

Lov na nezemljane in Drakova enačba

↓↓↓
VID KAVČIČ

→ V začetku septembra nas je zapustil veliki astronom Frank Drake, zato smo se odločili članek v tokratni številki revije Presek posvetiti ameriškemu astrobiologu, ki je svojo kariero začel kot radijski astronom, najbolj pa se je uveljavil s svojimi raziskavami na področju nezemeljske inteligence SETI (angl. *search for extraterrestrial intelligence*). V okviru slednje je razvil tudi Drakovo enačbo, s katero je poskusil kvantificirati število inteligentnih oblik življenja v Galaksiji, ki bi jih potencialno lahko odkrili.

Preden pa se posvetimo takšnim in drugačnim oblikam nezemljanov in inteligentnih civilizacij, ob katerih se spomnimo na razne znanstvenofantastične televizijske serije, se dotaknimo nekaj osnov astrobiologije in načnimo nekaj temeljnih vprašanj o živem.

Življenje

Živo?

Zdi se, da je koncept življenja nekoliko izmuzljiva reč. Poznamo namreč le en primer življenja – tega, ki se je razvilo na Zemlji –, zato je življenje na splošnem težko opredeliti. Smiselno pa je domnevati, da bi lahko nekatere značilnosti življenja, kot ga poznamo, posplošili tudi na druge oblike življenja.

Za življenje v obliki, kot ga poznamo, zares pomembnih kemijskih elementov v resnici ni tako zelo

veliko – mednje spadajo ogljik (C), vodik (H), dušik (N), kisik (O), fosfor (P) in žveplo (S), kar si lahko prikladno zapomnimo kot CHNOPS – slednji pa je vsekakor ključnega pomena za življenje. Med organskimi molekulami, ki jih sestavljajo ti elementi, so najpomembnejši lipidi, nukleotidi in aminokisline. Kisik in vodik sestavljata **vodo**, spojino, brez katere si življenje zares težko predstavljamo. Življenje na Zemlji je nastalo v vodi, in sicer pred več kot 3 milijardami let, vendar pa tudi današnji kopenski organizmi za svoje delovanje vodo še vedno nujno potrebujejo.

element	delež (ppm)
vodik	739.000
helij	240.000
kisik	10.400
ogljik	4.600
neon	1.340
železo	1.090
dušik	960
silicij	650
magnezij	580
žveplo	440

TABELA 1. Najpogostejši elementi v Galaksiji. Fosfor se v vesolju pojavlja v sledih – njegov delež je le okoli 50 ppm. Če v Galaksiji iščemo življenje, podobno našemu, moramo zato posebej oprezati ravno za fosforjem.

Pogoji za življenje

Takoj po velikem poku sta bila v vesolju edina elementa vodik in helij. Težji elementi so nastali z jedrskimi reakcijami v zvezdah in pri eksplozijah supernov. Deležu elementov v zvezdi, ki so težji od vodika in helija, pravimo **kovinskost**.

Zvezde v *eliptičnih galaksijah* in *kroglastih zvezdnih kopicah* so zelo stare in imajo nizko kovinskost, zato se v njih življenje najverjetneje ne bo razvilo. Veliko primernejši so *diski spiralnih galaksij*, ki vsebujejo mlade zvezde z visoko kovinskostjo. Daleč od središča galaksije sta hitrost rojstev zvezd in s tem kovinskost majhni, blizu središča pa je kovinskost sicer velika, vendar ta predel zaradi visoke gostote zvezd in s tem povezanega intenzivnega sevanja ni primeren za življenje. Po grobi oceni zato v **habitabilnem območju Galaksije** leži le okoli petina zvezd.

Vendar to nikakor ni dovolj – za življenje primeren planet mora ležati tudi v **habitabilnem območju matične zvezde**. To je območje, kjer se temperatura planeta vselej giblje med lediščem in vreliščem vode. Slednja je poleg oddaljenosti od matične zvezde in njenega izseva odvisna tudi od *albeda* površja planeta in kemične sestave atmosfere. Planet večino prejete energije izseva v *infrardeči svetlobi*, ki pa jo toplogredni plini učinkovito absorbirajo. Če je zvezda hladna, je habitabilno območje ozko. Vroče zvezde imajo sicer širše habitabilno območje, vendar je čas življenja na glavni veji zanje veliko krajši, zato časa za razvoj življenja na njenih planetih ni veliko. Zato so najprimernejše kandidatke za habitabilne planete ravno Soncu podobne zvezde glavne veje.

