

Tartu Ülikool
Humanitaarteaduste ja kunstide valdkond
Usuteaduskond

Marcus Mahla

IV termodünaamika seadus ja entroopia – diskussioon ja
interpretatsioon

Bakalaureusetöö

Juhendaja Roland Karo PhD

Tartu 2022

Sisukord

| | |
|--|----|
| Sissejuhatus..... | 3 |
| 1. Teema põhjalikum tutvustus..... | 6 |
| 1.1 Ürgsupi ja evolutsiooni teooriate roll elutekkes..... | 8 |
| 1.2 Stanley Milleri ja Harold Urey aminohapete tekkimise protsessi selgitav ja põhjendav katse | 10 |
| 2. Stuart Kauffmani ja Jeremy Englandi teooriad elu tekkimisest ja kujunemisest tuginedes termodünaamika II seadusele ja entroopiale | 12 |
| 2.1 Akadeemikute tutvustus | 12 |
| 2.2 Kauffmani elutekke teooria olemus, põhiideed ja selgitus | 13 |
| 2.3 Iseorganiseerumise protsessi selgitus | 16 |
| 2.4 Englandi elutekke teooria olemus, põhiideed ja selgitus | 17 |
| 3. Kauffmani ja Englandi elutekke teooriate võrdlus | 20 |
| 4. Diskussioon ja kriitika | 22 |
| 4.1 Kriitika Englandi teooria kohta | 22 |
| 4.2 Diskussioon | 23 |
| Kokkuvõte | 25 |
| Bibliograafia | 27 |
| 4 th Law of thermodynamics and entropy- interpretation and discussion | 28 |
| Lihtlitsents töö reprodutseerimiseks | 30 |

Sissejuhatus

Diskussioon termodünaamika IV seadusest, mis seletaks kõrgeltorganiseeritud struktuuride (sh elu) teket entroopia kasvule alluvas universumis on teaduse ja religiooni dialoogi üks tänapäevaseid tulipunkte. Kahetsusväärset õpetatakse meie üldhariduskoolides elu tekke osas endiselt lootusetult aegunud mõttekäike ning eesti keelset kirjandust, mis vastavat diskussiooni käsitleks, leidub väga vähe.

Elutekke uurimine hoogustus peamiselt 20. sajandil. Üheks olulisemaks panustajaks elutekke teooria edendamisel peetakse Milleri ja Urey katset, mis seisnes elu tekkimisele eelnenud Maal valitsenud keskkonna taasloomises. Katse eesmärgiks oli tõestada, et ürgses keskkonnas oli olemas kõik võimalik, et erinevatest ainetest saaksid moodustuma hakata aminohapped, nendest omakorda valgud, mida peetakse elus organismide olulisemaks ehituskomponendiks. Paraku ei aidanud katse sooritamine elutekke uurimist olulisel määral edasi viia, vastuseid elutekkega seotud küsimustele ei suudetud leida (Parker, et al., 2011). Siinkohal annavad Stuart Kauffman ja Jeremy England, kelle mõttekäikudele antud töös toetun, elutekke küsimustele rohkem selgitusi ja vastuseid, mis tuginevad iseorganiseerumisele ja termodünaamikale ning mida täiendab termodünaamiliste protsesside analüüsimine bioloogiliste organismide kontekstis (England, 2020, lk 3-4) (Kauffman S. , 2019, lk 3-6).

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli analüüsida Stuart Kauffmani ja Jeremy Englandi tekste, et kaardistada termodünaamika seadustega põhjendatud elutekke diskussiooni hetkeseisu, koostada ülevaade uuenenud elutekke teooriatest, mis baseeruvad termodünaamikal ning tuua välja diskussioon kahe tuntud akadeemiku teooriate vahel ning seda interpreteerida.

Lõputöös analüüsitakse võrdlevalt uuemaid elutekke teooriaid baseerudes entroopiale ja termodünaamikale ning esitatakse küsimus, kuidas neid teaduse ja religiooni dialoogi seisukohalt interpreteerida. Konkreetsemalt antakse ülevaade kahe akadeemiku, S. Kauffmani ja J. Englandi asjassepuutuvaist teooriatest ja seisukohtadest. Lisaks sisaldab töö teiste akadeemikute hinnanguid ja arvamusi nende kahe mõtleja teooriatele.

Analüüsi koostamise olulisemad algallikad olid Stuart Kauffmani „*At Home In The Universe. The Search For the Laws of Self-Organization and Complexity*“ (1997); „*A World Beyond Physics. The Emergence and Evolution of Life*“ (2019) ja Jeremy Englandi „*Every Life Is On Fire*“ (2020). Kõik nimetatud teosed keskenduvad elutekke teooriate selgitamisele ja nende termodünaamilisele tõestamisele, mis andsid olulise sisendi analüüsiks.

Et paremini mõista teoreetikute põhiseisukohti toon välja olulisemad mõisted. **Entroopia** on termodünaamikas kasutatav füüsikaline suurus, mis kirjeldab esmalt energia kvaliteeti (kõrgem energia kvaliteet tähendab madalat entroopia taset, madal energia kvaliteet tähendab kõrget entroopia taset). Statistilises mehhaanikas kasutatakse entroopiat mõõtmaks süsteemi kõikide võimalike paigutuste hulka, lisaks sellele kasutatakse entroopiat ka korratuse (vastand "korrale") mõõtmiseks (kõrge entroopia tähendab kõrget korratust) (Beretta, 2020), (Martinez-Kahn & Martinez-Castilla, 2010).

Termodünaamika II seaduse kohaselt ei saa soojus iseeneslikult kanduda külmemalt kehalt soojemale, vaid soojuse liikumise suund on alati soojemalt kehalt külmemale. Samas energia jäävuse ehk **termodünaamika I seadus** otseselt soojuse kandumist külmemalt kehalt soojemale ei keela, kuid siin on tingimuseks, et koguenergia oleks jääv (Beretta, 2020).

Termodünaamika IV seadus kätkeb endas seaduspärasid, mis on võimelised II termodünaamika seadusele alluvas universumis kutsuma esile keerukate, termodünaamiliselt mittetasakaalustatud süsteemide (sh elu) tekke (Beretta, 2020), (Martinez-Kahn & Martinez-Castilla, 2010).

Töö esimene peatükk on pühendatud teema sisulisele tutvustamisele ja põhiargumentide avamisele. Teises peatükis keskendutakse S. Kauffmani ja J. Englandi teooriate sisule ja nende analüüsile. Kolmandas peatükis analüüsitakse eluteket geneetika ja valkude näitel. Neljanda peatüki keskmes on entroopia, energia ja töö ning viiendas peatükis tuuakse välja kriitika analüüsitud teooriatele.

Lõputöös kasutasin klassikalist võrdlevat kontseptuaalset analüüsi, mille esimeses etapis abstraheritakse analüüsitavaid artikleid ja teostest välja pakutud elutekke teooriate põhijoonised ning kaardistatakse asjassepuutuv diskussioon. Järgnevalt uuritakse interpretatsioone termodünaamil ja entroopial baseeruvatest elutekke teooriatest. Töö koostaja omapoolseks panuseks käesolevas diskussioonis on Kauffmani ja Englandi mõtteliini ning nende tõlgenduslike järelduste võrdlus, mida autorile teadaolevalt ei ole varem tehtud.

Elutekke teooriaid käsitlevad teosed on valdavalt inglise keelsed, mis võib olla takistuseks, et eranditult eesti keelt kõneleval inimesel oleks võimalik saada teadlikuks uuematest elutekke teooriatest. Seega püütakse käesoleva lõputööga anda põgus eesti keelne ülevaade uuematest elutekke teooriatest, et parandada laiemat teadlikkust.

Töö koostamise oluliste piirangutena väärivad välja toomist analüüsi aluseks olevate teavikute hankimine ja õigeaegne saabumine ning koostaja keeleoskus. Olles alles esimese astme kõrgharidust omandamas, puudub töö koostajal varasem kokkupuude vastava inglise

keelse terminoloogia ning sõnavaraga, mistõttu muutus algteksti tõlkimine ja sidusa teksti loomise protsess oodatust ajamahukamaks.

