

# Astrobiologio kaj la perspektivo de vivo ekstertera

## A.Wandel

---

### 1. Enkonduko

*La relative nova scienco de Astrobiologio, kiu esploras la eblecojn por evoluo de vivo en la spaco, ekevoluis en la naŭdekaj, kiam oni malkovris la unuajn ekster-planedojn (planedoj en aliaj, foraj sunsistemoj) kaj la Marsan meteoriton kun ebla fosilio de ĉelo. Intertempe, post pluraj esplormisioj, astronomoj kaj astrobiologoj malpli optimismas pri vivo en nia propra sunsistemo, kaj pli pri vivo en foraj eksterplanedoj.*

**La demando ĉu ekzistas vivo** — aŭ eble eĉ civilizacioj — ie en la spaco, estas malnova, sed en la moderna epoko la scienco iom post iom havigas al ĝi respondojn malpli fantaziajn kaj pli bazitajn sur sciencaj esploroj kaj faktoj. En la lastaj jaroj aperis novaj esploroj, kiuj povas plibonigi la ŝancojn trovi vivon eksterteran. En nia sunsistemo estis trovitaj signoj de likva akvo sur la planedo Marso. En aliaj sunsistemoj, verŝajne troviĝas planedoj kun vivo (almenaŭ primitiva) eĉ en relative proksimaj steloj, je distanco de nur dekoj da lumjaroj. La ekscita konkludo estas, ke troviĝas probable milionoj ĝis miliardoj da planedoj kun simpla vivo en la Lakta Vojo. En la lastaj jaroj oni malkovris milojn da eksterplandoj, pluraj el ili similaj al Tero.

**Eĉ lastatempe** okazis pluraj specifaj malkovroj kiuj ekcitigis ne nur la astrobiologian kaj astronomian komunumojn, sed estis vaste raportitaj ankaŭ en la populara amaskomunikado:

- \* En Majo 2016 NASA anoncis la kompletigon de la mision de la spactelesko Kepler [16], kiu dum kvin jaroj malkovris ĉ. 5000 planedojn en foraj sun-sistemoj,
- \* 24 de aŭgusto 2016 - estis anoncita la malkovro de Ter-simila planedo en la vivo-zono ĉirkaŭ nia plej apuda stela najbaro, Proksima Kentaŭro [latine: Proxima Centauri]. [13]
- \* 22 de februaro 2017 - estis anoncita la malkovro de planeda sistemo ĉirkaŭ la eta ruĝa stelo Trappist-1 [17], 39 lumjarojn for de ni, kun sep planedoj similaj al la Tero, tri el ili en la vivo-zono, vidu la ĉapitron 3.
- \* En 2018 NASA planas sendi la spac-teleskopon TESS [14], la sekvanto de la Kepler-teleskopo, kiu serĉos terecajn planedojn apud ĉ. 200,000 steloj (sunsistemoj) en nia kosma najbareco.

### 2. Romano kun Astrobiologio

En 1998, kiam A.Wandel estis vizitanta profesoro en la Universitato de Los Anĝeleso (UCLA) oni petis lin prezenti kurson de astrofiziko kaj astrobiologio anstataŭ loka kolego kiu estis en sabata foresto. Reveninte al sia hejma Universitato de Jerusalemo, Wandel "importis" la kurson kaj ekinstruis ĝin en Jerusalemo. La kurso, kiu nomiĝis "Astrofiziko kaj Vivo en la Universo", estis la unua astrobiologia kurso en Israelo kaj tuj fariĝis ege populara. En 1999 ĝi havis pli ol 200 studentojn, kaj Wandel daŭre instruas ĝin en la Universitato de Jerusalemo, ĉiujare al inter 100-200 studentoj. Plurfoje li denove instruis ĝin ankaŭ en UCLA.

Sekve Wandel komencis veriki popularajn kaj poste ankaŭ sciencajn artikolojn pri astrobiologio. Li fariĝis membro de la scienca komisiono pri astrobiologio en Israelo, kaj poste ankaŭ ekmembro en la astrobiologia sekcio de la Internacia Astronomia Unio.

