

# MOGUĆA RJEŠENJA FERMIJEVOG PARADOKSA

---

Aračić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:659215>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



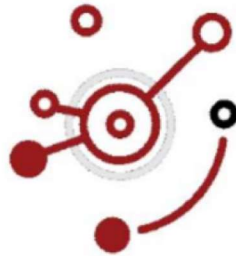
Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



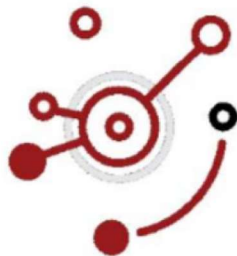
IVAN ARAČIĆ

MOGUĆA RJEŠENJA FERMIJEVOG PARADOKSA

Završni rad

Osijek, 2022

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ODJEL ZA FIZIKU**



**IVAN ARAČIĆ**

# **MOGUĆA RJEŠENJA FERMIJEVOG PARADOKSA**

**Završni rad**

predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja  
zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2022

Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod mentorstvom doc. dr. sc. Darija Hrupeca u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija Fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za fiziku

# MOGUĆA RJEŠENJA FERMIJEVOG PARADOKSA

IVAN ARAČIĆ

## Sažetak

Potruga za životom u svemiru tema je od velike važnosti ne samo za potrebe astrobioloških istraživanja već i za čovječanstvo u cjelini. U ovom završnom radu dan je pregled prirode života i problema povezanih s njim, te pregled procesa i metoda astrobioloških istraživanja. Problem koji postavlja Fermijev paradoks iznesen je kroz ispitivanje Drakeove jednadžbe. Dano je nekoliko mogućih rješenja paradoksa uz zaključak da nepostojanje izvanzemaljskih civilizacija, iako se ne može definitivno potvrditi, predstavlja stvarnu mogućnost.

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi:** astrobiologija / Fermijev paradoks

**Mentor:** doc. dr. sc. Dario Hrupec

**Ocjenjivači:**

**Rad prihvaćen:**

# POSSIBLE SOLUTIONS TO THE FERMI PARADOX

IVAN ARAČIĆ

## Abstract

Search for life in the universe is a subject of great importance not just for the purposes of astrobiological research but for humanity as a whole. In this bachelor thesis, an overview of the nature of life and the problems associated with it has been given, as well as an overview of the processes and methods of astrobiological investigations. The problem posed by the Fermi paradox has been raised through the examination of the Drake equation. Several potential solutions to the paradox have been given with the conclusion that non-existence of extraterrestrial civilizations, although unable to be definitively proven, presents a genuine possibility.

**Thesis deposited at the Department of Physics library**

**Keywords:** astrobiology / Fermi paradox

**Supervisor:** Asst. Prof. Dario Hrupec, PhD

**Reviewers:**

**Thesis Accepted:**

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Život</b>	<b>6</b>
2.1	Definicija života . . . . .	6
2.2	Potrebe života . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Potruga za životom</b>	<b>9</b>
3.1	Sunčev sustav . . . . .	10
3.2	Izvan Sunčevog sustava . . . . .	11
3.3	Biološki znakovi života . . . . .	13
3.4	Potruga za tehnološkim životom . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Fermijev paradoks</b>	<b>19</b>
4.1	Postoje . . . . .	19
4.1.1	Sociološki argument . . . . .	19
4.1.2	Argument problematične komunikacije . . . . .	21
4.1.3	Argument ogromne veličine svemira . . . . .	22
4.2	Ne postoje . . . . .	24
4.2.1	Astronomski argument . . . . .	25
4.2.2	Evolucijski argument . . . . .	27
4.2.3	Kulturološki argument . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>37</b>

# Uvod

Kroz povijest, pitanje života, njegovog porijekla, značenja i rasprostranjenosti u svemiru fasciniralo je učenjake iz mnogih polja istraživanja. Astrobiologija pokušava odgovoriti na ta pitanja promatrajući život kao planetarni fenomen koji nastaje pod određenim povoljnim uvjetima, umnožava se, evoluirala te širi na nova područja ako mu je to omogućeno. Ona proučava potrebe nužne za nastanak života, od kemijskog sastava do položaja planeta u planetarnom sustavu. Astrobiologija zatim pokušava odgonetnuti potencijalne znakove života na drugim planetima i kako ih otkriti te promišlja o mogućnosti drugih inteligentnih, tehnoloških civilizacija u svemiru, kako bi mogle nastati, širiti se, komunicirati te kako bi ih mogli prepoznati.[1]

Baveći se ovakvim pitanjima, astrobiološka istraživanja mogu imati puno šire posljedice od samih znanstvenih zaključaka do kojih mogu doći. Odgovori na postavljena pitanja imaju mogućnost promijeniti način na koji čovječanstvo promatra sebe, svoje mjesto u svemiru te način na koji djeluje u njemu. Među njima, od posebne relevantnosti je pitanje egzistencije drugih inteligentnih vrsta, vrsta sa sposobnošću rasuđivanja, introspekcije te dijeljenja informacija, bez kojih bi se čovječanstvo opravdano moglo smatrati samim unatoč mogućoj rasprostranjenosti života u svemiru općenito. Otkriće tehnološke civilizacije bi moglo, ovisno o načinu na koji je otkrivenje postignuto, utjecati na naš tehnološki napredak, ako ne direktnom izmjenom informacija, opažanjem mogućih načina postizanja i korištenja visoke tehnologije. Nasuprot tome, zaključak da smo sami u svemiru bi nas mogao potaknuti na razmišljanje o mogućnosti da Zemlja predstavlja posebno mjesto u svemiru za koje smo odgovorni te nam posvijestiti važnost očuvanja i proširenja inteligencije i svijesti svemirom.

U ovom radu pružit će se pregled ključnih pitanja u istraživanju života u svemiru te će se opisati procesi i metode astrobioloških istraživanja. Također će se opisati problematika kontradikcije (poznate pod nazivom „Fermijev paradoks“) između prividne odsutnosti visoko inteligentnih vrsta u svemiru i uobičajenog očekivanja da smo do danas već trebali imati dokaze njihovog postojanja, gdje će biti ispitana mogućnost da je, unatoč popularnom mišljenju, čovječanstvo jedina tehnološka civilizacija u galaksiji, ako ne i svemiru.



# Život

Razdioba žive i nežive prirode se čini kao fundamentalna i očigledna razlika između raznih entiteta u svemiru. Život je poseban i krhak dio svemira s mogućnošću nezavisnog djelovanja u njemu, djelovanja koje naizgled nije vezano u istoj mjeri determinističkim zakonima kojima je vezana neživa priroda. Život se ističe od ostatka svemira po svojem djelovanju, po kemijskom sastavu i po svojoj sposobnosti opiranja entropiji. Međutim, razliku između života i neživota je u mnogim slučajevima teško precizno odrediti. Da bismo bili u mogućnosti tragati za životom u svemiru, moramo najprije razumjeti što on jest, a što nije.

## 2.1 Definicija života

Ne postoji općeprihvaćena definicija života. Ovo naizgled jednostavno pitanje, temeljno za nastojanja astrobiologije, je zapravo iznenađujuće teško za odgovoriti. Glavni razlog za to je naš nedostatak poznavanja bilo koje biosfere koja nije povezana s uobičajenom biosferom koju svakodnevno promatramo. Život na Zemlji je evoluirao iz jednog pretka ili zajednice predaka te svi oblici danas dijele njihova naslijeđena svojstva. Takva situacija otežava razlikovanje jednostavnih svojstava svog života na Zemlji od stvarnih, nužnih zajedničkih svojstava života općenito.

Budući da nismo u stanju sažeto definirati život, najbolje što možemo učiniti je izdvojiti neke od karakteristika koje sav znani život općenito dijeli:

- **Prisutnost tijela** – sav život ima određenu fizičku strukturu
- **Metabolizam** – odnosi se na pretvaranje vanjske energije i materijala u stanične komponente
- **Rast** – odnosi se na različite procese kojima organizmi postižu zrelost
- **Prilagodba** – odnosi se na proces kojim se populacije organizama prilagođavaju vanjskim pritiscima
- **Reakcija na podražaje** – odnosi se na sposobnost organizama da osjete vanjske podražaje i reagiraju na njih
- **Reprodukcija** – odnosi se na sposobnost vrste da proizvodi nove pojedinačne organizme[2]

Neki neživi fenomeni mogu posjedovati nekoliko od ovih značajki. Stalagmit može rasti, računalni program se može reproducirati, ali da bi se nešto smatralo uistinu živim mora posjedovati sve ove značajke.

Jedna definicija života koju je važno razmotriti je Schrödingerova definicija života. Schrödinger je vidio život kao sustav koji se bori protiv entropije, protiv stanja termodinamičke

ravnoteže. Neživa će materija imati tendenciju raspadanja u trajno stanje maksimalne entropije, stapajući se sa svojom okolinom i napredujući prema homogenom okruženju. Život se, međutim, razlikuje od nežive materije po svojoj sposobnosti da smanji vlastitu unutarnju entropiju korištenjem tvari ili energije preuzete iz okoliša, te odbacivanjem materijala u degradiranom obliku. Ovaj utjecaj života na njegovu okolinu mijenja kemijski sastav atmosfere planeta, stvarajući neravnotežu koja može ukazivati na prisutnost života. Takva neravnoteža je jedan od mnogih znakova života koje astrobiolozi pokušavaju otkriti u potrazi za životom u svemiru.[2]

## 2.2 Potrebe života

Koliko možemo zaključiti proučavanjem jedinog života koji nam je dostupan, života na Zemlji, čini se da sav život zahtjeva ove tri potrebe:

1. izvor energije za pokretanje metaboličkih reakcija
2. tekuće otapalo za posredovanje u tim reakcijama
3. skup hranjivih tvari za izgradnju biomase i za poticanje metaboličkih reakcija

Zbog obilja vodika i kisika u svemiru, voda je najvjerojatnije otapalo koje bi život koristio. Svojstva vode ju također čine vrlo pogodnim otapalom za posredovanje u makromolekularnim interakcijama. Što se tiče osnove za biomasu, ugljik je preferiran zbog svog obilja u svemiru i sposobnosti da tvori iznimno velik broj složenih molekula.[2]

Sav život na Zemlji dijeli zajednički kemijski sastav, pri čemu se ugljik, vodik, dušik, kisik, fosfor i sumpor smatraju ključnim za održavanje života. Prva četiri elementa su najzastupljeniji elementi u živim stanicama. Sposobni su stvarati raznolike kemijske veze, što ih čini učinkovitim elementima u izgradnji organskih tvari. Fosfor je sastavni dio DNK, RNK, membranskih fosfolipida (komponente staničnih membrana) i ATP-a (organski spoj koji osigurava energiju živim stanicama), dok je sumpor važna komponenta dviju aminokiselina koje život koristi.[1]

Do danas nije pronađen nijedan organizam koji bi mogao živjeti bez korištenja ovih elemenata. Međutim, iz toga ne slijedi nužno da život ne bi mogao zamijeniti jedan od ovih elemenata drugim koji bi mogao obavljati istu funkciju. Silicij ima nekoliko kemijskih svojstava sličnih ugljiku; može formirati velike molekularne strukture i usporediv je s ugljikom u smislu kemijske fleksibilnosti i funkcionalnosti. Unatoč tome, sva poznata biokemija se temelji na ugljiku iako je Zemlja iznimno bogata silicijem, što pokazuje jasnu preferenciju života za korištenjem ugljika, barem za život koji koristi vodu kao otapalo. Hladni metanski oceani poput onih koji se nalaze na Titanu bi mogli biti povoljniji za život na bazi silicija. Veća reaktivnost kemijskih spojeva na bazi silicija bi mogla biti prednost koja bi omogućila odvijanje živih procesa u takvim okruženjima.[1]

Mnogo je mogućih razloga zašto je život na Zemlji evoluirao da koristi vodu kao otapalo. Kao što je ranije rečeno, i vodika i kisika ima u izobilju na Zemlji, pri čemu je vodik najčešći element u svemiru, a kisik najčešći element na Zemlji. Voda je polarna molekula sa sposobnošću vezanja vodikovom vezom, što joj omogućuje otapanje većine drugih polarnih molekula, uključujući soli za metaboličke reakcije. Također, voda ostaje u tekućem stanju na

velikom temperaturnom rasponu, pruža električnu izolaciju (visoka dielektrična konstanta) kao i toplinsku stabilnost i izolaciju (visoki specifični toplinski kapacitet), što omogućuje organizmima s visokim sadržajem vode ili organizmima uronjenima u vodi da budu donekle zaštićeni od promjena u okolini. Iako postoje hipotetske alternative, poput amonijaka ili metana, teško je zamisliti život koji ne bi koristio vodu kao otapalo te je stajalište većine unutar astrobiološke zajednice da je tekuća voda nužni uvijet za život.[1]

# Potruga za životom

Naša potraga za izvanzemaljskim životom očekivano započinje u našem Sunčevom sustavu. Iako nemamo nade u pronalazak složenijih oblika života na našim susjednim planetima i njihovim mjesecima, mogli bismo se nadati pronalasku jednostavnijih mikroskopskih oblika života. Iako ovi planeti leže daleko izvan nastanjive zone Sunčeva sustava, primjer najekstremnijih živih oblika na Zemlji – ekstremofila – može nam dati nadu u pronalaženje nekog uspješnog oblika života na ovim pustim mjestima.

Ekstremofili su mikroorganizmi koji su posebno evoluirali da prežive i napreduju u ekstremnim okruženjima, kao što su:

- **Vruća i hladna okruženja** – Hipertermofili su razvili svoje proteine i membranu kako bi se oduprili visokim temperaturama u okruženjima gdje temperature mogu doseći i do 180 °C. Psihrofilni su za razliku od hipertermofila razvili svoju membranu kako bi preživjeli na vrlo niskim temperaturama.
- **Slana i suha okruženja** – Halofili mogu živjeti u slanim okolišima, s vanjskom koncentracijom soli od 15-37%, održavajući vlastite unutarnje soli na ispravnoj razini. Organizmi zvani kserofili mogu živjeti na vrlo suhim mjestima s vlažnošću nižom od 1%.
- **Kisela i bazična mjesta** – Acidofili mogu živjeti na kiselim mjestima kao što su sumporni gejziri, s  $\text{pH} < 2$ , a alkalofili mogu živjeti na bazičnim mjestima s  $\text{pH} > 11$ , održavajući vlastiti  $\text{pH}$  neutralanim.
- **Ekstremni tlak i zračenje** - Piezofili mogu preživljavati pri visokim tlakovima, kao što je npr. Marijanska brazda u kojoj tlak doseže 380 atm. Organizmi otporni na radioaktivnost mogu preživjeti visoku razinu zračenja koja bi inače oštećivala stanice: najotporniji poznati organizam jest *Thermococcus gammatolerans*, koji može podnijeti zračenje gama-zračenja od 30 000 Gy (s tim da je doza od 5 Gy dovoljna da ubije čovjeka)[2]

U mnogim okruženjima postoji više od jednog ekstremnog elementa na koji organizam mora postati otporan. Na primjer, okruženja s visokim tlakom su često povezana s visokim temperaturama. Zbog toga je u astrobiologiji posebno važna specifična klasa ekstremofila: poliekstremofili, organizmi koji mogu istovremeno tolerirati nekoliko ekstremnih uvjeta; primjer je *Deinococcus radiodurans*, bakterija koja može živjeti u okolinama s visokim razinama zračenja, na niskim temperaturama i u suhim okruženjima.[2]

