

## ПРИКАЗ УНИВЕРЗИТЕТСКОГ УЏБЕНИКА АСТРОБИОЛОГИЈА

МИЛАН С. ДИМИТРИЈЕВИЋ<sup>1</sup>, НАДЕЖДА ПЕЈОВИЋ<sup>2</sup> и  
АНЂЕЛКА КОВАЧЕВИЋ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11160 Београд, Србија*  
E-mail: mdimitrijevic@aob.rs

<sup>2</sup>*Катедра за астрономију, Математички факултет, Универзитет у  
Београду, Студентски трг 16, 11000 Београд*  
E-mail: nada@matf.bg.ac.rs, andjelka@matf.bg.ac.rs

**Резиме:** Како је живот настао? Да ли постоји још негде у Космосу и да ли је у интелигентном облику? Ова основна питања су дуго времена била у домену филозофије, међутим током неколико претходних деценија наука је почела озбиљно да се бави њима. Та нова научна дисциплина најпре је била названа егзобиологија, а тек релативно скоро је ушао у употребу назив астробиологија. Књига *Астробиологија*, аутора Анђелке Ковачевић је први уџбеник из ове области на Универзитету у Београду. На једном месту су претстављени најновији резултати космичких истраживања, а исто тако и биолошких истраживања која се дотичу саме суштине живота и његовог настанка. Зато овај уџбеник није од интереса само за студенте астрономије и астрофизике, већ и за студенте биологије и хемије, али и било ког општеобразованог читаоца кога занимају основна питања које смо навели. Књига прати прецизно програм предмета Увод у астробиологију и Астробиологија на Математичком факултету. Овде је укратко представљен њен садржај.

**Кључне речи:** Астробиологија, уџбеници

### 1. УВОД

Како је живот настао? Да ли постоји још негде у Космосу и да ли је у интелигентном облику? Ова основна питања су дуго времена била у домену филозофије, међутим током неколико претходних деценија наука је почела озбиљно да се бави њима. Та нова научна дисциплина најпре је била названа егзобиологија, а тек релативно скоро је ушао у употребу назив астробиологија.

Егзобиологија као наука је рођена средином двадесетог века и то баш у тренутку полета свемирских истраживања. Односила се на могућност живота ван Земље, тему која је од посебног инетреса била научницима у НАСА, који су планирали 1976. године мисију "Викинг" ка Марсу. Они су конструисали инструменте за 'детекцију живота', односно за налажење доказа постојања основних биолошких процеса као што је метаболизам или респирација у површинском тлу ове планете. Међутим, неуспех ове мисије да нађе такав доказ, учинио је да многи окаркаторишу егзобиологију као науку без субјекта истраживања.

Астробиологија као назив научне дисциплине је усвојен у НАСА средином деведестих година прошлог века. Али, у много ширем смислу мултидисциплинарног изучавања живота у Универзуму, укључујући и на нашој планети. Иако још увек мотивисана потрагом за настањивим окружењима и доказима другде, она препознаје да такође морамо истражити настанак и еволуцију живота на нашој планети. Тренутно, живот на Земљи је једини за који знамо у Космосу, тако да је наше разумевање живота, као и очекивање његове појаве другде, засновано и ограничено тиме.

Многи астробиолози изучавају микробне терестријалне форме и окружења у којима живе. Микроби су били једине форме на Земљи током њених првих две милијарде година. У одређеном смислу (као што је енергетски баланс, атмосферска хемија, маса) они доминирају на нашој планети. Од посебног интереса су екстремофили, микроби који живе у условима који су екстремни у смислу опсега температура, салинитета, киселости, па чак и на местима токсичног отпада и расхладних система нуклеарних реактора.

Такође смо сведоци спектакуларних помака у истраживањима потенцијалних станишта на другим световима. Скорашње мисије су откриле богату геолошку историју Марса, који је готово сигурно имао периоде повољнијег климата и екстензивне течне воде на површини. Затим су откривени океани течне воде на Јупитеровом месецу Европи и Сатурновом Енцеладу, као и значајни хидролошки циклус на леденом Титану, где су мора од угљоводоника а тло од леда. Можда најупечатљивији моменат је да је свемирски телескоп "Кеплер" открио неколико хиљада егзоплана које се крећу око других звезда. Статистичка анализа ових података указује да постоји најмање четрдесет милијарди планетарних система у нашој Галаксији.

Предмет Астробиологија је уведен на докторским студијама Катедре за астрономију пре пет година, чиме се Математички факултет уврстио међу светске универзитете на којима се овај предмет предаје од 2000. године.

Према поновној акредитацији из 2015. године уведен је као изборни предмет и на основним и на мастер студијама астрономије.

Анђелка Ковачевић непрекидно и успешно предаје Астробиологију од 2012. године на докторским и на међународним мастер студијама у оквиру интернационалног пројекта Астромундус који је акредитован и на нашем

факултету. Због свега наведеног, било је неопходно штампање уџбеника из ове области на Универзитету у Београду. Оваква књига је актуелна и за студенте биологије и хемије који би се желели припремати за упис и студирати на мастер студијама на Катедри за астрономију, а један такав пример студента биологије већ постоји, при чему је Анђелка Ковачевић била ментор за мастер рад из астробиологије.