En decembro 2016 Wandel prelegis en internacia konferenco de astrobiologio en Vietnamio [15], pri sia esploro pri la viveblecoj en la nove trovita planedo Proksima Kentaŭro b, kaj kurioze konatiĝis kun kolego en la astobiologia instituto en Madrido, kiu estis esperantisto.

En februaro 2017 unu el la plej grandaj televido-kanaloj en Rusio intervjuis profesoron Wandel por dokumenta filmo pri ekstertera vivo, kaj detale priskribis liajn esplorojn. Laŭ oficialaj taksoj ĉirkaŭ 5 milionoj spektis ĝin [11]. La intervjuo en la ruslingva filmo estas videbla en Youtube, <https://youtu.be/rCkBZr6yg14?t=4472>, kiu dum du monatoj akiris ĉ.

250,000 spektantojn. Estas ankaŭ angla lingva versio de la intervjuo [12].



Foto el la intervjuo el la rusa filmo

Intervjuo pri la rusa filmo kun Wandel en israela ĵurnalo



### 3. Tappist-1 - la plej promesanta sistemo de ter-similaj planedoj kun ebleco de vivo

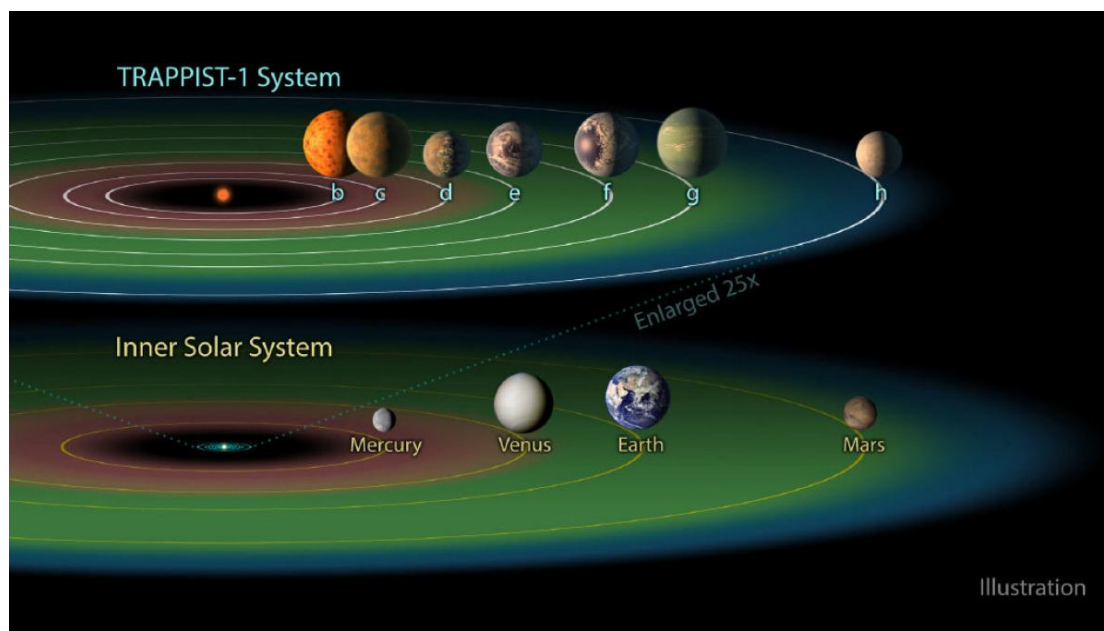
TRAPPIST-1 estas planeda sistemo [17], je distanco de 39 lumjaroj for de la Sunsistemo, en la konstelacio de Akvario. Ĉirkaŭ malgranda ruĝa suno kies grandeco estas ĉ. dekonon de nia suno kaj (nur 13 oble pli granda ol la Tero), orbitas almenaŭ sep planedoj. La komenca malkovro estis farita de la teleskopoj TRAPPIST, angle **TR**ansiting **P**lanet and **P**lanetes**I**mals **S**mall **T**elescope. Kromaj planedoj estis poste identigitaj uzante TRAPPIST, la Spacan Teleskopon Spitzer kaj aliajn teleskopojn.