Jedna stvar koju treba imati na umu je da su ti organizmi visoko razvijeni i sofisticirani. Iako ne znamo dovoljno o abiogenezi, niti o vjerojatnosti da se ona dogodi, teško je zamisliti da je najprimitivniji, rani život, mogao preživjeti u ovim ekstremnim uvjetima, zbog čega se

mogućnost da ćemo naći život na ovim mjestima, barem život koji je tamo također nastao, može činiti veoma malom. Međutim, poliekstremofili čine ideju panspermije daleko vjerojatnijom. Svemir je najekstremnije okruženje u kojem neki oblici života još uvijek mogu zadržati svoj oblik, strukturu i potencijal za život, iako rast i umnožavanje nisu uočeni i ne smatraju se vjerojatnim. Fizički parametri kojima se život mora prilagoditi u svemiru uključuju nizak tlak (vakuum), ekstremne temperaturne varijacije (ovisno o njihovoj orijentaciji u odnosu na Sunce), visoke razine različitih vrsta zračenja i mikrogravitaciju. Ako ti organizmi mogu preživjeti svemirska putovanja na asteroidima ili kometima, onda život čak i na vrlo negostoljubivim planetima možda i nije tako nevjerojatan.[1]

### 3.1 Sunčev sustav

Većina planeta našeg Sunčevog sustava imaju krajnje malenu šansu za posjedovanje života. Merkur nema atmosferu, te s temperaturnim rasponom od  $457\text{ }^{\circ}\text{C}$  danju do  $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$  noću ne omogućava prisutnost tekuće vode, što ga čini neprikladnim za život. Najveći planet našeg Sunčevog sustava, Jupiter, sastoji se prvenstveno od vodika i helija, uz male količine sumpora, amonijaka, kisika i vode. Temperature i tlakovi su ekstremni, a bez čvrste površine, gravitacija može premjestiti tijela u zone s visokim tlakom. Naš drugi najveći planet, Saturn, nije ništa drugačiji. Saturnovo atmosfersko okruženje je neprikladno za život zbog jake gravitacije, visokog tlaka, jakih vjetrova i niskih temperatura. Planeti udaljeniji od Saturna previše su hladni da bi omogućili život u onom obliku kakvog imamo na Zemlji.[2]

Građa i masa Venere vrlo su slične Zemljinoj. Međutim, Venera je obavijena globalnim oblakom koji se prvenstveno sastoji od sumporne kiseline. Njegova vruća površina od  $740\text{ K}$  i atmosfera od  $91\text{ atm}$  su bez prisutnosti vode. Dok površina Venere očito nije pogodna za život zbog visoke temperature i tlaka, postoje spekulacije o životu visoko u atmosferi, gdje su ti parametri umjereni. Izvorni prijedlog predstavljen je s vjerovanjem da su Venerini oblaci prvenstveno sastavljeni od vode. Znajući da je to netočno, spekulacije i dalje opstaju, iako je vjerojatnost očekivano manja.[1]

Mars je oduvijek bio jedan od najboljih kandidata za izvanzemaljski život. Vjerojatno je bio topliji u svojoj prošlosti, imao tekuću vodu te duboku atmosferu s plinovima nastalim vulkanskom aktivnošću. Međutim, vulkanska aktivnost je prestala, a Mars je brzo izgubio svoju unutarnju toplinu i većinu atmosfere. Zbog gubitka atmosfere i vrlo slabog magnetskog polja, Mars više nije bio zaštićen od kozmičkog zračenja i čestica te se počeo hladiti. Danas, Mars nema tekuću vodu te ima temperature neprikladne za život (od  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Godine 1976. dvije svemirske sonde (zване Vikinzi) sletjele su na površinu kako bi pronašle dokaze života, ali nisu pronašle nijedan. Iste rezultate su imala i sva naknadna istraživanja. Eksperimenti u simulacijskim komorama Marsa sugeriraju da je opstanak u stanju mirovanja moguć za određene mikrobe. Međutim, za postizanje aktivnog metabolizma ovih mikroba potrebna je kombinacija pristupačne vode i povišene temperature, uvjeta koji bi danas mogli biti vrlo rijetki na Marsu. Današnja površina Marsa nije pogodna za život pošto tanka atmosfera ne štiti površinu od visokih doza Sunčevog zračenja, no život ispod površine bi mogao biti zaštićeniji od teških površinskih uvjeta; milimetarski debeo sloj stijena pruža zaštitu od sunčevog UV zračenja, dok je metar potreban za blokiranje čestica veće energije.[1][2]

Iako se čini da divovski planeti nisu prikladni za život, neki od njihovih satelita bi mogli biti dobri kandidati. Moguće je da tri Jupiterova satelita – Europa, Kalista i Ganimed – posjeduju zagrijane podzemne oceane duboko ispod kore, okoline koje bi mogle podržavati život. Misija Galileo je otkrila inducirano magnetsko polje oko Europe, pružajući uvjerljive dokaze za ocean tekuće vode ispod površine. Nastanjivost unutar sloja leda može biti moguća ako geofizički procesi mogu dovesti temperaturu do dovoljno visoke razine da omogući prisutnost života.[1][2]

Neki od Saturnovih mjeseca bi također mogli biti dobri kandidati. S tlakom od 1,5 atm i temperaturom od  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Titan može sadržavati čvrsti, plinoviti i tekući metan. Svemirska sonda Cassini je 1997. godine snimila dokaze o ogromnom metanskom jezeru, gdje bi hipotetski oblici života na bazi silicija, spomenuti ranije, mogli preživjeti. Enkelad, šesti najveći Saturnov mjesec, je većinom prekriven ledom, a najviša dnevna temperatura površine doseže tek  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Godine 2005. svemirska letjelica Cassini otkrila je da vulkani u blizini južnog pola ispuštaju mlazove vodene pare i čvrstih materijala, uključujući kristale natrijevog klorida i čestice leda. Cassini je kasnije otkrio veliki podzemni ocean tekuće vode debljine oko 10 km. Neki ekstremofili sa Zemlje bi mogli živjeti na Enkeladovim gejzirima.[2]

## 3.2 Izvan Sunčevog sustava

Koliko god možemo promišljati i razmatrati mogućnost života koji bi koristio drugačije kemijske građevne blokove, i time zahtijevao drugačije uvjete, još uvijek znamo za samo jednu vrstu života koja je zasigurno moguća – život sličan našem životu na Zemlji. S nedostatkom znanja o bilo kojem drugom životu, ili o bilo kojoj sekundarnoj biosferi – životu na Zemlji koji je nastao neovisno o životu kakvog ga poznajemo – najbolje je usmjeriti našu potragu na egzoplanete koji su što sličniji našem planetu. Godine 1995., Michel Mayor i Didier Queloz su objavili prvo otkriće planeta izvan našeg sunčevog sustava, zbog kojeg su 2019. godine dobili Nobelovu nagradu za fiziku „za otkriće ekstrasolarnog planeta u orbiti zvijezde slične Suncu“. Ovo otkriće je pokrenulo revoluciju u astronomiji od koje je do danas u našoj galaksiji pronađeno više od 4000 egzoplaneta.[3]

Sav život na Zemlji zahtijeva tekuću vodu, te se njezina prisutnost općenito smatra najvažnijom karakteristikom planeta pogodnog za život. „Nastanjiva zona“ se definira kao područje oko zvijezde gdje se ne može isključiti dugotrajna prisutnost vode na površini planetarnog tijela s atmosferom. Za zvijezdu poput Sunca, konzervativno se procjenjuje da se trenutna nastanjiva zona proteže od 0,95 do 1,37 astronomskih jedinica (AU). Sunce, kao i sve zvijezde, postaje svjetlije tijekom svog života. Kako u svojoj jezgri spaja vodik u helij, broj jezgri se smanjuje (četiri jezgre vodika postaju jedna jezgra helija). Ova promjena u broju jezgri rezultira povećanjem temperature jezgre Sunca potrebnog za održavanje ravnoteže između sile gravitacije i termodinamičkog tlaka. Kao rezultat ove evolucije, unutarnje i vanjske granice nastanjive zone nisu statične, nego se guraju prema van kako se Sunce razvija. Zato je potrebno definirati kontinuirano nastanjivu zonu, regiju u kojoj će planet dugotrajno posjedovati uvjete za održanje tekuće vode na površini. Za Sunčev sustav, procijenjeno je da se kontinuirano nastanjiva zona od 4,6 milijardi godina proteže od 0,95 do 1,15 AU.[1]

Lokacija nastanjive zone ovisi o tome koliko je zvijezda sjajna; za sjajnije zvijezde, nastanjiva zona je pomaknuta prema van jer planeti moraju biti dalje od tih zvijezda kako bi održali temperature potrebne za tekuću vodu, a za slabije zvijezde mora biti pomaknuta prema unutra. Životni vijek zvijezde obrnuto je proporcionalan njezinom sjaju, zbog čega slabije zvijezde žive dulje od sjajnijih zvijezda i sporije se razvijaju. Zbog ove sporije promjene svjetline, kontinuirano nastanjive zone oko slabijih zvijezda zauzimaju širi prostor oko zvijezde te ostaju nastanjive duže vremena. Međutim, tijekom većeg dijela životnog vijeka ovih zvijezda, one će biti veoma aktivne i emitirati visokoenergetsko zračenje koje bi moglo uništiti atmosferu bilo kojeg planeta u nastanjivoj zoni. Još jedno razmatranje relevantno za zvijezde male mase jest koliko se planet može približiti zvijezdi, a da ne postane plimski zaključan, pošto je život na takvim planetima teško zamisliv.

Nastanjiva zona se odnosi samo na tekuću vodu na površini, ali po primjeru Zemlje znamo da se život može naći i ispod površine. Tekuća voda može postojati ispod površine planeta i mjeseca koji su daleko izvan zone pogodne za život. Unatoč tome, kada se radi o traženju života izvan našeg Sunčevog sustava, najbolje je usredotočiti našu potragu na planete koji su što sličniji Zemlji.[1]

Za većinu egzoplaneta, karakteristike koje se mogu izmjeriti pomoću trenutno dostupnih instrumenata uključuju masu planeta, polumjer planeta, ekscentricitet orbite, period orbite i prosječnu udaljenost između planeta i zvijezde. O zvijezdi možemo zaključiti životni stadij, masu, polumjer, efektivnu površinsku temperaturu, metalnost (omjer željeza i vodika, što ukazuje na relativnu količinu težih elemenata u odnosu na lakše) i udaljenost od Sunca.[1]

Gotovo sva otkrića i istraživanja ekstrasolarnih planeta napravljena su koristeći više neizravnih metoda. Četiri glavne neizravne metode su:

- **Radijalna brzina (Dopplerova metoda)** temelji se na činjenici da se centar mase planetarnog sustava, oko kojeg cijeli sustav kruži, ne nalazi u samom središtu zvijezde te brzina zvijezde prema nama i dalje od nas ciklički varira zbog gravitacijskog privlačenja planeta u orbiti. Ova promjenjiva brzina se mjeri pomakom spektralnih linija zvijezde.
- **Tranzitne pretrage** koje promatraju prigušivanje svjetlosti zvijezde. Zatamnjenje se događa kada planet u orbiti prođe ispred svoje zvijezde s naše točke gledišta na Zemlji.
- **Gravitacijske leće**, koje se oslanjaju na efekt leće koja koncentrira svjetlost iz pozadinskih objekata kada planetarni sustav prolazi između njega i Zemlje. Gravitacijsko polje promatrane zvijezde djeluje poput leće, povećavajući svjetlost udaljene pozadinske zvijezde. Ako sustav koji koristimo poput leće ima planet, tada vlastito gravitacijsko polje tog planeta može na značajan način doprinijeti leći.
- **Astrometrija**, koja uključuje mjerenje sitnih promjena u položaju zvijezde dok se kreće u vrlo maloj eliptičnoj orbiti oko središta mase između nje i planeta u orbiti, što nam može dati informacije o orbitama i masama zvijezda i planeta u sustavu.[2][1]

U početku su tehnike detekcije bile najbolje u pronalaženju masivnih planeta koji kruže u blizini svojih zvijezda. Kao rezultat toga, mnogi od prvih otkrivenih egzoplaneta su imali masu i planetarni polumjer sličan ili veći od Jupiterovog. Kako su se tehnike detekcije

poboljšale, astronomi su otkrili progresivno manje ekstrasolarne planete, uključujući "super-Zemlje" — planete s masom do 10 puta većom od mase Zemlje (s polumjerom manjim od  $\sim 2$  puta većeg nego Zemljina). Međutim, samo je nekoliko super-Zemalja pronađeno u nastanjivoj zoni njihove zvijezde.[1]

### 3.3 Biološki znakovi života

Postoji mnogo različitih načina za traženje bioloških znakova, ovisno o tome može li se pretraga provesti na licu mjesta ili samo na daljinu. Istraživanja na samoj lokaciji mogu uključivati traženje:

- **molekularnih fosila:** Kemijskom razgradnjom nekih biomolekula nastaju prepoznatljivi spojevi koji mogu dugotrajno ostati sačuvani. Od četiri glavne klase biomolekula, najbolje su očuvani lipidi koji se nalaze u svim staničnim membranama i koriste se za skladištenje energije.
- **kemijske neravnoteže:** Žive stanice održavaju unutarnju staničnu okolinu koja se razlikuje od vanjskog okruženja, stvarajući kemijsku neravnotežu u okolišu.
- **izotopsko frakcioniranje:** Biološko djelovanje uzrokuje neravnotežu u omjerima izotopa stabilnih elemenata jer enzimski procesi prvenstveno koriste lakše izotope, što rezultira nakupljanjem težih izotopa u okolišu.[1]

Istraživanja na daljinu se uglavnom fokusiraju na korištenje vidljive i infracrvene spektroskopije kako bi se otkrila neravnoteža u atmosferi. Spektroskopija može otkriti prisutnost specifičnih molekula identificiranjem njihovih karakterističnih energijskih prijelaza – nagli pad ili porast u spektru uzrokovan molekularnom apsorpcijom ili emisijom na valnim duljinama fotona specifičnih za molekulu. Iz detektiranih molekula i njihovih omjera možemo teorizirati o mogućoj prisutnosti života na danom planetu.

Život je izazvao promjene u sastavu Zemljine atmosfere koje se mogu detektirati spektroskopijom. Najjači spektralni dokaz života je istovremena prisutnost molekularnog kisika ( $O_2$ ) i metana ( $CH_4$ ). Mješavina kisika i metana je daleko od atmosferske ravnoteže jer, u kratkim vremenskim intervalima, reagira proizvodeći ugljikov dioksid. Kratki životni vijek ovih plinova znači da se moraju stalno nadopunjavati velikom brzinom kako bi se održali u koncentracijama koje se mogu detektirati. Najodrživiji izvor ovih plinova u potrebnim količinama jest život. Međutim, neravnoteža može također biti uzrokovana nekim nebiološkim procesima.

Kisik i metan nisu jednoznačni biološki znakovi na egzoplanetima, osobito kada se otkriju u odsutnosti jedan od drugog. Abiotičko nakupljanje kisika bi se moglo dogoditi na planetu smještenom na unutarnjem rubu nastanjive zone; zbog isparavanja oceana, voda se nakuplja u atmosferi te, nakon fotodisocijacije, vodik može napustiti atmosferu ostavljajući samo kisik. Zbog ovakvih mogućnosti, ključno je da se atmosferski spektri interpretiraju uz pomoć atmosferskih modela i uz poznavanje utjecaja UV zračenja zvijezde.[1]

Potvrde života mogu biti suptilne te se otkrivati u fazama. Često je potraga za takvim potvrdama uokvirena kao sve ili ništa: ili misija vraća konačnu potvrdu života ili nije ispunila svoj cilj. Takvo uokviravanje nameta nerealno visoka očekivanja u početnim fazama potrage za životom. Zato je bitno uspostaviti najbolje načine za komuniciranje o procesu



otkrivanja života koji mogu poslužiti za postavljanje razumnih očekivanja u ranim fazama te mogu pridati vrijednost postupnim koracima istrage. Skup prenesenih informacija trebao bi se baviti kvalitetom individualnog mjerenja, uključujući omjer signala i šuma, ponovljivosti, nesigurnosti (u kojoj je mjeri metodologija specifična za ciljanu opservablu ili je podložna smetnjama), potencijalnom doprinosu Zemaljske kontaminacije, potencijalnom doprinosu abiotskih izvora i podudarnosti biološkog objašnjenja s obzirom na kontekst okoliša.[4]

U radu „Call for a framework for reporting evidence for life beyond Earth“ (Green et al., 2021), predložena je jednodimenzionalna progresivna ljestvica (Slika 3.1) za karakterizaciju statusa istrage otkrivanja života, čiji je cilj prenošenje informacija na razini kompleksnosti koja bi, bez da rezultate označi jednostavnom potvrdom ili negacijom otkrivenog života, omogućila općoj publici da razumije važnost novih rezultata. Takva ljestvica ima potencijalnu primjenu u objašnjavanju trenutnog razumijevanja zadanog cilja istraživanja, u formuliranju novih ciljeva te u priopćavanju rezultata znanstvenoj zajednici, medijima i javnosti.[4]



Slika 3.1: Slika je preuzeta iz rada Nature 598 (2021) 575–579.

