

Výjimečná Země

zpracoval: Jiří Svršek ¹

podle článku Johna G. Cramera

Abstract

Řada autorů science-fiction, jako **David Brin**, **Larry Niven** a **Paul Anderson**, se domnívá, že naše Galaxie je obydlena mnoha inteligentními mimozemskými druhy, které mohou vzájemně spolupracovat, soutěžit nebo možná mezi sebou bojovat. Na druhé straně **Isaac Asimov** ve své sérii "*Nadace*" předpokládá, že lidstvo se bude rozšiřovat do neobydlené Galaxie, aniž by se setkalo s inteligentním životem.

Geolog **Peter Ward** a astronom **Don Brownlee** z Washingtonské univerzity napsali v roce 2000 knihu "*Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*", v níž tvrdí, že naše Galaxie obsahuje planety nehostinné pro život, protože obíhají kolem hvězd, které jsou příliš horké, příliš chladné, příliš nestabilní nebo existující po příliš krátkou dobu k tomu, aby na nich mohl vzniknout složitý život. Autoři tvrdí, že zatímco bakteriální život může být ve vesmíru poměrně běžný, složitě mnohobuněčné a živočišné formy života musí být vzácné a inteligentní život velmi výjimečný.

Tento text byl zpracován v textovém procesu L^AT_EX. Slouží mimo jiné jako ukázka způsobu zpracování matematických a fyzikálních textů, které časopis Natura Plus nabídne svým čtenářům ve formátu PDF (*podrobněji viz knihovna: Matematika, Fyzika*).

¹e-mail: natura@dkozak.cz, WWW: <http://natura.baf.cz>

References

- [1] **John G. Cramer: The "Rare Earth" Hypothesis.** Analog Science Fiction & Fact Magazine. Alternate View Column AV-102. September 2000
<http://www.npl.washington.edu/AV/altvw102.html>
- [2] **Peter D. Ward and Donald Brownlee, Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe.** Copernicus, New York, 2000, ISBN: 0-387-98701-0
- [3] **Robin Hanson: The Great Filter - Are We Almost Past It?** Caltech, Sept. 1996.
<http://hanson.berkeley.edu/greatfilter.html>
- [4] **Hlad, O. - Pavlousek, J.: Přehled astronomie.** SNTL, Praha 1990
- [5] **Grygar, Jiří: Vesmírná zastavení.** Panorama, Praha 1990. ISBN: 80-7038-202-3
- [6] From: physnews@aip.org (AIP listserver) **PHYSICS NEWS UPDATE. The American Institute of Physics Bulletin of Physics News.** Number 316 April 10, 1997 by Phillip F. Schewe and Ben Stein
- [7] **Důkaz existence života na Marsu?** Physics News Update. Natura 10/1996.
</natura/1996/10/9610-5.html>
- [8] **Evoluce buněčných organel.** Natura 6/2000.
</natura/2000/6/20000608.html>
- [9] **Evoluce života, 1.** Natura 10/1997.
</natura/1997/10/9710-6.html>
- [10] **Jak planeta Venuše ztratila své oceány.** Natura 7/2002.
</natura/2002/7/20020703.html>

1 Výjimečná Země

Řada autorů science-fiction, jako **David Brin**, **Larry Niven** a **Paul Anderson**, se domnívá, že naše Galaxie je obydlena mnoha inteligentními mimozemskými druhy, které mohou vzájemně spolupracovat, soutěžit nebo možná mezi sebou bojovat. Na druhé straně **Isaac Asimov** ve své sérii "*Nadace*" předpokládá, že lidstvo se bude rozšiřovat do neobydlené Galaxie, aniž by se setkalo s inteligentním životem.

Geolog **Peter Ward** a astronom **Don Brownlee** z Washingtonské univerzity napsali v roce 2000 knihu "*Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*" [2], v níž tvrdí, že naše Galaxie obsahuje planety nehostinné pro život, protože obíhají kolem hvězd, které jsou příliš horké, příliš chladné, příliš nestabilní nebo existující po příliš krátkou dobu k tomu, aby na nich mohl vzniknout složitý život. Autoři tvrdí, že zatímco bakteriální život může být ve vesmíru poměrně běžný, složité mnohobuněčné a živočišné formy života musí být vzácné a inteligentní život velmi výjimečný.