Življenje v vesolju

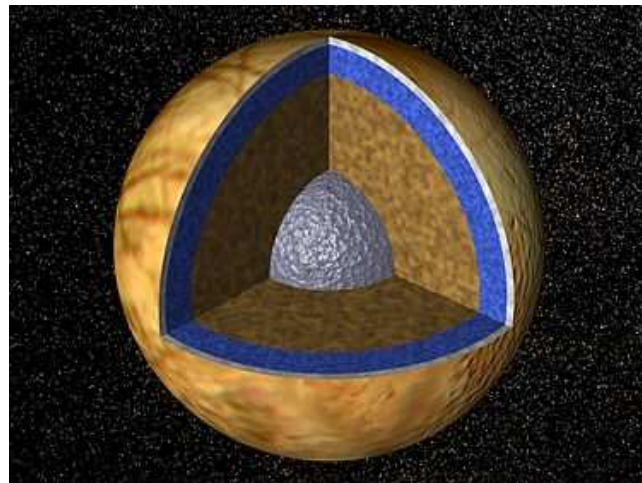
Naše Osončje

Če smo se že lotili iskanja življenja v tem širnem vesolju, stran od matere Zemlje, bi bilo morda smiselno pogledati pred lastnim pragom – kako je z življenjem na planetih, lunah in drugih telesih v Osončju?

Soncu najbližja planeta Merkur in Venera za življenje nista primerna. Prvi nima atmosfere, nasprotno pa je atmosfera Venere pregosta in prevroča. Plinski velikani Jupiter, Saturn, Uran in Neptun nimajo trdnega površja. Na Marsu je življenje nekoč

morda obstajalo; čeprav sonde na njem niso zaznale znakov življenja, ni nemogoče, da je na njem še vedno prisotnih nekaj mikroskopskih oblik življenja.

Obstajajo sumi in upi za življenje na Jupitrovi luni **Evropa**. Njeno površje je namreč prekrito s poledenim slanim oceanom. Osvetlitev pod ledenim pokrovom je sicer preslaba za fotosintezo, vendar na Evropi obstaja tudi drugi vir energije, in sicer *plimsko segrevanje*, ki bi lahko omogočalo življenje enostavnim mikrobom.



SLIKA 1.

Pod ledenim površjem Galilejeve lune Evropa se nahaja plast vode, v kateri bi lahko obstajalo enostavno življenje. (Vir slike: [4])

Saturnova luna **Titan** je edini naravni satelit v Osončju z gosto atmosfero. Ozračje je bogato tudi z organskimi spojinami, med drugim z *metanom*. Ker metan hitro razpada, mora na Titanu obstajati neki vir metana, ki bi ga sproti nadomeščal. To bi lahko bili živi organizmi, vendar Titan zaradi svoje hladnosti ni videti kot obetaven kraj za življenje. Razen tega pa so na Cassinijevih radarskih slikah Titanovega površja razvidna temna *metanska jezera*, kar zavrže mistični izvor metana v Titanovi atmosferi.

Zanimivo je tudi proučevanje življenja na kometih, sploh če se sprašujemo o izvoru življenja na Zemlji, saj so ravno kometi iz Oortovega oblaka eni izmed potencialnih kandidatov, ki so življenje prinesli na Zemljo. Omeniti je treba *projekt Rosseta* in *sondo Giotto*, ki je v drugi polovici osemdesetih let pristala



→ na 15-kilometriskem **Halleyjevem kometu** in pokazala, da je sestavljen iz prahu in ledu, znakov življenja pa ni zasledila.

Odkrivanje življenja

Recimo, da smo našli potencialni planet, primeren za življenje. Kako bi lahko ugotovili, ali se je življenje na njem tudi dejansko razvilo?

Decembra 1990 je vesoljska **sonda Galileo** (slika 2) svoje merilne naprave usmerila proti Zemlji in domov poslala rezultate meritev. Analize so pokazale, da kar štirje izmerjeni pojavi kažejo na to, da na opazovanem planetu obstaja življenje. V infrardeči svetlobi na življenje namigujejo predvsem na prisotnost metana, vode, kisika oziroma ozona ter klorofila.

