima čija su najsvjetlija područja prekrivena visokoreflektirajućim solima, a ne ledom. Ubrzo, istraživanje je dokazalo postojanje leda posvuda na ili odmah ispod površine Ceresa još od nastanka patuljastog planeta.



Slika 8. Umjetnički prikaz patuljastog planeta Ceresa unutar Glavnog asteroidnog pojasa – jasno se vidi oblak vodene pare oko površine objekta

(izvor: <https://dawn.jpl.nasa.gov/science/ceres.html>)



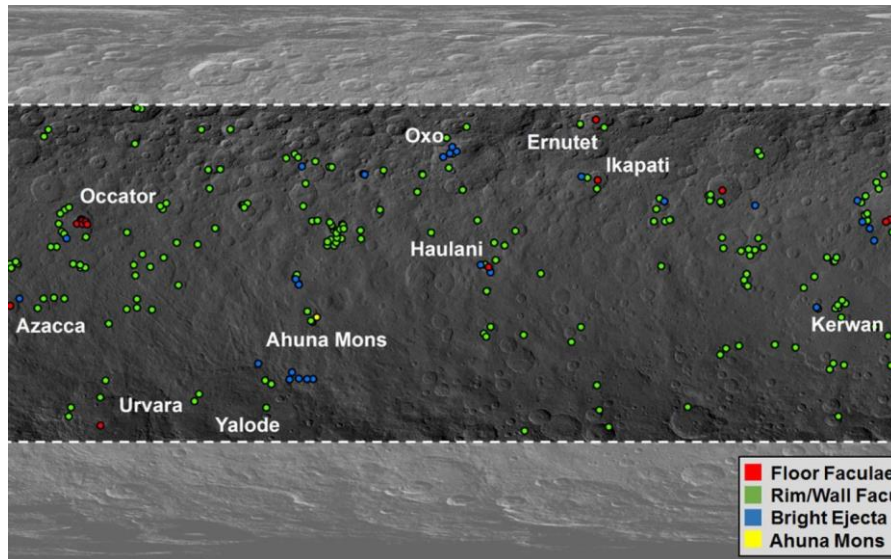
Slika 9. Umjetnički prikaz približavanja letjelice misije *Dawn* Ceresu

(izvor: <http://cosmoknowledge.com/nasas-dawn-probe-prepares-closest-encounter-ever-dwarf-planet-ceres/>)

Najgornja površina objekta bogata je vodikom, i to u područjima srednjih i visokih geografskih širina koja su prekrivena ledom. Znanstvenici su korištenjem GRaND instrumenta mjerili koncentraciju vodika, željeza i kalija u najvišim dijelovima površine Ceresa. GRaND mjeri broj i energiju gama zraka te neutrona koji isijava površina. Neutroni se proizvode kada galaktičke kozmičke zrake pogode površinu Ceresa; dio neutrona se apsorbira, a dio se dio reflektira. GRaND skuplja upravo reflektirane neutrone te tako odrađuje koncentraciju tvari. Vodik je usko povezan s neutronima s obzirom da ih uspoređuje te tako u prisutnosti vodika, GRaND mjeri manje neutrona koji dolaze s površine. Govoreći o ledu koji prekriva površinu nekog objekta, zamišljamo čvrsti ledeni pokrivač. U slučaju Ceresa nije baš tako. Površinu zapravo prekriva porozna smjesa stjenovitih materijala čije su šupljine ispunjene ledom (10 % leda po masi).<sup>31</sup>

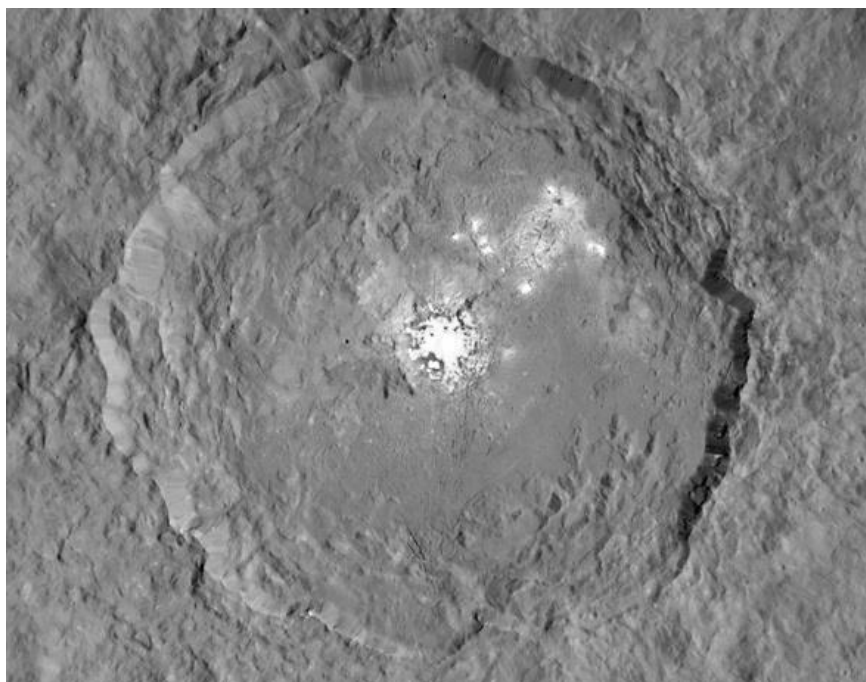
Koncentracije željeza, vodika, kalija i ugljika pronađene na površini upućuju na zamjenu materijala, koji se nekada nalazio na površini patuljastog planeta, vodom iz unutrašnjosti. Znanstvenici tvrde da je raspad radioaktivnih kemijskih elemenata uzrokovao toplinu koja je dovela do te izmjene i razdvojila Ceres na stjenovitu unutrašnjost i vanjsku vodenu školjku što je dovelo do razlike u kemijskom sastavu površine i unutrašnjosti.

Tijekom istraživanja (Slika 9, str. 20) Ceresa, *Dawn* je pronašao gotovo 300 svijetlih područja na površini objekta. Prva skupina takvih područja nalazi se na dnu kratera, a to su najsvjetlija područja koja ujedno i najviše reflektiraju. Najveći i najpoznatiji krater nazvan je *Occator* i bogat je visokoreflektirajućim solima koje su nekada bile otopljene u vodi. Nalazi se na sjevernoj hemisferi objekta. Najnoviji podatci instrumenata letjelice *Dawn* pokazuju da su svijetle mrlje *Occatora* (Slike 10 i 11, str. 22) zapravo talozi natrijeva karbonata. Taj mineral pronađen je istaložen na mnogim dijelovima površine planeta Zemlje kao posljedica isparavanja vode bogate mineralom.<sup>32</sup> Druga skupina bijelih, svijetlih područja nalazi se na obručima kratera te se kreće prema unutrašnjosti. Najvjerojatnije su se ti materijali nalazili plitko ispod površine Ceresa, a izloženi su prilikom nastajanja kratera. Treća skupina područja predstavlja manje svijetle mrlje nastale izbacivanjem materijala iz kratera. One se nalaze posvuda po površini objekta.<sup>30,31</sup>



Slika 10. Prikaz većine svijetlih točaka pronađenih na površini Ceresa (poznatije označene imenima)

(izvor: <http://www.spaceflightinsider.com/missions/solar-system/bright-spots-ceres-indicate-geologic-activity/>)

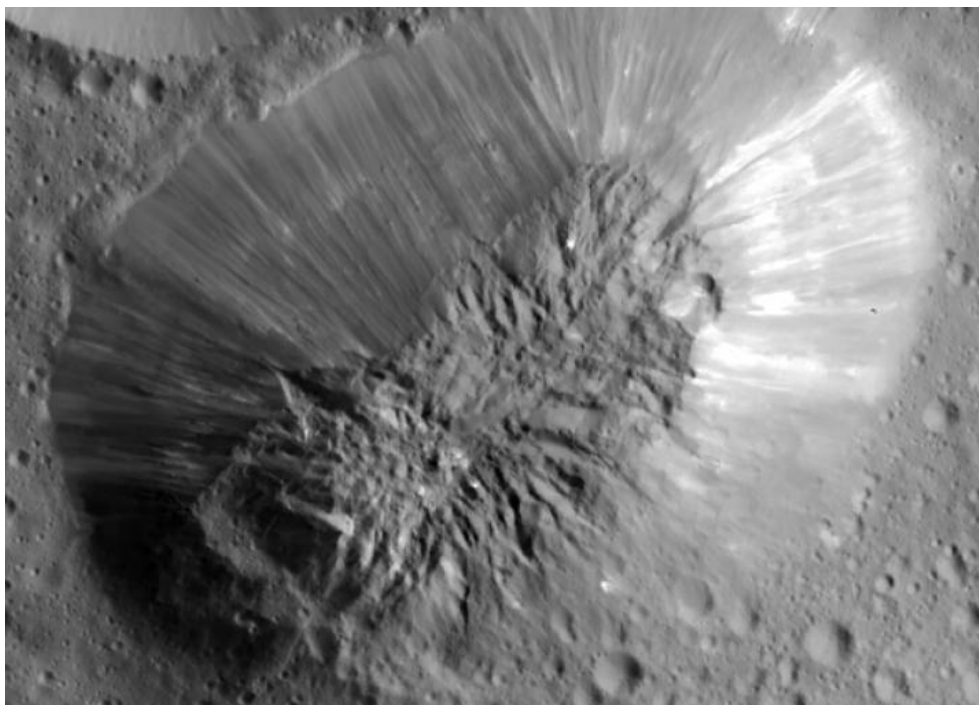


Slika 11. Cereški krater *Occator*

(izvor:

