



LUND UNIVERSITY

Livstecken

Sökandet efter liv i främmande världar

Dunér, David

Published in:
Liv

2017

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Dunér, D. (2017). Livstecken: Sökandet efter liv i främmande världar. I J. Abbott, & E. Persson (Red.), *Liv: Utomjordiskt, artificiellt och syntetiskt* (s. 91–127). Pufendorfinstitutet, Lunds universitet.
<https://www.pi.lu.se/sites/pi.lu.se/files/liv.pdf#page=92>

Total number of authors:
1

Creative Commons License:
Ospecificerad

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Livstecken

Sökandet efter liv i främmande världar

David Dunér

Du går på en okänd strand vid ett oändligt hav. Du finner vad du först tror är en vanlig sten, men när du lyfter upp den och tittar närmare på den, ser du att den har ett intrikat mönster. Den är regelbundet räfflad, spiralformad, belt annorlunda alla andra stenar på stranden. Längre bort i vattenbrynet ser du en grå massa som rör sig och försvinner ner i havet. Du går vidare och finner märken i sanden, parvisa trekantiga märken som du kan följa med blicken som om de var på väg i en bestämd riktning. Till slut finner du cirklar, trianglar och geometriska figurer liksom om de vore inristade av någon och innehöll en inre mening. Är det tecken på att något levande funnits och ännu finns på denna strand vid det okända?

Några forskare studerar en meteorit i ett laboratorium och finner tubliknande strukturer. En rymdsond landar på Mars yta, borrar sig ner i den röda sanden och dess instrument ger strax utslag att några intressanta molekyler finns där gömda under Marsytan. Ett stort teleskop riktas mot en avlägsen planet. Några astronomer analyserar ljuset från denna främmande värld som visar ovanliga proportioner av gaser i dess atmosfär. En natt fångar ett radioteleskop in okända radiosignaler från yttre rymden som bryter av det vanliga brusset i universum. Är det tecken på liv?

Vår levande jord är en av många miljarder planeter i vår vintergata, en bland många miljarder andra galaxer i vårt universum. Är detta den enda plats där liv växer, frodas och går under eller finns det måhända otaliga andra världar, med sina hav, stränder, kontinenter och levande varelser? Detta är vad astrobiologin försöker besvara, det vill säga det mångvetenskapliga utforskandet av livets ursprung, utveckling och förekomst i rymden (se även Dravins kapitel). Om vi inte kan färdas till dessa främmande världar, skulle vi i stället kunna studera dem på avstånd och söka efter tecken på liv? Det mest sannolika scenariot i sökandet efter liv i rymden är att vi en dag upptäcker tecken på liv på andra planeter, inte att vi håller detta liv i handen, men finner de spår som biologiska processer lämnar efter sig. Dessa så kallade biosignaturer är i sig själva inte liv, men skulle kunna avslöja särskilda biokemiska processer som har sitt ursprung i utomjordiskt liv. Detta är vad

astrobiologerna hoppas kunna upptäcka en dag, livstecken, för vi kommer sannolikt inte att inom överskådlig framtid komma på sätt att resa till andra planeter, så kallade exoplaneter, utanför vårt solsystem. Men hoppet om att finna liv på andra planeter och månar inom vårt eget solsystem har inte givits upp. I något avlägset hörn av vårt solsystem kanske det, hoppas man, gömmer sig mikrober eller encelliga mikroskopiska organismer, men några mer komplexa former av liv är det nog osannolikt att vi finner. Hur som helst, det framstår som alltmer uppenbart att bland de hundratal miljarde stjärnor som finns i vår vintergata kan det finnas många miljoner jordliknande planeter varav många kan vara beboeliga och ha de rätta förutsättningarna för att liv ska uppstå och trivas. Även om vi inte i en nära framtid kommer att kunna se dessa varelser framför oss, inte ens kunna se dessa planeters ytor, är det fullt möjligt att vi inom en snar framtid skulle kunna förfin våra metoder och observationer så att de en dag låter oss upptäcka tecken på liv.