**Anđelka B. Kovačević**

# **ASTROBIOLOGIJA**

**MATEMATIČKI FAKULTET  
UNIVERZITET U BEOGRADU  
SRBIJA  
2016**

**Слика 1:** Корица уџбеника Астробиологија. Минимализам дизајна је још више појачан употребом потпуно беле палете. Тиме је истакнута подложност променама наших досадашњих астробиолошка сазнања, а која су описана у књизи.

Књига покрива широк опсег тема, као што је потребно за увод у мултидисциплинарну науку. Веома је добро организована и има кохерентну архитектуру која се састоји од 347 страна у 12 поглавља, изузетно добро је илустрована са 74 слике (готово на сваке 4 стране долази по једна), и изванредно поткрепљен нумерички са 21 табелом. Овај уџбеник је штампан у

јулу 2016. године као издање Математичког факултета Универзитета у Београду. Књига има неколико специфичности, које је издвајају од осталих на ту тему.

## 2. СПЕЦИФИЧНОСТИ УЦБЕНИКА

Прва специфичност се огледа у томе да уопште није лако унифицирати мултидисциплинарно поље и претставити га студентима основних и мастер студија, а што је учињено у овом раду. Он даје студентима оба нивоа студија чврсте темље основних концепата астрофизике, хемије, биологије како би могли да постигну заокружено знање о настанку живота, планетарној еволуцији и развоју живота у космосу, и то све кроз изузетан интензитет употребе математичких и физичких апарата.

**ASTROBIOLOGIJA**  
Prvo izdanje

Izdavač: Matematički fakultet, Univerziteta u Beogradu, Studentski trg 16, Beograd  
www.matf.bg.ac.rs

Za izdavača: prof. dr Zoran Rakić

Izdavački odbor: Prof. dr Miloš Arsenović, predsednik  
Prof. dr Mirjana Đorić  
Prof. dr Olga Atanacković  
Prof. dr Predrag Jančić  
Prof. dr Zoran Petrović

Recenzenti: Prof. dr Nadežda Pejović  
Naučni savetnik Milan S. Dimitrijević

Obrada teksta: autor  
Lektura: Zorica Marković  
Crteži: autor  
Štampa i povez: Donat graf, Vučka Milićevića 29, Beograd  
Tiraž: 100 primeraka

CIP – Каталогизација у публикацији – Народна библиотека Србије, Београд 573.5 524.8-37 577.3 КОВАЧЕВИЋ, Анђелка Б., 1972- Astrobiologija/ Andelka B. Kovačević. - Beograd : Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, 2016 (Beograd : Donat graf). - XII, 347 стр. : ilustr.; 24 cm Tiraž 100. - Bibliografija uz svako poglavlje. ISBN 978-86-7589-109-3 a) Астробиологија COBISS.SR-ID 224562444
---

© 2016. МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ  
Ovo delo se ne sme umnožavati, fotokopirati i na bilo koji način reprodukovati,  
u celini niti u delovima, bez pismenog odobrenja izdavaču.  
ISBN 978-86-7589-109-3

**Слика 2:** Импресум страна уџбеника Астробиологија.

Следећа посебност је да је после сваког поглавља дата исцрпна литература што је реткост у писању уџбеника, а која даје студентима могућност да интегришу информације из огромног броја дисциплина које сачињавају астробиологију. На пример, у датој литератури се налазе и веома ретке референце као Лафлеров чланак из 1941. године у коме се реч астробиологија по први пут помиње у једном научном раду, па све до најновијих референци из 2015. године везаних за открића необичних планетарних система.

Надаље, аутор је сам направио већину слика. Издвојићемо неке од њих: мапа заступљености органског једињења формамид у међузвезданим облацима, а која је претстављена у галактоцентричним координатама које се ретко приказују у астрономским уџбеницима, затим триангулисани модел сфере којом је претстављена т'Хофтова холографска граница Универзума.

Још једна посебност ове књиге је да не само једноставно даје чињенице, већ излаже неколико гледишта - најчешће супротстављених, на одређене теме, нпр. као што је антропички принцип, коме је супротстављен појам максималне ентропије, затим појам настањивости наспрам кога су изложене особине воде које су неповољне за биохемију, као и екстремофили међу које су убројани и сви аеробни организми укључујући и хоминиде, чиме је изазван класичан поглед да су оксидативни процеси веома повољни за развој живота.

Следећа посебност је да је писана тако да одсликава Дрејкову једначину, тј. она следи њене параметре као једну од могућих путања у фазном простору свих могућих параметра неопходних за настанак живота у нашем универзуму, а који су одређени тренутним степеном развоја науке.

Такође издвајамо као посебност излагање и латинских назива различитих животних форми и процеса чиме је постигнуто да студент, осим што изучава са становишта природних наука ову област, такође учи и један нови језик - латински - који је кроз векове, поред грчког - симбол академије и академског образовања.

У књизи су дати радна дефиниција живота, описан његов настанак и развој на нашој планети, преглед масовних изумирања као и могућности постојања живота још негде у нашем планетарном систему.

Осим тога, дат је критички осврт на могућност да живот опстане у свемиру, и описане су промене у земаљској биосфери изазване људском цивилизацијом. Надаље се разматрају концепти интелигентног живота и методе детекције екстрасоларних планета.