[http://www.slate.com/blogs/bad\\_astronomy/2015/09/10/ceres\\_hi\\_res\\_bright\\_spots\\_and\\_cracks.html?via=gdpr-consent](http://www.slate.com/blogs/bad_astronomy/2015/09/10/ceres_hi_res_bright_spots_and_cracks.html?via=gdpr-consent))

Jedina svijetla točka na površini patuljstog planeta, nevezana za kratere je planina *Ahuna Mons*, koja je ujedno dokaz geološke aktivnosti patuljastog planeta (Slike 12 i Slika 13, str.24). *Ahuna Mons* je kriovulkan, vulkan koji je nastao postepenim nakupljanjem viskoznih, slabo tekućih materijala; vode bogate solima pomiješane s blatom i tekućim stijenvitim materijalima. Planina je prekrivena bijelim svijetlećim linijama.<sup>30,31,33</sup>

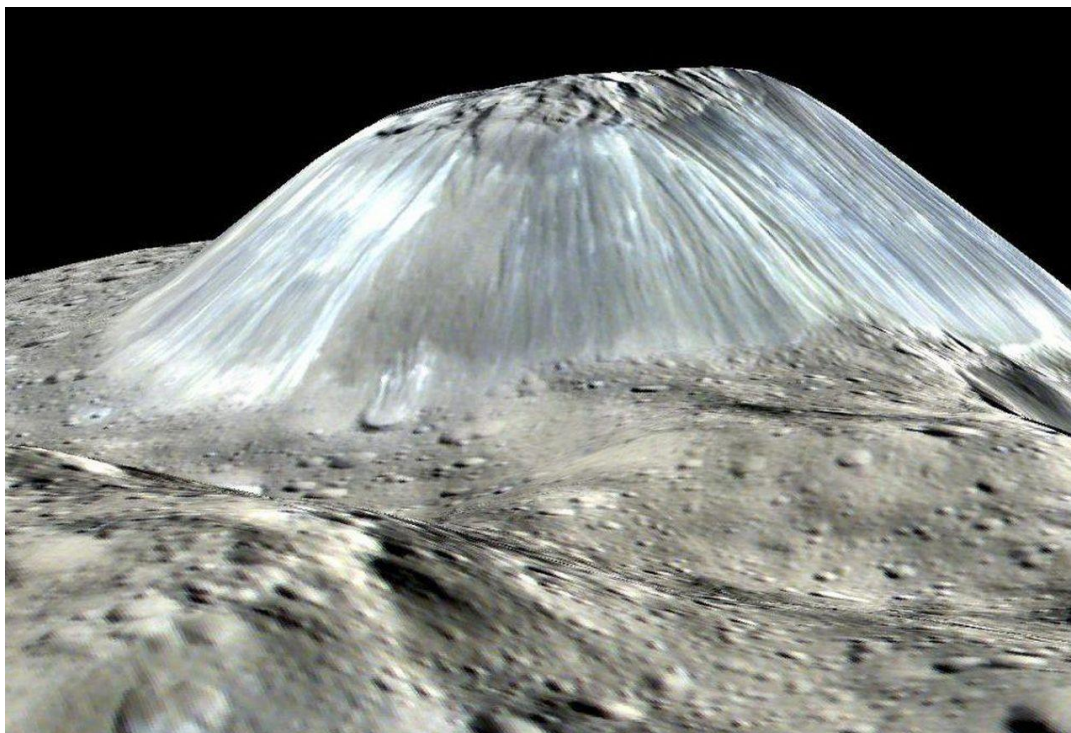


Slika 12. Planina *Ahuna Mons* ( slikano odozgo)

(izvor:

[http://www.slate.com/blogs/bad\\_astronomy/2016/03/12/ahuna\\_mons\\_a\\_mountain\\_on\\_ceres.html](http://www.slate.com/blogs/bad_astronomy/2016/03/12/ahuna_mons_a_mountain_on_ceres.html))

Uz minerale i svijetla područja, površinu Ceresa prekrivaju i stjenoviti materijali. Eleonora Ammanito sa Sveučilišta u Kaliforniji, istražila je te materijale i otkrila da se sastoje od filosilikata. Filosilikati koji prekrivaju površinu Ceresa bogati su magnezijem te imaju zarobljene molekule amonijaka u svojoj kristalnoj strukturi.<sup>33</sup> NASA je također pronašla dokaze postojanja organskih materijala na površini Ceresa. Oni se u najvećoj koncentraciji nalaze na dnu kratera *Ernutet*, na sjevernoj hemisferi. Patuljasti planet u tim dijelovima ima sličnosti s meteoritima, ugljikovim kondritima. Ova otkrića pokazuju da su organske tvari prirodne Ceresu te upućuju na geološku aktivnost koja je uključivala toplinu i vodu.



Slika 13. Planina *Ahuna Mons*

(izvor: <https://www.forbes.com/sites/brucedorminey/2017/10/27/nasa-says-dwarf-planet-ceres-likely-harbors-salty-mud/#1ed9c8ee6428>)

Istraživačke misije *Dawn* i *Herschel* poslane na najveći objekt Glavnog asteroidnog pojasa, iskopale su čup bogat informacijama o najzanimljivijem patuljastom planetu i tijelu koje zbog svojih karakteristika spaja objekte Sunčevog sustava s onima izvan njega. I dok se neke od svijetlećih mrlja Ceresa „gase” i postaju tamnije, druge, nove, se formiraju. To nam govori da je Ceres još uvijek aktivno tijelo i otvara prostor za nova iznenađenja.

