

ОД СУНЧЕВОГ СИСТЕМА ДО ГРАНИЦА ВАСИОНЕ

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

---

LECTURE SERIES

Book III

FROM THE SOLAR SYSTEM  
TO THE FRONTIERS  
OF THE UNIVERSE

Accepted at the 9<sup>th</sup> meeting of the Department of Mathematics,  
Physics and Geo-Sciences on December 23<sup>rd</sup>, 2016

Editor

Academician  
ZORAN KNEŽEVIĆ

BELGRADE 2017

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

---

ЦИКЛУС ПРЕДАВАЊА

Књига III

# ОД СУНЧЕВОГ СИСТЕМА ДО ГРАНИЦА ВАСИОНЕ

Примљено на IX скупу Одељења за математику,  
физику и гео-науке од 23. децембра 2016. године

Уредник

академик

ЗОРАН КНЕЖЕВИЋ

БЕОГРАД 2017

Издаје  
*Српска академија наука и уметности*  
Кнеза Михаила 35, Београд

Технички уредник  
*Мира Зебић*

Лектор и коректор  
*Снежана Крсчић-Букарица*

Тираж  
400

Штампа  
*Службени гласник*

САДРЖАЈ  
CONTENTS

*Предговор – Зоран Кнежевић*

Бојан Новаковић, *У нашем суседству: мала тела Сунчевог система* . . . . . 1  
Bojan Novaković, *In our neighborhood: small solar system bodies* . . . . . 14

Слободан Јанков, *Висока просторна резолуција: нови прозор  
за сагледавање тајни васионе* . . . . . 15  
Slobodan Jankov, *High spatial resolution: new window to view  
the secrets of the Universe* . . . . . 23

Оливера Латковић, *Шта се крије у светлости звезда?* . . . . . 25  
Olivera Latković, *What is hiding in the starlight?* . . . . . 39

Дејан Урошевић, *Остаци супернових: најмоћнији акцелератори  
у Галаксији* . . . . . 41  
Dejan Urošević, *Supernova remnants: the most powerful accelerators  
in the Galaxy* . . . . . 53

Лука Ч. Поповић, *Најсјајнији објекти у васиони: активна  
галактичка језгра и гама бљескови* . . . . . 55  
Luka Č. Popović, *The brightest objects in the Universe: active  
galactic nuclei and gamma ray bursts* . . . . . 65

Милан М. Ћирковић, *Симпсон, Кардашев и пола века еволуционог  
промишљања астробиологије и SETI пројеката* . . . . . 67  
Milan M. Ćirković, *Simpson, Kardashev and half a century  
of the evolutionary deliberation of astrobiology and SETI projects* . . . . . 75



## ПРЕДГОВОР

У склопу обележавања 175. годишњице свог континуитета, Српска академија наука и уметности је почев од 2016. године покренула неколико нових облика активности, с циљем успостављања боље комуникације с јавношћу и приближавања рада Академије и њених чланова широкој публици. Покретањем серије циклусних пројеката, од којих се сваки састоји од више предавања наших еминентних научника посвећених истраживањима у некој области науке присутној у Академији, жеља је била да се ове области представе кроз сагледавање њиховог садашњег стања и праваца будућег развоја у свету, али и са аспекта положаја и улоге наше науке у савременим научним токовима. Пројекте осмишљавају и припремају чланови Академије, а предавања се одржавају у њеним просторијама.

Припала ми је част да организујем други по реду циклусни пројекат у овој серији, „Од Сунчевог система до граница васионе”, посвећен астрономији. Идеја са којом сам ушао у овај захтевни подухват била је да се што целовитије и приступачније, али и без претераног поједностављивања, представе савремена астрономска истраживања у свету и код нас, да се сложени феномени физичког света који нас окружује и чији смо само мајушни део на разумљив начин представе радозналом посетиоцу. Пошли смо, стога, на пут од непосредног нам космичког суседства и стигли до најудаљенијих кутака васионе, чули смо одговор савремене науке на питања о томе како је настала наша планета Земља, а како васиона у целини, шта су звезде, далеке галаксије и други тајновити васионски становници, какви процеси се на њима одвијају, најзад, да ли смо сами у свемиру? На крају тог пута стоји овај зборник који са великим задовољством предајемо читаоцу.