### 3. ДЕТАЉАН ОПИС УЏБЕНИКА

Читаоц се уводи у астробиологију кроз низ примера помака у нашим сазнањима од старе Грчке па све до данас, истичући да могући одговори на постојање живота ван Земље долазе из два правца: напретка и разумевања физичких предуслова за развој живота као и из разумевања првих настањивих

светова. Садашњост ове младе дисциплине, обележена је као доба развоја астробиологије која покушава да одговори на три канонска питања од пресудне важности за људску цивилизацију:

Како је почео живот на Земљи; Да ли има система као што је Сунчев и да ли има планета као што је Земља; тј. каква је будућност живота на Земљи и у свемиру?

У књизи се даје веома интересантан преглед одговора на ова питања, од везаних за нове пробоје у биоинжењерству, преко веома опрезних, што нас упозоравају да не будемо заслепљени геоцентризмом у нашим истраживањима, па све до оних који упућују на утврђивање како се екосистеми могу развијати на временским скалама које одговарају значајним за људски опстанак. Аутор изванредно примећује да је одговор на треће питање заправо круна науке уопште.

Такође материјал књиге веома детаљно рашчлањава историјски концепт астробиологије као науке, али и саме речи, чиме се на веома специфичан начин осветљавају њени корени. Писац књиге је научне дебате илустровао мишљењима великих астронома и биолога са половине прошлог века о овој науци, која су била опречна и често истицала контрверзу њеног посотојања.

Веома ретко се у литератури може срести поређење методологије истраживања две науке, а поготову астрономије и биологије. Аутор успева да спретно истакне где се ове дисциплине преплићу, а где разилазе у мултидисциплинарној астробиологији.

Надаље, повезане су револуције у пет научних дисциплина које су стубови астробиологије: астрономији, хемији, геологији, биологији и физици. Да би ово извео аутор полази од чувене књиге Структура научних револуција Томаса Куна, која је имала прво издање 1962. године. На тај начин студенти добијају општу представу о томе како тече развој науке уопште, уз примере из астрономије као што је развој Њутнове теорије гравитације, па све до веома интересантног описа кризе у космологији током седамдесетих година прошлог века, када су многи велики начуници као Ханс Алфвен и Фред Хојл били против Теорије великог праска. Читаоцима се објашњава да је Стандардни модел за модерну космологију великог праска, који је увео физичар Вајнберг, заправо заједничка платформа за дискусију а не догма. Овим се објашњава да постоји идеја консензуса - договора у науци у ком смеру теку истраживања, а никако догми. Такође је истакнута интеракција између физике и хемије која ће јасно кулминирати у наредним поглављима.

Веома интересантно, и што није уобичајено за овакав курс, аутор уводи појам информације и ентропије, истичући да оба феномена имају важну улогу у постојању организама на Земљи као и самог Универзума. Овим, писац је имао за циљ да објасни зашто живот као и други дисипативни процеси могу да постоје у Универзуму.

Да би то извео, најпре објашњава зашто организми нису затворени системи, а потом принципима варијационог рачуна изводи везу између максималне вредности Шенонове ентропије и Болцманове ентропије.

Надаље, анализирајући радове квантног физичара Лојда, подвлачи да његова тврђења да је Универзум израчунљив у Тјуринговом смислу треба схватити опрезно, јер аутори попут Зенила, Рукера и Волфрама (који је осмислио софтвер *Математику*) сматрају да оваква недетерминистичка случајност није неопходна.

Потом писац изводи Хокинг-Бекенштајнову формулу за ентропију Шварцшилдове црне рупе, повезујући то са претходно изведеном везом између Шенонове максималне информације и ентропије, истичући да Хокинг-Бекенштајнова формула даје максималну количину информације у неком простору који је ограничен одређеном површином (пре свега се мисли на површину црне рупе).

Затим се на веома једноставан начин читалац усмерава на екстензију овог принципа и то на цео Универзум, а коју су увели чувени физичари т'Хофт и Саскинд: да регион (заправо нама доступан Универзум) одређене запремине, не може имати већу ентропију од оне која је пропорционална његовој површини.

Потом се, као пример, одређује ентропија две супермасивне црне рупе у објектима A9102B и 3C3903.3, чији су подаци и статистичке методе за одређивање димензија ова два објекта описани у раду Kovačević et al. (2014). Наиме, користећи Пенрозову формулу за везу између масе црне рупе и ентропије као и Шехтерову функцију као функцију масе супермасивних црних рупа у видљивом Универзуму, изводи се да је укупна ентропија у Универзуму око  $2 \cdot 10^{106}$  што је далеко мање од њене процењене укупне горње границе у свемиру од  $10^{122}$ , а коју је израчунао Лојд (2002). Овим је показано да укупна ентропија у космосу још није достигла горњу границу, која се зове и холографска, и због чега живот, као и други дисипативни процеси могу да се одвијају.

Овде истичемо да се оваква врста доказа не налази у астробиолошким уџбеницима.

Осим тога, веома је интересанто поређење астрономских и биолошких скала. Пре свега зато што аутор открива два лица времена у Универзуму. Прво је ништа друго до појава насилних догађаја на кратким временским скалама као што је експлозија супернових, при којима се ослобађају елементи створени у унутрашњости звезда, а потом се од њих формирају планете. Друго је оно које означава релативно дуге периоде мира без таквих догађаја.

Писац се не зауставља овде већ објашњава порекло ова два лица, подвлачећи да су њихов узрок заправо два лица гравитације. Наиме, аутор истиче да 'гравитациона енергија - гравитациони потенцијал асоциран са гравитационим пољем' нема неуређеност и топлоту као други видови енергије, због чега се лако може конвертовати у друге облике.