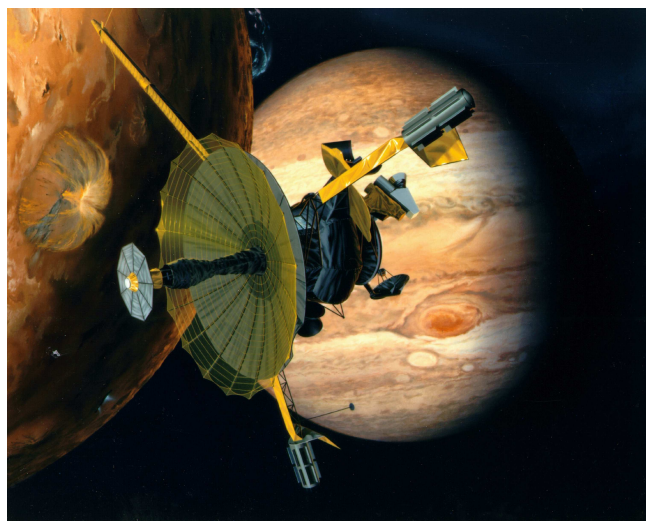
Metan proizvajajo tudi živa bitja, hkrati pa hitro oksidira – vendar kot smo videli na primeru Titana, sam po sebi ni znak za življenje. *Klorofil* je ključen za fotosintezo. Absorbira vidno svetlobo, še posebej modro in rdečo, daljše valovne dolžine se zelo učinkovito odbijajo, da se prepreči prekomerno segrevanje. *Voda* je vsekakor vsestranskega pomena, *kisik* je potreben za celično dihanje, *ozon* pa nas ščiti pred škodljivimi vplivi sevanja UV.

Inteligentno življenje in SETI

Inteligentno življenje

Od nekdaj se je med Zemljani in še posebej med astronomi pojavljalo zanimivo vprašanje, ali smo v vesolju sami oziroma ali v njem morda obstajajo druge inteligentne oblike življenja, s katerimi bi se lahko sporazumevali. Eden izmed projektov iskanja nezemeljskega inteligentnega življenja je SETI (angl. *search for extraterrestrial intelligence*), čigar začetki segajo v začetke druge polovice 20. stoletja.

Lahko bi mislili, da so druge galaksije in zvezdne kopice vredne spremljanja, saj je v ozkem snopu teleskopa veliko zvezd in bi bila zato verjetnost, da bi zaznali kakšne signale z oddaljenega planeta zelenih možičkov, še kar obetavna. Na žalost ni čisto tako. Druge galaksije so namreč predaleč, zato bi bili signali prešibki, da bi jih lahko zaznali, poleg tega pa kroglaste kopice, kot smo ugotovili v prejšnjih razdelkih, niso obetavni predeli za iskanje življenja. *Razsute zvezdne kopice* so po drugi strani



SLIKA 2.

Vesoljska sonda **Galileo** je bila prva sonda brez človeške posadke, ki so jo leta 1989 izstrelili v vesolje, da bi proučevala Jupiter in njegove lune. Malo po izstrelitvi je svoje merilne naprave najprej usmerila proti Zemlji in domov poslala meritve, ki kažejo očitne znake življenja na Zemlji. Sonda je do Jupitra prispela decembra 1995. Plovilo je prvo obkrožilo Jupiter in prvo poslalo del sonde v Jupitrovo atmosfero. Po zaslugi misije Galileo danes upravičeno sklepamo, da se pod ledeno skorjo Jupitrove lune Evropa skriva slan ocean. (Vir slike: [8])

razmeroma mlade in verjetnejše kandidatke za razvoj življenja, vendar so po drugi strani tudi zelo mlade, zato se življenje še ni razvilo do te mere, da bi bilo zmožno sporazumevanja.

Radijska astronomija in 21-cm vodikova črta

Svetloba je *elektromagnetno valovanje*, to je periodično nihanje električnega in magnetnega polja. Velikost hitrosti svetlobe v vakuumu je $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s. Hitrost svetlobe c , valovno dolžino λ in frekvenco valovanja ν povezuje enačba

$$c = \lambda \nu.$$

Elektromagnetno valovanje glede na valovno dolžino delimo na več območij. Naše oči lahko zaznajo le svetlobe valovnih dolžin med 400 in 750 nanometrov, čemur pravimo *vidna svetloba*. *Ultravijolična svetloba*, *rentgenski žarki* in *žarki gama* imajo še krajše valovne dolžine in višje frekvence, medtem

ko ima *infrardeča svetloba* valovne dolžine med 1 do 100 mikrometrov, *radijski valovi* pa daljše od milimetra.

