ALTERNATOR
Misliti znanost.

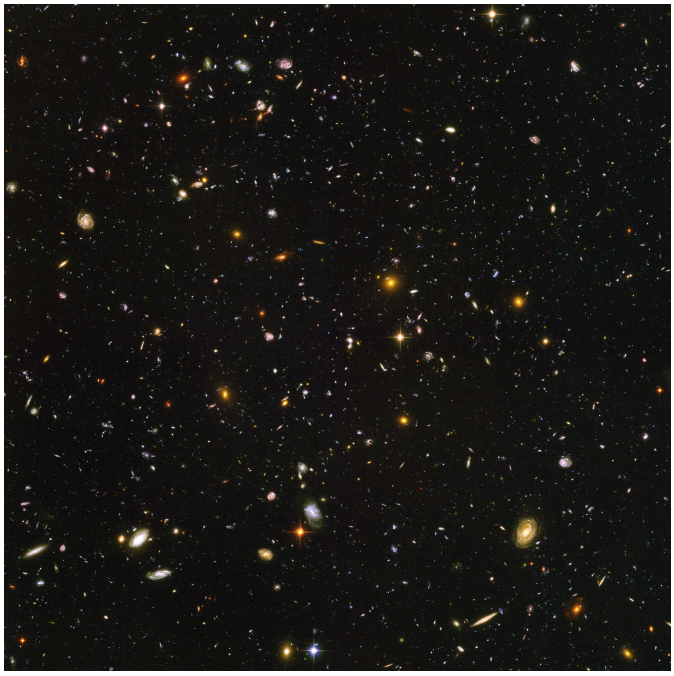
Klimatske spremembe kot Veliki filter razvoja (naše) civilizacije

15. 10. 2020

Number: 47/2020

Author:

- Marko Kovač



Hubble Ultra Deep Field – pogled vesoljskega teleskopa na malo zaplato neba, ki sega 13 milijard let v preteklost in prikazuje 10000 galaksij, foto: NASA, ESA, S. Beckwith and the HUDF Team

Človeštvo se že dolgo sprašuje po obstoju zunajzemeljskih civilizacij, z izboljšavo tehnologije in raketno ero pa je to vprašanje postalo tudi pomembna znanstvena tema. Razširjeno mnenje je, da bi se bilo lahko življenje razvilo še kje v naši galaksiji, tudi zato vesoljske sonde njegove znake ali vsaj temeljne sestavne dele iščejo po drugih predelih osončja (na primer na Marsu, Saturnovi luni Titan, nedavno pa so v Venerini atmosferi našli spojino fosfina, ki bi lahko nakazovala (https://medium.com/@jamesmason_97462/phosphine-in-the-atmosphere-of-venus-what-does-it-mean-b0625e0a992e) na preproste oblike življenja).

Kje pa so vsi?

Ena boljših ali vsaj najrazvpitejših debat (https://www.space.com/25325-fermi-paradox.html) o zunajzemeljskem življu je leta 1950 potekala med kosilom v menzi *Jet Propulsion Laba* v Los Alamosu. Prisotni so bili fiziki Enrico Fermi, Emil Konopinski, Edward Teller in Herbert York. Fermi, ki je bil znan po svojem načinu hitrega izračuna kompleksnejših zagonetk, pri čemer se je zdelo, da številke kar stresa iz rokava, je ob listanju revije (menda je šlo za še danes slavni *The New Yorker*) in pogledom na karikaturo z nezemljani, ki prevračajo kante s smetmi, vzkliknil: »Kje pa so vsi?« Točnega poteka pogovora se nihče izmed udeležencev ni spominjal, a večina se je strinjala, da se je vprašanje nanašalo na možnost letenja v vesolje (Sputnik je bil takrat 7 let v prihodnosti, Gagarinov let pa 11). Fermijevo vprašanje se je od takrat nekoliko razvilo v Fermijev paradoks, pri katerem ne gre več za vprašanje, kako potovati po vesolju (do sedaj smo s človeško posadko zmogli le do Lune in še to traja nekaj dni, do Marsa predvidoma pol leta, do najbližje zvezde Alfa Kentavra pa po Nasinih podatkih (https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/cosmic/nearest_star_info.html) kar 73.000 let), temveč zakaj nezemljanov ne vidimo, čeprav je le v naši galaksiji na milijarde podobnih zvezd in planetov, kjer bi lahko uspevalo življenje.