1. Teema põhjalikum tutvustus

Elutekke „probleemile“ on võimalik läheneda erinevaid vaatenurki silmas pidades, kuid sellest hoolimata ei pruugi see anda (ja ei ole siiani andnud) selget vastust ja seletust elu tekkimise ja keeruliste struktuuride kujunemise kohta. Ebamäärasuse põhjusteks võivad olla erinevad barjäärid, mis protsessi uurimisel võivad esile kerkida, näiteks ebapiisav tehnoloogiline varustus või teadmised/oskused selle kasutamiseks või sobiva meetodika leidmine ning teadmised/oskused selle kasutamiseks, kuid ka motivatsioon antud küsimuse tuumani jõuda. Piiranguks võivad olla valdkonna teadlaste väga erinevad ning äärmuslikud seisukohad, mis ei võimalda leida elutekke küsimustele konkreetseid ja üheselt mõistetavaid vastuseid. On võimalik, et vastus, mida otsitakse on oodatust lihtsam, kuid soov leida elutekkimise protsessis sügavamalt mõtet või põhjendust, ei võimalda märgata primitiivsemaid lahendusi.

Küsimustele elutekkimisest on läbi aegade püüdnud vastuseid leida bioloogid, füüsikud, filosoofid, ajaloolased, kvantfüüsikud, teoloogid ja teiste valdkondade teadlased. Seega on tänaseks meie käsutuses väga suure variatsiooniga teooriaid, ideid ja ka valemeid, mis justkui võiksid vajalikke vastuseid anda, kuid ometi oleme vastuseid otsides jõudnud piltlikult öeldes ristteele, kus lugejal on võimalus valida, milline teooria ja millise akadeemiku seisukohad neile kas kõige paremini sobivad või neid kõige enam kõnetavad. Hoolimata sellest, et individuaalsel tasandil võivad paljud nendest teooriatest ja selgitustest enda jaoks sobivad vastused ise sõnastada, ei pruugi see sõnastus anda edasi tõde tegelikkuse kohta ehk miks elu tegelikult alguse sai, mis käivitas ja millisel põhjusel keerukamate struktuuride moodustumise. Kas ja millised on kriteeriumid keerulisemate struktuuride formeerumiseks ja kas toimunud protsessi on võimalik kunstlikus keskkonnas simuleerida?

Tänaseks päevaks baseeruvad elutekke teooriad valdavalt termodünaamikale ja entroopiale, sest nendega kaasnevad seaduspärasused ja nähtused suudavad avada elutekke protsessi sügavamad aspektid ning neid selgitada ja analüüsida. Nende teooriate kohaselt võiks elu tekkimine olla nähtus, mis on universumi tekkimisega kaasnev paratamatus, mis omakorda tähendaks, et elutekkimine ei ole erandlik ega haruldane nähtus, vaid see on protsess, mis on

kodeeritud käivituma kohaliku universumi seaduspärasuste kohaselt ja nendele vastavalt (England, 2020, lk 8-10), (Kauffman S. , 2019, lk 11-12).

Kuna teaduslikult on tõestatud, et elus organism on ligikaudu 6000 korda efektiivsem energia kasutaja kui eluta mass (Karo, 2019), võiks esmapilgul väita, et elu tekkimise “eesmärgiks” võiski olla energiakulutajate loomine. Need energiakulutajad ammutavad keskkonnast vaba energiat ning paiskavad kehasisesse töö tegemise tulemusena tekkinud soojuse keskkonda tagasi. Selle mõttelaadi üle arutledes võib esmapilgul jääda mulje, et elul ei olegi muud mõtet kui oma rolli täitmine universumi seaduspärasuste kohaselt. Samas on ka võimalik, et elu tekkimise põhjused võivad olla kummalisemad ja teiste eesmärkidega seotud, kui esmapilgul tundub või arvatakse (Kauffman S. , 2019, lk 6-8).

Küsimustele elu tekkimisest ja selle protsessi käivitumise oletatavatest põhjustest on teoseid ja artikleid avaldanud hulgaliselt akadeemikuid, kuid siiani tunduvad konkreetsete vastuste andmisele kõige lähemal olevat kaks akadeemikut, Stuart A. Kauffman ja Jeremy England. Nende autorite seisukohad on põhimõtteliselt erinevad, kuid vägagi kõnekad ja samas leidub sarnasusi. Mõlema akadeemiku roll elu tekke protsessi enda ja selle põhjuste kirjeldamises on olnud väga suur ning mõjutanud lugematul arvul teiste akadeemikute seisukohtade ja hinnangute kujunemist.

Elutekke protsessi uurides kerkib esile küsimus, kas võib olla nii, et inimene alles hakkab „Jumala keelt“ ehk elu olemust ja tekke põhjuseid mõistma. Oluline on siinkohal meeles pidada, et „Jumala keelt“ ei tohiks lahti mõtestada tavalise kõneldava keelena, vaid sellesse peaks suhtuma rohkem kui programmeerimiskeelde, mille alusel luuakse algoritme ja nõ programme (England, 2020, lk 14). Mainitud „Jumala keele“ eksistentsile vihjab ehk kõige paremini erinevate ja keerukate organismide sümmeetria, mis allub kindlatele seaduspäradele ja sümmeetriale, mille teket ja kujunemist on sageli keeruline leida, kuid sellest hoolimata ollakse teadlikud nende põhiprintsiipide olemasolust (Weyl, 2021, lk 37-39). Ehk eksisteerivad mingid seaduspärasused, füüsikalised seadused ja printsiibid, mis käivitavad või mille olemasolul tekib elutekkimise protsess. Isegi kui eksisteerivad mingid algsed (füüsikalised) seaduspärasused, millele eluteke allub, on siiski oluline olla teadlik erinevatest kriteeriumitest, mis peavad olema täidetud enne seda, kui 1) elutekke protsess saaks käivituda ja 2) hakkavad moodustuma keerukamad struktuurid ning edasi keerukamad organismid (England, 2020, lk 19-21). Näiteks ei saa „tekkida“ inimene enne seda, kui ei ole loodud kõik eeltingimused

inimorganismi loomiseks, inimorganismile vastav aminohappejärjestus ja valgukonfiguratsioon ning nende vahelisi seoseid loovad ensüümid.

1.1 Ürgsupi ja evolutsiooni teooriate roll elutekkes

Evolutsiooniteooria on pikka aega domineerinud elutekke protsessi kirjeldamiseks kasutatavas taustaraamistikus, mis põhineb peamiselt juhuslikkusel ja tugevama ellujäämise printsiibil (Kauffman S. A., 1997, lk 6-7). Antud kontekstis mõeldakse juhuslikkuse all erinevaid mutatsioone, mis algelistes organismides väidetavalt juhuslikkuse alusel ilmnemiseid. Oluline aspekt siinkohal on, et evolutsiooniteooria käsitleb lisaks juhuslikkusele rohkemaid aspekte, kuid see on siiski teooria üheks peamiseks argumendiks. Sellest hoolimata ei tähenda see veel seda, et terve teooria oleks läbinisti väär ja ei peaks vett.

J. Doudna ja S. Sternberg väidavad oma teoses „*A Crack In Creation: the New Power to Control Evolution*“, et miljardeid aastaid on elu ja uute eluvormide emergeerumine tuginenud Darwini evolutsiooniteooriale. Ehk siis – organismid arenesid juhuslikult esile kerkinud geneetiliste variatsioonide kaudu, millest mõned andsid osale organismidest esmalt eelised konkurentide ees, näiteks ellujäämiseks ja paljunemiseks (Doudna & Sternberg, 2018, lk XV). Esitatud väide seostub osalt Kauffmani väitega, et elu fenomenina kerkis soodsal hetkel lihtsalt esile ehk emergeerus. Teisisõnu, elu tekkis hetkel, kui ümbritseva keskkonna tingimused vastasid selle protsessi „käivitamise“ kriteeriumitele. Seega puudub kindel alus või valem, mille põhjal elu tekkima hakkas või mis elutekkimise, kui protsessi käivitas. Samas ei lükka Doudna ja Sternbergi väide ümber J. Englandi teooriat, mille kohaselt elu tekkimine allub mingitele kindlatele füüsikalistele printsiipidele (England, 2020, lk 86-87), (England, 2020, lk 89-90).

Esimesteks eluvormideks olid äärmiselt lihtsa ehitusega rakud, mille peamiseks eesmärkideks oli ellujäämine ja paljunemine (Kauffman S. A., 1997, lk 10-12). Et algsed rakud olid lihtsa struktuuri ning funktsiooniga, sõltus nende ellujäämine ja paljunemine olulisel määral keskkonnast, milles nad viibisid ehk ürgookeanist ning seal esinevatest tõusudest ja mõõnadest, mis said paljudele algrakkudele saatuslikuks (Kauffman S. , 2019, lk 77-78).

Algeid rakukolooniaid mõjutasid peamiselt mõõnad, mis põhjustasid paljude algrakkude kuivamise, sest neil puudus lipiidne kest, mis suudaks hoida vett raku sees, seega eesmärgiga suurendada raku ellujäämisvõimalusi mõõna ajal. Vajadus elada üle mõõnad ja veepuudus lõi ruumi uue niši, esialgse lipiidkesta tekkimise, esile kerkimiseks (Kauffman S. , 2019, lk 79).