Utmaningen är att kunna tolka dessa tecken, att utifrån speciella fenomen dra slutsatsen att de måste vara tecken på liv. För att lyckas med detta måste det, förstås, finnas liv som vi kan upptäcka. Vi måste också ha tekniska möjligheter och metoder för att finna det. Men detta är inte tillräckligt. Vi är också utlämnade till vårt eget tänkande och de vetenskapliga metoder och samarbeten som står oss till buds och som är ett resultat av människans korta historia och kultur. Biosignaturer kan vara av många olika slag, det kan röra sig om kemiska substanser som grundämnen och molekyler som har samband med biologiska processer, det kan vara geologiska och mineralogiska formationer skapade av biologisk aktivitet, men också om fysiska föremål som strukturer eller former som liknar levande organismer, och om fysiska fenomen som elektromagnetisk strålning, ljus och temperatur. De kan variera i storlek från atomer till planeter, kanske till och med i storleken av hela solsystem. Vi kan söka efter dem på plats på våra närmaste planeter och månar eller upptäcka dem på avstånd genom att analysera främmande planeters atmosfärer. Biosignaturerna kan vara tecken på både levande och dött liv, liv som finns just nu och liv som en gång har funnits, liv som vi känner det eller ett fullständigt annorlunda sorts liv, bortom våra vildaste fantasier. Det här kapitlet syftar till att lyfta fram några frågor människan ställs inför i sökande efter livstecken, hur vi skapar begrepp och analogier, hur vi tolkar vår omgivande värld och skänker den mening.

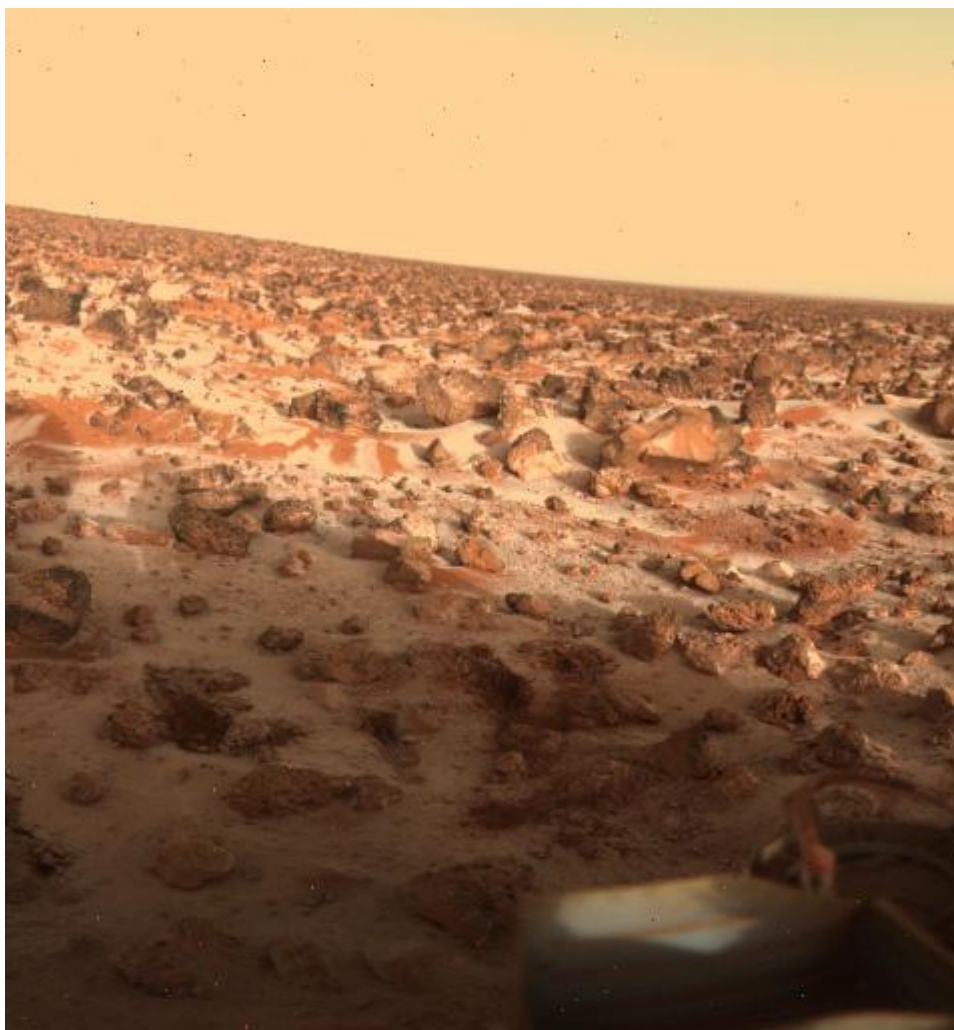
Det mångtydiga livet

Den stora utmaningen när vi söker efter tecken på liv är att avgöra om dessa verkligen har sitt ursprung i biologiska processer eller har uppkommit genom olika geologiska, kemiska eller fysiska processer som inte alls har med liv att göra. Hur skiljer vi liv från icke-liv? Vad är liv egentligen? Om vi söker efter något som vi kallar liv, så borde vi åtminstone ha någon sorts föreställning om vad detta är. Det kanske framstår som självklart för oss vad liv är, men i själva verket är det svårare

än vad vi först tror att ge en tydlig definition av liv. Frågan om hur liv ska definieras är en av de mest omdebatterade frågorna inom astrobiologin och en rad försök till definition har lagts fram genom åren utan att man kommit fram till en definition som alla kan ansluta sig till (se Abbotts och Perssons kapitel).