## § 5. JUPITER, SATURN, MARS

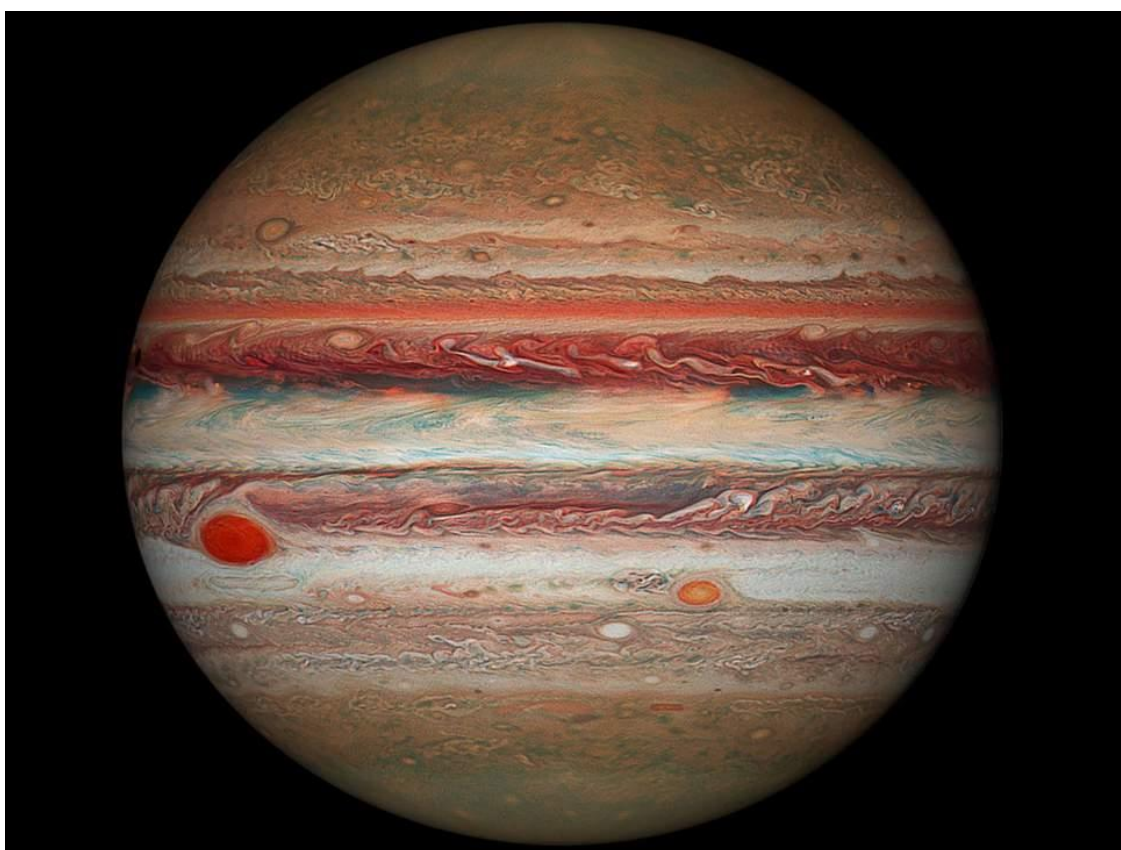
### 5.1. Jupiter i njegovi mjeseci

Jupiter je najveći planet našeg Sunčevog sustava i nalazi se na udaljenosti 778 milijuna kilometara od Sunca (peti je po redu planet od Sunca, Slika 14, str. 25). Znanstvenici ga nazivaju *plinskim divom* s obzirom na to da je njegova atmosfera ispunjena uglavnom vodikom i helijem. Duboko u atmosferi Jupitera, visoka temperatura i visok tlak komprimiraju vodik u tekućinu koja čini najveći ocean u Sunčevu sustavu, ocean tekućeg vodika. Planet je također bogat helijem i vodenom parom. Zbog velike količine plinovitih tvari, Jupiter nema „pravu”



površinu; ovaj planet je golema kugla vrtloga plina i tekućine. Jupiterov golemi oblak dijeli se u tri sloja; najviši sloj sastoji se od ledenog amonijaka, dok se srednji sastoji od kristala amonijeva hidrogensulfida ( $\text{NH}_4\text{HS}$ ). Najdublji sloj sastoji se od leda i vodene pare. Boje koje se mogu vidjeti na slici 14 vjerojatno označavaju oblake sumpora i fosfora koji se pod utjecajem topline izdižu iz unutrašnjosti planeta.<sup>35</sup>

Misija Juno bavi se istraživanjem najvećeg planeta Jupitera. Misija je pokrenuta 5. kolovoza 2012. godine kada je lansirana svemirska letjelica.<sup>36</sup> Proučavanjem ovog planeta zaključeno je da on ne poznaje i ne može podržavati život kakav postoji na Zemlji, no njegovi mjeseci imaju oceane sakrivene ispod svoje površine, što ih ubraja u svemirska tijela pogodna za ekstraterestrički život. Jupiter ima 79 potvrđenih mjeseaca. Najpoznatiji i najistraživaniji su takozvani Galileovi sateliti, njih četiri koje je Galileo Galilei otkrio 1610. godine. To su: Io, Europa, Ganimed te Kalisto. Oni su ujedno i Jupiterovi najveći mjeseci.<sup>35</sup>



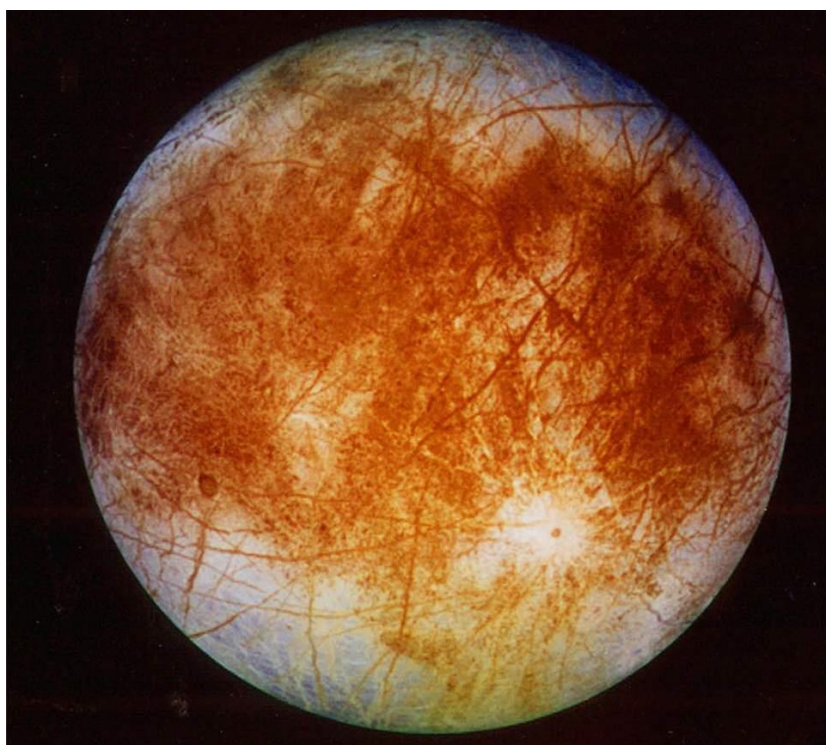
Slika 14. Planet Jupiter

(izvor: <https://www.independent.co.uk/news/science/astronomy/stargazing-may-astronomy-jupiter-great-red-spot-moons-a8332106.html>)

### 5.1.1. Europa – ledeni mjesec

Europa (Slika 15) je najmanji mjesec od četiri Jupiterova mjeseca (promjer najšireg dijela je 3100 km), Galileova satelita. Ovaj mjesec nalazi se na udaljenosti od oko 790 milijuna kilometara od Sunca; šesti je Jupiterov mjesec te se nalazi na udaljenosti 670 900 kilometara od planeta.<sup>38</sup> Karakteristična značajka ovoga mjeseca je njegov visoki stupanj reflektivnosti (albedo) što ga čini jednim od najsvjetlijih mjeseca unutar Sunčeva sustava.<sup>38</sup>

Slike i podatci prikupljeni iz svemirske letjelice *Galileo* dali su pretpostavku da je Europa izgrađena od silikatne stijene sa željeznom jezgrom i stjenovitim plaštom, slično kao i planet Zemlja. Za razliku od Zemljine unutrašnjosti, stjenoviti plašt mjeseca Europe okružen je slojem slane vode, čija se debljina, prema podacima iz NASA-e, procjenjuje između 80 i 170 kilometara. Duboki ocean kojeg skriva Jupiterov mjesec pretpostavljen je na temelju mjerenja magnetometra kojeg je nosila Galileova letjelica. Magnetsko polje Jupitera ometano je u blizini mjeseca Europe.

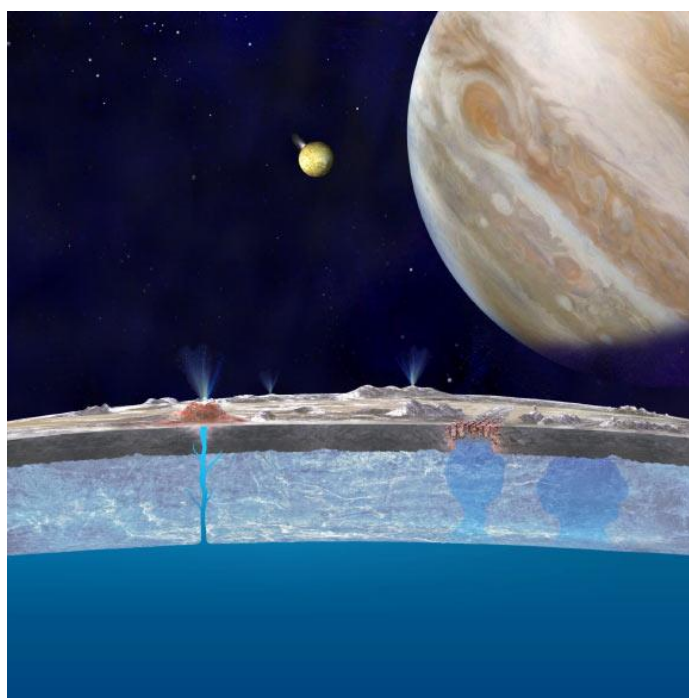


Slika 15. Jupiterov mjesec Europa

(izvor: <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/search-for-life-on-europa-nasa-chooses-tools-that-will-look-for-living-things-on-jupiter-s-moon-10279364.html>)