Esinevad arengulised muutused ja mutatsioonid saavad olla kas positiivsed ja muudavad organismi vastupidavamaks ning suurendavad ellujäämist või negatiivsed ning toovad kaasa organismi elutegevuse lõppemise (Kauffman S. A., 1997, lk 16-19), (Doudna & Sternberg, 2018, lk XVII-XX).

Darwini evolutsiooni teooria kohaselt jäetakse juhuslikud positiivsed mutatsioonid alles ning see omakorda tingibki keerukamate organismide tekke (Kauffman S. A., 1997, lk 22-23). Paraku tuleb tõdeda, et selline juhuslike mutatsioonide esinemine ja omaks võtmine, mis teoreetiliselt võiks evolutsiooni printsiipidele tuginedes kaasa tuua uue liigi tekke võtab universumi vanust silmas pidades liiga kaua aega.¹ Seega, kui kogu protsess baseerub juhuslikkusel, siis poleks *Homo Sapiens* meile teadaoleval kujul ja vormis saanud planeedil Maa tekkida, sest vaid ühe vale mutatsiooni või mõne makroaine viivitusega poleks inimkonnal olnud isegi võimalust eksistentsiks (Kauffman S. A., 1997, lk 28-32) ja suure tõenäosusega ei eksisteeriks inimene sellisel kujul nagu ta täna seda teeb. Isegikui evolutsiooniteooria, mis baseerub juhuslikel mutatsioonidel, ja loodusliku valiku printsiip peavad paika, peab nende taustal olema veel mingi seaduspärasus, mis informatsiooni kannab, tervikprotsessi suunab organismide kõrgema taseme struktuuride tekkeks lihtsamatelt keerukamatele. Keerulise struktuuriga organismid kulutavad rohkem energiat ja eritavad suuremas koguses soojust, seega on nad ka suuremad entroopia tootjad (England, 2020, lk 85-89).

Eluteke protsessina, elus organismide struktuuride keerukamaks muutumine ja nende elutegevus üldiselt tundub asuvat kaose ja korra vahepeal, justkui osalt reguleerimata, kuid samas organiseeritult (Kauffman S. A., 1997, lk 26-27). Mis tingib, et järgnevates põlvkondades potentsiaalselt võimalikke mutatsioone ja nende esinemist ei saagi detailselt ette ennustada, küll aga on võimalik ennustada arengulist suunda. Teisisõnu, baseerudes teadaolevatele liikide omadustele on võimalik ennustada, millised uued potentsiaalsed liigid võivad välja näha või millised on nende võimalikud omadused, kuid on võimatu detailselt visualiseerida ja kirjeldada liike, mis võivad tekkida nt järgneva 1000 aasta jooksul (Kauffman S. A., 1997, lk 31-33).

Erinevaid bioloogilisi struktuure omavahel kõrvutades ja võrreldes on võimalik neid kategoriseerida ka sümmeetria alusel (Weyl, 2021, lk 36-40). See ei tähenda ainult bioloogilise struktuuri välimist sümmeetriat, nt inimese puhul bilateraalsümmeetria, vaid ka „sisemist“

¹ Argumendi tuum on, et kui lähtuda elu tekke juhusehüpoteesist ja küsida, kui suur on tõenäosus, et olulised elemendid ürgookeanis elu tekkeks vajaliku konfiguratsiooni saavutavad, siis kasutades lühimat teadaolevat, nn Plancki aega, kuluks tõenäosusteooria põhjal vajaliku konfiguratsiooni saavutamiseks kordades rohkem aega, kui universumil on vanust.

sümmeetriat, organiseeritust ja „harmooniat“ ehk, kui peenelt on organismis rakusisene töö häälestatud ja kui suurel hulgal sisaldab uuritav organism erinevaid organeid, kudesid ja rakke, mis täidavad eraldiseisvatena küll erinevaid funktsioone, kuid mängivad olulist rolli organismi kui terviku töös (Weyl, 2021, lk 9-13), (Kauffman S. , 2019, lk 42-43).

Ürgsupis elutekkimise protsessi teooria sõnastas esimest korda Alexander Oparin 1924. aastal (Kauffman S. A., 1997, lk 34-35). Tegemist on ligikaudu 100 aasta vanuse teooriaga, mis on tänapäevases kontekstis mõnevõrra iganenud ja ei anna vastuseid kerkinud küsimustele elutekke kohta. Sellest tulenevalt on vajalik suunata tähelepanu „ürgsupi“ teooriast toekamatele teooriatele, millel on tugevam tõendus ja mis suudaksid elutekke protsessi selgemalt sõnastada. Idee eelajaloolisest “supist”, mis sisaldas elu tekkimiseks vajalikke elemente ei pruugi olla täiesti väär, kuid oleks ekslik oletada, et see teooria suudab täielikult selgitada keerukamate struktuuride teket.

1.2 Stanley Milleri ja Harold Urey aminohapete tekkimise protsessi selgitav ja põhjendav katse

Olulise panuse elutekke uurimisse andsid teadlased Stanley Miller ja Harold Urey, kes 1952. aastal viisid läbi katse tõestamaks, et 3,5 miljardit aastat tagasi oli Maa keskkonnas olemas kõik vajalik selleks, et moodustada aminohappeid ja elu tekkimiseks vajalikke keemilisi ühendeid. Katse tulemusena tõdeti, et simuleeritud eelajaloolises keskkonnas hakkasid tekkima *prebiootilised* aminohapped, millest lähtudes saab väita, et tõenäoliselt hakkasid erinevad ühendid Maal tekkima juba 3,5 miljardit aastat tagasi, kuid see ei selgita veel elu teket. Vastavate keemiliste ühendite tekkimine oli üheks oluliseks kriteeriumiks, et elu saaks üldse tekkida (Parker, et al., 2011).

1958. aastal Stanly Milleri poolt läbi viidud Milleril puudusid 1950-ndatel vastavad vahendid, et tuvastada suuremal hulgal aminohappeid ja amiine, mis olid viaalidesse katsete tulemusena kogunenud, kuid sellest hoolimata suutis ta nende katsetega tõestada, et ürgses Maa keskkonnas eksisteerisid aminohapete ja amiinide tekkimiseks vajalikud ühendid ja reaktsioonid. Seega olenemata ürgse Maa nõudlikust keskkonnast hakkasid tekkima ühendid, mis on peamisteks komponentideks elusorganismide ehituskivide ehk valkude struktuuris (Parker, et al., 2011).

Paljud elutekke uurijad on oma fookuse suunanud RNA ja RNA polümeeride põhiste elutekke võimalustele, sest elutekkimine oli võimalik RNA replikatsiooni teel, kuid ka sellel teoorial on omad nõrkused. Nimelt on RNA replikatsiooniga seotud elutekke teooriate taustal

küsimus juhuslike mutatsioonide kohta, mis võivad tekkida kui RNA endast koopiaid teeb
(Kauffman S. A., 1997, lk 48).

2. Stuart Kauffmani ja Jeremy Englandsi teooriad elu tekkimisest ja kujunemisest tuginedes termodünaamika II seadusele ja entroopiale

2.1 Akadeemikute lühitutvustus

Stuart Kauffman on Ameerika Ühendriikidest pärit bioloog ja keerukate süsteemide uurija. Oma karjääri jooksul keskendus ta iseorganiseerivuse teooriale, samuti on ta tegelenud ka teoreetilise bioloogia ja teadusfilosoofiaga. Teoreetiku hinnangul on iseorganiseeruvusel evolutsiooni aspektist vaadatuna väga suur roll, mõneti võrreldav isegi loodusliku valikuga. Elutus materias käivituvad erinevate tegurite mõjul protsessid, mille tulemusena tekib elus materia, just sellistele protsessidele ongi omane iseorganiseerumine (Kauffman S. A., 1997, lk 71-74).

Protsesside käigus tekkinud ühendeid ja järgneva arengu käigus tekkinud elus organismide füüsikalisi parameetreid ja omadusi saab küll mõõta, kuid nendest andmetest ei piisa, et teha põhjanevaid järeldusi elu tekke kohta (Kauffman S. , 2019, lk XII). Kõige paremini oleks ehk seda mõtet võimalik kirjeldada mõistega *emergentsus*, mis sisuliselt tõlgendab elusust omadusena, mida on võimalik analüüsida ja kirjeldada keemilistes ja füüsikalistes mõistetes, ent mis neis ei ammendu. Seega võib öelda, et elu on keemiliste ja füüsikaliste interaktsioonide suhtes emergentne. Põhimõtteliselt võiks selle fenomeni kirjeldamisel tõmmata paralleeli olukorraga, kus osahulk annab suurema arvu kui summa, seega jääb tervik nende osade eraldiseisvate analüüside kaudu mõistetamatuks.