Najpomembnejše okno valovnih dolžin za raziskave SETI je med 3 cm in 30 cm, kar so tako imenovani *decimetrični valovi*. Pri daljših valovnih dolžinah namreč postane nebo veliko svetlejšje zaradi *naravnih oddajnikov svetlobe metrskih in daljših valovnih dolžin*, kot so plinaste meglice, radijske galaksije, kvazarji, pulzarji, supernove in ostanki supernov, kar bi nas pri komunikaciji motilo, zato bi se temu učinku vsekakor radi izognili. Pri valovnih dolžinah, krajših od 1 cm, nas zmoti učinek, ki je povezan z *dvojno naravno svetlobe* – valovanje in delci. Vsakemu valovanju lahko pripišemo delec, v primeru svetlobe *foton*, ki opiše razporeditev in gibanje svetlobe v prostoru. Največja verjetnost, da najdemo foton, je tam, kjer je valovanje najmočnejše. Zato je energija vsakega fotona sorazmerna frekvenci valovanja in velja

$$\blacksquare \quad W_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

kjer je $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js *Planckova konstanta*. Za dano skupno energijo valovanja višja frekvenca torej pomeni nižje število pripisanih fotonov, kar pa ni najbolj optimalno, saj želimo civilizacijam pošiljati kar največjo možno količino informacij. Pri tem ne gre pozabiti na **prasevanje**, ki ga enakomerno zaznamo v vseh smereh v vesolju, in ustreza sevanju črnega telesa s temperaturo 2,7 K. Sevanje je po Wienovem zakonu najmočnejše pri valovni dolžini 1 mm, ki pa smo jo zaradi prej navedenega učinka že izključili iz optimalnih.

Zaradi vseh treh zgornjih učinkov je optimalno **okno valovnih dolžin oziroma frekvenc za raziskave SETI** med 2 cm in 30 cm oziroma med 1 in 30 GHz. Če upoštevamo še učinek vodne pare v naši atmosferi, ki preprečuje opazovanja s površja Zemlje nad okoli 20 GHz, so najboljše frekvence za opazovanja z Zemlje **med 1 in 10 GHz**. Vendar pa z Zemljino atmosfero nismo povsem omejeni; v zadnjih letih smo v vesolje poslali veliko teleskopov, ki lahko opazujejo brez motenj ozračja. Primer takega je zloglasni teleskop *James Webb* v Lagrangevi točki L2, ki sicer opazuje v infrardeči svetlobi.

V oknu frekvenc SETI se pojavi *sevanje nevtralnega atomarnega vodika*, najpogostejšega atoma v vesolju, ki ustreza valovni dolžini 21,1 cm. Slavna

21-cm črta izhaja iz interakcij spina enega elektrona in atomskega jedra (protona). Interakcija je podobna kot pri dveh majhnih vzporednih paličastih magnetih – če sta magneta nasprotno orientirana, se privlačita, sicer pa se odbijata. Energija stanj, ko sta spina elektrona in protona enako oziroma nasprotno orientirana, je seveda različna. Navadno so vodikovi atomi v najbolj stabilnem energijskem stanju, ki ustreza nižjemu energijskemu nivoju. Če jih kaj zmoti, lahko skočijo v višje vzbujeno stanje in tam ostanejo tudi do deset milijonov let. Pri prehodu nazaj v nižje energijsko stanje atom odda foton z valovno dolžino 21 cm, kar ustreza razliki energij teh dveh stanj.

Atomi nevtralnega vodika so prisotni vsepovsod po medzvezdnem prostoru, zato je 21-cm črta najbolj razširjen naravni pojav v vesolju. Valovna dolžina 21 cm je tako zelo pomembno število vesolja, zato ne preseneča ideja, da bi med vsemi valovnimi dolžinami v oknu SETI za komunikacijski standard z drugimi civilizacijami izbrali prav to. Do te ugotovitve sta leta 1959 prišla *Guiseppe Cocconi* in *Phil Morrison* v svojem zgodovinskem članku v reviji *Nature*, v katerem sta pokazala, da bi se lahko s takratnimi novimi tehnikami na področju radijske astronomije sporazumevali z oddaljenimi nezemeljskimi civilizacijami. Razen tega pa lahko valovanje s to valovno dolžino prebije ogromne oblake medzvezdnega prahu, ki so za vidno svetlobo neprosojni.

Hipoteze SETI

Kot vsaka resna znanstvena raziskava tudi SETI vključuje delovne hipoteze in ugotovitve, ki jih skuša z opazovanji potrditi ali ovreči.