V roce 1961 **Frank Drake**, radioastronom z Národní observatoře v Green Bank (*the National Radio Observatory*) v západní Virginii, a **Carl Sagan** sestavili rovnici (dnes označovanou jako **Drakeova rovnice**) pro odhad počtu vyspělých civilizací v naší Galaxii. (*viz příloha*) V roce 1974 **Carl Sagan** odhadl, že v naší Galaxii musí existovat asi milión vyspělých civilizací. Další geologické, astronomické astrofyzikální a molekulárně biologické výzkumy ukázaly, že tento odhad byl příliš optimistický.

Autoři knihy "*Rare Earth*" [2] dokazují, že podmínky nutné pro vznik a vývoj složitého života jsou velmi vzácné. Předkládají dlouhý seznam zvláštních situací a podmínek, které na Zemi vedly k evoluci vyšších forem života. V závěru své knihy autoři uvedli upravenou Drakeovu rovnici, kterou nazývají "**Rovnicí výjimečné Země**". Tato rovnice udává počet Zemi podobných planet, na nichž mohly vzniknout složité formy života. (*viz příloha*)

John G. Cramer se ve svém článku stručně analyzuje jednotlivé parametry rovnice výjimečné Země.

- N_* = počet hvězd v naší Galaxii

Odhad počtu hvězd v naší Galaxii je problematický, protože neznáme hmotnost Galaxie a máme velmi málo informací o populaci velmi malých hvězd, jako jsou bílí trpaslíci a rudí trpaslíci. Odhaduje se, že v naší Galaxii je zhruba 500 miliard hvězd všech tříd.

- f_p = podíl hvězd s planetami

V roce 1995 astronomové objevili první extrasolární planetu. Od té doby byla objevena již řada extrasolárních planet. Dosud však nelze učinit ani hrubý odhad podílu hvězd s planetami.

- f_{pm} = podíl planet bohatých na těžší prvky a kovy

Dosud všechny objevené extrasolární planety obíhají kolem hvězd bohatých na těžší chemické prvky a kovy. Tento výsledek by mohl naznačovat, že planety bohaté na kovy tvoří výjimečný typ planet. Na druhé straně všechny dosud pozorované planety jsou značně hmotné a proto příliš nevyhovují o vlastnostech menších planetách vhodných pro život.

- n_e = průměrný počet planet v obyvatelné zóně hvězdy

Dráha planety Země je taková, že jako jediná má dnes na svém povrchu kapalnou vodu. Tuto kapalnou vodu planeta musela mít také před 4,5 miliardami let, kdy vznikal život a Slunce přitom bylo chladnější. Autoři knihy "*Rare Earth*" [2] odhadli, že pokud by poloměr dráhy Země kolem

Slunce byl o 5 procent menší nebo o 15 procent větší, pak by Země ležela mimo obyvatelnou zónu vhodnou pro vznik a vývoj života. Pro hmotné hvězdy (obry) je tato zóna ještě menší, protože tyto hvězdy se vyvíjejí rychleji. průměrný počet planet s obyvatelnou zónou musí být tedy malý.

Na druhé straně však autoři neuvažují jiné dostatečně výkonné a trvalé zdroje tepla a světla, než je záření hvězdy, kolem níž planety obíhají. Podle tiskové zprávy *Jet Propulsion Laboratory* se na Jupiterově měsíci Europa vyskytují ledové kry, které plují na tekutém oceánu. Dokazují to snímky sondy *Galileo* z února 1997. Podle vědců tekutý oceán vznikl částečně vlivem slapových sil planety Jupiter a částečně teplem z radioaktivního rozpadu prvků uvnitř měsíce. Relativně nízký počet kráterů po dopadu meteoritů vede k závěru, že ledový povrch je starý jen několik milionů let a v určitých místech je silný až několik kilometrů.