Jeremy England on Ameerika päritolu füüsik ja biofüüsik, kes keskendub peamiselt spontaanse elu tekkimise uurimisele, kasutades selleks statistilist füüsikat. Uuritavat protsessi nimetab England dissipatsioonisurve all käivituvaks kohastumiseks. Praegusel hetkel tegeleb England loodud teooria ning valemi tõestamisega, mistõttu puudub antud hetkel veel võimalus Englandsi teooria kohta suuri üldistavaid järeldusi teha (Cirkovic & Milošević.Zdjelar, 2004).

2.2 Kauffmani elutekke teooria olemus, põhiideed ja selgitus

Oma teoses „*A world beyond physics: the Emergence & Evolution of life*“ väidab Kauffman, et kindlate elutekkeks vajalike kriteeriumite täitumine 3,5 miljardit aastat tagasi võimaldas elul tekkida eluta materias (Kauffman S. , 2019, lk 14-15). Oma teoses “*The Search for the Laws of Self-Organizing And Complexity*“ käsitletud elutekke analüüsi baasiks on teoreetiku küsimus, kuidas on elutekkimine võimalik universumis, mis allub termodünaamika seadustele ning, mis tingib selle, et tekkinud elu, mis samuti peaks alluma termodünaamika seadustele ei haju vahetult pärast tekkimist uuesti laiali molekulidena (Kauffman S. A., 1997, lk 22-25).

Kauffmani mõttekäiku on kaasatud ka küsimus erinevatest jõududest ja printsiipidest, mis võimaldavad tekkinud elul oma struktuuri keerulisemaks muuta ehk sisuliselt otsib Kauffman on uuringutes ja mõttekäikudes vastust, mis selgitaks, mille alusel ja mis võimaldab elus organismidel termodünaamika teisele seadusele vastu seista (Kauffman S. A., 1997), (Kauffman S. , 2019).

Termodünaamika II seaduse olemuseks on seaduspära, mille kohaselt liiguvad isoleeritud süsteemides kõik protsessid entroopia ehk korratuse suurenemise suunas, mis sisuliselt peaks välistama igasuguse elu tekkimise. Sellest tulenevalt on Kauffman pakkunud välja teooria, mille kohaselt on elutekke olemuses pidev võidujooks entroopiaga, ellujäämise tagamiseks peavad elusorganismid oma struktuuri pidevalt komplekssemaks ja veelgi struktureeritumaks muutma, et tagada ellujäämine universumis, milles kehtib termodünaamika II seadus (Kauffman S. A., 1997), (Kauffman S. , 2019). Sellest tulenevalt väidab Kauffman, et elu peab säilima hoolimata entroopia eksisteerimisest ja pidevast suurenemisest. Vaatamata entroopia elusorganisme langundavale toimele, suudavad need tagada bioloogilise struktuuri säilimise just suurenenud kompleksuse tõttu ehk elusorganismid suudavad oma struktuuri muuta keerulisemaks kiiremini, kui tekkiv entroopia suudab neid lagundada (Kauffman S. , 2019), (Kauffman S. A., 1997).

Seega Kauffmani hinnangul võis universumi kui süsteemi suur korratuse hulk ehk entroopia olla see, mis põhjustas elu tekke ning selle struktuuriliselt keerukamaks muutumise (Kauffman S. , 2019).

Kauffmani hinnangul peab elul olema kindel „algkeerukus“ ehk kindlaks määratud struktureerituse aste, mis määratleb lihtsaima võimaliku struktuuri, et need saaksid pidevalt suureneva korratusega maailmas eksisteerida (Kauffman S. A., 1997, lk 12-13). Arengut lihtsamatelt struktuuridelt keerukamatele avab osaliselt kambriumi ajastul toimunud

bioloogiline suur pauk (ingl *Cambrian explosion*), mis toimus ligikaudu 550 miljonit aastat tagasi ning mille tulemusena tekkis suur hulk uusi eluvorme, mis panid aluse peamiste „hõimkondade“ tekkele, millele baseerub ka tänapäevane bioloogilise maailma käsitlus (Kauffman S. A., 1997, lk 13). Uute eluvormide tekke selgituseks on iseorganiseerumine ehk olemasolevad osakesed proovivad juhusliku paigutumise kaudu leida võimalikult optimaalse struktuuri. See väljendub erinevate eluvormide ja struktuuride plahvatuslikus tekkes (Kauffman S. A., 1997, lk 12-13).

Kauffman sönul on alust arvata, et kui mingi kindel hulk keemilisi elemente kindlal ajahetkel sisaldab piisavalt molekule, siis kristalliseerub selles „keemilises molekulide supis“ metabolism ning tekib ainevahetus. Juhul kui see tõesti nii oleks, siis ainevahetuslikud võrgustikud selles keskkonnas ei moodustaks erinevaid komponente ühe kaupa, vaid need komponendid tekiksid välja kujunenud tervikuna ja sisuliselt samaaegselt (Kauffman S. A., 1997, lk 43-45).

Lisaks sellele arvab Kauffman, et elu on keerukate keemiliste struktuuride naturaalne omapära, seega kui kindel hulk molekule keemilises supis ületab teatava struktuurilise keerukusastme, hakkab tekkima isetoimivate keemiliste reaktsioonide võrgustik, mille tulemusena tekib autokatalüütiline ehk iseennast katalüüsiv ainevahetus – metabolism (Kauffman S. A., 1997, lk 47).

Iseennast katalüüsiva protsessi selgitus on järgmine: oletame, et lahuses on komponendid A, B ja C ning A ja B moodustavad omavahel sideme: $A+B = AB$. Kuna reaktsiooni käigus jääb komponent C sidumata, siis käitub komponent C antud reaktsioonis katalüsaatorina. Mida rohkem on lahusesse tekkinud AB osakesi, seda tempokamalt hakkab lahuses toimuma komponentide A ja B vahelisi reaktsioone, mida suurem kontsentratsioon AB ühendit on lahuses, seda kiiremini hakkavad vabad A ja B komponendid sidemeid looma. Kui lahuses on ainult komponendid A ja B, moodustatakse side $A+B = AB$; $AB + A + B = AB + AB$.

Antud lahuses toimib AB ise katalüsaatorina, mis tähendab, et ühend AB on võimeline iseseisvalt keemilisi protsesse käivitama. Selle tulemusena muutub ühendi struktuur ning seetõttu võivad muutuda ka ühendi keemilised omadused. Ehk eelnevat kokkuvõttes on tegemist süsteemiga, milles sisalduvad ained on võimelised erinevate keemiliste protsesside abil ennast taastootma ja selliste süsteemide ainevahetus ei sõltu eraldiseisvast katalüsaatorina käituvast aineest. Seega sõltub süsteemi ellujäämine tunduvalt väiksemal määral süsteemivälistest teguritest (Kauffman S. A., 1997, lk 51-52).

Suurem osa keemilisi reaktsioone kulgevad katalüsaatorita üsna aeglaselt. Andes kindlatele keemilistele elementidele piisavalt palju aega, võib nende elementide molekulide A

ja B omavahelisel kombineerumisel tekitada ühendi C. Kui aga reaktsioonis esineb katalüsaator, milleks on näiteks aine D, kiireneb reaktsiooni kulg. Aine D on katalüsaator, mis on piltlikult nagu lukuava, kuhu sobivad hästi A ja B molekulid ning A ja B molekulide kombineerumise tõenäosus suureneb. Antud reaktsioonis katalüüsib aine D molekule A ja B, mis omavahel kombineerudes moodustavad aine C, kuid nii A, B ja C molekulid võivad toimida samuti katalüsaatoritena, küll aga teistes keemilistes reaktsioonides. Oma olemuselt ongi elusorganismid keemiliste ühendite süstematiseeritud struktuurid, mis on suutelised katalüüsima ka iseenda paljunemist. Näiteks kui lahuses paiknevad molekulid hakkavad moodustama pulgalaadseid struktuure, siis teatud aja möödudes toimub nn. „murdumine“, mille käigus pikk „molekulaarne“ pulk murdub pooleks, mis omakorda tekitab juurde uusi pindu, kuhu on rohkematel molekulidel ennast võimalik kinnitada. Korduva protsessi tulemusena hakkavad pulgalaadsed molekulaarsed struktuurid taaskord pikenema ja murduma, kuid seekord juba kiiremini ja aktiivsemalt. Enamik katalüsaatoreid on tuntud ensüümidena, mis olemuslikult kiirendavad muidu väga aeglaselt kulgevaid keemilisi reaktsioone (Kauffman S. A., 1997, lk 48-50).