Desetletje kasneje je na ta paradoks poskušal odgovoriti ameriški astronom in astrofizik Frank Drake (https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Drake) z nekoliko bolj strukturirano oceno števila razvitih zunajzemeljskih civilizacij v naši galaksiji. Drakeova enačba, ki določa število civilizacij v naši galaksiji, je preprost zmnožek povprečnega letnega števila novonastalih zvezd, deleža zvezd s planetarnimi sistemi, števila planetov v takšnem sistemu, na katerih lahko nastane življenje, verjetnosti, da se na planetu razvije življenje, deleža teh planetov, ki gostijo življenjske oblike z višjo inteligenco, deleža planetov, katerega prebivalci so zmožni medzvezdnega sporazumevanja in življenjske dobe tehnične civilizacije. Zmnožek je tako zelo odvisen od ocen velikosti parametrov in več kritikov enačbe je poudarilo njeno nezanesljivost. Tako je ocenjena zgornja meja (https://en.wikipedia.org/wiki/Drake_equation) nekje pri 15 milijonih – v naši galaksiji naj bi bilo torej na milijone civilizacij, s katerimi bi lahko navezali stik, Nasa (https://www.cambridge.org/core/books/drake-equation/D253393BB6E6506F328A30D8293CFAC7) pa v zadnjih ocenah, ki

so nedvomno spodbujene z izkušnjo pomanjkanja stika z drugimi civilizacijami, vrednost *N* ocenjuje na 9.1 10^{-13} civilizacij, kar je seveda praktično nič.

A četudi so v galaksiji zunajzemeljske civilizacije, je kar nekaj vzrokov, ki bi nam lahko preprečevali kontakt z njimi. Pravzaprav je kar nekaj kozmologije po Fermijevem paradoksu in Drakeovi enačbi posvečene iskanju najbolj premetenega izgovora, zakaj še nismo srečali tujih civilizacij. Eni krivijo logistiko, drugi inteligentne civilizacije, ki so predaleč in enostavno nimajo potovalne ali komunikacijske tehnologije na velike razdalje, kar sta leta 1981 predlagala astronoma Carl Sagan in William Newman (https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1981Icar...46..293N/abstract) . Lahko pa je problem tudi na naši strani – bodisi so naše komunikacijske sposobnosti še premajhne ali pa je naša civilizacija premlada in naši elektronski odtisi še niso prišli do pravih sosedov (podobno kot v drugi Saganovi knjigi – *Stik* (https://www.simonandschuster.com/books/Contact/Carl-Sagan/9781501197987)). Še ena možnost je, da nas le nemo opazujejo, da ne počnemo neumnosti, kar v kozmologiji opisujejo kot živalski vrt. Ljubitelji znanstvene fantastike pri tem omenjajo podobnost z *Zvezdnimi stezami*, kjer morajo konfederacijske vesoljske ladje slediti protokolu Osnovne direktive in prepovedi poseganja v manj razvite civilizacije. Alternativa je lahko še nekoliko bolj žalostna – enostavno nismo dovolj zanimivi. Teoretični fizik Michio Kaku je podal slikovito prispodobo – kot civilizacija smo zanimivi kot neko mravljišče v Peruju med ero Pizarrovega osvajanja inkovskega imperija. Zdi se, da je to možnost imel v mislih Douglas Adams, avtor *Štoparskega vodnika po galaksiji*, v kateri je ocenjevalec Zemljo popisal le s »pretežno neškodljiva«. Morda bi zaenkrat zanemarili še bolj domiselne rešitve, da so vesoljski sosedje uspeli transcendirati klasično vsakdanje življenje, problem smrtnosti in materialnih potreb, ali pa da je človeštvo le hologramska podoba.