- n_g = počet hvězd v obyvatelné zóně Galaxie

Sluneční soustava obíhá kolem galaktického středu ve vzdálenosti asi 25000 světelných let, zhruba ve třetinové vzdálenosti ze středu k vnějšímu okraji galaktického disku. Hvězdy, které obíhají v menší vzdálenosti od galaktického středu, jsou obklopeny větším počtem blízkých hvězd, které gravitačně narušují jejich planetární soustavy, a jsou vystaveny záření okolních supernov a galaktického středu. Hvězdy, které obíhají příliš daleko od galaktického středu naopak nemají dostatek těžších prvků, které se do mezihvězdného prostoru uvolňují erupcemi supernov v blízkosti galaktického středu.

- f_i = podíl obyvatelných planet, kde může vzniknout život

Autoři knihy *"Rare Earth"* [2] odhadují, že podíl obyvatelných planet, na nichž by mohl vzniknout život přinejmenším ve formě primitivních bakterií, je velký. Geologické nálezy dokazují, že bakterie na Zemi vznikly již v době, kdy to planetární podmínky začaly umožňovat. Bakterie žijí v hlubokých studních a dolech.

V roce 1996 tým vědců NASA oznámil (*David S. McKay et al., Science, 16 August 1996.*), že v geologickém vzorku horniny ALH84001, který byl nalezen v roce 1984 v Antarktidě, byly zřejmě objeveny důkazy existence života na Marsu. Četní zahraniční vědci však byli k této interpretaci skeptičtí a argumentovali tím, že všechny nálezy mohou mít nebiologické příčiny. [7]

- f_c = podíl planet, kde může vzniknou složitý živočišný život

Autoři knihy *"Rare Earth"* [2] tvrdí, že podíl planet s bakteriálním životem, z něhož se mohly vyvinout mnohobuněčné živočišné organismy, je velmi malý. Opírají se o skutečnost, že mnohobuněčný život se vyvinul až před 2,5 miliardami let, tedy v poslední pětině období existence života na Zemi. Autoři dále tvrdí, že kambrické explozi, kdy došlo k rozsáhlému rozvoji mnohobuněčného života, předcházely klimatické a geologické jevy, které vývoj takového života umožňovaly.

- f_l = podíl planet s dostatečnou dobou existence pro vývoj složitějšího živočišného života

Jakmile vznikne složitý živočišný život, vyžaduje dostatečnou dobu ke své evoluci. Objev složitějšího života ve vesmíru tedy závisí na podílu planet s dostatečnou dobou existence. Složitější mnohobuněčný život na Zemi zřejmě vznikl a zanikal opakovaně, než k jeho evoluci byly příznivé podmínky po dostatečně dlouhou dobu.

Podle postupné endosymbiotické teorie, již vypracovala **Lynn Margulis**, všechny buňky s jádrem vznikly splynutím čtyř typů bakterií. Základní hostitelskou buňkou mohly být archeobakterie, jako je *Metanococcus jannaschii*. Tyto bakterie jsou odolné vůči vysoké teplotě a kyselému prostředí. Do těchto hostitelských buněk pronikly jiné bakterie, které se během vývoje změnilly na mitochondrie. Další bakterie, které pronikly do hostitelských buněk, vedly ke vzniku plastidů a chloroplastů. Pro tuto teorii svědčí skutečnost, že mitochondrie a chloroplasty se svojí stavbou podobají bakteriím a mají vlastní geny. Poslední typ bakterií na povrchu některých buněk vytvořil řasinky, jejichž

struktura a upnutí k hostitelské buňce je poměrně složité. [8]

- f_m = podíl planet s velkým měsícem

S výjimkou Měsíce ostatní satelity ve Sluneční soustavě mají nepatrný zlomek hmotnosti planety, kolem níž obíhají. Merkur a Venuše nemají žádné satelity a Mars má dva nepatrné satelity o hmotnosti jen 27 a 57 miliardtin hmotnosti Marsu. Měsíc má hmotnost 0,012 hmotnosti Země. Vzniká proto otázka, jak Země tak velký satelit získala.