### 3.4 Potraga za tehnološkim životom

Koliko god utjecaja bi otkriće života na drugom planetu moglo imati na čovječanstvo i naše razumijevanje svemira, još uvijek bi moglo biti neusporedivo s utjecajem kojeg bi imalo otkriće inteligentnog, tehnološkog života. Otkriće bi značajno oblikovalo naše razumijevanje čovječanstva i njegova mjesta u svemiru. Ali koliko je vjerojatno da nismo sami? S nedostatkom bilo kakvih podataka o izvanzemaljskim civilizacijama, naš jedini način da odgovorimo na ovo pitanje je uz pomoć vjerojatnosti i procjena.

Drakeovu jednadžbu postavio je 1961. američki astronom i astrofizičar Frank Drake. Jednadžba daje procjenu broja civilizacija s mogućnošću interstelarne komunikacije  $N$  u našoj galaksiji:

$$N \simeq R \times f_p \times n_E \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

gdje je:

- $R$  godišnja stopa nastanka prikladnih zvijezda;
- $f_p$  udio zvijezda s planetarnim sustavom;
- $n_E$  broj planeta sličnih Zemlji po planetarnom sustavu;
- $f_l$  udio onih planeta sličnih Zemlji na kojima se razvije život;
- $f_i$  udio ovih planeta na kojima se može razviti inteligentni život;
- $f_c$  udio planeta s inteligentnim životom koji bi mogao razviti tehnologiju;
- $L$  prosječni životni vijek civilizacije sa sposobnošću komunikacije.[2]

Za prva tri faktora imamo dovoljno podataka za preciznu procjenu. Vrijednosti za preostala četiri faktora jednostavno ne znamo. To je problem s Drakeovom jednadžbom, nesigurnost tih vrijednosti može značajno promijeniti krajnji rezultat jednadžbe. Međutim, čak i bez da znamo kolike su točne vjerojatnosti tih faktora, možemo iznijeti neke očekivane vrijednosti i promotriti gdje nas to vodi.

Za prvi faktor možemo procijeniti dvije novorođene zvijezde godišnje.  $f_p$  procjenjujemo na 0,5; otprilike polovica zvijezda ima planetarne sustave.  $n_E$  je malo složeniji jer se odnosi na nastanjivu zonu zvijezde i, kao što je već spomenuto, one nisu statične. Mijenjaju se zajedno sa zvijezdom, a planet koji je nekoć bio u zoni pogodnoj za život danas bi se mogao naći izvan nje. Međutim, možemo procijeniti da vrijednost iznosi jedan ili dva planeta nalik Zemlji po planetarnom sustavu.

Ne znamo kolika je vjerojatnost odvijanja abiogeneze, ali znamo da je na Zemlji život nastao vrlo brzo nakon što su uvjeti za život postali povoljni, što nam potencijalno govori da bi abiogeniza mogla biti vrlo vjerojatna za nastanjive planete. Dakle, procjenjujemo da je  $f_l$  1; svaki planet koji može razviti život će razviti život. Za sljedeća dva faktora pripisujemo vrijednosti 0,1; 1 od 10 planeta koji razviju život također razviju inteligentni život, a na 1 od 10 tih planeta inteligentna vrsta razvije modernu tehnologiju. Faktor  $L$  se obično procjenjuje na između  $10^3$  i  $10^6$  godina. Uzimajući u obzir da bi se civilizacija sposobna za

međuzvezdanu komunikaciju prije ili kasnije proširila i kolonizirala druge planete, možemo zaključiti da je takva multiplanetarna civilizacija prilično otporna na bilo koju vrstu civilizacijske katastrofe; stoga procjenjujemo da je vrijednost  $L$  jednaka  $10^6$  godina, što znači da su izvanzemaljske civilizacije sposobne komunicirati u razdoblju od milijun godina.[2]

Tada se broj civilizacija sposobnih za međuzvezdanu komunikaciju može procijeniti na:

$$N = 2 \times 0.5 \times 1 \times 1 \times 0.1 \times 0.1 \times 10^6 = 10000$$

Deset tisuća civilizacija u našoj galaksiji. Sljedeće pitanje je, naravno, kako ih otkriti i kako uspostaviti kontakt. U posljednjih stotinu godina Zemlja je proizvodila dodatne znakove života uz uobičajene biološke znakove – tehnološke znakove. Od pojave bežične komunikacije 1930-ih, ljudi su slali elektromagnetske signale koji se mogu opažati na međuzvezdanim udaljenostima. Jedan od načina da se provede potraga za izvanzemaljskom inteligencijom je stoga potraga za sličnim prijenosima iz drugih civilizacija. To je učinjeno kroz brojne kampanje u cijelom elektromagnetskom spektru, uglavnom u mikrovalnom, vidljivom i radijspektru. Do sada je jedini pravi kandidat za signal izvanzemaljske civilizacije bio jedan vrlo jak, uskopojasni signal detektiran 1977. godine, nazvan "Wow!". Mogući izvori lažno pozitivnih signala su isključeni, uključujući satelite, meteorološke balone i radiosmetnje, a porijeklo signala i danas je misterij. Osim ovog signala, nije bilo drugih obećavajućih detekcija emisija izvanzemaljske inteligencije od početka aktivnih istraživanja 1960-ih.[1]

Drugi potencijalni način za otkrivanje znakova inteligentnog života bi mogle biti spektralne značajke "umjetnih" molekula u atmosferi ekstrasolarnih planeta, molekula koje bi mogla proizvesti samo industrijska civilizacija. Međutim, otkrivanje ovih molekula na međuzvezdanim udaljenostima bi zahtijevalo atmosfersku akumulaciju daleko veću od one na Zemlji, ili spektralnu razlučivost i osjetljivost daleko iznad one koju možemo danas proizvesti.

Predloženi su i drugi spekulativniji načini otkrivanja izvanzemaljskih civilizacija. Jedan način bi bilo tražiti neprirodno zatamnjene zvijezde s infracrvenim emisijama uzrokovane takozvanom Dysonovom sferom ili Dysonovim rojem, gigantskom strukturom koju bi oko zvijezde izgradila napredna civilizacija za prikupljanje energije. Struktura je hipotetska, mi svakako ne možemo graditi takve strukture, ali takva bi pojava vjerojatno bila dobro uočljiva, a civilizacija koja bi mogla iskoristiti gotovo svu energiju svoje matične zvijezde bila bi civilizacija sposobna komunicirati diljem cijele galaksije.[1]

Koliko daleko signal može doseći ovisi o tome koliko energije civilizacija može upotrijebiti. Godine 1964. sovjetski astronom Nikolaj Kardajev je definirao tri razine civilizacije, poznate kao Kardajeva skala, na temelju reda veličine snage koja im je dostupna:

- **Tip 1:** Tehnološka razina bliska razini koja se trenutno postiže na Zemlji, s potrošnjom energije  $\cong 4 \times 10^{12}$  W
- **Tip 2:** Civilizacija sposobna iskoristiti svu energiju koju zrači njihova matična zvijezda (ako je zvijezda slična Suncu,  $\cong 4 \times 10^{26}$  W)
- **Tip 3:** Civilizacija koja posjeduje energiju na skali cijele galaksije (za Mliječni put, snaga od oko  $4 \times 10^{37}$  W)[2]

Carl Sagan – astronom, pisac i popularizator znanosti – predložio je definiranje međuvrijednosti interpolacijom gore navedenih vrijednosti:

$$K = \frac{\log_{10} P - 6}{10}$$

gdje je vrijednost  $K$  razina civilizacije, a  $P$  snaga koju posjeduje. Koristeći ovu ekstrapolaciju, civilizacija čovječanstva u 2016. godini (s prosječnom snagom 19,2 TW) bila je 0,73.[2]

SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence), američka organizacija posvećena traženju izvanzemaljskog inteligentnog života, traži uskopojasne transmisije koje se ne pojavljuju prirodno u svemiru. Problem s tim transmisijama je to što ih je vrlo teško izdvojiti od mnogih koje potječu sa Zemlje. Većina SETI istraživanja temelji se na radiovalovima, no moguće je da bi izvanzemaljci pokušali komunicirati pomoću vidljive svjetlosti ili drugih oblika energetskih čestica poput ultraljubičastog svjetla ili X-zraka. Infracrveno svjetlo ima vrijednost u tome što može prodrijeti kroz međuzvezdanu prašinu. Međutim, svi su ti oblici svjetlosti mnogo skuplji u smislu troškova energije. Jedan od problema je taj što ne možemo znati na koji način bi izvanzemaljska civilizacija (IZC) odlučila poslati signal, te stoga ne znamo kako ga detektirati.[2]

Ako IZC želi odaslati radiosignal na velike udaljenosti, tada to mora biti uskopojasni signal, signal na točno određenoj frekvenciji, budući da se širokopojasni signali lako mogu pogrešno zamijeniti s pozadinskim šumom. Najuza frekvencija koja prirodno nastaje ima širinu od oko 300 Hz; sve mnogo uže od ovoga je kandidat za umjetni signal. Traženje signala s tako malom širinom je nezgodno jer postoji ogroman broj radijskih kanala kroz koje treba pretraživati. Potraga bi mogla trajati iznimno mnogo vremena kada ne bismo imali način za suziti broj frekvencija kroz koje moramo tražiti.

Na frekvencijama manjim od 1 GHz pozadinski šum galaksije bi bio prevelik problem za detekciju poslanih signala. S druge strane, na frekvencijama višim od 30 GHz pozadinski šum Zemljine atmosfere postaje problem. Kada bi IZC emitirala na frekvencijama višim od 30 GHz, vjerojatnost da detektiramo signal bi bila mala zbog atmosferskih smetnji. Najtiša regija je između 1 GHz i 10 GHz. To je još uvijek velik frekvencijski raspon. Da bismo ga smanjili, moramo pronaći frekvencijski raspon koji bi bio unatar tihe regije, a da istovremeno nije proizvoljna već određena frekvencija za koju bi imalo smisla da sve IZC-je odašilju i oslušuju. Drugim riječima, moramo pronaći nekakav univerzalni razlog zašto odašiljati baš na određenoj frekvenciji. Oblaci neutralnog vodika — najjednostavniji i najčešći element u svemiru — snažno emitiraju zračenje na 1,42 GHz. Svaki inteligentni promatrač u svemiru znat će za vodikovu liniju. Dodatno, hidroksilni radikal izrazito zrači na 1,64 GHz. Vodik (H) i hidroksil (OH), zajedno čine spoj vode H<sub>2</sub>O. Voda je, koliko znamo, neophodna za postojanje života, a budući da je područje između 1,42 i 1,64 GHz otprilike najtiši dio radiospektra, čini se logičnim intervalom koji bi civilizacija odabrala za emitiranje svojih signala.[5]

Također možemo pokušati komunicirati s izvanzemaljskim civilizacijama slanjem signala, nadajući se da će one dešifrirati naš signal i možda odgovoriti. Ovo područje istraživanja se naziva aktivni SETI ili METI (Messaging to Extraterrestrial Intelligence). Najučinkovitiji mogući način za našu tehnologiju je emitiranje radiosignala s kojim bismo optimistično mogli doseći udaljenost od 25 000 svjetlosnih godina. Međutim, izneseno je nekoliko zabrinutosti oko METI-ja: dijeljenje informacija s izvanzemaljskim civilizacijama o našem postojanju,

lokaciji i našoj tehnološkoj razini bi moglo biti opasno. Nije očito da bi sve izvanzemaljske civilizacije bile dobroćudne, ili da kontakt čak i s dobroćudnom civilizacijom ne bi imao ozbiljne posljedice. Program pod nazivom Breakthrough Message proučava etiku slanja poruka u duboki svemir, uz dogovor da neće prenositi nikakvu poruku dok se ne postigne znanstveni i politički konsenzus o rizicima i dobitima kontaktiranja naprednih civilizacija.[5]

Postoji i dodatni problem u vremenu koje bi prošlo prije nego li bi poruka bila zaprimljena od strane neke udaljene civilizacije. Ako je potrebno 25 000 godina da poruka dostigne svoj cilj, koliku vrijednost zapravo predstavlja? Kada poruka bude zaprimljena, čovječanstvo će već biti drastično promjenjeno i poruka zasigurno neće predstavljati ljude koji budu živjeli u tom trenutku. I koliku vrijednost bi eventualni odgovor imao za nas, kada bi nas dostigao tek za 50 000 godina otkad je prva poruka poslana? Iako su rizici (pogotovo na takvim udaljenostima) vjerojatno minimalni, dobiti takve poruke su nepostojeći.

Unatoč svim ovim problemima, takva poruka bi i dalje imala određenu vrijednost za civilizaciju koja bi je primila; govorila bi, u najmanju ruku, o našem postojanju te, ovisno o poruci, i o biokemijskoj kompoziciji života na Zemlji i razini tehnologije koju smo posjedovali prije 25 000 godina. Iako mi (barem u doglednoj budućnosti) ne bi imali nikakve koristi od slanja takve poruke, ako očekujemo signale od drugih civilizacija možda je najmanje što možemo učiniti poslati i sami svoje signale u nadi da će ih netko detektirati te da, ako ništa drugo, će možda barem znanje o našem postojanju ostati sačuvano ako nas određena katastrofa izbriše s lica Zemlje. S utilitarističkog stajališta, slanje takvog signala svakako nema smisla; možda je upravo to jedan od razloga zašto do sada još nismo zaprimili signal neke izvanzemaljske civilizacije.

Ako uzmemo u obzir načelo prosječnosti i pretpostavimo da ne postoji ništa osobito izvanredno u vezi Zemlje, onda slijedi da bi život trebao biti uobičajen i da bi u svemiru trebalo postojati mnogo tehnoloških civilizacija. Samo u našoj galaksiji postoji možda čak 400 milijardi zvijezda, a budući da je stara oko 13 milijardi godina, moguće je da bi neke civilizacije mogle biti milijunima, ako ne i milijardama godina tehnološki ispred nas. Počinje se stvarati paradoks; kada bismo očekivali da u našoj galaksiji postoji mnogo tehnoloških civilizacija, neke nevjerojatno naprednije od nas, onda bi bilo neočekivano da do danas nismo primili nekakav njihovih signal, ili barem da nismo naišli na neku vrstu potvrde da postoje. Svemir se čini neobično tih, te se svaki promatrani fenomen može objasniti raznim fizičkim jednadžbama bez potrebe za pretpostavkom izvanzemaljske tehnološke civilizacije. Problem postaje još veći. Sve što znamo o zemaljskom životu govori nam da život ima prirodnu tendenciju širenja u sav raspoloživ prostor. Čini se da je spremnost na kolonizaciju univerzalni proizvod evolucije; vrste koje se ne šire obično izumiru ubrzo nakon što se novi grabežljivac nastani na njihovo područje, ili neka druga promjena onemogućuje daljnje preživljavanje vrste na danom području. Što se tiče tehnoloških civilizacija, ostati na svojem planetu bez kolonizacije drugih znači sigurnu smrt, ako ne od neke od raznih mogućih katastrofa, onda u konačnici smrću vlastite zvijezde. Ključna misao je, međutim, da bi tehnološki napredna IZC mogla kolonizirati galaksiju u nekoliko milijuna godina. Galaksija bi trebala obilovati životom. A ipak, ne vidimo nikakve dokaze da IZC-je postoje, iako naizgled imaju sredstva, motiv i priliku kolonizirati cijelu galaksiju.[5]

# Fermijev paradoks

Fermijev paradoks, nazvan po talijansko-američkom fizičaru Enricu Fermiju, je kontradikcija između prividne odsutnosti izvanzemaljaca i uobičajenog očekivanja ili raznih visokih procjena da bismo trebali vidjeti dokaze njihovog postojanja. Paradoks, kao i svaku drugu nedosljednost u znanosti, treba shvatiti ozbiljno. Znanstveni napredak se često ostvaruje upravo kada shvatimo da podaci ne odgovaraju postojećim modelima. Što se tiče Fermijeva paradoksa, dovodi se u pitanje samo načelo prosječnosti. Rješenje paradoksa moglo bi nam puno reći o svemiru, a možda i otkriti mnoga nepredviđena nova načela.