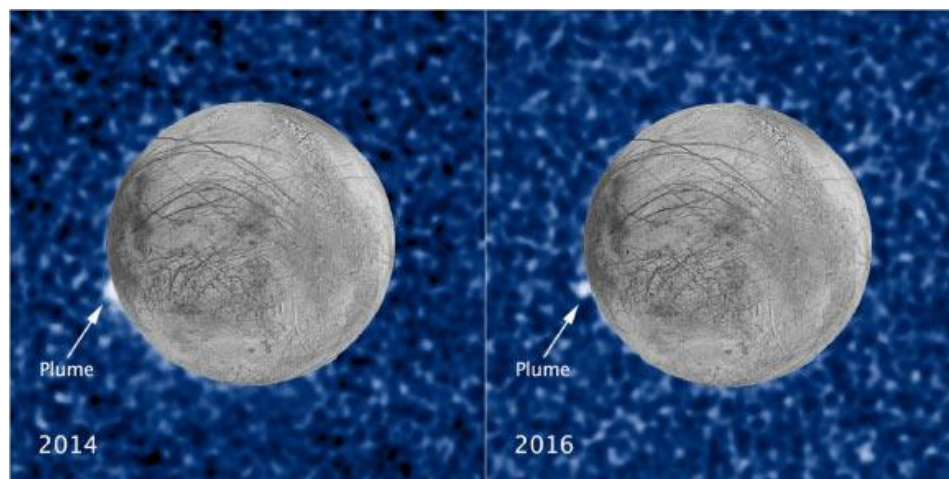
Mjerenje je pokazalo da se unutar Europe javlja posebna vrsta induciranog magnetskog polja pod utjecajem električki vodljive tekućine koja se nalazi ispod površine. Također snimke teleskopa *Hubble* upućivale su na to da Europa ispušta oblake vodene pare. Uspoređivanjem podataka teleskopa *Hubble* i Galileove letjelice pretpostavlja se da je Galileiova letjelica u trenutku detektiranja nepravilnosti u gibanju magnetskog polja prošla upravo kroz ispušteni oblak vodene pare s površine Europe. Na temelju ledenog sastava Europe, znanstvenici su na kraju zaključili da inducirano magnetsko polje uzrokuje gibljivi ocean slane vode ispod površine Europe (Slika 15).<sup>35,37</sup>

Ovaj ocean posebni je od drugih ekstraterestičkih oceana po tome što se za njega smatra da je u izravnoj interakciji sa stjenovitom unutrašnjosti Europe. Ovakva interakcija proizvodi uvjete slične onima na biološki bogatom morskom dnu Zemlje. Proces na površini Europe te interakcije s drugim Jupiterovim mjesecima (npr. s Iom) kemijski su izvor energije potrebne za život (Slike 16 i Slika 17, str. 21).



Slika 16. Umjetnički prikaz ispuštanja oblaka vodene pare s površine Jupiterova mjeseca Europe; slika također prikazuje pretpostavku izgleda unutrašnjosti mjeseca (vidi se ledena kora ispod koje se nalazi ocean)

(izvor: <http://www.sci-news.com/space/hubble-water-vapor-plume-europa-04783.html>)



Slika 17. Prikaz izbacivanja oblaka vodene pare s istog mjesta na površini mjeseca Europe u razmaku od dvije godine snimljen teleskopom *Hubble* pod UV svjetlom (17. ožujka 2014. – lijevo, 14. veljače 2016. – desno)

(izvor: <http://www.sci-news.com/space/hubble-water-vapor-plume-europa-04783.html>)

Najnovije osmišljena misija *Europa Clipper* ima zadatak proučiti Europu na sličan način kao što je to učinila letjelica Galileo samo s očekivanim rezultatima i novom, bolje opremljenom letjelicom. Ako pronade aktivne oblake vodene pare, izbačene s površine, letjelica će moći proći kroz njih te izravno osjetiti o kakvim se česticama radi, moći će analizirati čestice i plinove te dobiti detaljniji opis materijala koji se nalaze u unutrašnjosti mjeseca Europe. Instrumenti nove letjelice uključivati će kamere za izradu slika površine Europe visoke razlučivosti te spektrometre za točno određivanje kemijskog sastava Europe. Radar s mogućnosti prodiranja kroz led mjeriti će debljinu ledene kore mjeseca te potražiti postoje li ledena jezera ispod površine slična onima ispod Antarktike na Zemlji. Letjelica ove misije također će nositi magnetometar koji će mjeriti smjer i snagu magnetskog polja Europe, koji će znanstvenicima omogućiti određivanje dubine i slanosti oceana.<sup>35</sup>

### 5.1.2. Ganimed

Europa nije jedini Jupiterov mjesec koji u svojoj unutrašnjosti nosi ocean. Sedmi Jupiterov mjesec Ganimed najveći je satelit u Sunčevom sustavu (Slika 18, str. 29). Prema veličini, mogao bi se klasificirati u planete, no umjesto oko Sunca, kruži oko Jupitera i to na udaljenosti od 1700 milijuna kilometara. Radijus ovog ogromnog mjeseca iznosi 2631 km. Ganimed je jedini satelit Sunčevog sustava koji ima magnetosferu.<sup>40</sup> Magnetosfera je područje unutar atmosfere nekog

svemirskog tijela u kojoj su magnetska svojstva i visoka atmosferska provodljivost uzrokovane ionizacijom; to područje važno je za ponašanje nabijenih čestica.<sup>41</sup>

Ganimed ima metalnu željeznu jezgru i stjenoviti, kameni plašt kojeg prekriva sloj uglavnom ledene kore. Površina ovog mjeseca sastoji se od dvije vrste tla što mu daje poseban izgled; 40 % površine je tamno prekriveno brojnim kraterima, a 60 % je svijetlo s mnogim utorima. Takvi utori moguća su posljedica tektonske aktivnosti ili izbijanja vode na površinu iz unutrašnjosti objekta.<sup>40</sup>



Silka 18. Prikaz površine mjeseca Ganimeda

(izvor: <http://www.cosmosup.com/ganymede-may-harbor-life/>)

Svemirskim teleskopom *Hubble* 2015. godine proučavane su Ganimedove aurore i kako se one mijenjaju između magnetskih polja Jupitera i Ganimeda. Aurora je prirodna pojava svjetlosti (najčešće zelene, crvene, žute ili bijele) u atmosferi svemirskog tijela koja je uzrokovana strujama nabijenih čestica koje su zarobljene u magnetskom polju tijela.<sup>42</sup> Utjecaj magnetskog polja na aurore dao je dokaze o postojanju slanog oceana ispod površine Ganimeda. Njihovo gibanje pretpostavlja da je koncentracija soli u oceanu velika. Ganimedov ocean je čak slaniji nego oceani na Zemlji.<sup>40</sup> Također *Hubble* je detektirao tanku atmosferu kisika na Ganimedu, no pretanku da bi podržavala život.<sup>43</sup>

Dio znanstvenika skeptičan je o postojanju uvjeta za život na Ganimedu zbog njegove unutrašnjosti. U podnožju oceana tlak je toliko visok da svu vodu pretvara u led, te joj tako onemogućava prijenost energijski važnih tvari za život.

ESA planira novu misiju JUICE (engl. *Jupiter Icy Moons Explorer*) koja će obići i istražiti sve ledene Jupiterove mjesece. Planirano lansiranje letjelice sa Zemlje za ovu misiju je 2020.

godine, koja bi do 2030. trebala stići na Jupiter.<sup>40</sup> Ovu misiju za sada najviše zanima upravo Ganimed.

## 5.2. Saturn i njegovi mjeseci

Šesti planet po udaljenosti od Sunca je Saturn. Drugi je najveći planet Sunčeva sustava i jedini koji ima vidljive prstene oko sebe. Skupinu od sedam prstena čine: A, B, C, D, E, F i G prsten.<sup>47</sup> Prsteni sastoje se od komadića stijena i kamenja. Kao i kod „plinskog diva” Jupitera, atmosfera Saturna sastoji se uglavnom od vodika i helija zbog čega također nema „pravu” površinu. Radijus Saturna iznosi 58 232 kilometara.<sup>45</sup> Ovaj planet kruži na udaljenosti od 1,4 milijarde kilometara od Sunca. Ima 53 potvrđena mjeseca.<sup>44</sup> Encelad i Titan njegovi su najzanimljiviji mjeseci s obzirom na to da skrivaju unutarnje oceane te su potencijalna staništa života. Misija *Cassini* pokrenuta je 1997. godine kako bi proučila Saturn i njegove mjesece. Letjelica je lansirana 15. listopada iste godine, a zadržala se u orbiti Saturna do 2017. godine.