1. hipoteza: *Življenje na Zemlji je posledica naravne evolucije zaradi fizikalnih procesov, ki potekajo povsod v vesolju.*

Hipoteza je smiselna, saj je fizika temeljna naravoslovna veda, na kateri slonijo mnoge druge znanosti, kot sta na primer kemija in biologija, ki sta bistveni za razvoj življenja.

2. hipoteza: *Kot se je življenje razvilo na Zemlji, bi se lahko razvilo tudi kjer koli drugje v vesolju.*

V vsaki galaksiji je v povprečju nekaj milijard zvezd, v vidnem vesolju pa okoli 100 milijard galaksij. Med skupaj torej okoli 10^{21} zvezdami vidnega vesolja je 10 % zvezd podobnih Soncu. Zemlja obstaja okoli 4,5 milijarde let, medtem ko je vesolje





staro 13,8 milijarde let, pri čemer je večina galaksij starih okoli 12 milijard let, kar je skoraj trikrat toliko kot starost Zemlje. Skrb, da nikjer v vesolju ni primerljivih pogojev kot na Zemlji in njeni okolici, je tako popolnoma odveč.

3. hipoteza: *Človekova inteligenca ni največja, ki bi lahko obstajala v vesolju.*

Na Zemlji je minilo 4,5 milijarde let, da je življenje doseglo stopnjo inteligence, kot jo poznamo danes. Izpostaviti pa gre, da so druge Soncu podobne zvezde obstajale še mnogo več časa. Smiselna ocena je torej, da so starejše zvezde in Soncu podobne zvezde obstajale pred 10 milijardami let, ko so bile stare približno 4 milijarde let. Proces evolucije med *avstralopitkom* in nami je trajal le 3,7 milijona let – in kaj je to v primerjavi s štirimi milijardami let? Zaradi tega nikakor ne moremo zavreči ideje, da se v milijardah let, v milijardah galaksij, med katerimi vsaka vsebuje milijarde zvezd, evlucijski proces ne bi mogel razviti naprednejših rezultatov, kot smo jim priča v prvi polovici enaindvajsetega stoletja.

Zato je smiselno domnevati, da v vesolju morda obstajajo naprednejše oblike življenja, kot je naše. Morda so to Kardaševe supercivilizacije, ki smo se jih dotaknili v prejšnjem članku, morda majhni zeleni škratki janšlji, mogoče horde pesniških dečkov gnamunov ali morebiti kolonije sapramišk. Morda bi jih imenovali bitja, rase, družbe, tehnologije, civilizacije, kolonije, osebe, posamezniki ali kako drugače – toda v resnici o njih ne vemo ničesar. Vse, kar vemo, je le to, da ne živijo na Zemlji, zato je morda še najbolj prikladno, da jih imenujemo kar **nezemljani**.

SETI je trenutno edina resnejša raziskava, ki poskuša potrditi, da nezemljani obstajajo. Poskušajo zaznati njihove signale v obliki elektromagnetnih valov. Če bi tovrstne signale zaznali in bi lahko dokazali, da so umetnega izvora, bi lahko potrdili veliko hipotez in možnih posledic, predvsem pa, da v vesolju nismo osamljeni.

O SETI

Prvo resnejšo raziskavo SETI je leta 1960 izvedel **Frank Drake** (slika 3). Pri valovni dolžini 21 cm je opazoval zvezdi τ Kita in ϵ Eridana. Leta 1974 je Drake z radijskim teleskopom Arecibo poslal sporočilo v kroglasto kopico M 13 v Herkulu, ki pa ni verjetno območje za življenje. Sporočilo je vsebovalo 1679 pulzov. Število 1679 je produkt samo dveh pra-

številskih faktorjev 23 in 73, zato bi prejemnik, ki bi razumel vsaj nekaj matematike, lahko ugibal, da vsebuje sporočilo dvodimenzionalno sliko. Če bi kadar koli dobili podobno sporočilo, bi bili z veliko verjetnostjo lahko trdili, da je umetnega izvora, četudi ga morda ne bi znali interpretirati.



SLIKA 3.