Циклусни пројекат не било могуће организовати без драгоцене сарадње мојих колега са Астрономске опсерваторије у Београду и Катедре за астрономију Математичког факултета Универзитета у Београду, чија предавања у оквиру пројекта сте могли да чујете и чије прегледне радове можете да

## VIII

прочитате на страницама овог зборника. На томе им се Српска академија наука и уметности и ја најтоплије захваљујемо.

Београд, 23. фебруара 2017. године

Зоран Кнежевић



МИЛАН М. ЂИРКОВИЋ\*

## СИМПСОН, КАРДАШЕВ И ПОЛА ВЕКА ЕВОЛУЦИОНОГ ПРОМИШЉАЊА АСТРОБИОЛОГИЈЕ И SETI ПРОЈЕКТА

**А п с т р а к т.** – У светлу драматичне експанзије астробиологије као мултидисциплинарне области која се бави животом у његовом најширем космичком контексту, од великог когнитивног и историјског интереса је размотрити значај неодарвинистичке еволуционе синтезе за савремене астробиолошке истраживачке програме. Пре око пола века, еволуциониста и палеонтолог Џорџ Гејлорд Симпсон и астрофизичар Николај Семјонович Кардашев су, сваки са своје стране и из специфичне перспективе, објавили епохалне радове на тему потраге за животом и разумом ван Земље. Њихови закључци, мада дијаметрално супротни, одиграли су огромну историјску улогу у развоју онога што ће постати астробиологија и SETI студије, као и у самом начину мишљења о овим епохалним цивилизацијским питањима са којима се човечанство суочава. Кључна заједничка тачка и за Симпсона и за Кардашева јесте проблем универзалности еволуционих механизма посматраних у контексту земаљске биосфере. У овом раду скицираћу у којој мери развој астробиологије у последњих десетак година баца сасвим ново светло на класичне закључке Симпсона и Кардашева и на који начин њихови аргументи, правилно протумачени, пружају разлог за оптимизам у погледу одговора на квинтесенцијално питање: *јесмо ли сами у свемиру?*

„Ако желите да направите питу са јабукама, морате прво сачинити универзум.“

Карл Сеган, *Cosmos*

---

\* Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11000 Београд, Србија, e-mail: mckirkovic@aob.rs.

## УВОД

Бројне контроверзе у вези са улогом и значајем теорије еволуције у астробиолошком контексту су, наизглед парадоксално, далеко старије од појаве саме астробиологије као дисциплине. Ако се о потоњој може говорити у правом смислу тек након 1995. године и почетка епохе масовног откривања екстрасоларних планета, еволуциона перспектива датира из 1903. са појавом књиге суоткривача теорије биолошке еволуције Алфреда Расела Валаса под насловом *Man's place in the Universe* (Wallace 1903). Четири године касније, Валас је покушао да исту методологију примени на – у то доба баш као и данас! – контроверзну тему живота на Марсу (Wallace 1907). Валасов покушај није био претерано успешан, али је тај приступ потенцијално изузетно плодан и може се препознати у многим савременим дискусијама на тему живота у најширем космичком контексту. Утицај астробиолошке револуције од 1995. наомамо довољно се проширио и разгранао да је свест о потреби постојања засебне филозофске дисциплине – филозофије астробиологије – нарасла последњих година. Питања попут оних да ли је земаљска биосфера типична или не, да ли су еволуциони механизми истински универзални на исти начин на који су то и закони физике, те да ли су еволуционе трајекторије интелигентних врста дивергентне или имају атракторе у одговарајућем простору параметара, представљају сасвим нову врсту питања. Тај ред питања излази из оквира „убичајених“ за конвенционалну филозофију биологије на једној и филозофију физике (укључујући астрофизику и космологију) на другој страни. Стога је појава још једне филозофске и методолошке дисциплине природна и корисна (Ćirković 2012; Dunér et al. 2013). У преосталом делу овог текста покушаћу да осветлим контраст између два погледа – или визије – оквира за одговарање на ова питања, оквира насталих пре око пола века, али који постају све актуелнији последњих година.