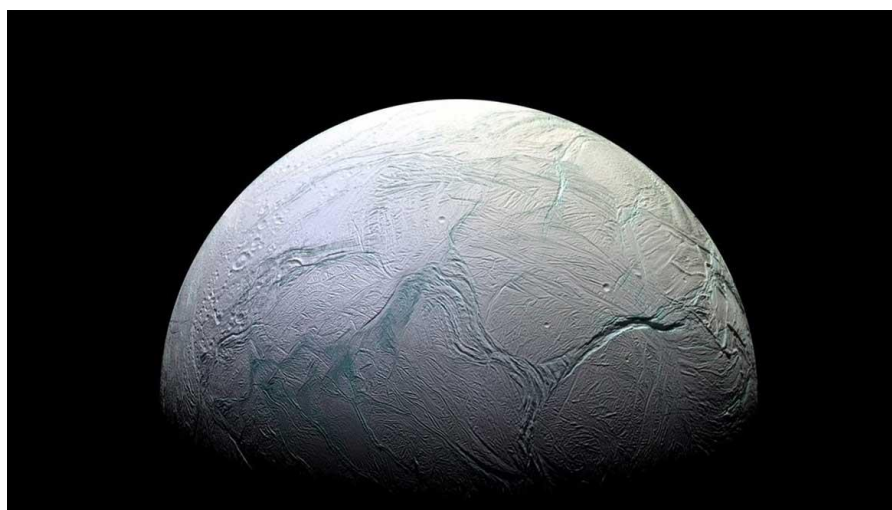
### 5.2.1. Encelad

William Herschel otkrio je Encelad proučavanjem Saturna 28. kolovoza 1789. Istraživanja ovog mjeseca nastavila su se misijom *Cassini* (Slika 19, str. 31). Radijus ovog mjeseca iznosi svega 500 kilometara.<sup>46</sup> Za razliku od ostalih objekata, na kojima je ocean pronađen ispod površine, na ovom mjesecu otkiven je površinski ledeni ocean. Površina Encelada izrazito je bijela i reflektira gotovo 100 % svjetlosti koja dolazi do nje, više od svih objekata u Sunčevom sustavu. Tijekom misije *Cassini*, 2005. godine, znanstvenici su primijetili erupcije oblaka slane vode, minerala i plinova. Erupcije su bile brze i kontinuirane zbog čega se oko mjeseca pojavio sloj magle. Mjesec izbacuje ledene čestice u svoju atmosferu dok kruži oko Saturna. Dio čestica se vraća na njegovu površinu zbog čega je ona glatka i izgleda kao da je prekrivena snijegom. Dio čestica odlazi izvan atmosfere i tvori Saturnov E prsten. Zbog velike reflektivnosti površine, temperatura na površini Saturna vrlo je niska ( $-201\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).<sup>46</sup>



Sika 19. Prikaz Saturnovog E prstena; bijela točkica predstavlja mjesec Encelad

(izvor: <https://saturn.jpl.nasa.gov/news/3021/put-a-ring-on-it/>)

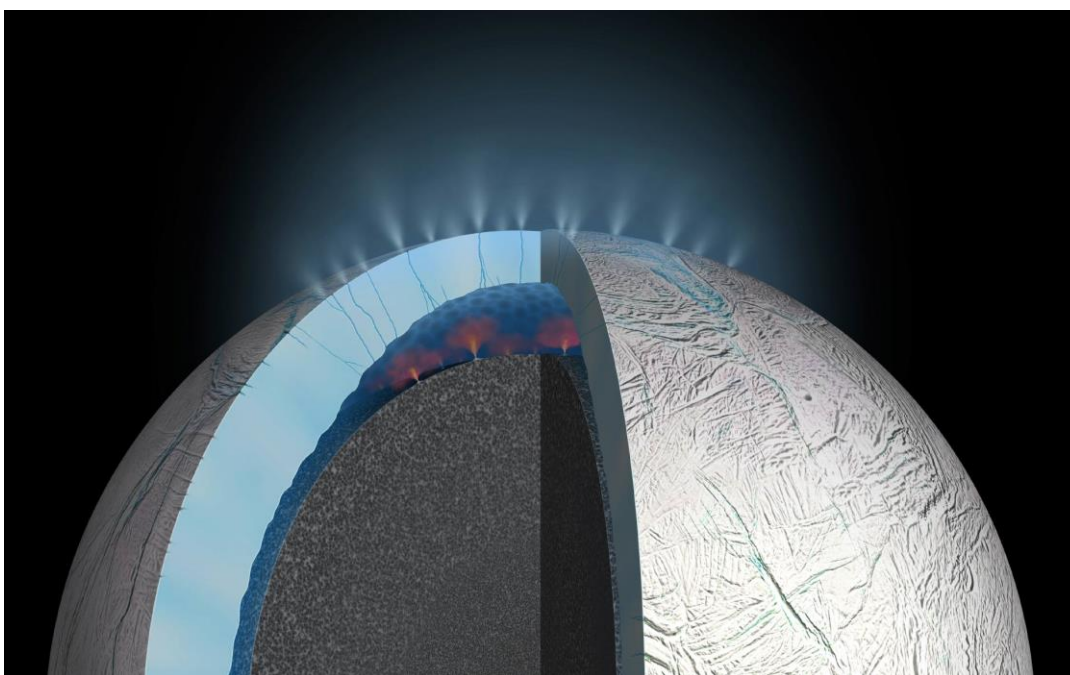


Slika 20. Prikaz površine Encelada

(izvor: <https://www.evolving-science.com/space/signs-life-confirmed-saturn-moon-enceladus-00711>)

Erupcije Encelada događaju se na područjima toplih pukotina u kori, koje znanstvenici nazivaju „tigrovim prugama”. Slika 20 prikazuje neke od pukotina. Prilikom svojeg kruženja po eliptičnoj putanji oko Saturna, Encelad se savija kako mijenja svoju udaljenost od planeta. Prilikom takvog gibanja, „tigrove pruge”, kojih ima četiri, šire se i skupljaju pa izbacuju smjesu koja izdrađuje Saturnov prsten i prekriva površinu njegova mjeseca. Vodeno-plinovitu smjesu koja u mlazovima izbija s površine čine vodena para, ugljikov dioksid, ugljikov monoksid, metan, amonijak, vodik i dušik uz organske materijale, soli i silicijev dioksid. No, prema

sastavu čestica, to nije jedina pojava koja se događa. Kako materijal iz tih erupcija tvori Saturnov E prsten, proučavanjem njegovih čestica otkriveno je kakve čestice i odakle ih ispušta površina Encelada. Granule silicijeva dioksida mogu nastati samo u interakciji vode i stijena pri temperaturi višoj od 90 °C što dokazuje hidrotermalnu aktivnost ovog mjeseca i upućuje na postojanje također ispod površinskog oceana (Slika 21).<sup>46</sup> Izbacivanje oblaka čestica događa se kroz hidrotermalne otvore. Voda iz oceana ulazi duboko u središte mjeseca gdje se zagrijava i otapa materijale iz stijena. Takva gusta voda, obogaćena mineralima i drugim česticama, izbija kroz hidrotermalne otvore kao aerosol.<sup>48</sup> Postojanje vodika i metana u mlazovima, znanstvenici također povezuju s ovom pojavom. Vodik, metan i granule silicijeva dioksida predstavljaju tri dokaza hidrotermalne aktivnosti koja su znanstvenicima dovoljna.<sup>48</sup>



Slika 21. Prikaz presjeka mjeseca Encelada; slika prokazuje hidrotermalnu aktivnost (izvor: <http://www.sci-news.com/space/cassini-hydrothermal-processes-enceladus-ice-covered-ocean-04780.html>)

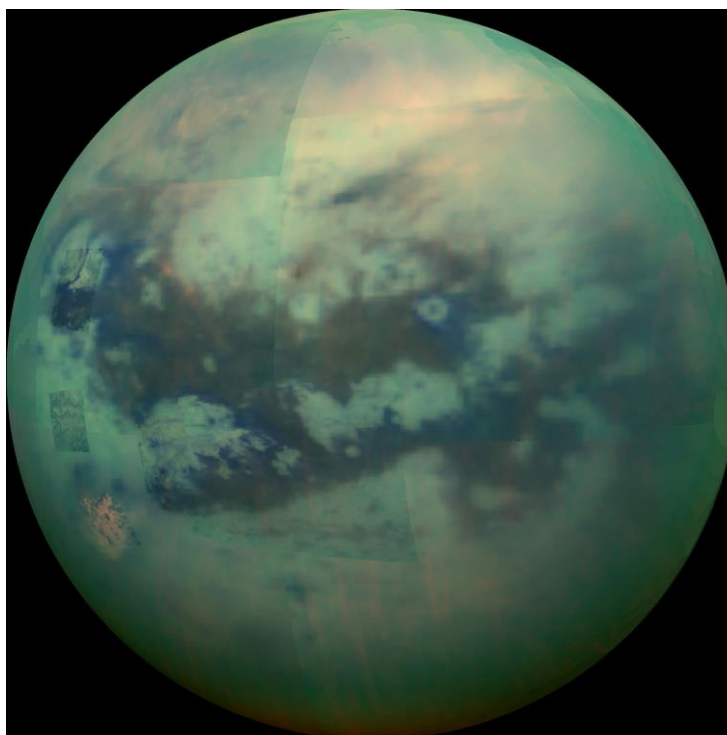
### 5.2.2. Titan

Titan (Slika 22, str. 33) je Saturnov najveći mjesec i drugi najveći mjesec Sunčeva sustava. Radijus ovog mjeseca iznosi 2575 kilometara. Ima atmosferu i jedino je svemirsko tijelo uz Zemlju koje na površini ima tekuća jezera, rijeke i mora. Također, kao i na Zemlji, atmosfera



ovog mjeseca sadrži najviše dušika (95 %), no površinski tlak Titana 50 % je viši od Zemljinog. Atmosfera je gusta i sadrži i malo metana (5 %).<sup>50</sup>

Titan ima oblake, kišu, rijeke, jezera i mora od tekućih ugljikovodika, metana i etana. Na ovom mjesecu zbiva se proces izmjene tekućina kao što je to na Zemlji ciklus izmjene vode. Kiša iz oblaka pada na površinu, teče preko nje, puni mora i jezera i isparava natrag u atmosferu. Površina Titana prekrivena je debelim slojem čvrstog leda ispod koje se nalazi tekući vodeni ocean.<sup>49</sup> Ova podzemna voda mogla bi biti izvor života kakvog poznajemo, dok bi površinska mora i jezera mogla biti izvor života kakvog mi ne poznajemo. Života koji koristi drugačiju kemiju za opstanak.