Frank Drake (1930–2022) je pionir sodobnih raziskav nezemljanske inteligence, ki jo je začel s projektom Ozma leta 1960, nato pa je ustanovil inštitut SETI. Astrobiolog, ki je sicer deloval tudi na Univerzi v Kaliforniji, je razen po Drakovi enačbi poznan tudi Voyagerjevih zlatih ploščah, ki so ju leta 1977 izstrelili v vesolje z vesoljskima sondama Voyager. Plošči nosita informacije o življenju in kulturi na Zemlji ter sta namenjeni kateri koli inteligentni zunajzemeljski obliki življenja. (Vir: [6])

Obstajata dve osnovni strategiji iskanja nezemljanske inteligence. Pri **ciljni raziskavi** spremljajo le nekaj potencialnih kandidatov za razvoj življenja, pri **vsenebni raziskavi** pa prečešajo velike kose neba. Večina raziskav pripada drugi kategoriji – opazovalni čas z velikimi teleskopi je namreč zelo drag in prioriteta projektov je, da dajo pozitiven rezultat. Zaznava potencialnega umetnega signala v gromozanski količini podatkov zahteva veliko računalniške moči. Projekt **seti@home** je povezal milijone računalnikov v velikansko virtualno napravo za obdelavo podatkov. Če je uporabnik povezan z internetom, si

lahko naloži program, ki avtomatsko obdeluje določeno količino podatkov in rezultate pošilja nazaj na strežnik.

Za zdaj še nismo zaznali nobenega sporočila drugih civilizacij, bilo pa je kar nekaj zanimivih **lažnih alarmov**. Prvi od teh je že ε Eridana, pri opazovanju katerega je Drake zaznal 8 signalov na sekundo, vendar pri nadaljnjih opazovanjih zvezde signalov niso več zaznali. Osem let pozneje je bil lažni alarm pri angleških raziskovalcih, ki sicer niso bili povezani s SETI. Izkazalo se je, da zaznani signali v resnici izhajajo iz **pulzarja**, hitro vrteče se nevtronske zvezde, skrivnostnega objekta, ki ga do takrat še niso poznali. Izvor so poimenovali *Mali zeleni mož* (Little Green Man 1). Leta 1963 so na Sternbergovem inštitutu v Moskvi izdali osnovni dokument v *Astronomičeskii Zhurnal* o "komunikaciji informacij s civilizacijami drugih svetov". Iz katalogov radijskih izvorov je *Nikolaj Kardašev* izbral dva obetavna kandidata in ju poimenoval CTA 21 in CTA 102. Opazovanja v naslednjih letih so potrjevala Kardaševe domneve, saj so bili dobljeni spektri nadvse zanimivi. Aprila 1965 so imeli v Moskvi celo posebno konferenco o CTA 102, medtem pa so ameriški astronomi ugotovili, da je CTA 102 v resnici **kvazar**, to je aktivno jedro oddaljene galaksije.

Drakova enačba

Frank Drake je razvil enačbo za izračun števila civilizacij v Galaksiji, ki bi lahko komunicirale z nami. Enačba je bila prvič predstavljena na znamenitem srečanju SETI v Green Banku leta 1961. Skupno število civilizacij N izračunamo kot:

$$\blacksquare N = R \cdot f_s \cdot f_p \cdot E \cdot f_h \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot V.$$

Enačba sestoji iz astronomskih, bioloških in tehnoloških faktorjev. **Astronomski faktorji** opisujejo potrebne pogoje za obstoj zvezd in za življenje primernih planetov: R je letna hitrost nastajanja zvezd, f_s je delež Soncu podobnih zvezd, f_p je delež teh zvezd, ki imajo planet, E je število planetov v habitabilnem območju zvezde in f_h delež naseljivih planetov. **Biološka faktorja** sta f_l – delež naseljivih planetov, na katerih obstaja nekakšna oblika življenja, in f_i – delež planetov, ki imajo inteligentno obliko življenja. **Tehnološka faktorja** pa sta f_c – delež inteligentnih civilizacij, ki so razvile sredstva za med-

zvezdno komunikacijo, in V – čas komuniciranja civilizacije. Vsi faktorji f so verjetnostni in zato zavzemajo vrednosti na intervalu $[0, 1]$.