Postoji mnogo mogućih rješenja za Fermijev paradoks, ali samo dva moguća zaključka za sve njih: ili IZC-je postoje i postoji razlog zašto do sada nismo pronašli nikakve dokaze, ili IZC-je ne postoje i mi smo jedini inteligentni, tehnološki život u svemiru. Podijelit ćemo obje mogućnosti u nekoliko glavnih argumenata, povezujući mnoga različita rješenja i promotriti razloge koji stoje iza dva zaključka.

## 4.1 Postoje

Od dva dana zaključka, zaključak da izvanzemaljske civilizacije postoje unatoč manjku dokaza je vjerojatno popularniji, i to ne bez dobrih razloga. Naša galaksija je ogromna na skali koju si ne možemo vjerodostojno dočarati — zasigurno uz toliko velike udaljenosti nije posebno čudno da nemamo dokaza. Detektiranje izvanzemaljskih signala vrvi problemima i poteškoćama čak i bez dodatnog problema velikih udaljenosti koje bi vjerojatno učinile primanje većine signala iznimno teškim. Osim toga, što ako civilizacije u svemiru jednostavno nemaju potrebu međusobno komunicirati ili sudjelovati u kolonizaciji galaksije? Što ako aktivno pokušavaju sakriti svoje postojanje od nas? Međutim, kao što će se vidjeti u nastavku, nedostatak dokaza nije tako lako objasniti.

### 4.1.1 Sociološki argument

Ovaj argument uzima u obzir moguće razloge zašto bi IZC mogla odlučiti ne otkriti svoju prisutnost, ili je čak aktivno sakriti. Jedno potencijalno rješenje sugerira da IZC-je jednostavno nemaju motivaciju za širenjem i kolonizacijom, da bi razni problemi na matičnom planetu mogli zadržati njihov fokus daleko od svemirskih putovanja. Takva ideja svakako nije neopravdana — čovječanstvo je, moglo bi se tvrditi, sletjelo na Mjesec prvenstveno zbog pritiska izazvanim konkurencijom između SAD-a i Sovjetskog Saveza tijekom Hladnog rata. Od slijetanja na Mjesec i raspada Sovjetskog Saveza, desetljećima se nije vidio značajan napredak na svemirskom frontu. Bez čvrste motivacije ili neposredne koristi koloniziranja drugih planeta, civilizacije će biti koncentrirane na razne probleme koje ih muče u zadanom

trenutku. Kolonizacija i istraživanje svemira je skup proces; ukoliko se resursi koji bi bili potrošeni na takve ekspedicije mogu iskoristiti u rješavanju stvarnih i trenutnih problema, tada nije teško zamisliti da većina civilizacija stagnira u svojim svemirskim pothvatima. Međutim, čini se da je stagnacija koju smo doživjeli bila samo stanka. S usponom privatnih tvrtki kao što su SpaceX i Blue Origin te osnivanjem Svemirskih snaga Sjedinjenih Država, čini se da su se motivacija i vizija vratile. Ako je čovječanstvo ikakav pokazatelj, tada se vjerojatnost da sve druge civilizacije u galaksiji stagniraju čini iznimno malom. Osim toga, IZC-je bi, prije ili kasnije, bile prisiljene migrirati i kolonizirati druge planete, ako ni zbog čega drugog, onda zbog eventualne smrti svoje zvijezde.[5]

Moglo bi se također tvrditi, pošto su IZC-je vjerojatno daleko naprednije od nas, da ih nemamo čemu naučiti dok u isto vrijeme oni nas mogu naučiti svemu što su otkrili. Komunikacija za njih tada jednostavno ne bi bila vrijedna. Međutim, iako je istina da im najvjerojatnije ne bismo imali ništa za ponuditi kada su u pitanju prirodne znanosti, da ne postoji razlog zašto bi htjeli uspostaviti komunikaciju s nama bi moglo biti neopravdano stajalište. Prirodne znanosti su, u jednom pogledu, laka strana sveukupnog znanja. Pošto svi nastanjujemo isti svemir, teorije fizike će biti iste kod svih civilizacija, možda s drugačijim načinom na koje su izražene. Ali polja koja bi se mogla smatrati teškima, u kojima se znanstvena metoda ne može primjeniti, poput etike ili religije, bi se vjerojatno značajno razlikovale među civilizacijama. Kada bismo došli u kontakt s izvanzemaljskom civilizacijom i otkrili da imaju isto shvaćanje klasične mehanike kao i mi, to nas ne bi ni u najmanju ruku iznenadilo. To je upravo što bismo i očekivali. Ali kada bismo otkrili da imaju iste filozofske ideje i uvjerenja kao i mi, to bi moglo biti poprilično iznenađujuće. Napredne IZC-je tada ne bi imale potrebu učiti fiziku ili kemiju od nas, ali bi mogle biti fascinirane načinom na koji razumijemo svemir i naše mjesto u njemu. Drugim riječima, ne bi nužno htjeli učiti od nas, ali bi vjerojatno htjeli učiti o nama, što nas dovodi do još jednog predloženog rješenja, suprotnog od rješenja kojeg smo upravo opisali.

Moguće je da IZC-je odlučuju ostati skrivene upravo zato što su, u određenoj mjeri, zainteresirane za nas. Argument teče na sljedeći način: pošto bi bilo koja visoko razvijena IZC vjerojatno imala sve potrebne resurse na raspolaganju, u smislu materije i energije, najvrijedniji resurs koji bi zahtjevali bi bilo znanje. IZC se tada ne bi htjela mješati u naš proces zadobivanja znanja u nadi da, ako nas ostave na miru, ćemo prije ili poslije otkriti nešto čega se oni sami nikada nisu dosjetili. U tu svrhu se izoliraju od nas, promatrajući nas možda s vremena na vrijeme.

Ovakvo rješenje je svakako zanimljivo, ali pati od istog problema koji prati sva potencijalna rješenja koja se baziraju na određenu donešenu odluku IZC-je. Da bi rješenje funkcioniralo, potrebna je ujednačenost motiva svih IZC-ja, te pojedinaca ili grupacija unutar nje, koje bi mogle stupiti u kontakt s nama. Je li razumno zaključiti da se sve razne IZC-je i pojedinci u njoj slažu, ili barem pridržavaju takvih odluka?[5]

Sljedeće rješenje razmatra mogućnost da sve IZC-je pokušavaju detektirati signal, ali nijedna od njih ih ne tranzmitira, ili zbog poteškoća u odašiljanju signala, ili iz nekakvog etičkog razloga. IZC može smatrati da je slanje signala nemoralno sve dok njihova vrsta ne postigne dovoljnu razinu ujedinenosti kako bi ih poslani signal mogao sve predstavljati, ili slanje signala može smatrati opasnim. Također je moguće da, kao što smo već raspravljali, civilizacija ne vidi korist u slanju signala, pošto bi tisuće godina prošle prije nego li bi eventualni odgovor bio zaprimljen. Izuzev takvih problema, tehnički problemi također

predstavljaju prepreku tranzmisiji signala.

Kao što je ranije spomenuto, slanje signala – ili barem signala s dobrom šansom da bude za-primljen – zahtjeva puno energije. No to nije jedini problem. Kada bismo mi, ili neka druga civilizacija, odlučili poslati signal, to bi mogli napraviti na dva načina. Možemo poslati izo-tropski signal – s istom snagom u svim smjerovima – ili uski, fokusirani signal u specifičnom smjeru. Prvi način zahtjeva previše energije kako bi signal bio dovoljno jak u bilo kojoj dalekoj točki prostora, dok drugi način zahtjeva previše informacija o lokaciji gdje bi signal trebalo poslati. Čak i ako imamo potencijalni planetarni sustav na koji planiramo poslati naš uski signal, takvi sustavi nisu statični; slanje takvog signala bi zahtjevalo poznavanje vrijednosti brzine i smjera tog planetarnog sustava. Pošto su ogromne udaljenosti u pitanju, za slanje uskog signala bi bio potreban precizan izračun pozicije na kojoj će planetarni sustav biti za nekoliko desetljeća, stoljeća ili čak tisućljeća. Imajući sve ovo na umu, razumljivo je zašto bi barem neke IZC-je odlučile ostaviti teški posao tranzmisije signala ostalim civiliza-cijama. Međutim, koliko god bile velike poteškoće u slanju signala, nisu nepremostive, čak ni za našu razinu tehnologije.[5]

### 4.1.2 Argument problematične komunikacije

Upravo smo raspravljali o mogućim problemima koje bi IZC mogla imati kod slanja signala, no postoji mnogo više problema u komunikaciji. Kao što je već spomenuto, moguće je da IZC šalje signale koristeći tehnologiju za koju do sada ne znamo niti je razumijemo. Primanje tog signala tada bi, naravno, zasad bilo nemoguće. Međutim, od svih načina komunikacije koje možemo zamisliti, čak i čisto teorijskih, čini se da EM signali i dalje imaju najviše smisla, budući da su jeftini, kreću se najvećom mogućom brzinom u relativističkom svemiru i lako ih je detektirati. Čak i da postoji daleko bolji način za slanje signala, način kojeg još nismo svjesni, bi li ga sve navodne tisuće civilizacija koristile umjesto EM signala?[5]

Drugo rješenje koje se odnosi na komunikaciju je da imamo, zapravo, već detektirane signale IZC-je, no jednostavno ih ne prepoznamo kao takve. Možda mnogi od „prirodnih fenomena“ svemira koji bi se mogli protumačiti kao signali IZC-je jednostavno jesu signali IZC. Na primjer, detektiramo li fotone od zvijezda s viškom zračenja u infracrvenom dijelu spektra, zaključujemo da je zvijezda obavijena prašinom, dok bismo umjesto toga mogli zaključiti da je oko zvijezde izgrađen divovski Dysonov roj za prikupljanje energije. Moglo bi biti primamljivo zaključiti da su izvanzemaljski signali zapravo svuda oko nas, da smo samo pretjerano skeptični da bi ih mogli vidjeti kao takve. Međutim, takvo razmišljanje je pogrešno. U ovakvim slučajevima potrebno je primijeniti Occamovu oštricu – kada pos-toje konkurentne hipoteze o istoj pojavi, obje s jednako dobrom mogućnosti objašnjavanja podataka, treba odabrati onu s najmanje pretpostavki. Ako možemo objasniti opažanja u terminima prirodnih fenomena, onda ne moramo postulirati postojanje IZC-ja.[5]

Također smo već spomenuli poteškoće s osluškivanjem signala. Budući da tražimo usko-pojasni signal, postoji ogroman broj frekvencija kroz koje moramo pretraživati, što bi moglo zahtjevati puno vremena. Rješenje Fermijevog paradoksa bi se tada moglo činiti jednostavnim – jednostavno nismo dovoljno dugo tražili. Dodatna poteškoća je u tome što signal može biti neponavljajući, što nam daje samo jednu priliku da ga otkrijemo. Da bismo otkrili takav signal, morali bismo svoje teleskope usmjeriti u pravom smjeru u pravo vrijeme i pritom biti podešeni na pravu frekvenciju. Moglo bi proći dosta vremena prije nego što otkrijemo nešto



znatno. Ovo rješenje, koliko god bilo razumno, bi moglo biti nezadovoljavajuće. Komunikacija bi mogla biti sekundarno pitanje – kao što smo već raspravljali, neka IZC bi već trebala biti ovdje. Čekali smo, na neki način, na dokaze o izvanzemaljskim civilizacijama milijardama godina. IZC-je su imale sredstva, motiv i priliku kolonizirati cijelu galaksiju; osim ako ne postoji nešto što ih sprječava u kolonizaciji ili otežava proces kolonizacije.[5]

### 4.1.3 Argument ogromne veličine svemira

Koliko znamo, međuzvjezdana putovanja su moguća. Također se čini da postoje višestruki razlozi za inteligentnu vrstu da odluči kolonizirati druge planete. A budući da je moguće da su takve civilizacije stare milijune godina, ako ne i milijarde godina, imale su dovoljno vremena da koloniziraju cijelu galaksiju, proces koji bi za jednu civilizaciju mogao potrajati nekoliko milijuna godina – kratko vrijeme na astronomskoj razini. Međutim, trebali bismo razmotriti probleme kolonizacije na dubljoj razini i biti sigurni da naše optimistične predodžbe nisu samo rezultat posve površne analize. Možda je najjednostavnije rješenje Fermijevog paradoksa to da su udaljenosti između zvijezda prevelike da bi dopustile međuzvjezdana putovanja.

Problem nije u proizvodnji broda sposobnog napustiti naš planetarni sustav i oputovati do neke druge zvijezde. Problem je u vremenu koje bi bilo potrebno da takva letjelica završi putovanje. Svemirskim letjelicama izgrađenim našom trenutnom tehnologijom bi trebale desetke tisuća godina da dostignu nama najbliže zvijezde. Uz tako dugo tranzitno vrijeme, bi li bilo čudno da nijedna civilizacija unutar naše galaksije nije kolonizirala svjetove izvan njihovog planetarnog sustava? Ti se problemi mogu donekle ublažiti, možda korištenjem umjetne inteligencije umjesto organskih, kratkovječnih vrsta, ili izgradnjom takozvane „svemirske arke“: spore samostalne letjelice koja bi činila cijeli svijet za svoje putnike. Nakon što bi krenuli s matičnog planeta, mnoge generacije putnika bi živjele i umrle prije nego što bi letjelica stigla na odredište. Prvi prijedlog je previše hipotetičan, dok je drugi teško zamisliti; bi li upće postojala volja za financiranjem takvog projekta?

Čini se jasnim da ako želimo kolonizirati udaljene planete, moramo izgraditi letjelice koje mogu putovati brzinom usporedivom s brzinom svjetlosti. Čak i tada bi vrijeme putovanja moglo biti predugačko u pogledu individualnog ljudskog života. Na primjer, letjelici koja bi putovala ogromnom brzinom od  $0,1c$ , tj. jednom desetinom brzine svjetlosti, trebalo bi 105 godina da dosegne Epsilon Eridani, koja je jedna od najbližih zvijezda sličnih Suncu. Ovo bi vrijeme, iako još uvijek dugačko, moglo biti premostivo. Možda bismo trebali uzeti u obzir i mogućnost produljenja ljudskog životnog vijeka u budućnosti. Da je tih 105 godina samo dio ljudskog životnog vijeka, čak i ako je još uvijek značajan dio, pothvat kolonizacije bi svakako postao realističniji. Osim toga, životni vijek izvanzemaljske vrste mogao bi već biti znatno duži od životnog vijeka ljudi, što bi ovo konkretno rješenje Fermijevog paradoksa učinilo daleko slabijim.[5]

Još jedna poanta koju treba uzeti u obzir je učinak dilatacije vremena, razlike u proteklom vremenu mjenom od strane dva promatrača u dva različita referentna sustava. Učinak postaje očitiji što je brzina kretajućeg sustava bliža brzini svjetlosti. Letjelici koja putuje do zvijezde Epsilon Eridani brzinom  $0,999c$  trebalo bi 10,5 godina da dovrši putovanje prema mjerenjima promatrača na Zemlji, ali bi cijelo putovanje za člana posade trajalo samo 171 dan. Iako je putovanje bilo kojim značajnim djelićem brzine svjetlosti još uvijek daleko izvan

našeg dosega, postoje neki predloženi načini na koje bismo to mogli postići, bez da zalazimo u razmatranja čisto hipotetskih ideja.