Ма како велики био отпор конзервативних кругова, јасно је да смо након 1995. године начинили огромне кораке у правцу разумевања живота у његовом најширем, космичком контексту, па и проналажења живота ван Земље. Насупрот наивном популистичком разумевању открића, оно у реалној науци и њеној историји никада није комплетно бинарно, да или не, 0 или 1. Чак и она открића за која би нам се чинило да су најконкретнија и најодређенија могућа – нпр. Хершелово откриће планете Уран 1781/82. године – заправо су врло комплексни догађаји у којима постоји коначни период времена у којем није постојао консензус чак ни најуже стручне јавности шта се заправо десило (Schaffer 1986). Утолико пре се то мора односити и на она открића код којих имамо знатно слабији увид у саму проблемску ситуацију, као што би свакако било откриће трагова живота и/или разумног живота ван Земље.

Почетком 1960-тих година, не само што је реализован Пројекат *Ozma*, прва емпиријска потрага за радио сигнаlima ванземаљског интелигентног порекла (односно прва посматрачка SETI активност), већ су се појавила и два кључна елемента за све потоње SETI студије: (1) увиђање централног значаја теорије биолошке еволуције за сва промишљања живота и разума ван Земље,

те (2) екстензија културних и технолошких трендова на ниво макроинжењеринга/астроинжењеринга, те њихова класификација. Највећим делом ово је везано за епохалне радове америчког еволуционисте и палеонтолога Џорџа Гејлорда Симпсона (George Gaylord Simpson, 1902–1984) и совјетског/руског астрофизичара и космолога Николаја Семјоновича Кардашева (Николай Семёнович Кардашёв, 1932–).<sup>1</sup> У даљем тексту покушаћу да кроз њихове респективне визије положаја живота и разума у свемиру предочим неке од кључних поука које смо извукли, као и истраживачке програме за будућност.

## СИМПСОНОВ АРГУМЕНТ И ВИЗИЈА

Симпсонов аргумент данас посматрамо у сасвим другачијем светлу, чему доприноси сам контекст на којем је Симпсон инсистирао. Насупрот ситуацији почетком 1960-тих година, данас знамо да готово извесно постоје милијарде планета у Млечном путу: „Хипотеза да ~100% звезда поседују планете сагласна је и са посматраним егзопланетским подацима и са учестаношћу циркумстеларних дискова код појединачних и бинарних звезда... Ако је удео звезда налик Сунцу које поседују планете репрезентативан, наши резултати значе да у Галаксији постоји између ~75 и ~300 милијарди планетских система.“ (Lineweaver and Grether 2003). Међу њима су многе сличне Земљи (нпр. Petigura, Howard, and Marcy 2013), макар по физичким и геолошким карактеристикама. Да ли су сличне и по биохемијским и биолошким особинама остаје отворено питање, мада Коперниканско начело сугерише да би то морао бити случај. Симпсон овога није могао бити свестан када је писао свој чувени и контроверзни текст *The nonprevalence of humanoids* 1964. године. Његов аргумент базира се на свеprisутној еволуционој контингенцији – сасвим мале и случајне разлике у почетним условима доводе до драматичне разлике у исходу еволуције кроз време. Због контингенције, еволуција је суштински непредвидљива, на Земљи и било где другде у свемиру. Хомо сапиенс је производ 3,8 милијарди година еволуције и дугачког ланца контингентних догађаја, тако да је вероватноћа да таква трајекторија буде поновљена било где другде са довољним степеном сличности („хуманоиди“ из наслова Симпсонове студије) занемарљива. Стога су, према Симпсону, наши SETI напори узалудни.

Ово је претерано поједностављење, али адекватно преноси песимистички тон Симпсонове визије. У детаљнијој форми, он развија једну врсту протоаргумента „ретке Земље“ (Ward and Brownlee 2000), у којем неколико појединачних маловероватних захтева које еволуција хуманоида мора да задовољи својом коњункцијом производе екстремно маловероватан исход. Као и каснија реиздања, овај аргумент делује на први поглед убедљиво; тек

<sup>1</sup> У овом тексту користим у српском језику одомаћену транскрипцију имена руског/совјетског научника као „Кардашев“, мада би строго говорећи исправније било „Кардашов“.