Takšno število možnosti je spodbudilo ekonomista Robina Hansona leta 1996, da je odsotnost komunikacij z nezemeljskimi civilizacijami pojasnil z Velikim filtrom (http://mason.gmu.edu/~rhanson/greatfilter.html) , ki zaustavi razvoj civilizacije ali jo celo pogubi, preden ta preraste okove lastnega planeta. Veliki filter naj bi bil glavni vzrok, ki bi morebitnim civilizacijam onemogočal preskok katerega izmed korakov, potrebnega za izkoriščanje zunajplanetarne energije (ti koraki zajemajo tako izbor prave zvezde in planeta, reproduktivne molekule, kot so DNK, razvoj eno- in večceličnih bitij, uporabo orodja, industrijski napredek, koloniziranje drugih svetov ipd.). Ker smo večino korakov na Zemlji prebrodili, tako ne vemo, ali smo imeli do sedaj neizmerno srečo ali pa nam Veliki filter šele grozi.

Energija kot merilo razvitosti civilizacije

Ob iskanju tujih civilizacij je smiselno tudi oceniti ali vsaj slutiti njihovo smer razvoja. Ruski astronom Nikolaj Kardašov si je leta 1964 zamislil stopnjo razvoja civilizacije na podlagi energije, ki jo je sposobna žeti za svoj obstoj. Ideja je tako preprosta, da je kar fantastična. Ko se civilizacija razvija – tako številčno kot produktivno, potrebuje čedalje več energije. Glede na kozmične omejitve je vse civilizacije razdelil v tri tipe: take, ki za svoj obstoj uspešno žanjejo vso energijo, ki z matične zvezde doseže planet (tip I), vso energijo, ki jo seva matična zvezda (tip II) ali vso energijo, ki jo seva domača galaksija (tip III). Za primer Zemlje so energijski nivoji naslednji:

- Tip I: 1,7 10^{17} W
- Tip II: 4,0 10^{26} W
- Tip III: 4,0 10^{37} W

Za primerjavo pa je količina energije, ki jo je porabilo človeštvo leta 2018, enaka 1,8 10^{13} W, torej skoraj desettisočkrat manj od meje civilizacije tipa I. To so razmeroma velike številke, toda za trenutek poglejmo, kaj pomenijo za vidnost z vesoljskih razdalj. Vsi poznamo fotografije nočne Zemlje, kjer so mesta osvetljena z nočnimi lučmi in podobnim, a takšnega prizora ni mogoče uzreti že onkraj Lunine orbite, torej nekje 384.000 kilometrov daleč, saj je svetlobe premalo. Ocenjujejo, da bi z dobrim teleskopom še lahko uzrli kakšno svetlo piko na temni strani Zemlje nekje z Marsa, ki se nam približa na nekje 70 milijonov kilometrov.

V dobrih tridesetih letih, odkar astronomi odkrivajo eksoplanete, so v naši galaksiji našli preko 4000 planetov, ki krožijo okoli zvezd, ki niso naše Sonce, veliko večino seveda v zadnjih nekaj letih z razvojem ustreznih teleskopov in tehnologije. Razdalje do teh planetov segajo od dobrih 4 do skoraj 28.000 svetlobnih let. Če na katerem od teh planetov obstaja kakršnokoli življenje, ki je podobno zemeljskemu (torej do tipa I), tega z naše razdalje ne moremo ugotoviti.

Zdi se, da se civilizacije, ki niso uspele doseči tipa I po lestvici Kardašova, enostavno zlijejo z okolico, še posebej če vemo, da so nam najbližji eksoplaneti oddaljeni nekaj svetlobnih let, torej vsaj polmilijonkrat več kot omenjeni Mars. Prav tako pa do sedaj nismo našli civilizacije, ki bi šla prek te meje. A ob tem se moramo zavedati, da je število do sedaj odkritih eksoplanetov razmeroma (pre)majhno, da bi zadostili statistično reprezentativnost za obravnavo z Drakeovo enačbo, sploh zaradi širokega razpona slednje.