Naše trenutne kemijske rakete svu svoju energiju i pogonsko gorivo dobivaju iz rezervi na brodu, ali ovaj pristup jednostavno ne bi bio izvediv za međuzvezdana putovanja, jer bi rezervni spremnici morali biti ogromni. Zato bi se morale koristiti drugačije metode pogona. Ionska raketa može izbacivati nabijene atome kako bi stvorila potisak, dok bi raketa koja koristi nuklearnu fuziju generirala pogon ispuhom čestica velike brzine nastale koristeći kontrolirane termonuklearne reakcije. Ovakve rakete bi imale visok omjer potiska naspram brzini potrošnje pogonskog goriva, tako da bi zahtjevali znatno manje goriva za danu misiju nego što bi to bilo potrebno s kemijskim pogonom.[6]

Međutim, cijeli koncept korištenja rakete koja mora nositi izvor energije bi mogao biti nepraktičan za međuzvezdana putovanja. Budući da prostor između zvijezda nije uistinu prazan, raketa koja bi mogla skupljati vodik iz međuzvezdanog medija mogla bi imati neiscrpni izvor pogonskog goriva. Takova letjelica bi koristila EM polje da sakupi ovaj vodik i odlije ga u ugrađeni fuzijski reaktor, koji bi zatim koristio vodik u termonuklearnim reakcijama kako bi proizveo potisak. Iako postoje praktične poteškoće koje izazivaju sumnju da bi ovakva letjelica zaista mogla funkcionirati, ako jedan od dizajna nadvlada ove poteškoće, ovakav brod bi u teoriji mogao postići brzinu blizu brzine svjetlosti nakon samo nekoliko mjeseci putovanja.

Postoji također i ideja o "laserskom jedru", svemirskom brodu s ogromnim „jedrima“ pričvršćenim na njega, kojeg zatim pokreće divovski laser koji usmjerava uski snop zračenja prema brodu. Fotoni iz snopa bi izazvali mali pritisak na jedro, lagano gurajući brod prema određenoj zvijezdi. Lasersko jedro bi moglo, uz određeno vrijeme, ubrzati do iznimno velikih brzina. Je li izvedivo konstruirati takve letjelice je još uvijek upitno, ali, što se same fizike tiče, ništa u teoriji ne sprječava ovakve metode putovanja. Čak i bez nagađanja o svim hipotetskim načinima svemirskog putovanja koje bi IZC mogla koristiti, iz gornjih primjera možemo jasno vidjeti da je moguće, iako možda nije lako. Mi danas ne možemo izgraditi ovakve letjelice, ali bilo bi teško zamisliti da IZC-ja, koja bi mogla biti milijunima godina starija od naše, do sada nije uspjela izraditi nešto slično. Dokle god je moguće, barem bi jedna od njih morala pronaći način.[5]

Kada je riječ o samoj kolonizaciji, ako bi IZC poslala kolonijalne brodove koji bi mogli putovati brzinom od  $0,1c$ , i ako bi te kolonije slale svoje kolonijalne brodove, galaksija bi se brzo mogla kolonizirati. Ako pretpostavimo da je vrijeme prije nego što osnovana kolonija pošalje vlastite kolonijalne brodove jednako kao i vrijeme samog putovanja, onda bi cijela galaksija mogla biti kolonizirana u periodu od otprilike milijun godina. Međutim, ovo je vjerojatno previše optimističan scenarij. Ne možemo znati koliko dugo bi IZC mogla čekati nakon kolonizacije jednog planeta prije nego što odluči kolonizirati drugi. IZC bi mogla kolonizirati planet te zatim čekati dugo vremena, dok se ne pojavi neka stvarna potreba, prije nego započne kolonizaciju nekog drugog planeta. Ovisno o njihovim potrebama i motivacijama, proces kolonizacije cijele galaksije tada bi mogao potrajati jako dugo vremena, ili relativno kratko vrijeme od nekoliko milijuna godina. Međutim, ako pretpostavimo da postoji više IZC-ja koje sudjeluju u kolonizaciji, tada bi proces nastanjanja galaksije inteligentnim životom mogao biti puno kraći. Osim toga, dugačko vrijeme kolonizacije bi moglo objasniti zašto nas IZC-je nisu posjetile ili zašto njihova prisutnost nije očita, ali ne nužno i zašto nismo do sada već zaprimili njihove signale, pa bi Fermijev paradoks i dalje ostao neriješen.[5]

Također bismo trebali razmotriti ideju takozvanih Bracewell–von Neumannovih sondi. Te sonde su zamišljene kao roboti koji u velikoj mjeri funkcioniraju kao vrlo sofisticirani 3D pisaci. Sonda bi imala univerzalni konstruktor sa sposobnošću izgrađivanja svega za što ima prikladne upute, te bi bila sposobna čak i reproducirati samu sebe. Ove sonde bi mogle riješiti mnoge probleme istraživanja i kolonizacije galaksije. Uzimajući u obzir hranu, vodu i sve ostale potrebe, prijevoz inteligentnih bića u svrhu istraživanja ili kolonizacije planeta bi bio nevjerovatno skup. Ali same sonde bi bile jeftine, a IZC treba samo poslati prvih nekoliko sondi i pustiti ih da obave ostatak posla; istražuju planetarne sustave, konstruiraju prikladna staništa za kasniju kolonizaciju, ili konstruiraju svoje kopije i pogonske sustave kako bi poslali nove sonde do nekih drugih planeta. Sav potreban materijal za različite izgradnje bi mogao biti prikupljen sa samog planeta na koji je sonda poslana. Kada bi ove sonde putovale razumnom brzinom od  $0,025c$ , tada bi cijela galaksija mogla biti kolonizirana za oko 4 milijuna godina. Iako naša trenutna tehnologija nije dovoljno sofisticirana za izradu ovih sondi, čini se da ne postoji teorijski razlog zašto se one ne bi mogle izraditi. Vrlo napredna IZC bi trebala biti u stanju proizvesti ih, čime bi problem Fermijevog paradoksa bio još izraženiji.[5]

Razmotrimo posljednje rješenje koje se odnosi na samu veličinu svemira, koje bi se moglo pokazati vrlo nezadovoljavajućim. Ovaj posljednji argument pretpostavlja da je abiogeniza – razvoj života iz neživih tvari – iznimno rijetka pojava. Iako nevjerovatno rijetka, kada bi svemir bio beskonačan, i dalje bi postojalo beskonačno mnogo izvanzemaljskih civilizacija. Problem je što bi bile toliko udaljene da se kontakt ne bi mogao uspostaviti. Budući da se svemir širi u svim smjerovima zbog promjenjivih svojstava samoga prostora, čime se najudaljenije galaksije udaljavaju od nas najbrže, postoje galaksije u svemiru za koje ne možemo saznati jer se udaljavaju brzinama većim od brzine svjetlosti. To je osnova za koncept opazivog svemira – dijela svemira koji možemo opažati, za razliku od dijela koji ne možemo. Maksimalna udaljenost s koje svjetlost čestica može doputovati do promatrača se naziva „horizont čestica“ – rub opazivog svemira. Ovaj argument, dakle, kaže da postoji beskonačno mnogo tehnoloških civilizacija u svemiru, ali samo jedna unutar našeg horizonta čestica – mi sami. Kada bi to bio slučaj, tada bismo, unatoč beskrajju IZC-ja, efektivno bili sami u svemiru.[5]

## 4.2 Ne postoje

Zaključak da smo jedina tehnološka vrsta u svemiru, ili čak samo u našoj galaksiji, bi se mogao činiti vrlo kontraintuitivan. Kolika bi bila vjerojatnost da je od svih planeta samo Zemlja proizvela inteligentnu, tehnološku vrstu? Iako na mnoga pitanja poput ovog nemamo precizan odgovor, u najmanju ruku možemo pokazati da zaključak nije nerazuman, kao što bi mnogi mogli pomisliti na prvi pogled. Ovi argumenti će pokušati pokazati da su jedan ili više faktora u Drakeovoj jednadžbi iznimno mali. Kad bi samo jedan od faktora bio blizu nuli, ili kada bi nekoliko faktora imalo veoma malenu vrijednost, tada bi rezultat jednadžbe bio  $N = 0$ , što bi značilo da ne postoje druge civilizacije i da je čovječanstvo jedina napredna civilizacija u galaksiji, a možda i u cijelom svemiru. Argumenti se oslanjaju na to da postoji niz teških koraka na putu razvoja tehnološki napredne civilizacije. Ta se rješenja često mogu razmotriti zajedno, stvarajući kumulativni argument. Ne pokušava svako „rješenje“

samostalno riješiti Fermijev paradoks, ali svako predstavlja korak koji život mora prevladati prije nego što dođe do tehnološke civilizacije, ili u najmanju ruku svako predstavlja smetnju i prepreku koja može otežati razvoj života. Ako ih se sagleda zajedno, mogu izražavati krajnje nevjerovatne izgleda za postojanje druge tehnološke civilizacije u svemiru.

### 4.2.1 Astronomski argument

Prvi skup rješenja se bavi Zemljom i njezinim položajem u svemiru, pokušavajući otkriti postoji li nešto posebno u vezi Zemlje, nešto što bi imalo malu vjerojatnost da se pojavi bilo gdje drugdje u svemiru. To može biti jedna vrlo nevjerovatna pojava, ključna za nastanak života, ili skup fenomena od kojih nijedan nije osobito nevjerovatan, ali ako se promatraju zajedno mogu biti malo vjerojatni.

Sve dok je sporno postojanje života koji koristi otopinu koja nije voda, naša pretraživanja i razmatranja moraju uključivati vodu. Zato za razvoj života, ili barem složenog i inteligentnog života, planet mora biti u nastanjivoj zoni sustava, području oko zvijezde u kojem bi planet poput Zemlje mogao sadržavati tekuću vodu. O nastanjivim zonama smo već govorili u ranijem odjeljku, no ovdje ćemo se baviti pitanjem koliko se često planet nalazi unutar nastanjive zone, i što je još važnije, unutar kontinuirane nastanjive zone.

Za zvijezdu nalik Suncu, pronalazak planeta unutar kontinuirane nastanjive zone nije osobito neobično: otprilike jedna od pet zvijezda nalik Suncu imat će planet veličine Zemlje u nastanjivoj zoni. Međutim, to ne znači nužno da je planet pogodan za život, jer postoje i drugi čimbenici zbog kojih bi takvom planetu nedostajala tekuća voda. Kada je riječ o drugim vrstama zvijezda, planeti oko zvijezda tipa O, B i A neće dugo ostati u nastanjivoj zoni jer takve zvijezde prebrzo evoluiraju te im luminoznost prebrzo raste. Planeti oko malih i hladnih zvijezda tipa K i M mogli bi dugo ostati u kontinuiranoj nastanjivoj zoni, ali te zone leže preblizu samim zvijezdama, što bi moglo dovesti do nekih problema. Na takvoj udaljenosti, planeti u zoni će postati plimno zaključani i solarne baklje bi mogle neprestano bombardirati planet. Moguće je da bi oceani i vjetrovi mogli ublažiti temperaturne ekstreme planeta koji su plimno zaključani te da aktivnost solarnih baklji možda nije toliko štetna za život na takvim planetima kao što bismo u početku mogli očekivati, ali u najmanju ruku je još uvijek upitno mogu li ovi planeti podržavati život.

Treba uzeti u obzir i dodatni problem: samo određene vrste zvijezda imaju dovoljnu metalnost da bi mogli posjedovati stjenovite planete i samo određeni dijelovi galaksije su dovoljno zaštićeni od aktivnosti središnjih područja. Zato trebamo definirati galaktičku nastanjivu zonu, područje oblika prstena koje sadrži možda samo 20% zvijezda u galaksiji. Budući da kontinuirana nastanjiva zona mora biti unutar galaktičke nastanjive zone, vjerojatnost pronalaska planeta sličnog Zemlji se smanjuje, ne dovoljno da se riješi Fermijev paradoks, ali dovoljno da pruži određenu sumnju ideji da mora postojati druga civilizacija u našoj galaksiji.[5]

Još jedan fenomen koji bi mogao smanjiti vjerojatnost pojave druge civilizacije u svemiru, fenomen koji bi čak mogao biti jedinstven za Zemlju, jest tektonika ploča. Tektonika ploča bi mogla biti među najvažnijim potrebama za razvoj složenog života.

Prvo, čini se da tektonika ploča igra važnu ulogu u stvaranju Zemljinog magnetskog polja. Planeti u velikoj mjeri stvaraju magnetsko polje pomoću dinamo procesa u unutrašnjosti planeta. Da bi takav dinamo funkcionirao, planet se mora rotirati, mora sadržavati po-

druže s električno vodljivom tekućinom i mora održavati konvekciju unutar područja vodljive tekućine. Moguće je da bi u slučaju Zemlje, bez tektonike ploča, konvektivne ćelije prestale prenositi toplinu na površinu i dinamo bi prestao funkcionirati. Zemljino magnetsko polje bi tada imalo samo mali djelić njegove sadašnje vrijednosti. Visokoenergetske čestice u solarnom vjetru bi mogle raspršiti atmosferske čestice u svemir te bi s vremenom takvo raspršivanje uzrokovalo iščezavanje Zemljine atmosfere, čineći bilo kakav površinski život malo vjerojatnim.

Drugo, tektonika ploča stvara kontinente i konzistentno ih mijenja. Kontinenti pružaju posebne evolucijske izazove za život, nude raznolika okruženja i na taj način promiču biološku raznolikost, što je posebno važno u slučajevima masovnog izumiranja.

Konačno, tektonika ploča regulira temperaturu Zemljine površine, što je uloga koja se ne može precijeniti. Način na koji tektonika ploča regulira temperaturu je složen, pa ćemo razmotriti samo osnove. Njegova ključna uloga je u regulaciji atmosferskog ugljičnog dioksida. Ako atmosfera sadrži previše  $\text{CO}_2$ , globalne temperature mogu porasti, ako ima premalo atmosferskog  $\text{CO}_2$ , tada se planet hladi. Ugljični dioksid reagira s vodom i stvara ugljičnu kiselinu, zahvaljujući čemu oborine mogu pomoći u uklanjanju  $\text{CO}_2$  iz atmosfere. Ova ugljična kiselina otapa stijene i minerale na površini Zemlje, a kemijski proizvodi ovog procesa rijekama se prenose u oceane, gdje ih mehanizam tektonskih ploča podvodi u dubine Zemlje. Tako se uklanja atmosferski  $\text{CO}_2$ . Tektonika ploča zatim reciklira  $\text{CO}_2$  stvarajući vulkane. Bez takvog procesa reciklaže, globalno hlađenje Zemlje bi bilo neizbježno. Ako se previše ugljikovog dioksida vrati u atmosferu, planet se zagrijava i povećava se brzina kojom ugljična kiselina uklanja  $\text{CO}_2$  iz atmosfere, što zauzvat hladi planet.