Na základě rozsáhlých počítačových simulací se astronomové domnívají, že Měsíc vznikl srážkou velmi hmotné planetesimály s formující se Zemí rychlostí asi 4 km/s. V okamžiku srážky měla Země asi 70 procent dnešní hmotnosti a planetesimála asi 30 procent hmotnosti dnešní Země. Náraz obou těles byl tangenciální. Uvolnilo se při něm asi 10^{32} Joulů energie (odhaduje se, že exploze všech jaderných hlavic by uvolnila energii asi 10^{19} J). Hmota planetesimály se zabořila do nitra Země, celý plášť Země se roztavil, jeho vnější vrstvy se smísily s hmotou planetesimály a rychle se odpařily. Kolem Země vznikl plynný rozpínající se obal, který chladnul a kondenzoval na prachová zrna. Když se obal vzdálil asi 15 tisíc kilometrů od Země, jeho drobná zrna se začala vzájemně spojoval a postupně vznikala stále větší a větší tělesa, až vznikl Měsíc. Celý proces netrval déle než několik týdnů.

Důležitým důsledkem existence velkého Měsíce je stabilizace sklonu rotační osy Země pod úhlem 23 stupňů vůči rovině její dráhy. Geologické důkazy ukazují, že během stovek miliónů let se sklon rotační osy měnil jen o několik stupňů od současné hodnoty. Nedávné výpočty prokázaly, že pokud by Země neměla velký Měsíc, gravitační působení Jupiteru a Slunce by vedl k velkým výkyvům sklonu rotační osy Země vůči rovině dráhy, jejichž důsledkem by byly drastické změny klimatu ohrožující existenci složitého života.

- f_j = podíl planetárních soustav s planetami velikosti Jupiteru

Autoři knihy "Rare Earth" [2] tvrdí, že pokud by ve Sluneční soustavě neexistovala velká planeta jako je Jupiter (s hmotností 300 krát vyšší než je hmotnost Země), tak by četnost srážek asteroidů a komet se Zemí vzrostla asi 10000 krát. Dopad velkých asteroidů a komet vedl k masovému vymírání organismů průměrně jednou za 100 miliónů let. Pokud by neexistoval Jupiter, docházelo by k dopadu velkého asteroidu průměrně jednou za 10 tisíc let, což by zcela vylučovalo existenci složitého života na Zemi.

- f_{me} = podíl planet s kriticky nízkým počtem jevů způsobujících hromadné vymírání

Protože evoluce bakterií na Zemi trvala asi 2,5 miliardy let, v této době nedošlo k žádnému fyzikálnímu jevu, který by způsobil zničení života. Autoři knihy "Rare Earth" [2] tvrdí, že tento kriticky nízký počet jevů způsobujících hromadné vymírání je značně neobvyklý. Fosilní záznamy ukazují, že během existence života na Zemi došlo k několika ničivým jevům, které způsobily hromadné vymírání. Poslední hromadné vymírání nastalo dopadem velkého meteoritu před 65 milióny lety. Tehdy vyhynuly dinosauři a podstatná část života v oceánech. Autoři knihy "Rare Earth" [2] proto tvrdí, že vývoj složitého života vyžaduje velmi stabilní planetární systém. Jakýkoliv astrofyzikální jev, jako průchod blízké hvězdy, by snadno tuto stabilitu narušil.

Autoři knihy "Rare Earth" [2] tvrdí, že kromě základních faktorů v jejich rovnici vývoj složitého života na Zemi ovlivnily ještě některé další faktory.

Fosilní záznamy dokazují, že na chladnoucí Zemi se objevil bakteriální život jakmile to fyzikální podmínky umožnily. Proto tvrdí, že prvotní bakterie zřejmě vznikly na Marsu, který vychladl dříve než Země. Tyto bakterie se na Zemi mohly dostat v meteoritech, které byly vymrštny z Marsu po dopadech asteroidů na jeho povrch. Odhaduje se, že 10 procent meteoritů vymrštných z Marsu

mohlo dopadnout na Zemi. Pokud by Mars neexistoval, vývoj bakteriálního života na Zemi by byl zřejmě pomalejší.