La planedoj en la TRAPPIST-1 sistemo transitas sian sunon, kio signifas, ke ili pasas inter ni kaj la Trappist-1 suno. La planedoj estis malkovritaj dank' al la regula kaj ripetiganta parta eklipso, alivorte, la ombro kiun ili ĵetis dum transito. Mezurante tiujn transitojn, la astronomoj povis kalkuli la orbitan periodon kaj la grandecon de ĉiuj planedoj, kaj la distancojn de la planedoj de la Trappist-1-suno.

Oni trovis ke la planedoj havas grandecojn kaj masojn kompareblajn al tiuj de Tero. Ĉar ni scias la distancon de la planedoj de ilia stelo, kaj la temperaturon de la stelo, ni povas

dedukti ke ili ricevos kvanton de lumo kiu estas simila al tiu ricevita de Tero, Venuso aŭ Marso en nia sunsistemo. Tio, depende de ilia atmosfero, povos ebligi ekziston de likva akvo sur iliaj surfacoj. kaj, Kiel ni scias de nia sperto sur Tero, akvo estas baza kondiĉo por vivo.

Dum transito, iom de la stellumo iras tra la atmosfero de la planedo, kaj sekve estas transformita depende de la kemia kompono de la atmosfero. Tio signifas ke ni povas de malproksime studi la klimatojn de terecaj mondoj preter nia suna sistemo, sen efektive bezoni sendi al ili spacmisiojn! La TRAPPIST-1 sistemo estas nunteme la plej taŭga tiucele je nia dispono. Ĝi provizas al la homaro la unuan ŝancon por malkovri signojn de biologio preter la Sunsistemo.



La sistemo Trappist-1 kompare al nia sunsistemo

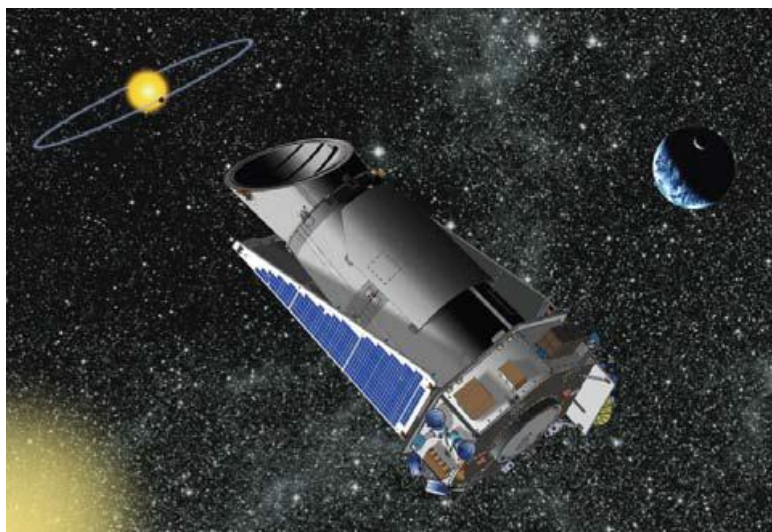
#### 4. Akvo sur Marso

En nia sunsistemo, unu el la malmultaj lokoj, kie sciencistoj provas malkovri vivon, estas la planedo Marso. Robotaj misioj serĉadis signojn de likva akvo sur la Ruĝa Planedo. Jam delonge oni scias, ke frostinta akvo troviĝas sur Marso — en la glaciaj ĉapoj kaj en la tero — sed ĝis tiu ĉi jaro likva akvo ne estis trovita. La observoj kaj esploroj montris, ke verŝajne Marso ja havis likvan akvon antaŭ miliardoj da jaroj, sed ĝi delonge malaperis el la grundo: ĝi frostis aŭ vaporiĝis kaj perdiĝis en la spaco. La nova eltrovo estas fakte krutaj ravinoj kun sekaj restaĵoj de saloj, kiuj aperas dum la marsa somero. La sciencistoj kredas, ke temas pri tre sala akvo, kiu pro la mineraloj solvitaj en ĝi povas resti likva ĝis temperaturoj de 20 gradoj celsiaj sub nulo, kiuj okazas en la varma sezono (la averaĝa temperaturo sur Marso estas ĉ. -50 gradoj). Tiu ekstreme sala akvo ne estas ideala por la Tera vivo, sed eble ekstremofilaj mikroboj povas vivi en tia medio. La serĉado de vivo sur Marso kaj la nova eltrovo de akvo estas traktitaj detale en artikolo, kiun mi verkis por Galileo, la plej grava popular-sciencia revuo de Israelo[1].