Ovaj ciklus je presudno važan za dugoročnu stabilizaciju globalne temperature. Čini se da je tektonika ploča ključna za život na Zemlji, a u isto vrijeme ništa ne ukazuje na to da je neizbježna stvarnost svemira ili da je uopće uobičajena pojava. Koliko znamo, samo Zemlja koristi ovaj mehanizam za odlaganje svoje unutarnje topline. Bez poznavanja preciznih činjenica o tome koliko je tektonika ploča uobičajena u svemiru, ne možemo čvrsto dezignirati njezinu vrijednost u rješavanju Fermijeva paradoksa. Može biti relativno česta ili relativno rijetka pojava. Čak i ako je rijetka, to samo po sebi ne bi riješilo Fermijev paradoks, jer možda nije jedini mehanizam koji može pružiti gore navedene prednosti. Ipak, tektonika ploča bi mogla biti još jedan čimbenik koji čini vjerojatnost IZC-ja manje vjerojatnom.[5]

Posljednje rješenje o kojem ćemo ovdje raspravljati je moguća jedinstvenost našeg Mjeseca. Mjesec je velik u usporedbi sa Zemljom: oko  $1/4$  polumjera i  $1/81$  mase Zemlje. Najveći sateliti našeg Sunčevog sustava – Ganimed, Kalisto, Io – kruže oko Jupitera dok Titan kruži oko Saturna. Iako su nešto veći od našeg Mjeseca, ovi sateliti su minijaturni u usporedbi s planetima oko kojih kruže. To nije slučaj sa sustavom Zemlja-Mjesec koji bi se čak mogao nazvati "dvostrukim planetom". Prevladavajuća hipoteza o tome kako je nastao Mjesec bi nam mogla dati uvid u to koliko bi takvi sustavi mogli biti rijetki u svemiru. Hipoteza o sudaru pretpostavlja da je objekt veličine Marsa udario u ranu Zemlju. U nasilnom sudaru, mješavina zemaljskog i udarnog materijala izbačena je u orbitu oko Zemlje, spajajući se i formirajući Mjesec. Ovakvi sudari bi mogli biti iznimno rijetki, a pogodne vrste sudara mogu biti još rjeđe; moguće je da novoformirani satelit usvoji retrogradnu orbitu, orbitu u "pogrešnom" smjeru. Plimne sile koje uzrokuju da se naš Mjesec udaljava od Zemlje u tom bi slučaju djelovale u suprotnom smjeru, uzrokujući da se satelit približava planetu i na kraju se „sruši“ na njega. Sasvim je moguće da je Zemlja iznimna u posjedovanju tako velikog satelita.

Postoji nekoliko načina na koje Mjesec ima pogodan utjecaj na Zemlju. Prije svega, Mjesec podiže oceanske plime, što je moglo biti presudno za prvi nastanak života. Ubrzo nakon formiranja, Mjesec je bio mnogo bliže Zemlji nego što je sada, tako da su plime i oseke prije 4 milijarde godina bile ogromne. Pretpostavlja se da su te velike plime bile faktor u pokretanju života tako što su djelovale kao mikser primordijalne juhe i uzrokovale bazene bogate hranjivim tvarima u kojima je život mogao započeti. Još uvijek bismo imali plimu i oseku bez Mjeseca, zahvaljujući Suncu, ali one ne bi bile ni blizu tako velike kao s Mjesecom.

Drugo, Mjesečeva gravitacija utječe na Zemljinu koru, pojačavajući vulkansku aktivnost i pomicanje kontinenata. Već smo raspravljali o tome koliko bi ti učinci mogli biti važni za život na Zemlji, a bez Mjeseca je vjerojatno da bi Zemlja bila mnogo manje geološki aktivna. Posljednji, i možda najvažniji, je način na koji Mjesec utječe na Zemljin nagib osi, kut između nebeskog ekvatora i orbitalne ravnine. Zemljin nagib od  $23,5^\circ$  dovodi do godišnjih doba, dok bi s nagibom osi od  $0^\circ$ , poput Merkura, ekvatorijalne regije bile prevruće i život bi bio puno drugačiji. Ali više od same vrijednosti nagiba, ono što je važno jest da je nagib stabilan. Čak i male promjene nagiba mogu uzrokovati dramatične promjene planetarne klime. Na primjer, Zemljin nagib oscilira za oko  $\pm 1,5^\circ$  s periodom oscilacije od 41 000 godina. Ovo je samo mala varijacija, no čini se da je povezana sa nizom ledenih doba koje je Zemlja proživjela tijekom posljednjih nekoliko milijuna godina. Mars nema stabilizirajući utjecaj na njegov nagib pa, iako je nagib Marsa trenutno  $25^\circ$ , se ova vrijednost kreće između  $15^\circ$  i  $35^\circ$ , s razdobljem od 100 000 godina. Zemljin nagib, bez Mjeseca koji bi ga stabilizirao, također bi kaotično lutao, do vrijednosti od čak  $90^\circ$ . Čak i objekt s upola manjom masom od Mjeseca, koji bi i dalje bio relativno velik satelit, ne bi bio dovoljan da stabilizira Zemljin nagib. Našem planetu je potreban velik satelit kako bi spriječio varijacije u nagibu osi i promjene klime iz jedne krajnosti u drugu. Kada bi Zemlja imala pomake nagiba slične Marsu, život, ili barem složeniji kopneni život, bi bilo teško zamisliti. Ipak, ne možemo sa sigurnošću reći bi li nemoguće bilo da život napreduje do inteligencije i proizvede tehnološku civilizaciju kada bi planetu nedostajao veliki mjesec da stabilizira nagib osi, niti znamo koliko su zapravo rijetki veliki mjeseci. No, bez obzira na naše trenutno nedovoljno znanje, i dalje se čini da ovakvi sustavi "dvostrukih planeta" igraju važnu ulogu za život dok su, u većoj ili manjoj mjeri, rijetki u svemiru. Tada bi se moglo reći da ova argumentacija, iako ne rješava paradoks sama po sebi, smanjuje vjerojatnost postojanja IZC-ja.[5]

## 4.2.2 Evolucijski argument

Ovaj skup rješenja bi mogao biti najjači u pokazivanju koliko bi malo vjerojatno moglo biti postojanje izvanzemaljske inteligentne vrste, osobito one koja s vremenom postane sposobna za međuzvezdanu komunikaciju i putovanje u svemir.

Započet ćemo na samom početku, s abiogenezom – procesom kojim život nastaje iz nežive materije. Poznavajući samo jedan slučaj života, ne možemo s uvjerenjem govoriti o vjerojatnosti njegovog nastanka. Ali snaga ovog rješenja leži u sigurnom saznanju da je ono nužan korak na putu prema inteligenciji, za razliku od nekih drugih rješenja o kojima smo već raspravljali, i kao takav, ako je vjerojatnost dovoljno niska, može samostalno riješiti Fermijev paradoks.

Čini se da je život na Zemlji nastao čim su uvjeti to dopustili. Znamo da je naš planet formiran prije otprilike 4,55 milijardi godina. Najviše 700 milijuna godina nakon formiranja Zemlje – prije 3,85 milijardi godina – čini se da je život nastao. Kada se uzme u obzir da

je malo vjerojatno da je najraniji život za koji znamo ujedno i najraniji život na Zemlji općenito, i da život vjerojatno nije mogao preživjeti u uvjetima vrlo rane Zemlje, spomenuto razdoblje od 700 milijuna godina postaje još kraće. To razdoblje se može činiti dugim, ali vrijedi zapamtiti da je procijep između života i neživota nevjerojatno velik. Brza pojava života na Zemlji mogla bi nas navesti da zaključimo da je vjerojatnost abiogeneze relativno visoka – ako se život ovdje pojavio tako brzo, onda zasigurno nije bilo toliko nevjerojatno. Ali ovaj bi zaključak mogao biti pogrešan. Moguće je da život, kako bi dosegao razinu inteligencije koja bi omogućila promišljanje o pitanjima o kojima trenutno promišljamo, mora nastati brzo bez obzira na to jesu li vjerojatnosti za to visoke ili niske. A budući da smo ovdje i da razmišljamo o ovim pitanjima, znamo da se to moralo dogoditi.

Ono što treba uzeti u obzir jest da je životni vijek našeg Sunca oko 10 milijardi godina. Razdoblje tijekom kojeg može održavati život na našem planetu može biti i kraće od toga, samo 6 milijardi godina. Kako je naša vrsta nastala kada je Sunce već bilo staro oko 4,5 milijardi godina, da je abiogenezi trebalo nekih milijardu više godina da se dogodi, možda ne bismo bili ovdje da o tome raspravljamo. Možda se, iako vrlo nevjerojatna, abiogeneza morala dogoditi brzo na Zemlji jer da nije, ne bismo bili ovdje. To može biti razlog zašto život nije nastao nekoliko milijardi godina nakon formiranja Zemlje, a ne zato što vjerojatnost mora biti velika. To bi značilo da većina planeta, ako ne i svi drugi planeti, koji mogu sadržavati život ga razvijaju prekasno, toliko kasno da njihova zvijezda učini planet nenastanjivim mnogo prije nego što se uspiju razviti tehnološke civilizacije. Uz dokaze koje imamo na raspolaganju, činjenica da smo ovdje u potpunosti je u skladu s malom vjerojatnošću abiogeneze. Činjenica da je život ovdje nastao rano ne implicira da život mora biti uobičajen.

Brzina kojom se život pojavio na Zemlji bi mogla biti teška za prihvatiti bez pribjegavanja hipotezi poput panspermije. Ako život nije nastao na Zemlji, nego je doveden ovamo, onda bi se kratki interval mogao lako objasniti. Ako je život došao na Zemlju iz dubina međuzvjezdanog prostora, tada bi vjerojatno bezbroj planeta u galaksiji moglo sadržavati život. Međutim, ako je život na Zemlju došao s Marsa, to bi moglo značiti da je život rijedak. Znamo da se stijene kreću s planeta na planet nakon udara meteora. Moguće je, dakle, da je život nastao na Marsu, a zatim je prebačen na Zemlju putem panspermije. Ako se ispostavi da je to slučaj, to bi nas moglo dovesti do zaključka da su dva planeta potrebna da bi život mogao napredovati, jedan da bi osigurao početne uvjete, a drugi da bi osigurao dugoročan dom. Kako su se uvjeti na Marsu mijenjali, život je tamo odumro, a kako su se uvjeti na Zemlji mijenjali, život je napredovao. Ova konfiguracija bi bila rijetka u svemiru, a kao takav bi tada mogao biti i sam život.

Kad bismo pronašli život neovisan od onog na Zemlji, tada bismo barem znali da život nije jedinstven za Zemlju. Također bi nam govorilo nešto o vjerojatoj rasprostranjenosti života u galaksiji. To ne bi bio život s kojim bismo mogli komunicirati, ali kada bismo znali da je život nastao neovisno u našem Sunčevom sustavu više puta, onda ne bismo mogli razumno tvrditi da je život rijedak u cijeloj Galaksiji. Sve dok se to ne dogodi, problem abiogeneze ostat će potencijalno težak korak na putu prema inteligenciji.[5]

Još jedan nužan korak na putu prema inteligenciji, i kao takav još jedno snažno potencijalno rješenje paradoksa, je prijelaz s prokariotskih na eukariotske stanice i razvoj višestaničnih organizama. Za značajan dio Zemljine povijesti jedini organizmi koji su postojali bili su jednostanični prokarioti, najistaknutiji od kojih su bakterije. Možda najuspješniji oblik života na Zemlji, bakterije svoj uspjeh duguju svojoj jednostavnosti, u kombinaciji sa

svojom sposobnošću da se brzo razmnožavaju. Budući da su tako uspješne i izdržljive, čini se da ne postoji nikakav evolucijski pogon koji bi zahtijevao prijelaz u eukariotske stanice, zbog čega je možda bilo potrebno više od milijardu godina da se eukariotske stanice pojave, dok je za višestanične organizme bilo potrebno još i više vremena. Dapače, rane faze tranzicije su najvjerojatnije bile poprilično pogubne za većinu stanica. Prijelaz bi tada bio samo slučajnost, nipošto neizbježan ishod evolucije.

Glavna razlika između eukariotskih i prokariotskih stanica je u tome što prokariotske imaju vrlo krute stanične membrane dok ih eukariotske stanice ili nemaju ili posjeduju vrlo fleksibilne membrane. Ova fleksibilnost omogućuje eukariotskim stanicama da vrše citozu – proces u kojem se stanična membrana gura prema unutra kako bi se formirala intracelularna vakuola. Najvažnija uloga citoze mogla bi biti fagocitoza, proces u kojem eukariotska stanica omota česticu hrane u vakuolu, gdje je enzimi zatim probavljaju. Stanice također sadrže organele koje su od ostatka citoplazme odvojene membranama, na primjer mitohondrije koji imaju vitalnu ulogu u proizvodnji stanične energije. Organele su najvjerojatnije nastale simbiozom. Prije više milijardi godina, vrlo primitivne eukariotske stanice koristile su fagocitozu za unos manjih prokariotskih stanica kao hranu. Neke prokariotske stanice su bile neprobavljive i ostale bi u većim eukariotskim stanicama, neke obavljajući funkcije – kao što je transformacija energije – učinkovitije od svojih domaćina. Dodatna razlika između dvije vrste stanica jest da eukariotska stanica ima jezgru koja sadrži DNK te, za razliku od prokariota, novi eukarioti mogu nastati fuzijom gameta od dva roditelja, te je količina genetskih informacija koju pohranjuju eukarioti daleko veća od one koju pohranjuju prokarioti. Konačno, eukarioti posjeduju citoskelet koji se opire silama rastezanja ili kompresije koje bi mogle djelovati na stanicu. Dakle, čak i s nedostatkom krute stanične stijenke, eukariotska stanica može zadržati svoj oblik i cjelovitost.

Čini se da je nastanak eukariotskih stanica malo vjerojatan. Jedan od prvih koraka u tranziciji zacijelo je bio gubitak krute stanične stijenke, iako bi to bilo kobno za većinu organizama. Uklanjanje stanične stijenke je u konačnici bilo korisno jer je omogućilo fagocitozu, ali fagocitoza je evoluirala kasnije i stoga nije mogla pružiti trenutnu korist organizmu koji je izgubio stijenkku. Preživljavanje i uspješan prijenos gena ovih ranih eukariota tada bi moglo biti ništa doli puke sreće, kao što je možda bio i razvoj organela neuspjelom probavom korisne prokariotske stanice. Iako ne možemo znati sa sigurnošću, nastanak eukariotskih stanica se čini rijetkim, slučajnim i nimalo neizbježnim događajem. A isto bi moglo vrijediti i za početke suradnje između stanica i nastanak višestaničnih organizama.

Što je uzrokovalo da eukariotske stanice udruže svoje resurse i počnu surađivati nije poznato. Nije ni posve jasno kada je došlo do prijelaza na višestanične organizme. Znamo da su prije 540 milijuna godina, s kambrijskom eksplozijom, višestanični organizmi već postojali. Sekvenciranje gena sugerira da su nastali prije otprilike milijardu godina. Međutim, bez obzira na to jesu li nastali prije milijardu godina ili prije pola milijarde godina, ostaje činjenica da se pojavljuju vrlo kasno u povijesti našeg planeta. Jednostanična bića su nastala ubrzo nakon što se Zemlja ohladila. Trebalo je 3 milijarde godina da evolucija proizvede složena stvorenja.

Čini se da je nastanak eukariotske stanice, a možda i nastanak višestaničnog života, bila slučajnost, događaj koji se jednom dogodio ovdje na Zemlji i za koji nema jamstva da će se dogoditi negdje drugdje. Možda je samo Zemlja doživjela pravi slijed bioloških i ekoloških događaja koji su omogućili evoluciju životinjskog svijeta. Možda bismo u budućnosti, ako se pokaže da je abiogeneza razumno vjerojatna, mogli pronaći galaksiju koja vrvi jednostavnim, prokariotskim životom, ali ničim složenijim, ničim što bi moglo dovesti do izvanzemaljske



civilizacije.[5]

Posljednji evolucijski korak koji ćemo razmotriti, a ima ih mnogo više, je evolucija jezika. To je još jedan nužan korak na putu prema tehnološkoj vrsti. Vrsta koja ne može uspostaviti neki oblik složene, apstraktne komunikacije vjerojatno ne može raditi zajedno i dijeliti ideje koje bi im omogućile izgradnju radioteleskopa i svemirskih brodova.