У другој глави су описане екстрасоларне планете. Аутор истиче да док знамо дефиницију планете у Сунчевом систему, за сад немамо добру динамичку дефиницију екстрасоларне планете, и зато уводи радну

дефиницију оваквих објеката, која одсликава динамику настанка екстрасоларне планете. Овим се јасно подвлачи суштина проблема у домену екстрасоларних планета. Надаље, полази се од њихвог цензуса и описују се физичке карактеристике ових објеката и матичних звезда.

За то се користе подаци и програмски алати који се налазе у светским базама података. Истакнућемо слику на којој је писац јасно показао расподелу младих звезда (млађих од 3 милијарде година), што може бити последица посматрачког селекционог ефекта и потребе редефинисања посматрачких програма, указујући на важност критичког размишљања о прикупљеним подацима. А потом веома подробно описује методе детекције екстрасоларних планета. Истичемо да је аутор целовитим објашњењем методе гравитационих сочива и по томе издвојио овај уџбеник од других које се баве истом тематиком.

Код методе мерења радијалних брзина звезда истаћи ћемо прецизну анализу и расчлававања *a priori* и *a posteriori* веровантоће детекције масе планете.

Такође ћемо истаћи да су ту самостално анализирани подаци за звезду у Андромеде, испитана периодичност планетарних пратилаца ове звезде и ефективно одређене њихове периоде. Надаље, метода транзита је изузетно детаљно геометријски и аналитички претстављена са критичким освртом на податке о транзитима планета.

Аналитичко извођење релација за детекцију планета методом гравитационих сочива је дато са свим појединостима и пратећим аналитичким изразима за временску зависност кретања извора, оптичку дубину микросочива, као и детаљну анализу стопе вероватноће њиховог догађања за дати број праћених звезда. Као пример, израчунато је да је за праћење  $2 \times 10^8$  звезда број оваквих догађања око 2400 по години.

Истиче се дасу управо овом методом детектоване популације планета Јупитерових маса које су гравитационо неvezане за звезду, и које се зову слободно пливајуће планете. Такође је изнета ретко позната чињеница да су још чувени астрономи Шепли и Опик, на половини прошлог века, предлагали постојање оваквих планета, и да су 2002. године развојене на поткласе планетара и неvezаних планета.

Надаље, даје се детаљан преглед методе директног сликања планета са свим аналитичким једначинама које описују овај метод. Истакнућемо подробно објашњење за контраст флукса за рефлектујуће екстрасоларне планете, затим поређење емпиријских фазних кривих за Меркур, Венеру и Марс, као и теоријских фазних кривих циновских екстрасоларних планета са посматраном фазном кривом Земље, коју је аутор направио према подацима.

Треће поглавље описује биолошки појам ћелије, што је посебан изазов за уџбеник намењен студентима са Математичког факултета, а које је писац решио на веома интересантан начин.

Наиме, у књизи се полази од чињенице да је ћелија основна јединица живота и да постоје еукариотски и прокариотски типови ћелија, да би се



прича развила у опис робустности и оптимизације ћелије, са детаљним прегледом карактеристика поменутих два типа ћелија.

Затим је дат преглед теорија о настанку органела у еукариотским ћелијама као и модеран систем класификације органела. Цело ово поглавље кулминира у секцији о гентским информационим системима, где се веома вешто објашњава зашто је генетска информација сегрегована, линеарна и дигитализована. При томе се истиче, да су управо ове три особине, оне које су омогућиле пренос генетске поруке на временску дистанцу од 3.85 милијарди година, а колико знамо да постоји живот на Земљи. Потом се објашњава да је информација централни концепт живих организама, описујући детаљно структуру хиралних молекула ДНК и РНК, њихове детаљне хемијске карактеристике, као и шеме модела њихове репликације. Такође, дају се примери вируса и бактерија код којих ДНК није хеликоидална, већ је затворена у прстен и објашњава да та структура омогућава брзу репарацију ових биомолекула и тиме обезбеђује велику отпроност бактерија на екстремне услове радијације. Такође се наводи мало познана чињеница да организми могу имати исти однос градивних блокова нуклеинских киселина иако нису сродни.

На крају овог поглавља читаоц се усмерава на објашњење редувантности гентског кода, број свих могућих тирплета база и свих аминокиселина које граде живе системе, а затим се анализира зашто је овакав дигитални код енергетски исплативији него аналогно кодирана информација. Затим је генетски код упоређен са онима које су људи направили као што је ASCII код, и дата је његова јасна математичка дефиниција на основу које се објашњава зашто је генетски материјал баш управо код.

У четвртој глави су описане епизоде масовних изумирања, које су се догодиле у Земљиној прошлости. Ова тема је веома интересантна и експлоатисана је доста у медијима.

Писац даје прегледну шему геолошких јединица времена и напомиње да су уништења подједнако важна, као и настанак нових врста, и да она имају и позитивне и негативне ефекте. Наиме, ретко се у литератури помињу позитивни ефекти екстинкција.

У књизи се јасно рашчлањавају две врсте изумирања: позадинска и масовна. Истиче се да су обе ове врсте екстинкција детерминистичке, што значи да су изазване променама на које се врсте не могу адаптирати. А потом се истиче да постоје и стохастичке екстинкције, које се догађају због природних али случајних промена у околини, о чему се веома мало говори у школској литератури.