Nedávné geologické nálezy dokazují, že dvakrát během své existence byla Země značně chladnou planetou, pokrytou ledem téměř až k rovníku. Poprvé k tomuto globálnímu ochlazení došlo před 2,5 miliardami lety a podruhé před 550 milióny lety. Výskyt těchto jevů byl zřejmě pro vývoj života na Zemi významný. Ačkoliv první bakterie se na Zemi objevily před 3,8 miliardami let, k podstatným změnám jednobuněčného života došlo až před 2,5 miliardami let. V té době došlo ke vzniku kmenů *Archaea* a *Eucarya* a z kmene *Eucarya* později vznikl veškerý živočišný život. Ke kambrické explozi, kdy došlo k rozvoji mnohobuněčného živočišného života, došlo před 550 milióny lety. Zdá se, že tyto klíčové události ve vývoji života na Zemi nějak souvisely se silným ochlazením Země. Tato souvislost však není jednoznačná.

O příčinách kambrické exploze však existuje řada hypotéz. Geologicky náhlé objevení zástupců takřka všech dnes žijících a za obvyklých okolností fosilizace schopných kmenů v kambriu je nutno vykládat jako výsledek poměrně rychlé adaptivní radiace, vývojového rozrůznění, které má v menší míře obdobu např. ve vývojové radiaci savců počátkem třetihor či radiaci jevnosnubných rostlin počátkem svrchní křídy. Rychlost kambrické vývojové radiace nebyla nijak výjimečná. Odhaduje se, že trvala nejméně 15 miliónů let, tedy zhruba takovou dobu, po kterou probíhala vývojová radiace savců.

Stanley (1973) se kambrickou explozí pokusil vysvětlit pomocí poznatků recentní (tj. současné) ekologie. Vychází z poznatků, že přidání další trofické (potravní) úrovně do potravní sítě společenstva způsobuje zvýšení jeho rozmanitosti a naopak. Experimenty například ukázaly, že odstranění hlavního masožravého druhu z mělkovodního společenstva způsobilo podstatné snížení jeho rozmanitosti, protože jediný rostlinožravý druh se tak rozmnožil, že potlačil ostatní. Je rovněž známo, že rozrůznění na určité trofické úrovni vyvolává rozrůznění nejen na nižší, ale též na vyšších trofických úrovních. Stanley poukázal na to, že po stovky miliónů let byly pozemské organismy výlučně autotrofní (získávaly potravní látky bez požívání jiných organismů). Vyskytovaly se prokaryonty a jednobuněčné eukaryontní řasy. Při nedostatku organismů požívajících rostliny dosáhly tyto organismy značné biomasy, neboť jejich objem nebyl omezen prostorem, živinami a světlem. Protože existovalo málo příležitostí k různému způsobu života, organismy na Zemi se diverzifikovaly jen velmi pomalu. Nové druhy vznikaly patrně většinou jako náhrada zaniklých, což při celosvětově malé rozmanitosti bylo vzácným jevem. Klíčovou událostí, která podle Stenleyho tento stav změnila, byl vznik heterotrofních organismů, nejprve jednobuněčných, které se patrně živily bakteriemi, sinicemi a řasami. Přejít těchto organismů k masožravému způsobu života vyžadoval pouze nepatrné změny. Soudíme tak proto, že i v dnešní době existují mnohé jednobuněčné druhy, např. někteří bičíkovci, kteří se mohou živit jako jednobuněčné autotrofní i jako jednobuněčné heterotrofní organismy. Vznik býložravců uvolnil část potravních zdrojů a umožnil vznik nových druhů. Ve svrchním prekambriu tak došlo ke značnému zrychlení evolučního vývoje, který brzy vedl k vytvoření mnohobuněčných organismů a k jejich dalekosáhlé radiaci.