Čini se da su ljudi jedina vrsta u povijesti Zemlje koja posjeduje jezik. Može nam se činiti da mnoge druge vrste također koriste jezik, ali to najvjerojatnije proizlazi iz naše sklonosti antropomorfiziranju. Mi tumačimo jednostavne zvukove koje životinje ispuštaju i na koje reagiraju kao pravi jezik, dok je zapravo jednostavna osobina ponašanja koja se prenosi kroz generacije jer pomaže vrsti da preživi, samo nesvjesni instinkt izoštren evolucijom.

Važno je razlikovati jednostavnu komunikaciju i jezik. Čak i stanice komuniciraju, ali takvu komunikaciju ne bismo mogli nazvati jezikom. Nema dokaza da bilo koja vrsta – čak ni bonobo ili čimpanza – posjeduje komunikacijski sustav s mogućnostima koje posjeduje ljudski jezik. Ljudi mogu govoriti o apstraktnim konceptima te o događajima koji su se dogodili u prošlosti i koji bi se mogli dogoditi u budućnosti. Kada glasno izgovaramo riječi izvodimo mehaničke pokrete najveće složenosti, moramo koordinirati i regulirati precizne pokrete raznih organa u točnim vremenskim intervalima, a kada slušamo govor neke druge osobe naš mozak shvaća informacije nevjerojatnom brzinom. Ljudi mogu kombinirati male smislene elemente u veće smislene elemente, te iz konačnog broja riječi konstruirati naizgled beskonačnu kombinaciju rečenica i značenja. Čini se da su sposobnosti jezika gotovo beskonačne. Kako bi se nosio s ovim beskonačnim skupom, mozak mora slijediti određena pravila, a ne samo pristupati nekakvom skupu odgovora iz kojeg bi vadio sljedeću rečenicu. Čini se da je jezik urođen. Dijete ne treba učiti jezik, ono je genetski programirano skupom procesnih pravila i jednostavnih postupaka koji čine stjecanje jezika neizbježnim, uključujući i znakovni jezik ako mu je dijete izloženo od malena.

Kako je sve ovo evolucijski proizašlo još uvijek nije potpuno razjašnjeno, ali se čini da je put do jezika vrlo malo vjerojatan. Znamo da se morao dogoditi niz nepovezanih evolucijskih promjena kako bismo mogli govoriti. Restrukturiranje dijafragme, grkljana, usana, nosnih prolaza, usne šupljine i jezika je bilo bitno za razvoj artikuliranog govora, ali ništa od toga se nije dogodilo kako bi se razvio govor. Promjene na tim organima su u početku bile potpuno nepovezane sa sposobnošću govora; bile su to male promjene koje su donijele trenutne selektivne koristi. Među njima je zbunjujuća promjena koja je pozicionirala grkljan duboko u grlu. Grkljan nisko u grlu daje jeziku dovoljno prostora za kretanje i proizvodnju velikog broja samoglasnika, ali čini gušenje hranom realnom mogućnošću, i kao takvo može se činiti malo vjerojatnom osobinom koja bi se prenosila generacijama.

Možda je razvoj jezika kod ljudi bila samo sreća, skup više malo vjerojatnih fizičkih i kognitivnih prilagodbi. Možda su vjerojatnosti da se ovo ponovi u svemiru dovoljno niske da nas čine jedinima s tom sposobnošću. A budući da se čini da je jezik ključan korak na putu k tehnologiji, možda bi ovaj argument mogao samostalno riješiti Fermijev paradoks. U najmanju ruku je razumno zaključiti da značajno smanjuje vjerojatnost drugih tehnoloških civilizacija u galaksiji.[5]

Postoji mnogo više evolucijskih koraka na putu prema tehnološkoj vrsti. Jedna stvar koju treba imati na umu je da evolucija nema cilj. Ne napreduje nužno prema složenijim organizmima, visokoj inteligenciji, jeziku, svijesti ili manipulativnim sposobnostima sposobnim za izradu alata. Mogli bismo na neki način smatrati pse, mačke, čak i bakterije, daleko evolu-

cijski razvijenijima od nas, pošto su imali mnogo više generacija od kojih je svaka bila prilika za evolucijsku promjenu. Unatoč tome, nisu složeniji niti inteligentniji od nas. Znajući sve ovo, vjerojatnost druge tehnološke civilizacije u svemiru mogla bi biti tako niska da nas čini jedinima.

### 4.2.3 Kulturološki argument

Čak i ako dopustimo mogućnost da je neka udaljena izvanzemaljska vrsta prošla sve potrebne evolucijske korake prema visokoj inteligenciji i da je sposobna postati tehnološkom civilizacijom, još uvijek postoje sumnje da bi to zapravo i postala. Jedna od čestih zabluda jest ideja da je znanstveni i tehnološki razvoj inteligentne vrste neizbježan, ideja da će bilo koja inteligentna vrsta s pogodnim evolucijskim predispozicijama prije ili poslije napredovati u znanosti do mjere koja dopušta razvoj visoko sofisticirane tehnologije. U ovom odjeljku će se pokazati da razvoj znanosti ovisi o mnogim kulturološkim faktorima dane civilizacije, o idejama, vrijednostima, predodžbama i institucijama koje bi podržavale znanstveni napredak koji često u svojem začetku ne donosi nikakvu neposrednu korist. Mnoge od tih ideja nam se danas mogu činiti očiglednima jer su duboko ukorijenjene u naš način razmišljanja, ali to nije uvijek bilo tako. Trebalo je mnogo vremena i mnoge civilizacije su se digle i pale prije nego li je razvijen pogodan obrazac razmišljanja koji bi vodio k znanstvenom napretku, obrazac koji nipošto nije nužan produkt inteligentne vrste.

Rasprava o začecima moderne znanosti je, očekivano, jako kompleksna te se ne može detaljno pokriti u jednom poglavlju. No cilj ovog poglavlja je samo pokazati da znanstveni razvoj nije nužan, što se, optimistički gledano, može pokazati i sa samo površnom analizom povijesti i filozofije znanosti.

Prije nego li razmotrimo moguće kulturološke potrebe za razvoj znanosti i tehnologije, možemo uočiti da je povijest Zemlje već postavila presedan inteligentnih vrsta koje su stagnirale u svojem tehnološkom napretku. Evolucijski rođaci ljudi, poput neandertalaca i denisovaca, su primjeri inteligentnih vrsta sa sposobnošću izrade alata. Naši rođaci su preživjeli stotine tisuća godina, ali što se tiče tehnološkog napretka, iako je razina tehnologije bila relativno impresivna, čini se da su uvelike stagnirali imajući periode od više od 100 tisuća godina bez ikakvog značajnog tehnološkog napretka. Naša vrsta nije nužno bila mnogo bolja; tek prije nekih 40 tisuća godina je nastupio spori proces tehnološkog razvoja. Ni tada taj proces nije karakterizirao cijelo čovječanstvo; mnoge primitivne i izolirane ljudske civilizacije, poput australskih Aboridžina, su zaostale na veoma rudimentarnoj razini tehnologije. S ovakvim primjerima na umu, nije teško zamisliti da možda većina inteligentnih vrsta postane vješta u primitivnom manipuliranju drveta i kamena te, zauzimajući vrh hranidbenog lanca u svojem području, jednostavno ostanu na toj razini. Tada možemo postulirati da je za daljni tehnološki napredak potrebno da vrsta bude visoko agresivna i teritorijalna u svrhu primjenjivanja pritiska koji bi potaknuo vrstu na daljni tehnološki napredak, što je svakako bio slučaj kod ljudske vrste. No ni takvo stanje nije u potpunosti dovoljno za daljnji tehnološki napredak. Kao što je već ranije spomenuto, mnoga polja istraživanja, nužna za daljni razvoj civilizacije, inicijalno ne pružaju nikakvu neposrednu korist te se motivacija i potreba za takvim istraživanjima mora pronaći negdje drugdje.[5]

Jedan preduvjet za razvoj znanosti je svakako izum i razvoj pisma, ne samo u svrhu očuvanja znanja (iako je i to ključna karakteristika), nego i razvijanja mentaliteta koji bi

omogućio filozofska razmišljanja. Jedna od značajki oralnih kultura jest prelogičan mentalitet kojim koncepcije znanja i istine ne postoje na način na koji ih mi danas razumijemo, kulture koje često karakterizira prihvaćanje kontradiktornih tvrdnji bez poimanja da takvo stanje predstavlja problem. Takve kulture djeluju u sasvim drugačijem lingvističkom i konceptualnom svijetu koji nije kompatibilan sa znanstvenim načinom razmišljanja.[7] Naravno, sam razvoj pisma, iako ključan za filozofiju i znanost, nije dovoljan za razvoj znanosti koja bi s vremenom omogućila izradu radioteleskopa i svemirskih letjelica.

Kroz povijest, mnoge civilizacije su postigle određenu razinu sofisticiranosti u poljima medicine, matematike i filozofije, ali su zaostajale u razvoju prirodnih znanosti kakve ih danas poznajemo, znanosti koja naglašava empiricizam i primjenu znanstvene metode. Takva znanost nije nastupila na scenu sve do Ranog novog vijeka u 16. stoljeću. Da bismo bolje razumjeli kolike su vjerojatnosti razvoja znanosti za neku izvanzemaljsku civilizaciju, moramo prvo razumjeti što je vodilo do razvoja znanosti u našoj povijesti, zašto se razvila u dijelu Europe koji je tada predstavljao Zapadnu civilizaciju, a ne u sklopu neke druge civilizacije koja bi se, na prvi pogled, mogla činiti puno boljim kandidatom.

Izuzev Italije i Grčke, Europa se kroz povijest većinom sačinjavala od civilizacija daleko zaostalijih od civilizacijama Bliskog i Dalekog istoka. Takva situacija se krenula mijenjati tek u Razvijenom srednjem vijeku, tijekom kojeg je Zapad postao sposoban parirati istočnim civilizacijama. Kineska civilizacija je kroz mnoga stoljeća bila najnaprednija na svijetu,[5] Islamska civilizacija je u Srednjem vijeku postala nasljednik antičkih Grčkih spisa (kojima Europljeni većinom nisu imali pristup sve do 12. stoljeća), te je kroz mnoga stoljeća bila daleko naprednija od Europe u astronomiji, medicini i matematici.[8] Zašto tada jedna od tih civilizacija – ili antička Grčka, čije je znanje stoljećima predstavljalo temelje daljnjih istraživanja – nije razvila metode moderne znanosti? Zašto se u Rimskom Carstvu, vjerojatno najimpresivnijem carstvu u povijesti, nije razvila moderna znanost?

Ako bismo si dopustili konceptualizirati evoluciju kao proces koji ima cilj, tada bi taj cilj bio preživljavanje vrste, a ne razumjevanje i manipulacija fundamentalnih sila svemira. Potreba za preživljavanjem često vodi do netočnih uvjerenja o načinu na koji svijet funkcionira. Naša sklonost antropomorfiziranju prirode je jedno takvo uvjerenje koje, kao što ćemo kasnije vidjeti, je dovelo do određenih problema u okviru znanstvenog shvaćanja prirode. Evolucionarni korijen takvog uvjerenja nije teško objasniti; jedinke koje su imale sklonost interpretirati nepoznate ili nejasne događaje u prirodi predpostavljajući da se iza tih događaja krije nešto živo su bile spremnije reagirati. Takva interpretacija je bila bitna u slučajevima kada se iza događaja uistinu nalazio život, plijen kojeg treba uloviti, ili predator kojeg treba izbjeći.[9] Što nam tada daje uvjerenje da smo uopće u stanju doći do istine o stvarnom poretku prirode, ako znamo da nismo evoluirali u tu svrhu?

Iako rani znanstvenici nisu znali za pojam evolucije, veoma slično pitanje je trebalo biti odgovoreno prije nego li je znanstveni napredak mogao nastupiti. Kada znanstveno istraživanje ne donosi trenutačnu korist, znanstvenik (i institucija koja bi ga podržala) mora imati drugačiju motivaciju kako bi se odlučio baviti znanstvenim istraživanjima te mora imati uvjerenje da je svijet uređen i da ga ljudski razum može na neki način spoznati. Kao što je njemački filozof Friedrich Nietzsche napisao u svojoj knjizi „Genealogija Morala“:

„Strogo uzevši, znanost bez pretpostavki ne postoji; sama ideja takve znanosti je nezamisliva, paralogična. Filozofija, 'vjera', uvijek mora prethoditi kako bi znanost iz nje dobila smjer, smisao, granicu, metodu, pravo na postojanje.“[10]

Moguće je da su takvu filozofiju rani znanstvenici našli u kršćanstvu. Suprotno popularnom mišljenju o povijesnom odnosu između znanosti i religije, povjesničari znanosti su odavno znali da je religija igrala bitnu i pozitivnu ulogu u procesu razvoja znanosti. Ne samo da su znanstvenici Ranog novog vijeka bili kršćani, nego su njihove novopostavljene ideje bile potaknute upravo religioznim pretpostavkama.[11][8]

Veza između teologije i znanosti je počivala na ideji Augustina Hiponskog, antičkog teologa i filozofa, koji je Božju objavu podijelio na dvije knjige – knjiga Svetog pisma i knjiga prirode. Ideja je predstavila koncept Boga koji se objavljuje ljudima na dva načina, kroz Sveto pismo i kroz prirodu. Svijet oko nas je tada shvaćen kao dio Božje objave koju se, jednako kao i Bibliju, treba iščitati. Takva ideja je postavila proučavanje prirode na razinu religioznog pothvata, što se jasno može vidjeti u primjeru Roberta Boyla, irskog kemičara i fizičara, koji je svoja znanstvena istraživanja smatrao religioznom pobožnošću te znanstvenike općenito nazivao „svećenicima prirode“.[8]

Kao odgovor na određene Aristotelove ideje koje su se kršile s kršćanskom teologijom, poput ideje da je svemir vječan, teolozi i filozofi prirode (tadašnji znanstvenici) četrnaestog stoljeća su naglašavali ideju Božje svemoći. Ako je Bog svemoćan, tada vrijedi da je mogao stvoriti bilo kakav nekontradiktoran svemir; Aristotelove ideje, iako razumne, tada ne opisuju nužno stvarni poredak svijeta. Da bismo tada saznali kakav svijet je Bog zaista stvorio, jedini način jest koristeći opažanje i eksperiment. Ovakvo razumjevanje svijeta je zasigurno doprinjelo kasnijem usponu empirizma, iako direktna uzročno-posljedična veza ne može biti lako uspostavljena.[7]

Ako prijašnja ideja nije direktno utjecala na empirijski pristup znanosti, moguće je da je ideja istočnog grijeha to učinila. U području epistemologije Ranog novog vijeka, pogreške u rasuđivanju su se često izjednačavale s grijehom. Oživljavanje Augustinove antropologije koja je naglašavala pokvarenost ljudske prirode i ograničenje intelekta je dovelo do toga da se ljudska sklonost pogreškama u rasuđivanju pripisivala Adamovom padu, za kojeg se vjerovalo da je, prije pada, posjedovao savršenu mogućnost spoznavanja istine. Pogreške u rasuđivanju tada nisu predstavljale samo pogreške pojedinca ili manjak rigoroznosti; cijelo čovječanstvo ima urođenu sklonost pogreškama u razumu. Mit o istočnom grijehu je tada naveo znanstvenike Ranog novog vijeka na ideju da razum sam po sebi nije dovoljan, nego se mora dopuniti eksperimentiranjem kako bi se neutralizirale prepreke koje su nastale kao posljedica pada čovjeka. Takva ideja je označila razlaz s grčkim racionalizmom koji je smatrao da je filozofsko promišljanje jedini način do stvarnog znanja.[12]