кад размотримо финије детаље (колико је интелигенција адаптивна? У којој мери су трендови као што је повећање квоцијента енцефализације кроз филогенетску историју животиња на Земљи одиста универзални? Колико смо сигурни да су сви захтеви међусобно независни?) примећујемо да је и другачији наратив могућ.

Као што смо аргументовали у скорашњој студији, Симпсонов аргумент је у нескладу и са развитком планетарне астрономије и са модернијим погледима на еволуцију заснованим како на контингенцији, тако и на конвергенцији (Ćirković 2014). Присуство селекционих ефеката у фосилном запису чини да се учестаност и значај поновљених еволуционих иновација драматично потцењује (Vermeij 2006). Регуларности које намеће физика на једној и економија (довољно општесхваћена) на другој страни, обликују јасне канале којима се једино може кретати струја еволуционих промена. Другим речима, ма колико био случајан ход микроеволуције, на плану макроеволуционих режима физичке и економске законитости омогућују нам да повратимо један део предвидљивости. Конвергенција је данас далеко присутнија у еволуционој биологији него што је то била у Симпсоново доба – и то није могло да нема драматичне последице по астробиологију (Conway Morris 2003).

## КАРДАШЕВЉЕВА СКАЛА И ИМПЛИЦИТНА ВИЗИЈА

Кардашевљева скала (Kardashev 1964) представља пионирски покушај да се SETI студијама да јасан еволуциони оквир који би носио са собом и врло практичне последице по методологију и врсту посматрачких потрага. Детаљнији преглед различитих аспеката Кардашевљеве скале може се пронаћи у скорашњој прегледној студији аутора (Ćirković 2015). Овде ћемо се сконцентрисати на њен еволуциони карактер и визију која је у њој имплицитна.

У свом раду *Предача информацији веземњими цивилизацијама*, Кардашев полази од питања колика је енергија коју било која интелигентна технолошка цивилизација може да издвоји у виду потенцијално детектабилних емисија и природно је повезује са укупном количином енергије којом та цивилизација располаже на задатом степену свог развоја. Хијерархијска расподела материје у свемиру којом управља гравитациона сила природно наводи на степене

матична планета → матични планетски систем → матична галаксија.

Испоставља се да постоји око 10 редова величине разлике између количина енергије расположивих, у просеку, на сваком од ових нивоа хијерархије. Стога су три основна степена на Кардашевљевој скали обично дефинисана са:

**Тип 1:** цивилизација која манипулише енергетским ресурсима матичне планете ( $P \sim 10^{16} \text{ W}$ ).

**Тип 2:** цивилизација која манипулише енергетским ресурсима матичног планетског система ( $P \sim 10^{26} \text{ W}$ ).

**Тип 3:** цивилизација која манипулише енергетским ресурсима матичне галаксије ( $P \sim 10^{36} \text{ W}$ ).

Наравно, бројна уопштавања и проширења Кардашевљеве скале су могућа и уистину су била предложена. Међутим, централни значај скале огледа се у њеној еволуционој утемељености која није у довољној мери промишљена ни до данас. Кардашев је, као и већина „отаца оснивача“ SETI пројеката (као што су Дрејк, Папагианис, Морисон, Сеган и Шкловски), доживљавао конкретне пројекте потраге као средства за верификацију претпоставки о биолошкој и културној еволуцији разумних бића у најопштијем космичком контексту. Заправо, у питању су само две подврсте јединственог еволуционог процеса. Управо у том смислу је могуће говорити о хомо сапиенсу као цивилизацији Кардашевљевог типа 0.72 (у 2012. години) и дискутовати будућност човечанства у терминима Кардашевљеве скале.

На самом крају свог рада, Кардашев је понудио следећу оцену: „Откриће чак и најједноставнијих организама на Марсу би веома увећало вероватноћу да многе цивилизације Типа 2 постоје у Галаксији.“ Импликација је да постоји суштински еволуциони континуитет између различитих облика организације материје високе комплексности. Због одржања енергије је јасно да су виши Кардашевљеви типови детектабилни, макар у начелу, кроз наша SETI посматрања – међутим, нема принципијелних разлога због којих се скала не би могла продужити наниже на примитивна технолошка друштва (попут нашег), па чак и на прединтелигентне облике живота.