Vznik větších mnohobuněčných těl a koster vyžaduje poměrně bohaté zdroje energie. Jak se tyto zdroje mohly vyvíjet, ukázala **Berknerova a Marshallova** domněnka (1965) o rozhodující úloze vzestupu množství kyslíku v atmosféře Země. Počítá s dosažením takové koncentrace, která umožnila tvorbu kolagenu, bílkoviny, která tvoří organický základ pro vylučování minerálních solí ve schránkách a kostrách. Oprávněnost této domněnky podporují pozorování v recentních mořích. Ukazují, že tam, kde obsah kyslíku rozpuštěného ve vodě je menší než 0,1 ml/l, není mořské dno osídleno mnohobuněčnými živočichy. Při obsahu kyslíku mezi 0,1 až 0,3 ml/l žijí na mořském dně pouze drobní a měkkotělí živočichové, zatímco druhy s pevnými vápnitými schránkami a kostrami se objevují až tam, kde koncentrace kyslíku přesahuje 0,3 ml/l. Při této nízké koncentraci jsou

to především někteří ostnokožci (*Rhoads a Morse, 1971, Thompson a spol., 1985*). Podle tohoto pozorování v živé přírodě lze usuzovat, že počátkem paleozoika dosahoval obsah kyslíku v atmosféře zhruba 3 až 4 procenta jeho dnešní koncentrace.

Hypotézu o rozhodujícím obsahu kyslíku je možno zařadit do rámce širší hypotézy, která počítá s tím, že zvýšení jeho hladiny ve vzduchu bylo pravděpodobně důsledkem rozsáhlých změn v chemismu oceánských vod (*Cook a Shergold, 1984, Kazmierczak, Ittekkot a Degens, 1985*). Koncem prekambria došlo podle této hypotézy ve světovém oceánu k fosfogenní události, která je dokumentována nahromaděním fosforitových ložisek z této doby. Další pozorování ukazují, že během prekambria se chemismus oceánských vod vyvíjel od vod s převahou rozpuštěného uhličitanu sodného k vodám s převahou chloridu sodného. Změna alkality (tj. zásaditosti), která byla s tímto procesem spojena, způsobila zvýšení množství vápníku ve vodě.

Sloučeniny fosforu jsou neobyčejně důležitou, pro rozvoj vodních organismů často omezující, živinou. Hypotéza fosfogenní události počítá s tím, že následkem změny konfigurace oceánů a kontinentů došlo ve svrchním prekambriu k oživení oceánské cirkulace, která vynášela hlubinné fosforem bohaté vody do rozsáhlých moří poblíž kontinentů. Tím se vytvořily podmínky pro rozvoj bohatého života v těchto oblastech, zvýšila se produkce autotrofních organismů, a tím také kyslíku.

Vápník je prvek, který je nezbytný pro mnohé fyziologické pochody, ale ve vyšších koncentracích je pro organismy toxický. Z této skutečnosti vychází domněnka, která vysvětluje ukládání vápníku ve schránkách a kostrách jako reakce organismu směřující k detoxikaci okolí. Logicky lze vysvětlit skutečnost, proč první schránky organismů jsou z fosforečnanu vápenatého a nikoliv z uhličitanu vápenatého. Fosfor je totiž "krystalickým jedem", který zabraňuje vytváření krystalů uhličitanu vápenatého. Teprve zmenšení jeho obsahu ve vodě mohlo dojít k vytváření koster a schránek z uhličitanu vápenatého.

Významným faktorem pro vývoj života na Zemi byla také tektonika pevninských desek. Země je ve svém nitru rozžhavana v důsledku rozpadu radioaktivních isotopů, zejména draslíku ^{40}K . Toto teplo vyvolává tektoniku pevninských desek, které se pohybují po podloží díky vodě v oceánech jako mazadla. Oceánské dno se podsouvá pod pevninské desky a oxid uhličitý vázaný ve schránkách organismů se nazpět uvolňuje do atmosféry vulkanickou činností. Pokud je teplota atmosféry příliš vysoká, oxid uhličitý se váže ve schránkách mořských organismů a v horninách. Tím dochází k potlačení skleníkového jevu a k ochlazení atmosféry. Planeta bez deskové tektoniky by neměla relativně stabilní teplotu a tím by byl ztížen vývoj mnohobuněčného života.