Analoogsed ainevahetuslikud süsteemid on igas elusorganismis, seega ka igas rakus. Nii võib öelda, et kui mitmekesine molekulide hulk on kuhugi akumulunud, siis on iseeneslikult katalüüsivate süsteemide teke sisuliselt vältimatu (Kauffman S. A., 1997, lk 50).

Kui avatud süsteemil on ligipääs suure ja kvaliteetse energiasaldusega allikale, näiteks juurdepääs sinistele footonitele, siis tagab see termodünaamilise töö tegemise ehk kõrge kvaliteediga energia allika olemasolu on termodünaamilise töö tegemise aluseks (Kauffman S. A., 1997).

Fotosüntees, mille käigus kasutavad taimedes asuvad kloroplastid päikesevalgusest saadavaid siniseid footoneid, et sünteesida eluks vajalike suhkruid, on üheks termodünaamilise töö tegemise näiteks. Protsessi tulemusena paisatakse keskkonda tagasi madalama energia sisaldusega footonid, seega fotosünteesimise protsess tekitab entroopiat (Kauffman S. A., 1997). Veelgi olulisem on rakkude sees toimuv kolme erineva nõ „piirangu“ koostöö ehk sunduse piirangute, töötsükli ja katalüütiline suletus. Suhe nende kolme suletuse vahel tähendab, et juba raku eellased (algrakud) ja hiljem kõrgema struktureeritusega rakud teevad termodünaamilist tööd eesmärgiga ennast üles ehitada ja komplekssemaks muuta, samas raku üles ehituse ja vabaenergia ammutamise käigus toodetakse entroopiat (Kauffman S. , 2019, lk 123-124).

2.3 Iseorganiseerumise protsessi selgitus

Järgnevalt antakse põgus ülevaade iseorganiseerumisest, mis baseerub põhimõttel, et süsteem ise otsib viise enda uuendamiseks, taastootmiseks ja struktuuri keerukamaks muutmiseks, et paremini kohaneda muutustega, nii süsteemi sees kui ka süsteemist väljas. Termodünaamilised jõud ning entroopia võiksid olla need tegurid, mis annavad iseorganiseerumisprotsessile kätte suuna ehk liigutakse lihtsamatelt struktuuridelt keerukamatele struktuuridele, sest keerukamad struktuurid on suuremad vaba energia kasutajad ja kulutajad. Vaba energia liigub väliskeskkonnast raku (või organismi) sisemisse keskkonda, kus see suunatakse raku, organi või organismi elutegevusse, mille tulemusena on võimalik teha tööd. Üheks peamiseks produktiks, mida rakud, organid ja organismid tööd tehes toodavad on soojus, mis kiiratakse tagasi väliskeskkonda (Kauffman S. , 2019, lk 72-75).

Iseorganiseerumisega seotud probleemistiku näiteks võiks olla teoreetiline katse konna blenderdamisega. Oletagem, et blenderisse pannakse konn, kes antud hetkel sümboliseerib tervikut ja normaalselt funktsioneerivat organismi. Konnal on kindel struktuur ning ta koosneb kindlatest rakkudest, mis täidavad normaalseks elutegevuseks vajalikke ülesandeid. Blender ei ole antud kontekstis mitte midagi muud, kui ese, mis suudab elusa organismi osakesed juhuslikkuse alusel segamini paisata. Käivitame blenderi ning konna fikseeritud struktuurist ehk korrapäraselt paiknevatest molekulidest ja aatomitest saame blenderdamise tulemusena hulga segamini paistatud aatomeid ja molekule, mida võiksite nimetada ka konna bioloogiliseks massiks. Kui konna segipaisatud molekulid ja aatomid asetada suletud keskkonda, mis on kindla rõhu all ja millest suunatakse konstantselt läbi kindlal temperatuuril õhk, hakkavad suletud keskkonnas paiknevad konna molekulid ja aatomid uuesti liikuma, käivitub reorganiseerumise ja rekombineerumise protsess (England, 2020, lk 60-67). Kui nüüd küsida, milline on tõenäosus, et konna biomassist saaks juhuslike ümberpaiknemiste tulemusena uuesti konn ilma iseorganiseeruvuse printsiibita, siis puhtmatemaatiliselt võiks see protsess võtta aega miljardeid aastaid. Aga isegi kui konna algstruktuur suudetaks niiviisi taastada, ei pruugiks see “konn” olla elus. Taastatud konn oleks võrdväärne inimese elutunnusteta kehaga. Seega kaob esialgse konna blenderdamisprotssi käigus konna füüsilist vormi elusaks muutev aspekt, see emergentne ja elu tekkimise seisukohalt keskne tunnus, mida selgitada on tarvis (England, 2020, lk 60-67). Selle Englands näite alusel on võimalik Kauffmani teooriat rünnata.

2.4 Englandi elutekke teooria olemus, põhiideed ja selgitus

Sarnaselt Kauffmaniga proovib England leida vastust küsimusele, kuidas on elu tekkimine võimalik termodünaamika II seadusele alluvas universumis ning mis tagab tekkinud elu säilimise. Englandi teooria kohaselt on elu teke võimalik entroopia suurendamise teel. Keerulise struktuuriga organismid kulutavad rohkem energiat ja eritavad suuremas koguses soojust, seega on nad ka suuremad entroopia tootjad. Võtmetähtsusega on Englandi teooria juures nn dissipatsiooni surve all käivituv iseorganiseerumise protsess (ingl *dissipation-driven adaptation*). Tegemist on üldise termodünaamilise mehhanismiga, mis selgitab molekulide iseseisvat organiseerumist erinevatest struktuuridest koosnevates süsteemides. See paneb paika süsteemide struktuurides toimuvate muutuste trajektoori, kus toimub suurim töö neeldumine ja mille tulemusena eraldatakse soojust keskkonda. Molekulide ja aatomite paiknemise juures on oluline kord ja korrastatus. Mida korrastatum on paigutus ja mida komplekssem struktuur, seda suuremal hulgal on see võimeline keskkonnas leiduvat vabaenergiat kasutama ning seda soojusena keskkonda paiskama. Sellest tulenevalt on mitmeosaliste süsteemide struktuurid liikuvuses ning liikumine toimub suurema töö tegemise ja neeldumise suunas (madalamalt kõrgemale), mis omakorda võimaldab üha keerulisemate süsteemide ja struktuuride tekke. Ehk, Englandi teooria aluseks on idee, et elu tekkimine termodünaamika teisele seadusele alluvas universumis on seotud sellega, et elusorganismid maksimeerivad entroopiat. Seega universumi organiseerumine aatomi tasemest kõrgemale on ergootiline protsess, mis tähendab, et süsteem proovib läbi vähegi võimalikud olekud kindla ajaühiku jooksul, maksimeerimaks entroopiat (England, 2020).

Teise termodünaamika seaduse kohaselt selliste olekute „läbi proovimise“ jooksul üleüldine korratus ehk entroopia universumis suureneb. Tüüpiliseks juhtumiks antud kontekstis on suletud termodünaamiline süsteem, kuhu on paigutatud gaasi molekulid, mis proovivad läbi iga võimaliku paigutuse enne, kui saavutatakse molekulaarne tasakaal. Nii on gaasi molekulid saavutanud kõige tõenäolisema makro oleku, kus entroopia on saavutanud haripunkti, maksimumi (England, 2020, lk 24-27).

Teise termodünaamika seaduse kohaselt suureneb entroopia siis, kui süsteem liigub vähem tõenäolistelt makro-olekutelt suurema tõenäosusega makro-olekutele. Näiteks võiks siin olla kuum tass auravat kohvi, mis muutub esmalt leigeks ja seejärel külmaks. Või siis

jääkuubik, mis sulades muutub veeloiguks ning mille käigus tekib entroopia. Kirjeldatud protsessi võiks visualiseerida ka palli liikumise näitel kujutletaval maastikul, kus on orud ja mäed ning keskkonnas olev energia ja palli siseenergia panevad palli liikuma. Keskkonnas olev vabaenergia võib töötada palli jaoks nagu eskalaator, andes pallile energiat ja soodustab palli jõudmist „mäe tippu“. Protsessi käigus toimub energia vahetus palli ja keskkonna vahel, pallile „laenatud“ energia kandub töö käigus keskkonda tagasi soojusena. Analoogset ideed saab rakendada ka rakkude ja keskkonna vahelise „suhtluse“ kirjeldamiseks. Keskkonnast saadav vabaenergia rakendatakse rakkude teatud osadele ja organellidele, mis kasutavad vabaenergiat töö tegemiseks, töö tegemise üheks kaasproduktiks on soojus, mis kiiratakse tagasi keskkonda soojusenergiana. Sellest protsessist tulenevalt hakkavad erinevad korrapäratult keskkonnas paiknevad molekulid ennast spontaanselt korrastama stabiilsemasse, madala entroopiaga struktuuri eeldusel, et loodud struktuuri energia on madalam kui keskkonnas leiduvate muude mitmekesiste struktuuride energia ning keskkonna temperatuur ei ole liiga kõrge. Näiteks tiigivee külmumine, mille käigus vee osakeste struktuur muutub, need paigutuvad iseeneslikult ümber ja moodustavad uue struktuuri, mis on stabiilsem ja madalama entroopiaga (England, 2020, lk 4-140).