Slika 22. Saturnov mjesec Titan

(izvor: <https://scitechdaily.com/cassini-captures-infrared-view-of-saturns-moon-titan/>)

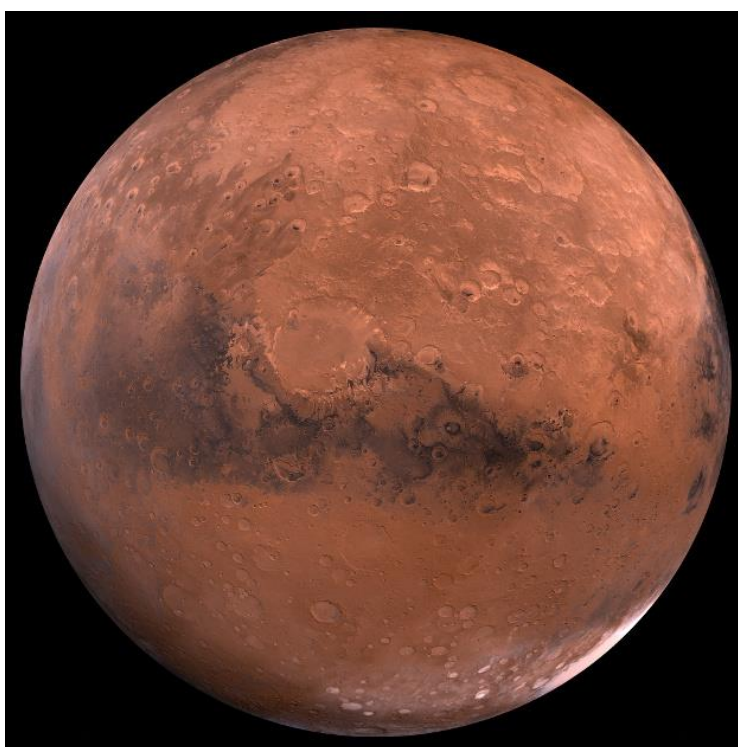
Struktura unutrašnjosti Titana nije sasvim poznata, ali znanstvenici su razvili model koji je dijeli na pet slojeva. Najdublji sloj čini stjenovita silikatna jezgra. Jezgru okružuje sloj leda tipa VI koji opstaje samo pri uvjetima visokog tlaka. Sljedeći sloj je sloj slane tekuće vode kojeg okružuje kora leda koja čini površinu mjeseca i ima ulogu stijena. Površina je prekrivena pijeskom i tekućim organskim tvarima.

Na mjesecu Titanu poznata je vulkanska aktivnost, no ne baš ona uobičajena. Umjesto tekuće stijene, poput lave na površinu istječe voda. Uz vulkansku aktivnost na ovom mjesecu prisutna su i tektonska pomicanja koja se također razlikuju od uobičajenih.

Do sada nije poznat život nikakve vrste na Titanu. No, s obzirom na njegov kemijski sastav, znanstvenici smatraju da je oblik nekakvog života na Titanu moguć.

### 5.3. Mars

Mars (Slika 23) je jedan od terestričkih planeta koji ima atmosferu i klimu koja se mijenjala kroz povijest. Geološki je promjenjiv i kompleksan. Znanstvenicima je najdostupnije mjesto u Sunčevu sustavu s mogućim odgovorima o nastanku i evoluciji života, a daje naznake da bi mogao biti i buduće stanište vrstama sličnim čovjeku. Ove karakteristike povezuju „Crveni planet” sa Zemljom i dobar su razlog proučavanja ovog planeta.

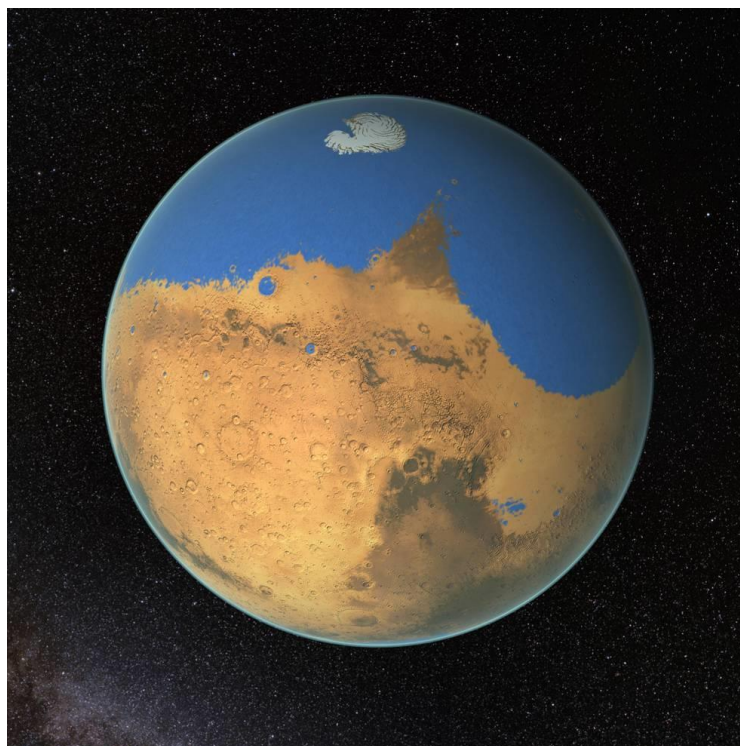


Slika 23. Planet Mars  
(izvor: <https://space-facts.com/mars/>)

NASA-in *Istraživački program Marsa* (MEP, eng. *Mars Exploration Program*) proučava Mars kao planetarni sustav s ciljevima shvaćanja nastanka i evolucije Marsa, istraživanja povijesti geoloških procesa koji su se zbivali na Marsu i oblikovali ga te provjere može li Mars

biti domaćin života. Sva istraživanja na ovom planetu započela su uputom „Slijedite vodu!” koja se kasnije razvila u otkrivanja ostalih mogućnosti primjerice postojanja života.<sup>51</sup>

Mars putuje oko Sunca na udaljenosti od 142 milijuna milja. Radijus mu iznosi 4220 milja. Atmosfera Marsa uglavnom se sastoji od ugljikova dioksida (96 %), s malom koncentracijom ostalih plinova poput argona i dušika.<sup>51</sup> Rijetka je, a atmosferski tlak je malen. Mars nema magnetsko polje koje bi uz atmosferu štitilo površinu stoga je ona stalno izložena UV-zračenju i ostalim oblicima *snažnog* zračenja.<sup>54</sup> Znanstvenici pretpostavljaju da je atmosfera Marsa nekad bila gušća te da je on kroz vrijeme izgubio veliku većinu svoje atmosfere. Utjecaj solarnog vjetra, struje nabijenih čestica koja dolazi iz gornje dijela atmosfere Sunca, doveo je do tog gubitka. Gubitak atmosfere uzrokovao je i gubitak velike količine vode koja je nekad prekrivala površinu Marsa. Smatra se da je Mars imao rijeke, jezera te čak i ocean na svojoj sjevernoj polutci.<sup>51</sup>



Slika 24. Prikaz „Crvenog planeta” prije gubitka vode

(izvor: <https://www.nasa.gov/press/2015/march/nasa-research-suggests-mars-once-had-more-water-than-earth-s-arctic-ocean>)

Proučavanjem atmosfere Marsa pomoću teleskopa sa Zemlje, znanstvenici su procijenili količinu vode koju je mogao sadržavati davni ocean tog planeta (Slika 24, str. 35). Također, meteoriti koji su pronađeni na Zemlji, a za koje se vjeruje da su s Marsa, koristan su materijal za procjenu vode na Marsu s obzirom na to da se u sastavu meteorita nalaze materijali, stijene s prazninama ispunjenim vodom. Mars je mogao imati dostatnu količinu vode u tekućem obliku koja bi mogla prekriti cijelu njegovu površinu slojem dubokim 137 metara. Nova istraživanja atmosfere Marsa provedena su velikim teleskopima Gemini – Južnog u Čileu i Sjevernog na Havajima. Pokazalo se da atmosfera „Crvenog planeta” sadrži vodu u dva oblika, uobičajenog H<sub>2</sub>O i HDO, prirodne varijacije u kojoj je jedan atom vodika zamijenjen težim izotopom, atomom deuterija. Usporedbom omjera H<sub>2</sub>O i HDO danas u atmosferi Marsa s onim u meteoritima starim oko 4,5 milijarde godina, znanstvenici mogu procijeniti koliko je vode prilikom atmosferskih promjena otišlo u svemir.<sup>53</sup> Mars je kroz svoje postojanje izgubio otprilike oko 87 % vode.<sup>53</sup>