Komence de novembro 2015, NASA publikigis, ke la datumoj de la misio Maven (kiu atingis Marson en 2013) sugestas, kiel la marsa klimato transiris de varma kaj malseka surfaco — eble taŭga por vivo en la frua epoko — al la nuna malvarma, seka planedo, kiel Marso estas hodiaŭ. Maven trovis, ke gaso daŭre eskapas de la marsa atmosfero en la spacon pro la efiko de la suna vento, fluo de ŝargitaj partikloj, plejparte protonoj kaj elektronoj elsendataj de la suna atmosfero je rapideco de miliono da km/h, kiuj daŭre disvastiĝas de la Suno en la spacon. La mezuroj de Maven montris, ke la ordinara suna vento elprenas el la atmosfero po ĉirkaŭ 100 gramojn en sekundo. Tiu erozio de la atmosfero de Marso signife pliiĝas dum sunaj ŝtormoj, kiel tiu okazinta en marto 2015, kaj verŝajne ankaŭ kiam la Suno estis juna kaj pli aktiva. La pli alta vaporigo-ritmo dum sunaj ŝtormoj, dum miliardoj da jaroj, iom post iom detruis la marsan atmosferon kaj kaŭzis la ekstreman klimato-ŝanĝiĝon de Marso, el milde varma malseka planedo en rustiĝantan frostintan dezerton. La sorto de Marso povas trafi ankaŭ aliajn planedojn, sed la Tero ŝajne estas pli imuna pro sia magneta kampo, kiu defleksas la ŝargitajn partiklojn en la suna vento, kaj pro sia pli forta gravito, kiu pli firme retenas la superajn tavolojn de la atmosfero.

## 5. Ekster-planedoj kaj vivo ekster-tera

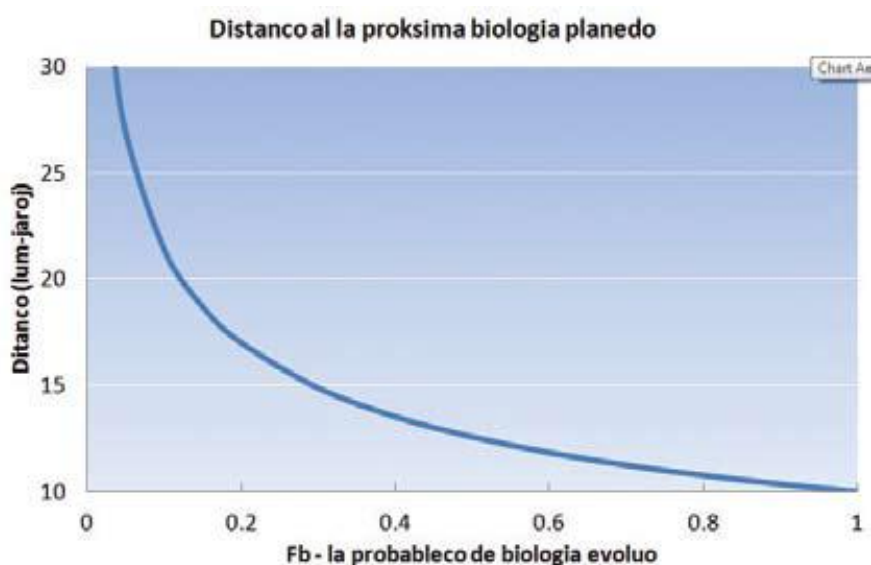
Antaŭ dudek jaroj astronomoj unuafoje malkovris planedon ĉirkaŭantan alian sunon ol la nian. Sekve, iom post iom estis trovitaj centoj da tiaj ekster-planedoj (planedoj, kiuj ĉirkaŭas sunojn for de nia sunsistemo, angle: exoplanets), sed ĉefe grandaj, gaso-planedoj similaj al Jupitero, kie la kondiĉoj ne estas favoraj por vivo, kiel ni konas ĝin. Ili ankaŭ estis relative proksimaj al siaj sunoj, kaj sekve multe tro varmaj por vivo. En la jaro 2010 komencis funkcii la spacteleskopo Kepler, kiu dum kvar jaroj malkovris milojn da eksterplanedoj, el ili ankaŭ multajn similajn al la Tero, kiuj troviĝas en la ĝusta distanco de sia suno, por ke ili estu ne tro varmaj por vivo. Tiu atingo gvidis al grava konkludo: sunsistemoj kun planedoj, kaj aparte planedoj similaj al la Tero, abundas en la kosmo. Tio proksimigas nin al la respondo por la antikva demando: “Ĉu ni estas solaj?”. Tiun temon Wandel pritraktas jam de pluraj jaroj, kaj plurfoje verkis kaj prelegis pri ĝi ankaŭ en Esperanto, ekzemple en IKU 2011[2]. Laŭ lia lastatempe publikigita esploro, la demando ne plu estas “ĉu ekzistas vivo ekstertera?”, sed “kiom abunda ĝi estas”.