Süsteemi võime teha tööd võimaldab energia suunamist süsteemi, mis omakorda süsteemi siseselt toimib ainult kindlatel süsteemiosadel. Protsesse, mis eluga kaasnevad, on sisuliselt võimatu panna vastupidiselt töötama, tegemist on süsteemi siseste töötsüklitega, mis ei ole ümberpööratavad. Elu omastab alati energiat keskkonnast, olgu see siis toitainete või päikseenergia kujul ning „eritab“ jääkproduktina alati keskkonda soojust. Ehk siis, elutegevuse tulemusel entroopia koguhulk kasvab (England, 2020, lk 52-90).

Dissipatsiooni surve all toimuva iseorganiseerumise printsiibi kohaselt on entroopia tootmisel võtmeroll süsteemisisesete sidemete loomisel energia ülekandmisel ja protsesside statistilisel pöördumatusel (Cirkovic & Milošević.Zdjelar, 2004).

Elus organismide struktuuri keerukamaks muutumine on seotud entroopia hulgaga, mis on keskkonnas ja mida toodetakse elutegevuse käigus. Dissipatsiooni surve all käivitava iseorganiseerumise oluliseks märksõnaks on väline energia, mis võimaldab suletud süsteemi ülekantuna käivitada töö tegemise protsessid süsteemi sees ja mille käigus paisatakse keskkonda tekkinud soojus. Näiteks valkude sisesed termodünaamilised tõuked aitavad saavutada nende õige kuju ja struktuuri. Suur hulk selliseid valke on piltlikult külmunud tiigivee struktuuri moodustamisega sarnased, nad taastavad oma peenelt ülesehitatud konfiguratsiooni sisemiste termodünaamiliste tõugete abil, mis aitavad neil nõ „entroopia mäest alla veereda“ madala vaba energia suunas (England, 2020, lk 104-108).

Elussüsteemid omavad seega sarnasusi eluta mateeriaga, näiteks nii jää kui valgud on suhteliselt madalas makroseisundis ja reageerivad äärmiselt väiksele hulga peenetele mikromõjutustele ja mikroiseisunditele kõikide võimalike konfiguratsioonide hulgast (England, 2020).

Elussüsteemid on saavutanud võime geneetilisi protsesse “lubada” ja “keelata”, mille tulemusena toimuvad süsteemisisesed termodünaamilised töotsüklid, mis võimaldavad süsteemil ennast taastoota ja vajadusel regenereerida ja parandada vigastada saanud süsteemi osi. Lühidalt, rakkude sisese elutegevuse käivitavaks ja töös hoidvaks jõuks ongi justnimelt termodünaamika (Kauffman S. , 2019, lk 29-31).

Tulles hetkeks tagasi elusorganismide ehituskivide ehk valkude juurde on oluline mainida, et valkude kujunemine aminohapetest ei saanud mitte mingil juhul olla juhuslik ning olemasolevaid valke ei toodetud juhuslikkuse alusel. Näiteks ühe 200 aminohapest koosneva valgu moodustamiseks on erinevaid võimalusi 20^{200} , seega kui valkude tekkimine alluks täielikult juhuslikkuse printsiibile ehk kindlad valgud tekkisid juhuslike aminohapete kombineerumise teel, siis ainuüksi ühe, 200 aminohapet sisaldava valgu kujunemine võtaks aega miljardeid aastaid – kui mitte rohkem. Kui valgu ehitusprotsessi jooksul tekiks kasvõi üks eksimus, pikeneks selle valgu loomise aeg veelgi. Seega juhuslikkuse alusel kuluks valkude tekkele kolossaalne hulk aega. Kui aga kogu valgu tekkimise protsess siiski allub kindlatele seadustele ja seaduspärasustele ning mitte juhuslikkusele (vähemalt mitte täielikult juhuslikkusele) nagu seda taotles Darwin, siis klapiks elu tekkimine ja biosfääri struktuuri keerukamaks muutumine ajaliselt eluga. Maal nii nagu seda täna teame. Ning just selliseks seaduspäraseks ongi dissipatsioonisurve all käivituv iseorganiseerumine, mis maksimeerib entroopia tootmist (Kauffman S. , 2019, lk 3).

3. Kauffmani ja Englandi elutekke teooriate võrdlus

Kuigi Kauffman ja England otsivad oma elutekke teooriates vastust samale küsimusele – kuidas on elu tekkimine võimalik teisele termodünaamika seadusele alluvas universumis ning mis võimaldab elusorganismidel vastu seista entroopia ja termodünaamika II seadusele – on nendel teooriatel teatav põhimõtteline erinevus. Kauffmani hinnangul on elutekke olemuses pidev võidujooks entroopiaga, ellujäämise tagamiseks peavad elusorganismid oma struktuuri pidevalt komplekssemaks ja struktureeritumaks muutma, sest see tagab ellujäämise universumis, milles kehtib termodünaamika II seadus. Kauffman väidab, et elu peab säilima *hoolimata* entroopia eksisteerimisest ja pidevast suurenemisest. *Vaatamata* entroopia elusorganismide langundavale toimele suudavad need tagada bioloogilise struktuuri säilimise just kompleksuse suurendamise tõttu. Ehk, elusorganismid suudavad oma struktureeritust muuta keerulisemaks kiiremini kui tekkiv entroopia suudab neid lagundada. Seega Kauffmani hinnangul võis olla universumi kui süsteemi suur korratuse ehk entroopia hulk see, mis põhjustas elu tekke ning selle struktuuriliselt keerukamaks muutumise mingi ajaühiku jooksul.

Englandi teooria tugineb dissipatsiooni surve all käivituvale iseorganiseerumisele ja entroopia maksimaalse kasvatamise protsessile. Dissipatsiooni surve all käivitava iseorganiseerimise keskmes on väide, et keskkonnas leiduvad juhuslikud molekulide grupid on võimelised iseeneslikult organiseeruma ja struktuure moodustama, et keskkonnast efektiivsemalt energiat ammutada ja tööprotsesside käigus tekkivat soojust keskkonda hajutada. Maksimum entroopia kasvatamise protsessi käigus jõutakse struktuurini, mis on keskkonnast saadava energia osas kõige vähem valiv, seega maksimum entroopia saavutanud struktuur on keerukama struktuuriga. Englandi sõnul on elus organismide struktuuri keerukamaks muutumine seotud entroopia hulgaga – seda nii keskkonnas leiduva kui elutegevuse tulemusena tekkinud entroopiaga. Dissipatiivse kohanemise oluliseks märksõnaks on väline energia, mis võimaldab suletud süsteemi ülekantuna käivitada töötegemise protsessid süsteemi sees, mille käigus paisatakse keskkonda tekkinud soojus.

Mõlema akadeemiku teooria aluseks on eeldus ürgsupi teooria mõningase paikapidavuse kohta. Maa ürgses keskkonnas peaksid eksisteerima grupeerimata ehk vabad molekulid, mis hakkasid iseorganiseeruma, moodustades selle protsessi tulemusena erinevaid struktuure ja süsteeme. Seega, olenemata sellest, et ürgsupi teooriat ei saa pidada elu tekkimise otseseks seletuseks leidub selles siiski tõepäraseid ideid ja motiive, millest lähtuda elutekke teooriatest ülevaate saamiseks.

Nii England kui Kauffman rõhutavad oma välja pakutud teooriates iseorganiseerumise protsessi olulisust elu tekkimises. Iseorganiseerumise keskmes on keskkonnas leiduvate üksikute molekulide potentsiaal moodustada struktuure ja süsteeme selleks, et keskkonnast efektiivsemalt energiat ammutada ning struktuuri sisese töö tulemusena soojust efektiivsemalt keskkonda hajutada. Iseorganiseerumise protsessi olulisuses ja selle nähtuse tähtsuses elu kujunemise juures on nii England kui ka Kauffman ühel nõul. Erinevuseks on iseorganiseerumist käivitav jõud. Englands arvates käivitub iseorganiseerumine dissipatsiooni surve tõttu, Kauffman seevastu väidab, et iseorganiseerumine käivitub siis, kui molekulid on jõudnud teatud kompleksuse astmeni ning just see kompleksus on see, mis toimib protsessi käivitajana.