Enačba pravzaprav problem prikladno razdeli na manjše podprobleme, da lahko o njih posebej razpravljamo. Sicer je enačba za izračun števila civilizacij ne ravno najbolj pomenljiva, saj večine faktorjev, ki v njej nastopajo, zares ne poznamo. Jasno lahko namreč kvantificiramo le astronomska faktorja R in f_s . Najnovejše raziskave *gravitacijskega mikrolečena* kažejo, da morajo biti vrednosti f_p blizu 1 – prisotnost planetov okoli zvezd je torej prej pravilo kot izjemna. Na podlagi raziskav vesoljske misije Kepler ocenjujejo, da je število Zemlji podobnih planetov v habitabilnih območjih zvezd v Galaksiji okoli 40 milijard, 11 milijard slednjih pa kroži okoli Soncu podobnih zvezd. Ker je v galaksiji okoli 100 milijard zvezd, je vrednost faktorja $E \cdot f_h$ okoli 0,4. Najbližji planet v habitabilnem območju je Proksima Kentavra b, ki je oddaljena okoli 4,2 svetlobnega leta.

Ker se je življenje na Zemlji razvilo dokaj hitro, lahko ocenimo, da je vrednost f_l blizu 1, veliko več težav imamo z določanjem vrednosti f_i , sploh ob misli, da so bile za razvoj inteligence na Zemlji potrebne skoraj 4 milijarde let, kar pa v primerjavi s starostjo vesolja ni zanemarljivo. Pojavljajo se različni argumenti, ki podpirajo tako nizke kot tudi visoke vrednosti f_i . Po eni strani je izmed milijard vrst na Zemlji samo ena postala inteligentna, po drugi strani pa se kompleksnost življenja povečuje, zato je pojav inteligence skoraj neizogibno. Pascal Lee z inštituta SETI je na primer podal številko 0,0002, ki jo je ocenil kot razmerje med časom, ki je bil potreben, da se je na Zemlji razvilo inteligentno življenje (1 milijon let), in časom nastanka zemlje (4,6 milijarde let).

Prav tako lahko ocenimo, da je faktor f_c blizu 1, veliko večje težave pa imamo z oceno V . Obdobje sodobne komunikacije obstaja zadnjih okoli 60 let, hkrati pa se pojavlja resno vprašanje, koliko časa bomo komunikacije sploh še zmožni. Če seveda v prihodnjih stotih letih ne izginemo zaradi podnebnih sprememb ali kakšne druge naravne katastrofe, bi lahko naša tehnologija obstala več milijonov let.

Ker so faktorji v Drakovi enačbi zelo netočno določeni, se število civilizacij v naši Galaksiji N giblje med deset milijardami in eno – torej le našo civilizacijo. V najbolj optimističnem primeru lahko iz-





faktor	prvotna ocena (1961)	trenutna ocena
R [leto ⁻¹]	1	1,5 – 3
f_s	0,1	0,1
f_p	0,2 – 0,5	1
$E \cdot f_h$	0,4	0,2
f_l	1	1
f_i	1	0,0002
f_c	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2
V [leto]	$10^3 - 10^8$	$340 - 10^9$
N	$20 - 5 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^{-13} - 15,6 \cdot 10^6$

TABELA 2.
Primerjava prvotnih in današnjih ocen faktorjev.

računamo, da je razdalja med sosednjima civilizacijama le nekaj parsekov, če pa upoštevamo manjše (a najbrž bolj realistične) vrednosti danih faktorjev, bi lahko kaj hitro zaključili, da smo v naši Galaksiji kratko malo osamljeni. Tudi če bi bile razmere ugodne in bi bila razvoj komunikacije civilizacij relativno običajna, se izkaže, da nas omejuje predvsem zadnji faktor V . Če je življenjska doba civilizacije kratka v primerjavi s starostjo vesolja 13,8 milijarde let, so možnosti, da bi z neke druge zvezde zaznali sporočilo, relativno majhne.

Zaključek

Drakova enačba je bila deležna tudi kar nekaj kritik. Večina njih temelji predvsem na tem, da ocena več členov lenov v veliki meri ali kar v celoti temelji na domnevah. Negotovosti faktorjev se vrtijo okoli današnjega razumevanja evolucije življenja, inteligence in civilizacije, ne pa astrofizike in možnosti drugačnih oblik življenja. Za nekatere parametre statistične ocene niso možne, zato poznamo le vrednosti za posamezne primere. Zaradi velikih negotovosti faktorjev enačbe ni mogoče uporabiti za izdelavo kakršnih koli trdnih sklepov, kar po mnenju nekaterih presega tisto, kar naj bi bilo sploh smiselno in sprejemljivo.