Чињеница да је Кардашевљева скала остала изузетно корисно оруђе у разврставању приоритета и у размишљању о еволуционим трајекторијама напредних друштава више од пола века након оригиналне формулације, не треба да нас превише зачуди. На крају крајева, чињеница је да потрошња енергије и са њом повезани енергетски проблеми већ данас представљају један од важнијих, ако не и најважнији генератор светских политичких и друштвених збивања, али и мотивацију за велике инжењерске и технолошке продоре. Астробиолошка визија имплицитна у Кардашевљевој скали нам омогућује да макар грубо квантификујемо интуицију која нам говори да су „напреднији“ облици живота они који више утичу на своју природну околину. Обзиром да су енергетски ресурси нужно адитивни, док је детектабилност суперадитивна (Ćirković 2015), нужно произлази да су цивилизације виших Кардашевљевих типова лакше за детекцију, па према томе и боље мете SETI пројеката, од оних са нижим, чак и ако се већа бројност потоњих узме у обзир. Ово је једна од кључних практичних последица Кардашевљеве визије.

## ПРАВЦИ ИСТРАЖИВАЊА НА ХОРИЗОНТУ

Оно чему присуствујемо током последње две деценије јесте драматична реевалуација улоге теорије еволуције у нашем сагледавању универзума – ово се не односи само на астробиологију, премда је у контексту астробиологије свакако веома уочљиво.<sup>2</sup> Може се тврдити да је еволуциони поглед

<sup>2</sup> За неке друге примере видети нпр. Chaisson (2001); Gardner (2007).

на свет у пуној експанзији и ван стриктно биолошких дисциплина – помало парадоксално ако се узме у обзир и навала креациониста, заговорника тзв. „интелигентног” дизајна и других псеудо- и антинаучника непријатељски настројених према Дарвиновој теорији. Парадокс нестаје кад се фактор научне неписмености – која је у многим крајевима света, попут Србије – добила готово катаклизмичке размере узме у обзир. Интелигентни дизајн и креационистичка пропаганда бујају на нашем тлу, које је претходно већ довољно затрпано различитим псеудонаучним и антинаучним теоријама завере, сујеверјем, верским фанатизмом и огорченим отпором који огроман део јавности пружа тековинама просветитељства. Међутим, у самом истраживачком контексту то срећом није оставило превише трагова, иако је врло оправдано бити забринут за будућност, нарочито у контексту непрекидних притисака на финансирање основних наука.

Куда можемо поћи одавде? Много потенцијалних истраживачких програма засновано је, на директнији или мање директан начин, на стваралачком дијалогу између сучељених визија Симпсона и Кардашева. Овде ћу дати само неколико примера. У покушају да превазиђемо ограничења досадашњих SETI пројеката и методологије иза њих, а директно мотивисан овде скицираним визијама Симпсона и Кардашева, аутор је са сарадницима предложио концепт Дајсоновских SETI студија као алтернативу SETI ортодоксији (Bradbury, Ćirković and Dvorsky 2011). Овај концепт спаја идеје контингентног морфолошког простора садржане у Симпсоновој визији са практичним концептом потраге за траговима и манифестацијама потрошње енергије која има своје конкретно место на Кардашевљевој скали. Мада разрада самог концепта тек предстоји, охрабрујуће је што је он сразмерно брзо постао окосница не само теоријских већ и посматрачких студија (нпр. Zackrisson et al. 2015).