Niisiis on suurimaks erinevuseks Kauffmani ja Englandsi elu tekketeooriate vahel vastus küsimusele, mis põhjustab moodustunud süsteemide struktuuride komplekssemaks muutumist. Kauffmani arvates on just suurenev entroopia see, millega võitlemiseks hakkavad iseorganiseerumise tulemusena tekkinud süsteemid enda struktuuri komplekssemaks muutma. Englands seevastu leiab, et maksimum entroopia saavutamine on miski, mis käivitab struktuuride keerukamaks muutumise protsessi. Sisuliselt on süsteem suuteline saavutama komplekssema struktuuri läbi entroopia suurendamise ehk see, kas süsteemi struktureeritus muutub keerukamaks või mitte dikteeritakse entroopia poolt. Kõrgem kompleksuse aste toodab rohkem entroopiat, suurenenud entroopia hulk sunnib süsteemi uuesti oma struktuuri komplekssemaks muutma, seega selline pidev liikumine entroopia hulga ja struktuuri kompleksuse vahel on see, mis suunab süsteemide struktuuride keerukust.

Kauffmanile tungindes saab väita, et kui süsteemid ei oleks suutelised oma struktuuri komplekssemaks muutma, tähendaks see, et tekkinud elu ei oleks jäänud püsima, vaid esimesed tekkinud rakud oleksid entroopia lagundava toime tõttu uuesti keskkonda hajunud, seega elu ei eksisteeriks sellisel kujul nagu täna. Englands seevastu rõhub just maksimum entroopia saavutamise olulisusele, mis võimaldab süsteemidel jõuda struktuurini, mis on piisavalt valimatu keskkonnast saadava energia suhtes ning tagab seega süsteemide ellujäämise. Sellele lisaks arvab Englands, et dissipatsiooni survele alluv kohanemine on nähtus, mis ajendab molekule iseeneslikult süsteemideks organiseeruma ja võimaldab neil efektiivsemalt ja täielikumalt keskkonnast energiat saada ning süsteemisüsteemide tööprotsesside tulemusena tekkinud soojust paremini tagasi keskkonda hajutada.

4. Diskussioon ja kriitika

4.1 Kriitika Englandi teooria kohta

Käesolev peatükk sisaldab esmalt mõningast kriitikat peamiselt Englandi teooria kohta ning seejärel autoripoolset hinnangut ja interpretatsiooni käsitletud teooriatele. Siinkohal võib oluliseks osutada teadmine, et Kauffman on staažikam ja pikema karjääriga võrreldes Englandiga, samuti on Kauffman oma valdkonnas nõ staaristaatusega ja tema tööd seetõttu loetumad. Lisaks tuleb arvestada, et Englandi taotluseks on katsete alusel tõestada loodud teooria ja seda kirjeldava valemi tõepärasust. Seetõttu on ta teooria ka kriitikale enam avatud. Sellest hoolimata ei väitnud ükski Englandi teooriat kritiseeriv teadlane, et teooria või valem oleks läbinisti vale. Veelgi enam, paljudes kriitilistes kommentaarides tõdeti, et Englandi teooria tõestamiseks tehtavate katsete tulemused ja tõendus määrab selle, kuidas teadusmaailm teooriale lõppkokkuvõttes reageerib (Miller, 2020).

Peamiselt on erinevad teadlased avaldanud kriitikat Englandi teooriale seetõttu, et tal ei ole seni õnnestunud oma loodud elu tekkimise valemi tõesust katseliselt tõestada. Siiski on Englandi näol tegemist alles noore teadlasega ja tema panus ning ideed akadeemilises kogukonnas väga hinnatud, neis nähakse suurt potentsiaali. Kokkuvõttes taandub kõik sellele, kas loodud valem on võimeline kirjeldama elu tekkimise protsessi või mitte. Kuna antud hetkel tegeleb England katsete läbiviimisega valemi ja teooria tõestamiseks, on keeruline teooriat otsast lõpuni kritiseerida. Kuid olenemata sellest on näiteks Englandi kolleeg Brian Miller tõdenud, et Englandi teooria vastu räägib asjaolu, et looduslikud mehhanismid ei suuda toota vajalikus koguses energiat selleks, et käivitada rakutasandil eluteket. Miller väidab, et termodünaamilise barjääri ületamiseks on vaja piltlikult öeldes „mootori“ olemasolu, mis aitaks rakul hankida piisavalt energiat esmalt raku ehitamiseks ja seejärel selle töö funktsioonide täitmiseks. Lisaks tõdeb Miller, et ainuüksi raku enda ellujäämiseks ja töös hoidmiseks läheb vaja suurt hulka energiat, seega Englandi teooria kontekstis vajab rakk kolossaalsel hulgal lisaenergiat, et vältida enese lagunemist (Miller, 2020).

4.2. Diskussioon

Uurides Kauffmani ja Englandsi mõttekäike ning teooriaid leidis töö koostaja end piltlikult öeldes ristmikul, kus avaneb võimalus valida endale meelepärane teooria ning anda vastused küsimustele elu tekke kohta. Kuigi mõlemad akadeemikud püüavad vastata samale küsimusele, sisaldavad nende mõttekäigud ja teooriad elu tekkest nii märkimisväärseid sarnasusi kui ka põhimõttelisi erinevusi. Nii Kauffmani kui ka Englandsi teooriates on väga veenvaid ja olulisi punkte, mis toovad esile mõlema teooria unikaalsuse ning muudavad need usutavaks. Mõlemad teooriad sisaldavad ka kriitikapunkte varasemate mõtteliinide juures.

Võimalik IV termodünaamika seadus on selgesti esindatud nii Englandsi kui Kauffmani teooriates. Englandsi väitel on IV seadus sisuliselt vastukaaluks II termodünaamika seadusele, teisisõnu termodünaamika IV seadus loob erandi universumis, mis vastab termodünaamika II seadusele. Eelkirjeldatu avaldub süsteemi võimes oma struktuuri pidevalt komplekssemaks muuta, mis omakorda on aga tugevalt seotud IV termodünaamika seadusega ja võimaldab süsteemidel saavutada maksimum entroopia, mis omakorda tingib süsteemi struktuuri muutumise.

Kuigi Kauffmani teooria baasiks on samuti võimalik IV termodünaamika seadus, on tema hinnangul süsteemide struktuuride võime komplekssemaks muutuda seotud ellujäämisega. Kuna entroopia mõjub elusorganismidele lagundavalt, siis entroopia mõjule vastuseismiseks peavad elus süsteemid oma struktureeritust pidevalt keerukamaks muutma. Seega toimub Kauffmani hinnangul pidev *võitlus* suureneva entroopiaga.

Kauffman ja Englandsi tõlgendavad erinevalt ka iseorganiseerumise protsessi käivitavaid tegureid. Kauffman arvab, et iseorganiseerumine käivitub, kui keskkonnas üksikult paiknevad molekulid on saavutanud teatud keerukusastmega struktuuri. Englandsi teooria kohaselt käivitub iseorganiseerumine dissipatsiooni surve all, teisisõnu hakkavad keskkonnas eksisteerivad üksikud molekulid iseseisvalt moodustama molekulide gruppe ja struktuure, et keskkonnast efektiivsemalt vaba energiat ammutada ning süsteemisestse tööprotsesside tulemusena tekkinud soojust keskkonda efektiivsemalt kiirata.

Kriitiliselt võttes – eelpool toodud näidet konna blenderdamisest saab tegelikult kasutada ka Kauffmani teooria küsimärgi alla seadmiseks. Olenemata sellest, et konna juhuslikud molekulid võivad ennast piisava aja olemasolul uuesti konnaks struktureerida, ei ole usutav, et niimoodi restruktureeritud konna elutegevust jätkaks. Konna molekulidest uuesti moodustatud konna keha on küll struktuurilt konna, kuid see ei ole suuteline normaalset elutegevust jätkama. Apellatsioon elule kui emergentsele omadusele jääb mõneti

läbipaistmatuks – nagu ka üldine jutt iseorganiseerumisest. Antud kontekstis võidaks entroopia, konn oleks restruktureeritud, kuid elutunnusteta. Sisuliselt võiks seda Englandi näidet niisiis kasutada Kauffmani teooria ümberlökkamiseks.