Za doseganje in preseganje tipa I je torej potrebno zapustiti rodni planet. Eden od načinov zbiranja energije v vesolju je konstrukcija, ki bi obdala matično zvezdo, na primer Dysonova sfera (https://en.wikipedia.org/wiki/Dyson_sphere) , in bi s fotonapetostnimi paneli zajemala energijo zagrajene zvezde. Takšna konstrukcija oziroma njeni učinki pa bi bili seveda vidni tudi na večje razdalje, a kaj ko za zemeljsko civilizacijo velja, da smo v vesolje (toda večinoma v nižjo zemljino orbito) v dobrih šestdesetih letih izstrelili nekaj tisoč satelitov in plovil, pri čemer njihova skupna masa ne presega nekaj deset tisoč ton – veliko premalo za resnejšo konstrukcijo, vidno z druge stani galaksije.

Višje, hitreje, močneje

Za občutek, kako hitro se pomikamo po lestvici Kardašova (oziroma kako hitro goltamo razpoložljivo energijo), je smiselno lestvico linearizirati, in prav to je izpeljal že omenjeni Carl Sagan. Linearizirana vrednost stopnje naše civilizacije znaša 0,73. Toda o zelo hitremu razvoju od začetka industrijske revolucije pred približno 300 leti priča to, da je potreba človeštva po energiji narasla za približno 36-krat oziroma za 0,155 na (linearizirani) lestvici Kardašova. Pri tem je bila največja rast v zadnjih dobrih 100 letih, ko smo poskočili kar za 0,07 nivoja. K tej rasti prispevata tako rast prebivalstva kot tudi energetska požrešnost. Povprečna oseba tako danes porabi vsaj 15-krat toliko energije kot v časih rimskega imperija, v razvitih delih sveta pa je to razmerje lahko tudi sto in še več. Prav tako pa se je povečalo število prebivalcev planeta – s 180 milijonov na sedem in pol milijard oziroma več kot za štiridesetkrat. Na ta način bo človeštvo le v nekaj stoletjih res porabilo vso energijo, ki definira civilizacijo tipa I. Dovolj bo že, če bodo vsi Zemljani hoteli zaživeti energetsko razkošno življenje, kot se ga živi na Zahodu oziroma v energetsko potratnih državah.

Super, porečete, le še nekaj energije porabimo tule, prižgemo luč tam, za vogalom zaženemo še eno veliko napravo, pa bomo počasi energetsko stopili med ugledne kozmološke civilizacije. A Kardašova je pri oblikovanju lestvice vodila ravno nasprotna logika. Predpostavil je, da se bodo energetske potrebe zviševale z rastjo razvitosti in tehničnih možnosti potovanja po Osončju in vesolju. Njegove meje tako ne upoštevajo generacije toplote v zemeljski notranjosti (ocenjene na $4{,}7\ 10^{13}$ W, torej 0,3 % sončne energije), v svoji naivnosti ali daljnovidnosti pa je predvidel trajnostni razvoj, torej da nepovratno ne posegamo v zemeljske energetske zaloge in porabimo le tolikšne količine energije, kot je je planet sposoben prenesti.

Za zadovoljevanje energetskih potreb pa bo potrebna tehnologija, ki bo sposobna učinkovito seči izven okvira planeta ali osončja, a kaj ko takšna potovanja niso poceni. Energija za prenos kilograma snovi v nizko zemeljsko orbito je približno 30 kWh. Za kg materiala na Luni smo potrebovali približno 2000 kWh (lunarni modul), kar je nekaj desettisočkrat več, kot je ekonomika prevažanja s tovornjaki po cestah. Kakorkoli že, premikanje po vesolju zahteva energijo, ta pa zahteva kolonizacijo vesolja in izkoriščanje vsega, kar nam sonce ponuja na tnalu – sončne svetlobe.