Веома детаљно је анализирано свих пет великих масовних изумирања са геолошког и биохемијског становишта, да би се цела ова глава крунисала разматрањем земаљских наспрам ванземаљских механизма изумирања. У овој секцији је дат веома критичан осврт на многе радове публиковане на ту тему крајем 20. и почетком 21. века, са јасним закључком да ће нам управо

мисије као GAIA пружити неопходне параметре да бисмо могли утврдити да ли су космички механизми утицали на изумирања.

У петој глави се разматра интелигентан живот у Свмиру, полазећи од чињенице да не постоји права дефиниција интелигенције, тј. да и даље не знамо заправо шта је она.

Међутим, овде се читаоц уводи у размишљање о том феномену, анализирајући рад Виснер-Гроса и Фрира из 2013. године, у коме се тврди да се динамички системи, који могу да максимализују своје будуће могућности деловања, понашају на интелигентан начин. Истиче се да у овој математичкој екстензији другог закона термодинамике, коју су извршили Виснер-Грос и Фир, фокус није на уређењу које систем може постићи сада, већ на оним који би могли бити достигнути у будућности.

На тај начин се успоставља веза између ове најхуманије особине и фундаменталних физичких закона. Потом се осврће на рад Бусоа и др из 2007, у коме се расправља да избор могућих универзума који креирају највећу ентропију фаворизују космолошке моделе који дозвољавају појаву интелигентних посматрача, при чему посматрачи не морају бити припадници људске врсте, што је насупрот идеји антропичког принципа. Истиче се да неуспех који смо доживели у потрази за ванземаљском интелигенцијом има много аргумената, а пре свега у одређеним парадоксима као и у нашој представи шта је неопходно за живот. Потом, ово се користи као платформа за детаљно логичко рашчлањавање Фермијевог парадокса и Дрејкове једначине, и типова цивилизација по Кардашеву. Ово последње је ретко тема уџбеника, студентима је дата претстава о људској цивилизацији, тако што је са претпоставком о потрошњи енергије из 2008. године, израчуната вредност нивоа наше цивилизације (0.717) по Кардашевљевој скали, тј. она није достигла још увек први ниво.

Као природан след на предходну тему, у наредном, шестом поглављу читаоц се упознаје са антропичким принципом (Картеровим аргументом) и космолошким предусловима за живот.

Ова секција је за разлику од свих других написана у стилу есеја историје филозофије природно математичких наука. Аутор нас води најпре у далеку 1955. годину када је космолог и филозоф Џералд Витроу, председник Британског краљевског астрономског друштва, објавио рад у коме по први пут уводи у науку основе антропичког резоновања, а то је да су физички услови на Земљи и Свмиру такви да доводе до појаве човека. Ову идеју је разрадио чувени физичар Хенри Дик, у смислу да велики бројеви (гравитациона спрегнута константа, Хаблова старост Свмира и његова маса скалирана на масу протона) су управо такви какви су, да би се могли појавити посматрачи баш као ми.

Истакнуто је да иако Дик није употребио израз антропички, његова срж је већ била присутна. Затим нас писац води у 1973. годину када је Брандон Картер експлицитно претставио антропички принцип на Конференцији посвећеној 500 година од рођења Коперника. Веома спретно је представљена

рекације научне јавности и радови који су уследили као *pro et contra* на ову тему. Један такав рад су објавили Кар и Рис у чувеном научном часопису *Нејчер* 1979. године.

Надаље је подвучено да Картеров аргумент и Фермијев парадокс, као и аргумент биолошке контингенције, стоје наспрам (не)успеха потраге за интелигентним животом у Свемиру. Такође се истиче да су ова три аргумента проузроковала појаву идеје о 'реткој Земљи' која је и кулминирала у књизи Ворда и Браунлија 2000. године.

На овај начин спретно су асоциране ове хипотезе, које су директно утицале на појаву физичке есхатологије као научне дисциплине, са токовима у науци и студентима је дат јасан историјски увид о њиховој појави и следу Овде се бави и разматрањем будућности (али и прошлости Свемира), која зависи од присуства интелигенције.

У наредној глави, Синтеза елемената и настанак звезда, разматра се један од основних предуслова за развој живота какав познајемо на Земљи а то је присуство елемената H, C, O, N и P. Ово поглавље је намењено студентима који нису слушали курсеве сличне тематике. За разлику од њих, полази се од нуклеосинтезе великог праска. дајући синопсис најважнијих догађаја и, што је веома интересантно, пореде се теоријски закључци са посматрањима квазара и галаксија на великим црвеним помацима. Објашњава се зашто је то неопходно за астробиологију, истичући да је формирање планета, њихове особине, као и особине планетарних система управо повезано са формирањем звезда. Односно каже се да је формирање планетарних система последица природе гравитационе силе и природног закона минимизације енергије и очувања угаоног момента, чиме је студентима успешно предочено да је настанак планета неизбежна последица физичких закона.

У овом поглављу се елегантно пролази кроз фазе формирања звезда изводећи/дајући све неопходне једначине теорије акреционог диска, магнетносферне акреције, термодинамике диска и гравитационе нестабилности. Цело је крунисано детаљним аналитичком описом настанка планета и јасним раздвајањем процеса стварања терестријалних од циновских. Оно се ефикасно затвара описом детектованог система од четири циновске планете у систему HR8799, који је посматран методом директног сликања, и чија матична звезда је сиромашна елементима тежим од водоника и хелијума.