Englandi mõttekäikude ja teooria eeliseks on valem, mis kirjeldab elu tekkimist ja sisuliselt sõnastab selle põhiprintsiibid, kuid oluliseks puuduseks on asjaolu, et England ei ole veel jõudnud selle tõesust katsetega tõestada. Hoolimata sellest, et teooria koos valemiga tundub veenev, puudub sel tugev tõendus, mis on katsetega tagatud ning mille põhjal saaks kindlalt väita, et valem tõepoolest sõnastab elutekke protsessi.

Kokkuvõte

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli analüüsida Stuart Kauffmani ja Jeremy Englandi tekste, et kaardistada termodünaamika seadustega põhjendatud elutekke diskussiooni hetkeseisu ja koostada ülevaade uuenenud elutekke teooriatest, mis baseeruvad termodünaamil ning tuua välja diskussioon kahe tuntud akadeemiku teooriate vahel ning seda interpreteerida. Üldisemalt võiks antud töö olla tekstiks, mida saavad kasutada eesti keelt ainsa keelena kõnelevad inimesed, et ennast uuemate elutekke teooriatega kurssi viia.

Oluline on tõdeda, et ainult ürgsupi ja evolutsiooni teooria ei suuda selgitada elu tekkimisega seotud protsesse ning anda detailsemaid vastuseid elu tekkega seotud küsimustele. See ei tähenda, et eelnevalt mainitud teooriad oleksid läbinisti väärad. Vastupidi, mõlemas teoorias leidub materjali, mis on käesolevas töös kajastatud elutekke teooriate vundamendi osadeks.

Kauffman ja England proovivad leida vastust samale küsimusele – kuidas on elu teke võimalik teisele termodünaamika seadusele alluvas universumis ning mis tingib elus organismi ellujäämise teisele termodünaamika seadusele alluvas universumis. Olenemata sellest, et Kauffmani ja Englandi teooriates on teatavaid sarnasusi, näiteks elutekke protsessi kirjeldamise juures iseorganiseerumise tähtsustamine, esineb sellele vaatamata mõlema teooriate keskmeks olevates ideedes põhimõttelisi erinevusi.

Kui Kauffmani mõttekäik baseerub suuresti suureneva entroopia vastu *võitlemisele*, siis Englandi arvates on elu tekke tuumaks justnimelt maksimaalse entroopia saavutamine, mis suunabki süsteemide struktuuri kujunemist. Seega Kauffman väidab, et elu teke on võimalik, sest keskkonnas leiduvad molekulid peavad ellujäämiseks termodünaamika II seaduse vastukaaluks pidevalt süsteemi struktuuri keerukamaks muutma. Englandi teooria olemuse kohaselt aga on termodünaamika IV seadus, mis elu tekkimise võimalikuks muudab, sisuliselt entroopia maksimeerimise nõ lihtsaima vastupanu tee. Just see survestab süsteemi oma struktuuri keerukamaks muutma.

Kuigi Kauffmani teooria on vanem ning toetub laiemale pinnale, leidub tema elu tekke teooriale ka teatavaid vastuväiteid. Neist üheks on eelnevalt mainitud konna iseorganiseerumise protsessi kirjelduses, kus konna blenderdamise teoreetilisest katsest järeldub, et Englandi teooria kohaselt toimuv molekulide iseorganiseerumine ei ole tegelikult suuteline elutunnustega konna uuesti looma, mis seab mõneti küsimärgi alla Kauffmani teooria iseorganiseerumise kohta, mille käivitajateks on teooria kohaselt “piisava” keerukusastmega molekulid, mis sobival hetkel hakkavad iseseisvalt organiseeruma – kui see nii oleks,

moodustuks rekombineerumise tulemusena elutunnustega konna, paraku see nii aga ei ole. Seega tundub, et entroopia võidutseb struktureerituse üle.

Englanti teooria tuumaks olev IV termodünaamika seadus tundub andvat selgema ja terviklikumaid vastuseid elutekke kohta, lisaks sellele põhjendab Englanti konna näide väga tabavalt, seda, miks Kauffmani iseorganiseerumise teooria paika ei pea. Olenemata Englanti teooria potentsiaalikusest on see katseliselt veel suurel määral tõestamata ning lõplikku hinnangut sellele teooriale ja valemile hetkel antud veel ei ole.

Bibliograafia:

1. **Beretta**, Gian P. 2020. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. – *The fourth law of thermodynamics: steepest entropy ascent*, Vol. 378, No. 2170, 1-17.
2. **Cirkovic**, Milan M; **Milošević.Zdjelar**, Vesna. 2004. Foundations of Science. – *Three's a crowd: On causes, entropy and physical eschatology*, Vol. 9, No. 1, 1-24.
3. **Doudna**, Jennifer and **Sternberg**, Samuel. 2018. *A Crack in Creation: the New Power to Control Evolution*. London: Penguin Random House.
4. **England**, Jeremy. 2020. *Every Life Is On Fire: How Thermodynamics Explains the Origins of Living Things*. New York: Basic Books.
5. **Karo**, Roland. 2019. Inimese evolutsioon – mateeria kergeima vastupanu tee? – *Kirik ja Teoloogia*, 27.09. URL: <https://kjt.ee/2019/09/inimese-evolutsioon-mateeria-kergeima-vastupanu-tee/> (vaadatud 15.09.2021).
6. **Kauffman**, Stuart A. 2019. *A world beyond physics: the Emergence & Evolution of life*. New York: Oxford University Press.
7. **Kauffman**, Stuart A. 1997. *At Home in the Universe: the Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
8. **Martinez-Kahn**, Mayo; **Martinez-Castilla**, Leon. 2010. Ecological Psychology. – *The Fourth Law of Thermodynamics: The Law of Maximum Entropy Production (LMEP)*, Vol. 22, No. 1, 69-87.
9. **Miller**, Brian. 2020. On the origin of Life, Here Is My Response to Jeremy England. – Evolution News, May 11. URL: <https://evolutionnews.org/2020/05/on-the-origin-of-life-here-is-my-response-to-jeremy-england/> (vaadatud 12.12.2021).
10. **Parker**, Eric T; **Cleaves**, Henderson J; **Dworkin**, Jason P; **Glavin**, Daniel P; **Callahan** Michael; **Aubrey**, Andrew; **Lazcano**, Antonio; **Bada**, Jeffrey L. 2011. PNAS. – *Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H₂S- rich spark discharge experiment*, Vol. 108, No. 14, 5526-5531.
11. **Weyl**, Hermann. 2021. *Sümmeetria*. Tartu: Ilmamaa.

The IV Law of Thermodynamics and Entropy – discussion and interpretation Summary

The main value of this research paper is to provide the reader with updated information regarding the new theories of emergence of life in Estonian. Since finding materials about new theories of emergence of life in Estonian is rather difficult, this research paper attempts to be a summary of these theories, with a purpose of introducing them to Estonian speaking population.

The thesis begins with an introduction, which is followed by more thorough introduction to the overall topic regarding emergence of life, evolution, and the laws of thermodynamics. In the second chapter Stuart Kauffman's and Jeremy England's theories will be explained more in depth, which is followed up by the chapter three in the core of which lies the comparison of the two theories. Fourth chapter of this research paper is mainly dedicated to discussion and interpretation.

The theories discussed and introduced in this paper are created by two academics, Stuart Kauffman and Jeremy England, whose theories about emergence of life are threatening to overtake the current theory of life, which heavily relies on ideas about the so-called primordial soup and Darwinian theory of evolution. None of these previously mentioned theories are entirely wrong, however these theories are drastically outdated and therefore there is a need to provide the reader with new theories describing possible reasons and processes of emergence of life.

As a result of this research it was possible to acknowledge, that eventhough there are some similarities between the theories of Stuart Kauffman and Jeremy England, the main body of their theories is fundamentally different. According to the words of S. Kauffman, the emergence of life is possible due to the necessity to fight against the growing entropy, this phenomena forces biological structures and systems to change their structure more complex in order to withstand the decomposing effects of the entropy. J. England counters that by stating that entropy and more precisely maximum entropy is the key element, which triggers the process of emerging of life, adding that entropy is also something, which guides systems towards more complex structures, but this "guiding" entropy is produced by systems themselves. This means that the 4th Law of thermodynamics has the key role in the process of the formation of life.

In the last part of this research paper the author was expected to give an opinion regarding the two theories- to be more precise the author needed to express, which of these theories is more plausible from the author's point of view. The author chose J. England's

theory, because eventhough S. Kauffman`s ideas regarding self-organizing and emergence of life were well justified, they seemed to leave quite a few questions unanswered, meanwhile England`s theory seemed to give more in depths explanations, relying heavily on physics, biology and chemistry.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marcus Mahla,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose “IV termodünaamika seadus ja entroopia – diskussioon ja interpretatsioon”, mille juhendaja on Roland Karo, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

autori nimi

Marcus Mahla