A tudi energijo sonca lahko koristimo le v določenem obsegu. Obstoječa tehnologija je podvržena izkoristku fotonapetostnih panelov in dodatne elektronike. Čeravno izkoristki sodobnih komercialnih panelov že dosegajo in presegajo 20 %, to pomeni, da nam je na voljo le petina vse razpoložljive energije, ki jo Sonce seva na površje. Potem so tu še površine, prekrite z morji, in/ali neprimerne klimatske razmere in naša zmožnost za žetev energije se še bolj zmanjša. Pri transformaciji energije pa nam ni v pomoč niti narava. Sama fotosinteza ima minorne izkoristke in najboljše industrijske rastline v biomaso pretvorijo le nekaj odstotkov sončevega sevanja, kar je vsaj desetkrat slabše od fotonapetostnih panelov, pri čemer je biomaso potrebno še pretvoriti v bolj uporabno obliko energije. Hkrati pa nam omejitve obstoječe vesoljske tehnologije zaenkrat ne omogočajo ekonomične izrabe sončeve energije stran od domače Zemlje.

Obstaja pa še ena možnost, ki je lestvica Kardašova ne upošteva – jedrska energija. A jedrske elektrarne delujejo kot toplotni stroji, kar 2/3 generirane energije predstavlja odvečna toplota, ki jo sedaj povečini odvedemo v vesolje (na koncu pa tako ali tako vsa konča kot toplota). Če bi bil delež te odvečne toplote v energetski bilanci Zemlje prevelik, potem bi ta še dodatno in predvsem znatno segrela Zemljo do leta 2400 za dodatnih 12 °C (Mullan in Haqq-Misra 2019 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328717304421?via%3Dihub)), pri čemer se nam bodo zdele klimatske spremembe do 2100 le blažja uvertura.

So se vesoljci skuhali?

Klimatske spremembe kažejo na to, da so naše energetske potrebe že začele najedati planetarno klimo. Hkrati pa pomanjkanje vidnih civilizacij lahko nakazuje na to, da je to – klimatske spremembe med silovitim tehnološkim razvojem niso doma le na Zemlji, temveč so dobesedno univerzalni problem – problem vseh civilizacij, ki se dvigujejo proti tipu I. Hkrati pa so energetske zahteve, ki pogojujejo večji delež izkoriščanja energije Sonca oziroma matične zvezde, tako velike, da se razvoj takšnih civilizacij znajde na mrtvi točki.

Čeprav so podobne ideje obstajale že od sredine sedemdesetih let (npr. Hoerner 1975 (http://library.nrao.edu/public/memos/spln/SPLN_76_20b.pdf)), pa so sicer nekoliko dopolnjene šele v zadnjih letih pridobile močno podporo v znanstveni javnosti (npr. Byers in Peacock 2019 (https://thebulletin.org/2019/07/did-climate-change-destroy-the-aliens/)). S tem povezan razvojni zastoj tudi ustreza definiciji Velikega filtra, kot ga je zasnoval Hanson. Gledano z današnje perspektive, kjer smo priča donkihotovskemu boju proti globalnemu segrevanju in klimatskim spremembam, ki so posledica prekomerne rabe energije, se zdi ekološka katastrofa, ki jo prevelika nenadzorovana poraba energije prinese matičnemu planetu, čisto mogoča ovira za vsako napredno civilizacijo, tudi zemeljsko. Prav tako ta teorija zadovoljivo pojasnjuje Fermijev paradoks o pomanjkanju tujih civilizacij v naši okolici – hkrati pa tudi ugaša upanje, da je tehnološki napredek neomajen in da lahko reši še tako kompleksne težave, kot so vpliv klimatskih sprememb na civilizacijo in nenazadnje na življenje na planetu.

Ne smemo pozabiti, da je lestvica Kardašova nastajala v času skokovitega napredka vesoljske tehnike, ko se je zdel pristanek na Luni podobno futurističen kot teleport, časovni stroj ali vesoljsko dvigalo. Realne ekonomske in energetske razmere zadnjih 50 let pa so pokazale, da so takšni tehnološki preskoki izjemno redki. Pogled na sosednje eksoplanete lahko pokaže, da so takšni preskoki še redkejši, kot smo upali. In že zato je morda smiselno naše nezadržno hlastanje po

energiji nekoliko umiriti ter razvoj prilagoditi v naprednejše tehnologije, ki porabljajo manj energije in planetarnih virov ter trosijo manj strupov.

https://www.alternator.science/en/long/klimatske-spremembe-kot-veliki-filter-razvoja-nase-civilizacije/