У наредној глави о органским молекулима у међузвезданој средини, она је одликана као задивљујући ентитет у коме постоје и једноставни и комплексни молекули, а наведено је и да постоји континуум између хемије на планетарним телима и оне у Свемиру.

Интересна је представа о елементима тежим од водоника и хелијума, означеним као 'загађивачи', а који су неодвојиви део фундаменталних компонентни живота, као и формирања планета. У потпуности је објашњено порекло прашине у Свемиру, ефикасност раста њених честица, уз извођење аналитички релевантне временске скале као што је карактеристично време

раста прашине. Надаље описује се њен настанак у циркумстеларној средини, односно како долазни до фазног прелаза од гаса до чврстог стања када се она формира. Потом се детаљно разматрају хемијске карактеристике кандидата за састав прашине. У овој глави подробно се дискутују хемијске путање настанка сложенијих молекула. Такође је приказана табела преко 170 познатих сложених молекула у међузвезданој или циркумстеларној средини. Описују се стопе хемијских реакција и анализирају концентрације добијених молекула. Студентима ће сигурно бити интересантно да виде извођење аналитичког израза за температуру зрна прашине и израчунавање њене вредности која је најоптималнија да би се водоникови атоми могли комбиновати на њима. Цела дискусија се закључује чињеницом да су нам посматрања у задњим деценијама дала доказе да се пребиотска хемија дешава свуда не само на и испод планетарних површина и да је то радикална промена концепције о Свемиру у односу на пре 50 година.

На почетку главе о геолошким својствима наше планете, указује се да ће се избећи њихово класично набрајање, истичући да Земљу можемо посматрати као велику машину која рециклира своју кору, и да је зато за геологију веома важно одредити расподелу масе планете у зависности од њеног радијуса. У наредним поглављима аналитички се изводи поменута расподела и дају њене вредности за тела у унутрашњем делу Сунчевог система.

Ништа мање необичан приступ види се у опису атмосфере наше планете, полазећи од поређења тела Сунчевог система која имају атмосферски омотач. Потом се детаљно описује, уз употребу неопходних аналитичких израза, механизам честичног напуштања атмосфере Земље чиме се објашњава недостатак водоника и хелијума у њој.

Детаљно се објашњава процењена маса примордијалне атмосфере наше планете, њен састав, и како је она изгубљена, те како је дошло до секундарне атмосфере. Да би се одредила старост Земље, најпре се уводи објашњење метода неопходних за њено израчунавање по свим релевантним системима радиоактивног распада, и објашњава колико је овај природни механизам важан као топлотни извор у унутрашњости наше планете али и за покретање тектонске активности. Цело поглавље је закључено описом хемијских и минералošких информција садржаних у различитим типовима метеорита и шта нам оне говоре о природи раног Сунчевог система и ране Земље.

У наредној глави: *Шта је живот - дефиниције живота*, аутор није желео да овакво дефинисање буде само теоријска вежба, већ да то опише као потрагу која је директно повезана са његовим настанком и има многе практичне примене. Ту је дат подробен критички осврт на све врсте дефиниција живота (холистичка, механистичка, уопштавајуће, минималистичке, кибернетичке, ћелијске, генетичке, параметарске и материјалне), да би се на крају закључило да нам узрочно-последични догађаји који су регулисани законима физике и хемије, омогућавају истраживање порекла живота. Наиме, примећује се да нам детаљи хемије и

физке примордијалних форми живота нису познати, али постоје принципи који су знани, због чега се неке његове особине могу представити независно од материјалне базе.

И управо то је веома важан детаљ у овој књизи, независност неких особина живота од материје. Пошто наше знање није искомплетирано у том смислу, даје се радна верзија његове дефиниције, коју је увео чувени биолог Попа 2004. године: да је живот било која стратегија која користи унутрашњу репликацију информација да изгради и одржи негентропијске енергијско дисипативне ентитете и да градуирано побољшава њихово функционисање према просторним и временским флукуацијама. Ова дефиниција подразумева да су живи ентитети било физичке или виртуелне реалности и описује их независно од њихове димензије, временског оквира или материјалне природе. Истиче се да је на овај начин живот саморепродукујућа стратегија да се убрза и регулише проток енергије и да је ова активност конзистентна са силама које регулишу други закон термодинамике.

Још једна занимљивост овог уџбеника је у томе што је изванредно уклопљена дефиниција интелигенције ('као ентропијске силе') са радном дефиницијом живота која је такође везана са силама које регулишу други закон термодинамике. Овим је наглашено да су оба феномена последица физичких закона.

Највећа глава уџбеника је посвећена настањивости, што није случајно, јер су у њој описани сви астрономски и геофизички параметри неопходни за живот на планети са биохемијом какву познајемо. Читаоц се упозорава да је изједначење настањивости са присутношћу воде на површини планете последица идеје да је бар у неком делу животног циклуса вода неопходна како за микробске тако и за сложеније форме живота.

Писац подробно описује модел настањиве зоне нашег планетарног система, који је развио Кастинг 1993. године, уводећи аналитички модел стандардне Земље да би потом описао и корекцију овог модела коју је дао Копарапу 2013. године. Интересантно је да је у књизи примењен Копарапуов модел на подацима доступним у базама података екстрасоларних планета, и добијена слика где се оне налазе у односу на границе настањивих зона (а које су у функцији од звездане ефективне температуре).