Autoři knihy "*Rare Earth*" [2] docházejí k závěru, že Země je výjimečným místem, kde příznivě přispěla řada náhodných faktorů ke vzniku a vývoji složitého života. V naší Galaxii je zřejmě jen několik planet s takovými příznivými podmínkami. Možná naše Země je jedinou planetou v Galaxii s inteligentním životem.

Je však možné, že autoři knihy "*Rare Earth*" [2] význam některých faktorů příliš přecenily nebo že existují některé další, dosud neznámé faktory, které činí vývoj složitého života mnohem více pravděpodobnější.

2 Přílohy

2.1 Drakeova rovnice

V roce 1961 **Dr. Frank Drake**, radioastronom z Národní radioastronomické observatoře v Green Banku (the National Radio Astronomy Observatory) v Západní Virginii odhadl počet vyspělých civilizací v naší Galaxii, jejichž signály bychom měli zachytit. Drakeova rovnice se stala základem vědeckého výzkumu možné existence mimozemských civilizací. Tento vědecký výzkum se soustředil především na odhad jednotlivých parametrů Drakeovy rovnice a zdůvodnění tohoto odhadu. S rozvojem astronomie, astrofyziky, molekulární biologie, genomiky a geologie jsou odhady počtu mimozemských civilizací stále pesimističtější.

Drakeova rovnice má následující tvar:

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

kde

N = počet komunikujících civilizací

Počet civilizací v Galaxii, jejichž radiové vysílání můžeme zachytit.

R_* = počet hvězd vhodných pro vznik života

Počet hvězd s vhodnými fyzikálními podmínkami pro vznik inteligentního života existující po dostatečně dlouhou dobu

f_p = podíl hvězd s planetami

Podíl hvězd podobných Slunci s existujícími planetami

n_e = počet planet podobných Zemi v jednom planetárním systému

Všechny hvězdy mají různě velkou oblast, v níž mohou existovat planety s kapalnou vodou na povrchu a s dalšími pro život potřebnými fyzikálními podmínkami.

f_l = podíl planet podobných zemi, na nichž vznikl život

Přestože planeta může mít fyzikální podmínky vhodné pro vznik života, nemusí ke vzniku života z nejruznějších důvodů dojít. Odhad tohoto parametru je dosud krajně nejistý.

f_i = podíl planet s životem, na nichž vznikl inteligentní život

Život na zemi existoval asi 3,5 miliardy let a proto měl dostatečnou dobu na svůj vývoj.

f_c = podíl planet s inteligentním životem, kde vznikla technologie

Inteligentní život nemusí dosáhnout technologické úrovně, jíž můžeme detekovat v podobě radiových vln, jako tomu bylo v případě starověkých civilizací.

L = průměrná doba existence technologické civilizace

Doba existence, po níž technologická civilizace vysílá své signály do vesmíru. [3]

2.2 Rovnice výjimečné Země

V roce 2000 **Peter D. Ward a Donald Brownlee** ve své knize *Rare Earth* [2] publikovali svoji "rovnici výjimečné Země" pro odhad počtu planet podobných Zemi se složitými formami života. Tato rovnice má tvar

$$N = N_* \cdot f_p \cdot f_{pm} \cdot n_e \cdot n_g \cdot f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot f_m \cdot f_j \cdot f_{me}$$

kde

N_* = počet hvězd v naší Galaxii,

f_p = podíl hvězd s planetami,

f_{pm} = podíl planet bohatých na těžší prvky a kovy,

n_e = průměrný počet planet v obyvatelné zóně hvězdy,

n_g = počet hvězd v obyvatelné zóně Galaxie,

f_i = podíl obyvatelných planet, kde může vzniknout život,

f_c = podíl planet, kde může vzniknout složitý živočišný život,

f_l = podíl planet s dostatečnou dobou existence pro vývoj složitého živočišného života,

f_m = podíl planet s velkým měsícem,

f_j = podíl planetárních soustav s planetami velikosti Jupiteru,

f_{me} = podíl planet s kriticky nízkým počtem jevů způsobujících hromadné vymírání.