Нумеричке симулације како галактичке настањиве зоне (Forgan and Rice 2010; Gowanlock, Patton and McConnell 2011; Dayal et al. 2015; Vukotić et al. 2016), тако и потенцијалних SETI мета (Vukotić and Ćirković 2012; Hair and Hedman 2013; Morrison and Gowanlock 2015), представљају сам зачетак једног тренда који има све изгледе да се рашири и интензивира у будућности. Модерни нумерички експерименти су у могућности да нам понуде најразноврсније варијације на тему настањивости на нивоу од појединачних планетских система, чији се параметри могу подешавати на много начина, преко галактичких настањивих зона, до питања космолошког карактера и сагласности вредности фундаменталних константи и космолошких параметара са настањивошћу. Коначно, екстензија Кардашевљеве визије на космолошки ниво представља могућност о којој се по први пут одскора почело озбиљније дискутовати (Olson 2015). О ширим филозофским последицама ових резултата на наше разумевање места разума у најширем космичком окружењу тек ће се много расправљати. Суштински – чак и ако то није било експлицирано – овај сукоб визија већ је резултовао изузетно богатим и плодноним размишљањима која се не односе само на астробиологију и SETI студије, већ обухватају и далеко шири спектар области у домену еволуционе теорије, филозофије биологије, студија будућности и слично.

## УМЕСТО ЗАКЉУЧКА: КОНФЛИКТ ВИЗИЈА КАО УСПЕШНА ПРОВОКАЦИЈА

Визије Симпсона и Кардашева су, дакле, итекако данас живе и управо на тензији између њих израња динамика која карактерише новију астробиологију, па и филозофију наука о животу. Нове генерације посматрачких и експерименталних налаза, нове теоријске и нумеричке технике на одређени начин само дају подстрека једном или другом скупу идеја. Али ову ситуацију не треба посматрати негативно. Напротив: конфликт различитих еволутивних визија места живота и разума у универзуму представља природно поље на коме расту нове и плодотворне хипотезе и на којем се једино може уобличити истинска астробиолошка теорија: јединствени натуралистички оквир за објашњење како нашег, тако и положаја било које друге биосфере или ноосфере у свемиру. Цела та динамика конфликта је изузетно стваралачка, провокативна (у најбољем поперовском схватању те речи) и продуктивна, те се може очекивати да ће се наставити и убудуће. Једино у светлу тог процеса можемо да се дефинитивно ослободимо нелагоде коју је најснажније изразио Блез Паскал у своје две чувене изјаве: *Пуштање ових бесконачних њросџора ме ужасава*, као и чувеном узвику: *Колико краљевсџава не знају за нас!*

### ЛИТЕРАТУРА

- Bradbury, R. J., Ćirković, M. M., Dvorsky, G. 2011, "Considerations for a Dysonian Approach to SETI: A Fruitful Middle Ground?" *Journal of the British Interplanetary Society* **64**, 156–165.
- Chaisson, E. J. 2001, *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature* (Harvard University Press, Cambridge).
- Ćirković, M. M. 2012, *The Astrobiological Landscape: Philosophical Foundations of the Study of Cosmic Life* (Cambridge University Press, Cambridge).
- Ćirković, M. M. 2013, "Who are the SETI skeptics?" *Acta Astronautica* **89**, 38–45.
- Ćirković, M. M. 2014, "Evolutionary contingency and SETI revisited", *Biology and Philosophy* **29**, 539–557.
- Ćirković, M. M. 2015, "Kardashev's Classification at 50+: A Fine Vehicle with Room for Improvement", *Serbian Astronomical Journal* **191**, 1–15.
- Ćirković M. M., Vukotić, B. 2008, "Astrobiological Phase Transition: Towards Resolution of Fermi's Paradox", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* **38**, 535–547.
- Conway Morris, S. 2003, *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe* (Cambridge University Press, Cambridge).
- Dayal, P., Cockell, C., Rice, K., Mazumdar, A. 2015, "The Quest for Cradles of Life: Using the Fundamental Metallicity Relation to Hunt for the Most Habitable Type of Galaxy", *The Astrophysical Journal Letters* **810**, article id. L2, (5pp).
- Dunér, D., Parthemore, J., Persson, E., Holmberg, G. 2013, *The History and Philosophy of Astrobiology: Perspectives on Extraterrestrial Life and the Human Mind* (Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne).