Većina meteorita s Marsa su po sastavu bazalne stijene koje su i njegove najmlađe stijene. Najstariji poznat Marsov meteorit je ALH84001, star 4,1 milijarde godina. Sastoji se od stijena ortopiroksenita i minerala koji nastaju pri reakciji osnovnog materijala meteorita i vode. Najstariji poznati minerali s Marsa, stari 4,4 milijarde godina, su cirkoni s mlađeg meteorita NWA 7034. Ostali minerali koji bogate površinu Marsa su olivin, piroksin, amfibol, feldspat, karbonati, sulfati, silikati, filosilikati, fosfati i željezni oksidi.<sup>55</sup>

Danas se Mars smatra pustinjom, iako ima trajne polarne kape na vrhu sjeverne i dnu južne polutke na kojima je sačuvan dio vode koju je Mars nekada imao. Vjeruje se da se nekadašnji ocean nalazio na sjevernoj polutci planeta s obzirom na to da se na tom dijelu prijmjećuje nisko tlo.<sup>53</sup>

Današnji geološki utjecaji koji oblikuju površinu Marsa su pucanje kore, prijenos sedimenata vjetrom te sublimacija, odnosno kondenzacija vode i ugljikova dioksida. Vulkanska aktivnost upućuje na to da se Mars riješio većine topline te da postaje suhlji i hladniji. S obzirom na geološku aktivnost, klimatske promjene, atmosferu i dio sačuvane vode, ne iščezava vjerovanje u mogućnost postojanja života na tom planetu.

## § 6. VODA IZVAN SUNČEVOG SUSTAVA

Sunčev sustav je najistraženiji planetarni sustav s obzirom na to da je dio njega planet Zemlja s kojeg se i pokreću sva istraživanja. Osim što znamo koja sve tijela sadrži Sunčev sustav, znamo također i da se voda nalazi posvuda unutar i na površini tih tijela. Neka tijela sadrže atmosferu ispunjenu vodenom parom, neka skrivaju ogromne oceane ispod svoje površine, a na nekima voda u tekućem obliku prekriva površinu. Postoje li oceani ili bilo kakav oblik vode na planetima ostalih planetarnih sustava, planetarnih sustava drugih zvijezda u svemiru?

U protekla dva desetljeća NASA-inim svemirskim teleskopom *Kepler* otkriveni su mnogi egzoplaneti; planeti izvan Sunčevog sustava. To su tijela različitih veličina i orbita koja putuju oko svojih zvijezda. Znanstvenicima najzanimljiviji su naseljivi planeti, odnosno oni koji se nalaze u naseljivoj zoni. Zoni koja, s obzirom na udaljenost od zvijezde, omogućava postojanje vode u takvom obliku da podržava život sličan onome na Zemlji. Planeti naseljive zone također moraju imati atmosferu, klimu, klimatske promjene i izvor energije potrebne za razvoj života. Prvi znak prepoznavanja takvih objekata je pronalazak vode.

NASA-ini znanstvenici pronašli su nekoliko egzoplaneta koji sadrže vodu. Vodena para pronađena je na planetu HAT-P-b koji pripada planetarnom sustavu zvijezde *Cygnus*. Ovaj planet pretopao je da bi imao oceane, ali njegova je atmosfera bez oblaka i ispunjena vodenom parom. Prvi planet za kojeg je potvrđeno da se nalazi u naseljivoj zoni je Kepler-22b. S obzirom na to da nije dovoljno istražen, znanstvenici ne znaju kakav je sastav ovog planeta; je li planet tekući, stjenovit ili plinovit. Ono što mogu pretpostaviti je postojanje oblaka u njegovoj atmosferi. Još jedan svijet pronađen je u naseljivoj zoni svoje zvijezde. Kepler-452b kruži oko zvijezde koja je 10 % veća i 20 % svjetlija od Sunca. Ovaj svijet je za 60 % veći od Zemlje i stariji čak 2 milijarde godina. Kepler-62 zvijezda je koja u svom planetarnom sustavu broji pet planeta od kojih se dva nalaze u naseljivoj zoni; to su Kepler-62f i Kepler-62g. Kepler-62f je najmanji egzoplanet poznat u naseljivoj zoni neke zvijezde.

Jedan od prvih egzoplaneta za koje je potvrđeno da ima oblake vode i vodeni led u svojoj atmosferi je WISE 0855. Ovaj objekt je pet puta veći od Jupitera i poznat je kao „smeđi patuljak”. Smeđi patuljasti planeti su stabilna tijela, nabijenog materijala u unutrašnjosti. Nikad ne dobivaju dovoljno topline kako bi započela fuzija vodika na površini. Lako ih je zamijeniti s planetima jer izgledaju poput „plinovitih divova”, a neki su dovoljno hladni kako bi imali vlastitu atmosferu.<sup>56-59</sup>

## § 7. MOGUĆNOST ŽIVOTA

Potruga za ekstraterestričkim životom doživjela je svoj dosadašnji vrhunac u dvadesetom stoljeću. Razvojem tehnologije razvijala se i sve veća želja za istraživanjem svemira i objekata koji ispunjavaju to neobično prostranstvo. Do sada je poznat život samo na planetu Zemlji. Ne postoji planet na kojem je razvijen život kao na Zemlji. Ne postoji svemirsko tijelo na kojem je razvijen život kao na Zemlji. Znanstvenici ne mogu sa sigurnošću potvrditi postoji li mjesto u svemiru izvan Zemlje na kojem se razvija život. Razvojem astrobiologije omogućilo se detaljnije proučavanje svemira te je otkriveno da to je prostranstvo bogato tijelima koja imaju potencijala za razvoj života. Je li se na tim tijelima razvio život poznat nama ili barem njemu sličan ili potpuno drugačiji, s drugačijim esencijalnim uvjetima? Je li jedan od takvih života već postojao, ali ga znanstvenici nisu stigli (mogli) otkriti i proučiti? Na ova i mnoga druga pitanja još uvijek ne znamo odgovore zbog čega se naše traganje za drugim svjetovima nastavlja.

## § 8. LITERATURNI IZVORI

1. The Solar System and Beyond is Awash in Water, 7. travnja 2015., NASA, <https://www.nasa.gov/jpl/the-solar-system-and-beyond-is-awash-in-water> (datum pristupa 16. lipnja 2018.)
2. Asteroid Belt: Facts and Formation, 4. svibnja 2017., SPACE.com, <https://www.space.com/16105-asteroid-belt.html> (datum pristupa 16. lipnja 2018.)
3. Astrobiology, Science and Issues Water Encyclopedia, <http://www.waterencyclopedia.com/A-Bi/Astrobiology-Water-and-the-Potential-for-Extraterrestrial-Life.html> (datum pristupa 26. kolovoza 2018.)
4. Astrobiologija - znanost o izvanzemaljskom životu, <http://lapp.irb.hr/~dhrupec/writing/Astrobiologija.pdf> (datum pristupa 26. kolovoza 2018.)
5. Astrobiologija-jesmo li sami u svemiru?, 10. prosinca 2013., Geek.hr, <https://geek.hr/znanost/clanak/astrobiologija-jesmo-li-sami-u-svemiru/> (datum pristupa 26. kolovoza, 2018.)
6. What Is Astrobiology?, 10. travnja 1998., Astrobiology web, <http://astrobiology.com/1998/04/what-is-astrobiology.html> (datum pristupa 26. kolovoza, 2018.)
7. Water, 30. svibnja 2018., Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/water>, (datum pristupa 26. kolovoza 2018.)
8. NASA Dives Deep into the Search for Life, 30. svibnja 2018., NASA, <https://www.nasa.gov/feature/ames/nasa-dives-deep-into-the-search-for-life> (datum pristupa 27. kolovoza 2018.)
9. What is SUBSEA?, 30. svibnja 2018., NASA, <https://www.nasa.gov/ames/subsea> (datum pristupa 27. kolovoza 2018.)
10. Dwarf Planet Ceres: Biggest in the Asteroid Belt (Infographic), 5. ožujka 2015., SPACE.com <https://www.space.com/28710-ceres-dwarf-planet-asteroid-belt-infographic.html> (datum pristupa 30. lipnja 2018.)