Nadalje, ideja o zakonima prirode je sama po sebi bila teološka ideja, proširenje ideje o Božjim moralnim zakonima. Znanstvenici su vjerovali da je jedini razlog zašto možemo imati pouzdanja da će ponovljeni eksperimenti uvijek davati iste rezultate, koji zatim upućuju na istinu o principima po kojima priroda djeluje, upravo to što je i sam Bog nepromjenjiv, te da kao što su moralni zakoni nepromjenjivi, zakoni prirode moraju biti također. Rene Descartes, francuski filozof, matematičar i znanstvenik, je tvrdio da zakoni prirode moraju biti vječni i nepromjenjivi jer proizlaze iz vječnog i nepromjenjivog Boga. Ta ideja je označila drastično razilaženje od Aristotelove fizike koja je ponašanje i interakciju fizikalnih objekata objašnjavala unutarnjim svojstvima i afinitetima samih objekata, a ne vanjskim nepromjenjivim zakonima.[11]

Na sličan način je proizašla i ideja da matematičke istine nisu proizvod ljudskog uma, već božanskog. Kao potpora ideji o matematičkom uređenju svemira, Descartes je citirao Biblijski stih iz Knjige Mudrosti, 11:20: „ti si sve uredio po broju, utegu i mjeri“. Ova ideja

je bila iznimno bitan korak prema uspostavljanju stvarnosti matematičkih relacija koja je omogućila pouzdanu upotrebu matematike u polju fizike. Povezanost teologije i znanosti je bila toliko čvrsta da su neki od znanstvenika Ranog novog vijeka tvrdili da su njihove nove ideje o prirodi usklađenije s kršćanstvom od Aristotelove „poganske“ znanosti.[11]

Ove ideje možemo usporediti s idejama koje su proizlazile iz prijašnje navedenih civilizacija te razmotriti moguće razloge zašto nisu dovele do znanstvenog razvoja kakav se dogodio na Zapadu. Što se Kine tiče, moguće je da je prevladavajuća filozofija koja je poticala „holističan“ pogled na svijet bila bitan kamen spoticanja za kineske znanstvenike jer je onemogućavala analitički pristup znanosti. Ukoliko su kineski znanstvenici pokušavali dati opis cijele prirode, umjesto proučavanja raznih sistema u izolaciji, nije teško za razumjeti zašto nisu ostvarili značajan napredak.[5]

Antička Grčka je bila ograničena prevladavajućim cijenjenjem kontemplacije kao vrijednijom od eksperimenta, te već spomenutim problemom antropomorfiziranja objekata u prirodi. Grci su smatrali da je opažanje velikim dijelom iluzija te da, umjesto da nas navode do znanja ili razumjevanja, osjetila nas varaju; jedini put do stvarnog znanja je tada filozofsko razmatranje. Takva ideja je onemogućila rašireno uspostavljanje empirizma nužnog za razvoj moderne znanosti. Grci su također objektima u prirodi dodjeljivali svjesne motivacije gdje bi, na primjer, razlog zašto kamen pada na tlo bila njegova unutarinja privrženost centru Zemlje. Poredak svijeta je tada bio intrinzičan, ovisan o unutarljivoj prirodi svakog objekta. Takvo shvaćanje prirode je bilo antitetično ideji prirodnih zakona, bez kojih je značajan napredak teško zamisliv.[7]

Grčko znanje nikada nije postalo institucionalizirano u Islamu kao što je postalo u srednjovjekovnoj Europi. Islamskim školama je nedostajala struktura i ujednačenost koja bi omogućila sistematsko naučavanje grčke filozofije. Strana znanost je od početka bila marginalizirana od strane konzervativnih vjerskih krugova, nikad nije postala centralni dio Islamske kulture te se njezina korisnost često vidjela kao upitna.[7]

Rimsko društvo je patilo od sličnih problema. Grčka znanost ne samo da nije bila institucionalizirana, nego je rijetko uopće bila cijenjena te je uvijek prvo morala proći kroz prizmu Rimskog utilitarizma. Rimljani nisu bili zainteresirani za suptilnosti grčke metafizike, epistemologije ili matematike, već za predmete od praktične vrijednosti i intrinzične privlačnosti; posuđivali su iz grčke filozofije samo ono što se činilo zanimljivim ili korisnim te se s ostalim nisu zamarali. Prirodna znanost, osim samih osnova, je rijetko viđena kao išta drugo doli obične rasonode.[7]

Moguće je da su, u Europi, upravo pitanja koja su razmatrana u polju teologije – pitanja koja su bila vođena čvrstom motivacijom iako nisu imala praktičnu vrijednost u svakodnevnom životu – razvila kulturu u kojoj su sva pitanja, bez obzira na praktičnu primjenu, bila propitkivana u razmjeru koji do tada nije viđen i sa institucionalnom podrškom koja do tada nije bila ostvarena. Intelektualna tradicija Crkve, time i Zapadne civilizacije općenito, je proizašla iz potrebe za racionalnom obranom vjere i definiranja kršćanske teologije, što je pružilo filozofiji i tadašnjoj znanosti inicijalnu motivaciju i rasprostranjenost, te u kasnijim stoljećima i institucionalnu stabilnost.[7]

Sveučilište je vjerojatno najtrajnija i najvažnija ostavština koju je Srednji vijek ostavio znanosti, čija vrijednost u oblikovanju intelektualnog života Zapada ne može biti precijenjena. Sveučilišta su bila ogromna u usporedbi s grčkim ili rimskim školama. Znanost je u antičkom svijetu i u srednjovjekovnom Islamu bila nestabilna upravo zbog neuspjeha u osigu-

ravanju trajne i raširene institucionalne potpore. Nasuprot tome, u srednjovjekovnoj Europi je tadašnja znanost bila jedan od centralnih elemenata nastavnog sveučilišnog programa, obavezna za sve visoke studije. Sveučilišta su, za razliku od antičkih škola, posjedovala visok stupanj jednolikosti koji je omogućio profesoru koji je, na primjer, postigao svoju diplomu u Parizu da podučava na Oxfordu bez ikakvih problema; time je po prvi put u povijesti postignut međunarodni pokret koji je nudio standardizirano visoko obrazovanje, sa znanstvenicima koji su bili svjesni svog intelektualnog i profesionalnog jedinstva. Iako je najviša diploma na sveučilištima bila u teologiji, nije se moglo postati teologom bez svladavanja logike, matematike i tadašnje znanosti, pošto su se ta polja često koristila u naprednijoj teologiji Srednjeg vijeka.[7][8]

Srednjovjekovno podučavanje se temeljilo na postavljanju pitanja na koja su zatim dani razboriti odgovori, uključujući pitanja iz teologije o aspektima vjere i objave, te znanstvena pitanja o strukturi i djelovanju fizičkog svijeta koji je opisao Aristotel. Srednjovjekovni znanstvenici, međutim, nisu bili zadovoljni jednostavnim preuzimanjem i izučavanjem Aristotelove filozofije, već su je podvrgnuli detaljnom preispitivanju koje je nastavljeno i u Ranom novom vijeku. Pitanja postavljena na sveučilištima su često bila komplicirana, uključujući teološka pitanja o tome što bi Bog mogao ili ne mogao znati ili učiniti, te znanstvena pitanja ne samo o onome što jest, nego i što bi moglo biti, poput pitanja o postojanju vakuuma ili mogućnosti proizvodnje vode iz zraka. Svako pitanje je proizvelo argumente za i protiv kojima je cilj bio obuhvatiti sve moguće pozicije. Na taj način je razum postao povezan s analitičkom ispitivačkom metodom koja je bila sveprisutna u edukaciji srednjovjekovnih sveučilišta, čime je analitičko razumno promišljanje postalo rašireno u obrazovanom staležu tog doba. Time je stvorena široka intelektualna tradicija bez koje bi daljnji znanstveni napredak bio nezamisliv.[7][13]

Ovakva pogodna filozofska podloga je, dakle, pružila znanosti motivaciju, metodu i smisao koji je omogućio znanstvena istraživanja i pružio im stabilnu institucionalnu podršku, te stvorio atmosferu pažljivog razmatranja raznih pitanja bez obzira na njihovu praktičnu primjenu. Važnost temeljnih istraživanja se ne može precijeniti; prije nego li znamo na koji način određeno otkriće možemo primjeniti, moramo ga najprije otkriti, što zahtjeva znatiželju i motivaciju koja bi navela pojedince da istražuju svijet iako ne mogu imati pouzdanja da će to istraživanje ikada imati praktičnu primjenu. Mala vjerojatnost razvoja ranih koncepata znanosti i kulture koja cijeni temeljnja istraživanja, istraživanja u svrhu same istrage, se može bolje sagledati u analogiji evolucije; baš kao što evolucijske značajke i mutacije koje ne nude neposrednu korist imaju malu vjerojatnost očuvanja i prijenosa na buduće generacije, te su kao takve rijetke, tako i znanstvena napredovanja koja ne nude trenutnu korist mogu biti iznimno rijetka u svojim začecima te zahtjevaju motivaciju izvan same koristi koju mogu pružiti u budućnosti.

Mnogo drugih čimbenika je pripomoglo razvoju znanosti na Zapadu, poput izuma printarskog stroja, te zasigurno postoje drugačiji argumenti koji sugeriraju da znanstveni i tehnološki razvoj inteligentne vrste nije neizbježan. Stabilnost civilizacije može predstavljati jedan takav dodatni problem; kao što je ranije spomenuto, moguće je da je za rani tehnološki napredak bilo bitno da inteligentna vrsta bude agresivna i teritorijalna kako bi napredak bio potaknut, no takve osobine također dovode do nestabilnih civilizacija koje svojim raspadom mogu unazaditi cjelokupni razvoj vrste. U tom slučaju bi razina agresivnosti trebala biti precizno uravnotežena, dovoljno da potiče tehnološki razvoj, ali ne toliko velika da onemogućuje

dugoročno sačuvanje tehnoloških postignuća. Takva ravnoteža bi mogla biti rijetka, čime bi se vjerojatnost postizanja visoke tehnologije svakako umanjila, ali čimbenici koji zahtijevaju određenu filozofsku podlogu vjerojatno nose sa sobom najmanju vjerojatnost ponavljanja u nekoj drugoj, nepovezanoj civilizaciji. Za razliku od znanstvenih pitanja koja, jednom kada je znanost razvijena, uvijek vode k jednoznačnom konačnom odgovoru za određeni fenomen u prirodi, filozofija je daleko nejasnija u svojim odgovorima, interpretacijama i uvjerenjima te je vjerojatnost da dvije nepovezane kulture dođu do istih filozofskih zaključaka jako mala. Ako je za razvoj znanosti uistinu ključan razvoj raširene kulturološke i filozofske podloge s pogodnim obrascem vjerovanja, pretpostavki i zaključaka, tada bi znanost i visoko razvijena tehnologija mogla biti iznimno rijetka u svemiru. Iako ne možemo tvrditi da predstavljeni kulturološki elementi sami po sebi imaju dovoljnu snagu riješiti Fermijev paradoks, da značajno smanjuju vjerojatnost postojanja tehnološke vrste u svemiru te predstavljaju veliku zapreku na putu inteligentnih vrsta se čini neporecivim.

# Zaključak

Naša potraga za životom u svemiru je otežana činjenicom da znamo za samo jedan slučaj života. Takve okolnosti čine definiranje života problematičnim, dovode do poteškoća u njegovoj detekciji te otežavaju pridavanje vjerojatnosti njegovom nastanku i mogućnosti korištenja drugačije biokemije. Otkriće života u našem Sunčevom sustavu koji bi bio neovisan o životu na Zemlji označavao bi velik korak u polju astrobiologije te odgovorio na mnoga ključna pitanja koja bi nam pružila potpuniju sliku o rasprostranjenosti i potrebama života u svemiru općenito. U svrhu ostvarenja tog cilja potrebno je prihvatiti suptilnosti mogućih dokaza i pridodati vrijednost inkrementalnim koracima na putu otkrića života.

Detekcija tehnološke civilizacije u našoj galaksiji ili svemiru općenito otežana je raznim problemima komunikacije. Ti problemi, ipak, nisu nenadmašivi te se manjak dokaza postojanja izvanzemaljskih civilizacija treba uzeti za ozbiljno. Prema današnjem razumjevanju, modelima i očekivanjima koji se odnose na inteligentni život u svemiru, koristeći Drakeovu jednadžbu smo procijenili broj IZC-ja u našoj galaksiji na 10 000. S očekivanjem tolikog broja civilizacija i istovremenim nedostatkom dokaza dolazimo do Fermijeva paradoksa, kontradikcije između postojanja i nedostatka dokaza IZC-ja. Važnost ovog paradoksa leži u mogućoj potrebi dizajniranja novih modela svemira koji bi bolje odgovarali podacima koje posjedujemo te u rješavanju paradoksa koje bi, bez obzira koji zaključak bio, imalo velik utjecaj na čovječanstvo. Unatoč problemima u detekciji signala tehnoloških civilizacija i problemima međuzvijezdanih putovanja, teško je pronaći značajno rješenje Fermijeva paradoksa koje bi dopustilo postojanje drugih civilizacija u našoj galaksiji, pošto se svi navedeni problemi čine premostivi za civilizacije koje, u teoriji, mogu biti milijarde godina starije od naše. Iako nepostojanje dokaza nije dokaz nepostojanja, u slučaju Fermijeva paradoksa moramo se suočiti s mogućnosti da smo sami u svemiru, s pozicijom koja, iako nepopularna, ima potencijalno čvrstu potporu u potrebnom planetarnom uređenju, evolucijskim koracima i kulturološkim elementima koji mogu biti malo vjerojatni.



# Bibliografija

- [1] Shawn D Domagal-Goldman, Katherine E Wright, Katarzyna Adamala, Leigh Arina De La Rubia, Jade Bond, Lewis R Dartnell, Aaron D Goldman, Kennda Lynch, Marie-Eve Naud, Ivan G Paulino-Lima, et al. The astrobiology primer v2. 0. *Astrobiology*, 16(8):561, 2016.
- [2] Alessandro De Angelis and Mário Pimenta. *Introduction to particle and astroparticle physics: multimessenger astronomy and its particle physics foundations*. Springer, 2018.
- [3] The nobel prize in physics 2019. *NobelPrize.org Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2019/summary/>*, Nobel Prize Outreach AB 2022.
- [4] James Green, Tori Hoehler, Marc Neveu, Shawn Domagal-Goldman, Daniella Scalice, and Mary Voytek. Call for a framework for reporting evidence for life beyond earth. *Nature*, 598(7882):575–579, 2021.
- [5] Stephen Webb. *If the universe is teeming with aliens... where is everybody?: seventy-five solutions to the fermi paradox and the problem of extraterrestrial life*. Springer, 2015.
- [6] Michael Patterson. Nasa-ion propulsion. *NASA.[Online]. Available at: <http://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs21grc.html>*, 2016.
- [7] David C Lindberg. *The beginnings of Western science: The European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, prehistory to AD 1450*. University of Chicago Press, 1992.
- [8] Lawrence Principe. *The scientific revolution: A very short introduction*. Oxford University Press, 2011.
- [9] Stewart Guthrie. *Animal Animism: Evolutionary Roots of Religious Behavior*, pages 38–67. 01 2002.
- [10] Friedrich Wilhelm Nietzsche. *On the genealogy of morals; translated by Walter Hausemann*. The Macmillan Company, 1897.
- [11] Peter Harrison. Christianity and the rise of western science. *ABC. Available at: <https://www.abc.net.au/religion/christianity-and-the-rise-of-western-science/10100570>*, 2012.
- [12] Peter Harrison. *The fall of man and the foundations of science*. Cambridge University Press, 2007.
- [13] Edward Grant. *God and reason in the Middle Ages*. Cambridge University Press, 2001.