- Forgan, D. H., Rice, K. 2010, "Numerical testing of the Rare Earth Hypothesis using Monte Carlo realization techniques", *International Journal of Astrobiology* **9**, 73–80.
- Gardner, J. N. 2007, *The Intelligent Universe: AI, ET, and the Emerging Mind of the Cosmos* (New Page Books, Pompton Plains, NJ).
- Gowanlock, M. G., Patton, D. R., McConnell, S. M. 2011, "A Model of Habitability Within the Milky Way Galaxy", *Astrobiology* **11**, 855–873.
- Hair, T. W., Hedman, A. D. 2013, "Spatial dispersion of interstellar civilizations: a probabilistic site percolation model in three dimensions", *International Journal of Astrobiology* **12**, 45–52.
- Kardashev, N. S. 1964, "Transmission of information by extraterrestrial civilizations", *Sov. Astron.* **8**, 217–220.
- Lineweaver, C. H., Grether, D. 2003, "What Fraction of Sun-like Stars Have Planets?" *The Astrophysical Journal* **598**, 1350–1360.
- Mayr, E. 1993, "The search for intelligence", *Science* **259**, 1522–1523.
- Morrison, I. S., Gowanlock, M. G. 2015, "Extending Galactic Habitable Zone Modeling to Include the Emergence of Intelligent Life", *Astrobiology* **15**, 683–696.
- Olson, S. J. 2015, "Homogeneous cosmology with aggressively expanding civilizations", *Class. Quantum Grav.* **32**, 215025 (24pp).
- Petigura, E. A., Howard, A. W., Marcy, G. W. 2013, "Prevalence of Earth-size planets orbiting Sun-like stars", *Proceedings of the National Academy of Science* **110**, 19273–19278.
- Schaffer, S. 1986, "Scientific Discoveries and the End of Natural Philosophy", *Social Studies of Science* **16**, 387–420.
- Simpson, G. G. 1964, "The nonprevalence of humanoids", *Science* **143**, 769–775.
- Vermeij, G. J. 2006, "Historical contingency and the purported uniqueness of evolutionary innovations", *PNAS* **103**, 1804–1809.
- Vukotić, B., Ćirković, M. M. 2012, "Astrobiological Complexity with Probabilistic Cellular Automata", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* **42**, 347–371.
- Vukotić, B., Steinhauser, D., Martinez-Aviles, G., Ćirković, M. M., Micic, M., Schindler, S. 2016, "'Grandeur in this view of life': N-body simulation models of the Galactic habitable zone", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **459**, 3512–3524.
- Wallace, A. R. 1903, *Man's Place in the Universe; A Study of the Results of Scientific Research in Relation to the Unity or Plurality of Worlds* (Chapman & Hall, London).
- Wallace, A. R. 1907 *Is Mars Habitable? A Critical Examination of Professor Percival Lowell's Book 'Mars and Its Canals', With an Alternative Explanation* (Macmillan & Co., Ltd., London).
- Ward, P. D., Brownlee, D. 2000, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (Springer, New York).
- Zackrisson, E., Calissendorff, P., Asadi, S., Nyholm, A. 2015, "Extragalactic SETI: The Tully-Fisher Relation as a Probe of Dysonian Astroengineering in Disk Galaxies", *The Astrophysical Journal* **810**, article id. 23 (12 pp).



*Milan M. Ćirković*

SIMPSON, KARDASHEV AND HALF A CENTURY OF THE  
EVOLUTIONARY DELIBERATION OF ASTROBIOLOGY AND SETI  
PROJECTS

S u m m a r y

In the light of dramatic expansion of the astrobiology as a multidisciplinary field dealing with life in its widest cosmic context, it is of great cognitive and historical interest to consider the importance of the neodarwinistic evolutionary synthesis for contemporary astrobiological research programs. About half a century ago, the evolutionist and paleontologist George Gaylord Simpson and astrophysicist Nikolai Semionovich Kardashev, each from its own side and a specific perspective, published epochal papers on the search for life and sentience beyond Earth. Their conclusions, even if diametrically opposite, have played a tremendous historical rôle in the development of what is later to become astrobiology and SETI studies, as well as in the very thinking of these epochal civilizational questions which humanity faces. The key common point for both, Simpson and Kardashev, is the problem of the universality of evolutionary mechanisms observed in the context of the terrestrial biosphere. In this text, I shall sketch to which extent the development of astrobiology in the last decade sheds an entirely new light to classical conclusions of Simpson and Kardashev, and in which sense their arguments, interpreted correctly, provide a reason for optimism regarding the answer to the quintessential question: *Are we alone in the Universe?*