La spacteleskopo Kepler

La nova esploro de Wandel pri la ofteco de planedoj kun potencialo por vivo aperis lastatempe en la internacia scienca revuo pri astrobiologio [3]. La esploro, kies preciza titolo estas "Pri la abundo de vivo ekstertera sekve de la trovaĵoj de la Kepler-misio" estis publikigita jam komence de decembro 2014 en la scienca ret-arkivo [4] kaj en la scienca revuo Galileo[5]. En prelegoj kadre de pluraj sesioj de la Internacia Vintra Universitato okazinta dum la Internacia Festivalo kaj Novjara Renkontiĝo en 2014-2017 en Germanio, Wandel prelegis pri la planedoj malkovritaj de la spacteleskopo Kepler, kaj prezentis popular-sciencan version de sia esploro. La esploro estis prezentita en internaciaj sciencaj konferencoj en Nov-Zelando, Havajo, Jerusalemo [6] kaj Vietnamio [15]. Recenzoj kaj reagoj aperis en pluraj internaciaj popularsciencaj novaĵ-portaloj. Skribas la populara scienca portalo Motherboard[7]: "Se troviĝas inteligenta vivo en la kosmo, ĝi probable ne estas proksima al ni, kaj ni ne povos atingi ĝin baldaŭ. Almenaŭ tio estas la konkludo de la astrobiologo [Amri Wandel] kiu, por la unua fojo en jardekoj, faris gravan ĝisdatigon al la ŝlosila formulo, la Drake-ekvacio, kiun sciencistoj uzas por serĉi vivon en la kosmo. [...] Uzante la novajn Kepler-datumojn, la astrobiologo Amri Wandel faris kalkulojn por taksi la abundecon de vivo-portantaj planedoj en nia angulo de la universo. La ekscita konkludo estas, ke troviĝas probable milionoj ĝis miliardoj da planedoj kun simpla vivo en la Lakta Vojo". Pliaj recenzoj pri la esploro aperis en la portaloj Engadget, ArXivnia *Blog kaj Hayadan*[8-10].

La Drake-ekvacio menciita en la recenzo estis proponita en 1961 de la usona astronomo Frank Drake, pioniro en la serĉado de inteligentaj radio-elsendoj de la kosmo por taksi la nombron de eksterteraj civilizacioj. Sciencistoj ofte kritikis la Drake-ekvacion pro tio, ke preskaŭ ĉiuj elementoj (parametroj) de la ekvacio ne estis konataj. En la nova esploro mi montras, ke la datumoj trovitaj per la Kepler-teleskopo ebligas pli fidindan takson de pluraj el tiuj parametroj, kiuj antaŭe ne estis konataj. La esploro estas rigora matematika analizo, kaj ne spekulacio pri la parametroj de la Drake-ekvacio, kiel estis pluraj antaŭaj diskutoj kaj tezoj pri tiu ĉi temo.