Надаље, елаборирана је настањивост на нивоу наше Галаксије и према моделу који је дао Пранцос 2008. године, израчуната вероватноћа формирања земљоликих и гасовитх циновских планета. Обрачунавањем утицаја експлозија супернових, показано је да је највећа вероватноћа формирања земљоликих планета на растојању између 8 и 11 килопарсека.

Дискутујући рану еволуцију живота на Земљи, аутор одмах разврстава хипотезе у три групе, истичући да ни за једну немамо довољно доказа. Међутим, велики простор се посвећује хипотези да је органски материјал допремљен на Земљу са неког другог места. И у ту сврху анализирају се резултати рада Квока и Занга из 2011. године, у коме је показано да

карактеристике у инфрацрвеном домену спектра звезда, међузвезданих средина и наше Галаксије, одговарају органским једињењима као што је угљљ и нафта. За ова једињења се раније сматрало да могу настати само на Земљи распадом организама који су изумрли. Аутор наводи Квоков закључак да је тешко теоријски објаснити како овакав органски материјал може настати у средини тако мале густине као што је међузвездана, али да посматрања показују да звезде типа нових мењају спектар од чистог гаса до оног који одговара прабини за свега неколико дана.

Последично, уводи се и појам органске звездане праине која је слична органским једињењима нађеним у метеоритима. И истиче се да пошто је рана Земља била бомбардована метеоритима није немогућ сценарио допремања органске материје путем ових догађаја.

У књизи се указује на две важне опште карактеристике живота: да је на макро нивоу биолошка еволуција текла у правцу повећања комплексности док је на молекуларном она много конзервативнија, при чему се наводи низ карактеристика обе тенденције. У даљем тексту се детаљно и упоредно анализира абиотска синтеза органских молекула у Милер-Јуријевом експерименту са резултатима Саиита и Саија из 2014. године, који су извели прву компјутерску *ab initio* симулацију абиотске синтезе, којом се показало да је формамид један од кључних компоненти у пребиотској хемији.

Аутор је направио галактоцентричну мапу Млечног пута, на којој је приказао положаје међузвезданих молекуларних облака у којима је пронађен формамид у односу на положаје 56 планетарних система који имају планете мање од десет Земљиних радијуса. Овим је читаоцу и визуелно предочено да формамид, може бити егзогено допремљен на те планете, као и на нашу. Потом је изложена сложена идеја о постојању пре РНК (рибонуклеинска киселина) света, детаљно поредећи структуру модерне РНК и два полимера п-РНК и ПНК који су могли бити њене претече.

Читаоцу се разјашњава да класичан поглед на галактичку настањиву зону подразумева унутрашње границе одређене космичким хазардним догађајима по планетске биосфере, а да је спољна одређена количином металних елемената неопхдним за формирање планета. Међутим, најновији модели указују да се планете могу формирати и у унутрашњој зони наше Галаксије, и истиче се да овај концепт галактичке настањиве зоне има малу значајност, али да може да послужи као оквир унутар кога можемо организовати идеје о животу у нашој Галаксији.

Велика пажња је посвећена и идеји панспермије, која је предмет истраживања Европског астробиолошког института (који је у оснивању), дајући опсежни преглед историјата ове идеје а потом се и ефективно израчунава горња граница броја планетарних система међу којима је могућа размена органског материјала.

Затим се уводи појам екстремофила, уз констатацију да су и сви аеробни организми екстремофили, јер су реактивна кисеоничка једињења веома токсична, пошто могу оштетити нуклеинске киселине, липиде и протеине.

Уџбеник даје веома детаљну категоризацију екстермофила, уз неопходне биохемијске особине ових организама.

На самом крају у уџбенику се повлаче паралеле између земаљских екстремних екосистема и неких тела у Сунчевом систему. Писац је дао веома детаљан астробиолошки преглед истраживања Марса, са описом биолошких експеримената мисије "Викинг", а потом нас води на Јупитеров океански сателит Европу, као једно од можда најпогоднијих места за развој живота у нашем планетарном систему. Детаљно је описана површина, тектоника, и плима на овом телу и истакнуто да је 2015. године детектована морска со на неким геолошким објектима Европе.

Потом се, читаочева пажња усмерава ка сателиту који има најбогатију заступљеност органске материје у Сунчевом систему - Титану. Ретко се у литератури налази поређење неког сателита и наше планете, али овде су поменути Сатурнов пратиоц и Земља упоређени са геохемијског становишта. Потом, се објашњава сложена пребиотска хемија у атмосфери Титана, уз исцрпно навођење резултата лабораторијских и космичких мерења, да би се на самом крају разматрала могућност живота на овом сателиту. Приказане су интересантне процене да би и поред свега, продукција биолошке масе на Титану и даље била далеко испод нивоа који је на Земљи.

На самом крају уџбеника, разматрају се градивни блокови живота каквог познајемо на Земљи. Наведени су разлози зашто вода може имати негативне ефекте по живот, чиме се изазива класична представа о њеној важности. Примећује се да је живот на Земљи заснован на комплексној хемији од тек неколико елемената, од којих је најкарактеристичнији угљеник. Зато су најпре објашњене физичке и хемијске особине овог елемента које га чине јединственим, а потом се читаоц уводи у преглед хипотеза да ли га и неки други елементи могу заменити. Ту се најпре дискутује силицијум и објашњавају његове физичке и хемијске особине, али даје и пример улоге овог елемента код земаљских форми живота као што су морске алге дијатомеје, чији је ћелијски зид је изграђен од њега.