Formula nam tako pove predvsem to, kako malo pravzaprav vemo. In ravno to dejstvo je spodbudilo znanstvenike k novim oblikam opazovanja in delu z naprednejšimi tehnikami za odkrivanje planetov okoli drugih zvezd, razen tega pa tudi SETI, da bi

zaznala dejanske signale nezemljanov. Pred tem je veliko astronomov mislilo, da nezemeljske civilizacije niso tako redke, medtem ko so biologi razmišljali, da je evolucija življenja naletela na veliko ovir in da najbrž ni smiselno pričakovati, da bomo v naši okolici našli druge civilizacije. Zdaj bolje razumemo tako biokemijo zgodnjega življenja kot tudi veliko drugih težav, ki zadevajo za bivanje primerne planete. Čeprav se možnosti v veliki meri spreminjajo, lahko ugibamo, da so zelo preproste, mikrobom podobne oblike življenja dokaj pogoste, inteligentne civilizacije, zmožne komunikacije, pa izjemno redke.

Naloge

- 1. Izračunaj frekvenco, ki ustreza 21-cm vodikovi črti. [1,42 GHz]
- 2. Izračunaj razliko med energijskima stanjema vodikovega atoma, ko sta spina elektrona in protona enako oziroma nasprotno orientirana. [5,87 μ eV]
- 3. Določi habitabilno območje za hitro vrteči se planet z albedom 0, ki kroži okoli Sonca. Sončev izsev znaša $L_{\odot} = 3,83 \cdot 10^{26}$ W. [med 0,56 a. e. in 1,04 a. e.]
- 4. Izračunaj habitabilno območje za hitro vrteči se planet z albedom 0,3 za zvezdo glavne veje z 0,9 Sončeve mase. Upoštevaj relacijo za zvezde na glavni veji: $L \propto M^{3,5}$. [med 0,39 a.e. in 0,73 a.e.]

5. Predpostavi, da je v kubičnem parseku n zvezd in da ima delež p od njih komunikacije zmogljeno civilizacijo. Kolikšna je povprečna razdalja med dvema sosednjima civilizacijama? Rezultat uporabi na primeru Sončeve okolice. Podatki kažejo, da je v prostornini 520 kubičnih parsekov 47 zvezd. Kolikšna je povprečna razdalja med najbližjimi civilizacijami, če je verjetnost za zvezdo, da ima planet s civilizacijo, enaka a) 0,01 in b) 0,00001? [10 pc, 100 pc]

Literatura

- [1] *Abundance of the chemical elements*, Wikipedia, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_the_chemical_elements, ogled 19. 11. 2022.
- [2] Stušek, P., & Vilhar, B. (2013). *Biologija celice in genetika*: [učbenik za biologijo v programih gimnazijskega izobraževanja in programih srednješolskega izobraževanja z najmanj 140-urnim obsegom pouka biologije] (1. izd.).
- [3] *Drake equation*, Wikipedia, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Drake_equation, ogled: 12. 10. 2022.
- [4] *Evropa*, Wikipedija, dostopno na: https://sl.wikipedia.org/wiki/Evropa_%28luna%29, ogled 19. 11. 2022.
- [5] Heidmann, J. (1995) *Extraterrestrial Intelligence*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [6] *Frank Drake*, Wikipedia, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Drake, ogled: 12. 10. 2022.
- [7] Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., & Donner, K. J. (2007). *Fundamental astronomy, fifth edition*. Helsinki: Springer.
- [8] *Galileo*, Wikipedia, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_%28spacecraft%29, ogled 23. 11. 2022.
- [9] Gilmour, Sephton: *An Introduction to Astrobiology*, The Open University, Cambridge University Press 2004.
- [10] Gargaud, Barbier, Martin, Reisse (Eds.): *Lectures in Astrobiology, Springer Vol I* (2006), Vol II (2007).

Barvni sudoku

↓↓↓

→ V 8×8 kvadratkov moraš vpisati začetna naravna števila od 1 do 8 tako, da bo v vsaki vrstici, v vsakem stolpcu in v kvadratih iste barve (pravokotnikih 2×4) nastopalo vseh osem števil.

	4				2		8
2	1						
3				1		8	
				6			
1			2		5	3	4
		3		2	4		6
		5			8		

→
→
→
REŠITEV BARVNI SUDOKU

1	7	8	3	6	5	2	4
6	5	4	2	1	3	8	7
4	3	5	8	2	9	7	1
7	2	1	6	8	4	3	5
2	6	3	4	7	1	5	8
5	8	7	1	4	2	6	3
3	4	6	7	5	8	1	2
8	1	2	5	3	7	4	6

× × ×

× × ×