Diagramo de la probabla distanco al la plej proksimaj biologiaj najbaraj eksterplanedoj, depende de la valoro de la biologia parametro  $F_b$ , la probableco por evoluo de biologia vivo sur planedo kun taŭgaj kondiĉoj (laŭ la artikolo de Wandel [3,4]).

## 6. Niaj najbaroj: ĉu bakterioj kaj algoj aŭ evoluigintaj civilizacioj?

La esploro apartigas la demandon pri la ŝanco trovi planedojn kun simpla, primitiva vivo kiel bakterioj kaj algoj, disde la trovado de evoluiginta, kompleksa vivo, eventuale eĉ inteligenta vivo kaj teknologia civilizacio. La kialo de tiu divido estas simpla: surtere ekzistas vivo de jam 3,5 miliardoj da jaroj, sed dum 80% de tiu tempo temis pri ege primitivaj mikroskopaj estaĵoj, kiuj vivis en la oceanoj. Nur antaŭ ĉ. 600 milionoj da jaroj aperis kompleksa vivo, kaj nur antaŭ kelkaj jarcentoj aperis teknologia civilizacio. Sekve, la sciencistoj taksas, ke la plej abunda speco de vivo en la kosmo estas primitiva vivo, kaj inteligentaj civilizacioj estas multe pli maloftaj. Kvankam tiu nova esploro ne prezentas precizajn nombrojn, ĝi atingas surprizajn konkludojn: planedoj kun simplaj vivo-formoj kiel bakterioj ege abundas, kaj troviĝas verŝajne relative proksime al ni — en distanco de 10-100 lumjaroj, kio implicas, ke en nia galaksio troviĝas milionoj ĝis miliardoj da tiaj planedoj. En la proksima estonteco ni espereble povos konfirmi, ĉu troviĝas vivo sur tiuj planedoj, per spektra analizo de iliaj atmosferoj, helpe de la novaj teleskopo-projektoj TESS (serĉado de eksterplanedoj, planita ekfunkcii en la jaro 2018), JWST (6-metra spacteleskopo, 2018) kaj gigantaj teleskopoj surtere planitaj por la 20-aj. Se oni sukcesos tion fari por sufiĉe granda nombro da kandidatoj, eblos taksi la valoron de la plej interesa parametro en la ekvacio,  $F_b$ , la probablecon por evoluo de biologia vivo sur la planedo, kiu havas la taŭgajn kondiĉojn (nome konsisto kaj klimato sufiĉe similaj al tiuj de la Tero). Intertempe, la esploroj de Wandel ebligas taksi la distancon al la plej proksimaj biologiaj najbaraj ekster-planedoj, por ajna valoro de la (ankoraŭ nekonata) biologia parametro  $F_b$ , kiel montras la diagramo.

## 7. Inteligenta vivo kaj teknologiaj civilizacioj

Jam de preskaŭ ses jardekoj astronomoj provas malkovri radio-elsendojn de eksterteraj inteligentaj civilizacioj kadre de la projekto SETI (mallongigo de la angla traduko de “Serĉado de Ekster-Tera Inteligenteco”). Oni provas malkovri la radio-elsendojn de aliaj civilizacioj, kiuj uzas radion por komunikado same kiel ni, aŭ eĉ intence elsendas tiajn signalojn en la spacon por komuniki kun aliaj inteligentaj specoj. Por tio oni uzas grandajn radioteleskopojn, sed ĝis nun neniu inteligenta elsendo estis trovita inter la multaj signaloj de natura fonto. La elsendoj de civilizacioj estas verŝajne multe pli malfortaj ol tiuj de naturaj fontoj, kaj tial tre malfacile troveblaj. Pro tio tre gravas la distanco al tiuj eventualaj civilizacioj, ĉar la kapablo malkovri ilin dependas de kiom intensa estas la signalo, kiu malfortiĝas kiel la kvadrato de la distanco. Teknologiaj komuniko-kapablaj civilizacioj, se ili ekzistas, estas verŝajne multe malpli abundaj ol primitivaj biologiaj planedoj. Laŭ la ekvacio de Drake, la nombro de tiaj civilizacioj dependas de tri nekonataj faktoroj: aldone al la supre priskribita biologia parametro  $F_b$ , kiun oni eble sukcesos taksi en la proksima estonteco, estas ankoraŭ du parametroj, kiuj estas kaj verŝajne restos tute nekonataj: la probableco de inteligenteco kaj