Надаље се даје опис полимерне хемије силицијума као и хипотетичних услова које би били неопходни за такву врсту живота.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Као што из овог детаљног приказа видимо уџбеник *Астробиологија* покрива велики део ове науке као дисциплине, при чему није занемарен историјски елемент дискусије свих појмова који су уведени.

Ретко ће се срести да један аутор покрива овакав интердисциплинарни уџбеник. Он претставља добро балансиран материјал обухватајући не само физички, биолошки, астрономски, већ и математички аспект астробиологије.

Уџбеник је приказана и на Сајму књига у Београду у октобру 2016. године, и био је међу најпродаванијим на штанду Математичког факултета.

Читаоцу омогућава да веома брзо схвати аргументе који се дискутују у савременим истраживањима ове дисциплине. Ако би, дело пред нама, говорило само о могућем животу ван наше планете, била би то само још једна егзобиолошка књига, међутим укључивање у разматрање и живота на Земљи у астробиолошком контексту даје му још једну димензију.

Осим тога аутор је успешно претставио астробиологију не као сазрело подручје где су многи одговори већ познати, него као динамично ново поље, и при том је укључио педагошки приступ критичког размишљања. Наиме студенти кроз овај рукопис уче како да се крећу кроз неизвесност и непознанице и да извуку закључке из астробиолошких података.

### Захвалница

Овај рад је део пројеката Астрофизичка спектроскопија вангалактичких објеката (176001) и Утицаји сударних процеса на спектре астрофизичке плазме (176002), код Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије.

### Литература

- Димитријевић, М. С.: 2016, "Рецензија рукописа Астробиологија др Анђелке Ковачевић", Архив Математичког факултета у Београду, 1-12.
- Пејовић, Н.: 2016, "Рецензија рукописа Астробиологија др Анђелке Ковачевић" Архив Математичког факултета у Београду, 1-2.
- Ковачевић, А.: 2016, *Астробиологија*, Издавач Математички факултет Универзитета у Београду, 1-346.
- Kovačević, A., Popović, L. Č., Shapovalova, A. I., Ilić, D., Burenkov, A. N., Chavushyan, V.: 2014, "Time series analysis of active galactic nuclei: The case of Arp 102B, 3C 390.3, NGC 5548 and NGC 4051", *ASR*, **54**, 1414-1428
- Carr, B. J., Rees, M. J.: 1979, "The anthropic principle and the structure of the physical world", *Nature*, **278**, 605-612.
- Khun, T.: 1962, *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, 1-264
- Lafleur, L. J., 1941, *Astrobiology, Leaflet. Astron. Soc. Pac.* **143**, 333-340.
- Lloyd, S.: 2002, "Computational capacity of the universe", *Phys. Rev. Lett.*, **88**, 237091, 1-4.
- Wissner-Gross, A. D., Freer, C. E.: 2013, "Causal Entropic Forces", *Physical Review Letters*, **110**, 168720, 1-5.
- Kwok, S, Zhang, Y.: 2011, "Mixed aromatic-aliphatic organic nanoparticles as carriers of unidentified infrared emission features", *Nature*, **479**, 80-83.
- Kasting, J. F., Whitmire, D. P., Reynolds, R.: 1993, "Habitable zones around main sequence stars", *Icarus*, **101**, 108-128
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R., Kasting, J. F. Eymet, V., Robinson, T. D. et al.: 2013, "Habitable zones around main sequence stars: New estimates", *ApJ*, **765**, 131, 1-16.
- Prantzos, N.: 2008, "On the Galactic Habitable Zone", *Space Sci. Rev.*, **135**, 313-322.
- Bousso, R., Harnik, R., Kribs, G. D., Perez, G.: 2007, "Predicting the cosmological constant from the causal entropic principle", *Phys. Rev. D*, **76**, 043513, 1-16.



- Popa, R., *Between necessity and probability- Searching for the definition and origin of life*, Springer, (2004).
- Saitta, A. M., Saija, F.: 2014, "Miller experiments in atomistic computer simulations", *PNAS*, **111**, 13768-13733.
- Ward, P. D., Brownlee, D.: 2004, *Rare Earth*, New York: Coprenicus Books, 1-319.

## OVERVIEW OF UNIVERSITY TEXTBOOK *ASTROBIOLOGY*

How life began? Does life exist anywhere else in the Universe and whether it can have intelligent form? These fundamental questions have long been within the domain of philosophy, but over the past few decades, natural science has begun to seriously investigate them. This new scientific discipline was first called exobiology, but only recently it was dubbed astrobiology. The textbook *Astrobiology* of Anđelka Kovačević is the first textbook in this field at the University of Belgrade.

The book contains discussion of the latest astronomical results, as well as biological studies that touch on the very essence of life and its emergence. Therefore, this textbook is of interest both to students of astronomy and astrophysics, and biology and chemistry students, as well as to readers who are interested in the basic questions of astrobiology.

The book follows program of the courses *Introduction to Astrobiology*, and *Astrobiology*. Here we will briefly present its contents.

**Key words:** Astrobiology, text-books