11. Water Found on dwarf Planet Ceres, May Erupt from Ice Volcanoes, 22. Siječanj 2014., SPACE.com, <https://www.space.com/24366-dwarf-planet-ceres-water-ice-volcanoes.html> (datum pristupa 30. lipnja 2018.)
12. Asteroid Belt Facts, Space Facts, <https://space-facts.com/asteroid-belt/> (datum pristupa 2. srpnja 2018.)
13. <http://www.astrochemistry.org/docs/Sandford-AnnRevAnalChemReview2008.pdf> (21. lipnja 2018.)
14. Meet the Solar System's Dwarf Planets, 22. kolovoza 2011., SPACE.com, <https://www.space.com/12692-dwarf-planets-solar-system-tour.html> (datum pristupa 2. srpnja 2018.)
15. [https://www.iau.org/static/resolutions/Resolution\\_GA26-5-6.pdf](https://www.iau.org/static/resolutions/Resolution_GA26-5-6.pdf) (datum pristupa 2. srpnja 2018.)
16. Dawn Mission Overview, 4. kolovoza 2017., NASA, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/dawn/mission/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/dawn/mission/index.html) (datum pristupa 6. srpnja 2018.)
17. Mission Overview, NASA Jet Propulsion Laboratory, <https://dawn.jpl.nasa.gov/mission/> (datum pristupa 6. srpnja 2018.)
18. Dawn, NASA Jet Propulsion Laboratory, <http://www.dawn-mission.org/mission/> (datum pristupa)
19. Dear Dawnniverssries, 27. rujan 2017., NASA Jet Propulsion Laboratory, <https://www.jpl.nasa.gov/blog/2017/9/dear-dawnniversaries> (datum pristupa 6. srpnja 2018.)
20. Dawn Mission: Shedding Light on Asteroids, 1. ožujka 2018., <https://www.space.com/40454-dawn-mission.html> (datum pristupa 6. srpnja 2018.)
21. Dawn- Ceres and Vesta, 4. kolovoza 2017., NASA, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/dawn/ceresvesta/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/dawn/ceresvesta/index.html) (datum pristupa 6. srpnja 2018.)
22. Mystery of Hudge Asteroid Vesta's Formation Deepens, 6. studeni 2016., SPACE.com, <https://www.space.com/23488-protoplanet-vesta-formation-mystery.html> (datum pristupa 14. srpnja 2018.)
23. How NASA's Dawn Asteroid Mission Works (Infographic), 14. lipnja 2011., SPACE.com, <https://www.space.com/12279-nasa-dawn-asteroid-mission-works-infographic.html> (datum pristupa 14. srpnja 2018.)
24. Violent Asteroid Crashes Shaped Protoplanet Vesta's Odd Interior, 13. veljače 2013., SPACE.com, <https://www.space.com/19767-asteroid-vesta-violent-collision-history.html> (datum pristupa 15. srpnja 2018.)
25. Vesta: Facts About the Brithest Asteroid, 29. svibnja 2018., SPACE.com, <https://www.space.com/12097-vesta-asteroid-facts-solar-system.html> (datum pristupa 15. srpnja 2018.)



26. Vesta up Close: What the Dawn Probe Revealed, 26. listopada 2012.,  
<https://www.space.com/18246-asteroid-vesta-dawn-revelations.html> (datum pristupa 15. srpnja 2018.)
27. What did Dawn learn at Vesta?, 9. listopada 2014., The Planetary Society,  
<http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2014/10091306-what-did-dawn-learn-at-vesta.html> (datum pristupa 15. srpnja 2018.)
28. Herschel Telescope Detects Water on Dwarf Planet, 22. siječnja 2014., NASA Jet Propulsion Laboratory, <https://dawn.jpl.nasa.gov/news/news-detail.html?id=4020> (datum pristupa 21. srpnja 2018.)
29. Ceres, NASA Jet Propulsion Laboratory, <https://dawn.jpl.nasa.gov/science/ceres.html> (datum pristupa 21. srpnja 2018.)
30. What's the spot on World Ceres?, NASA Jet Propulsion Laboratory,  
[https://dawn.jpl.nasa.gov/mission/world\\_ceres/](https://dawn.jpl.nasa.gov/mission/world_ceres/), (datum pristupa 21. srpnja 2018.)
31. Where is the Ice on Ceres? New NASA Dawn Findings, 15. prosinca 2016., NASA Jet Propulsion Laboratory <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6703> datum pristupa 21. srpnja 2018.)
32. Dawn, 2. srpnja 2018., NASA, <https://www.nasa.gov/feature/jpl/dawn-s-latest-orbit-reveals-dramatic-new-views-of-occator-crater> (datum pristupa 23. srpnja 2018.)
33. Dawn, 1. rujna 2016., NASA, <https://www.nasa.gov/feature/jpl/ceres-geological-activity-ice-revealed-in-new-research> (datum pristupa 25. srpnja 2018.)
34. Dawn, 26. listopada 2017., NASA, <https://www.nasa.gov/feature/jpl/dawn-finds-possible-ancient-ocean-remnants-at-ceres> (datum pristupa 25. srpnja 2018.)
35. Jupiter, 17. srpnja 2018., NASA science, <https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/in-depth/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
36. Juno Overview, 19. lipnja 2018., NASA,  
[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/juno/overview/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/overview/index.html) (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
37. Old Data Reveal New Evidence of Europa Plumes, 14. svibnja 2018.,  
<https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7122> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
38. Europa: Facts About Jupiter's Icy Moon and Its Ocean, 21. ožujka 2018., NASA,  
<https://www.space.com/15498-europa-sdcmp.html> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
39. Jupiter's Moon Europa May Be Top Candidate for Life, 27. svibnja 2018.,  
<https://learningenglish.voanews.com/a/europa-may-be-candidate-for-life/4405494.html> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)

40. Ganymede: Facts About Jupiter's Largest Moon, 25. Lipnja 2016., SPACE.com, <https://www.space.com/16440-ganymede-facts-about-jupiters-largest-moon.html> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
41. Magnetosphere, 3. kolovoza 2018., Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/magnetosphere> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
42. Definiton of Aurora, The Economic Times, <https://economictimes.indiatimes.com/definition/aurora> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
43. Ganymede, 9.travnja 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/ganymede/in-depth/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
44. Saturn, 29.ožujka 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/planets/saturn/overview/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
45. Saturn, 9.travnja 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/planets/saturn/in-depth/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
46. Enceladus, 9.travnja 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/enceladus/in-depth/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
47. Saturn's Rings: Composition, Characteristics and Creation, 8.studeni 2017., SPACE.com, <https://www.space.com/23235-rings-of-saturn.html> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
48. Hydrothermal Activity, 12.travnja 2017., NASA Jet Propulsion Laboratory, <https://saturn.jpl.nasa.gov/news/3023/hydrothermal-activity/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
49. Titan, 2.svibnja 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/titan/overview/> (datum pristupa 21. lipnja 2018.)
50. Titan, 3.svibnja 2018., NASA Science, <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/titan/in-depth/> (datum pristupa 4. rujna 2018.)
51. The Red Planet,NASA Science, [https://mars.nasa.gov/#red\\_planet/1](https://mars.nasa.gov/#red_planet/1) (datum pristupa 4. rujna 2018.)
52. NASA's Mars Exploration Program's Science Theme, NASA Mars Exploration, <https://mars.nasa.gov/programmissions/science/> (datum pritupa 4. rujna 2018.)
53. Mars, 5.ožujka 2015., NASA, <https://www.nasa.gov/press/2015/march/nasa-research-suggests-mars-once-had-more-water-than-earth-s-arctic-ocean> (4. rujna 2018.)
54. The Red Planet, NASA Science, [https://mars.nasa.gov/#red\\_planet/5](https://mars.nasa.gov/#red_planet/5) (datum pristupa 4 .rujna 2018.)
55. The Red Planet, NASA Science, [https://mars.nasa.gov/#red\\_planet/2](https://mars.nasa.gov/#red_planet/2) (datum pristupa 4 .rujna 2018.)

- 
56. Water Clouds Found Outside the Solar System, 7.srpnja 2016., SPACE.com, <https://www.space.com/33368-brown-dwarf-water-clouds-wise-0855.html> (datum pristupa 4. rujna 2018.)
57. Exoplanets: Worlds Beyond Our Solar System, 29.ožujka 2018., SPACE.com, <https://www.space.com/17738-exoplanets.html> (datum pristupa 4 .rujna 2018.)
58. Discovery! First Water Ice Clouds Found Beyond Our Solar System, 12.rujna 2014., SPACE.com, <https://www.space.com/27100-water-ice-clouds-beyond-solar-system.html> (datum pristupa 4. rujna 2018.)
- Ocean Worlds, NASA, <https://www.nasa.gov/specials/ocean-worlds/> (datum pristupa 4. rujna 2018.)