komunikado — nome la ŝanco, ke sur biologia planedo evoluigos inteligenta specio, kaj ke ĝi havos la kapablon de interstela komunikado kaj la tipa daŭro de inteligenta komunika civilizacio. En la esploroj de Wandel [4] aperas diagramoj similaj al la ĉi-supra, kiuj montras la distancon al la plej proksimaj komunikaj civilizacioj, depende de la supozitaj valoroj de la Drake-parametroj. Laŭ tiuj esploroj, eĉ por la plej favoraj aŭ optimismaj valoroj de la Drake-parametroj la plej proksimaj civilizacioj, se ili ekzistas, verŝajne troviĝas je distanco de miloj da lumjaroj (aŭ pli), probable tro malproksime, por ke ni povu malkovri la radio-signalojn, kiujn tiuj civilizacioj eventuale elsendas.



Gigantaj antenoj de la projekto SETI en Nov-Meksiko, Usono

## Referencoj

- [1] “Marso - dezerto aŭ fluanta akvo?”, A.Wandel, Galileo, novembro 2015
- [2] Internacia Kongresa Universitato 2011, <http://www.eventoj.hu/steb/miksitaj/iku2011.pdf>
- [3] Wandel, A. 2015, International Journal of Astrobiology, 14, pp. 511-516.
- [4] Sciencaj artikoloj de A.Wandel pri la distanco al planedoj kun eventuala vivo: 2014 - <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1412/1412.1302.pdf>; 2016 - <https://arxiv.org/abs/1612.03844>.
- [5] “Vivo sur foraj planedoj”, A.Wandel, Galileo, junio 2015.
- [6] 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, oktobro 2015, <http://www.iac2015.org/congress/about/>.
- [7] Motherboard, [http://motherboard.vice.com/read/ alien-life-is-abundant](http://motherboard.vice.com/read/alien-life-is-abundant)
- [8] Engadget [http://www.engadget.com/2014/12/06/ wandel-kepler-research/](http://www.engadget.com/2014/12/06/wandel-kepler-research/).
- [9] ArXiv blog [https://medium.com/the-physics-arxivblog/ how-data-from-the-kepler-space-telescope-is-changing-the-drake-equation-cea9c7008bc1](https://medium.com/the-physics-arxivblog/how-data-from-the-kepler-space-telescope-is-changing-the-drake-equation-cea9c7008bc1)
- [10] Hayadan [http://www.hayadan.org.il/kepler-findings- 1712141](http://www.hayadan.org.il/kepler-findings-1712141).
- [11] Ondo de E-o, aprilo 2017 p.19
- [12] Amri Wandel on astrobiology and life in space [https://www.youtube.com/watch?v=zxz6\\_VR6Qu0](https://www.youtube.com/watch?v=zxz6_VR6Qu0)
- [13] Artikolo de A. Wandel en la scienca portalo [www.hayadan.org.il/are-there-life-on-proxima-centauri-b-2608161](http://www.hayadan.org.il/are-there-life-on-proxima-centauri-b-2608161), vidu ankaŭ la videon (angle) <https://www.youtube.com/watch?v=yR8HIDJsaHA&t=299s>
- [14] <https://tess.gsfc.nasa.gov/>

- [15] Prelego de A.Wandel en astrobiologia konferenco en Vietnamio  
<https://www.youtube.com/watch?v=gJaz6jim4vs>
- [16] [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/overview/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html)
- [17] <http://www.trappist.one/>