När vi studerar den stora variationen av olika livsformer på vår jord finner man ett antal egenskaper som de delar genom att de har ett gemensamt ursprung. De består av kol, de behöver energi, flytande vatten och andra ämnen – som kväve, fosfor och svavel – som finns i den omgivande miljön, men i andra proportioner. Liv på jorden uppvisar vanligtvis en ordnad struktur, förmåga att reproducera sig, de kan växa och utvecklas, anpassa sig till miljön och bevara sin inre miljö oberoende av den yttre miljön. Definitioner av liv kombinerar ofta särskilt förmågan till ämnesomsättning, reproduktion och evolution. En av de populäraste definitionerna, NASA:s ”arbetsdefinition” definierar liv som ”ett självbevarande kemiskt system med förmåga till evolution”. Utgångspunkten är att en definition av liv bör vara en hjälp för oss att avgöra om det vi finner är liv, men samtidigt vara tillräckligt bred, så att den också omfattar liv som inte liknar det liv som vi känner från jorden. Svårigheten här är att vi bara känner till ett slags liv, en enda levande planet, vår egen, och vi vet ännu inte riktigt hur livet en gång uppstod på denna planet. Även om vi vet vilka egenskaper som utmärker allt liv på vår jord, vet vi inte om dessa är specifika för vårt slag av liv, genom att de har ett gemensamt evolutionärt ursprung, eller om de också utmärker allt annat liv ute i rymden. Utan några ytterligare exempel på liv kan vi inte veta om vårt begrepp om liv är universellt, eller bara gäller för det enda exempel på liv vi råkar känna till. Eventuella framtida upptäckter av liv bortom jorden kommer sannolikt att utmana våra föreställningar om vad liv är.

Livstecken är tvetydiga. Frågan gäller hur vi ska skilja verkliga livstecken från tecken som påminner om livstecken men i själva verket har ett icke-biologiskt ursprung. Å ena sidan måste vi undvika att förväxla livstecken med sådana tecken som påminner om livstecken men inte är det, å den andra att undvika att förbigå tecken som vi inte uppfattar som tecken på liv men som i själva verket har sitt ursprung i en biologisk aktivitet. Det här problemet gäller geologer som söker efter de tidigaste spåren av liv på vår jord, men också när forskare analyserar stenprover från Mars. Den 19 juni 1976 landade rymdsonden Viking 1 i Chryse Planitia på Mars, kort därefter den 7 augusti samma år landade en annan sond, Viking 2 i Utopia Planitia (Figur 1). Båda var utrustade med vetenskapliga instrument med vilka man hoppades kunna hitta tecken på liv, det vill säga sådana organiska molekyler som utmärker liv på jorden eller gaser som konsumeras eller produceras i jordliknande livsformers ämnesomsättning. Trots en välutrustad expedition med den allra senaste tekniken blev resultatet tvetydigt och har sedan dess omdebatterats.



Figur 1: Utopia Planitia, Mars. Ett tunt lager av frost ligger över den steniga ytan bestående av vatten och sandpartiklar. Bild tagen av rymdsonden Viking 2 den 18 maj 1979. Foto: NASA/JPL.

Jordtvillingar

Vi känner till endast en levande planet och allting som lever på den planeten är besläktat, har ett enda gemensamt ursprung. Inom astrobiologin antas att denna planet, förutom att den är levande, inte utmärker sig genom några unika egenskaper. Det finns miljarder av stjärnor där ute av samma slag som vår sol och med största sannolikhet finns det miljoner, kanske miljarder jordliknande planeter som uppvisar i det närmaste identiska fysiska egenskaper som vår planet. Jorden är en

tämligen alldaglig himlakropp. Det finns inget uppseendeväckande med den. Om det stämmer, så öppnar detta för ett sökande efter jordtvillingar som rimligtvis borde vara mycket vanliga i universum. Om det finns liv här på jorden, varför skulle det då inte också finnas liv på jordens tvilling? Skulle det inte finnas liv där, så behöver vi en rimlig förklaring till vad det är som gör vårt levande klot unikt i universum.

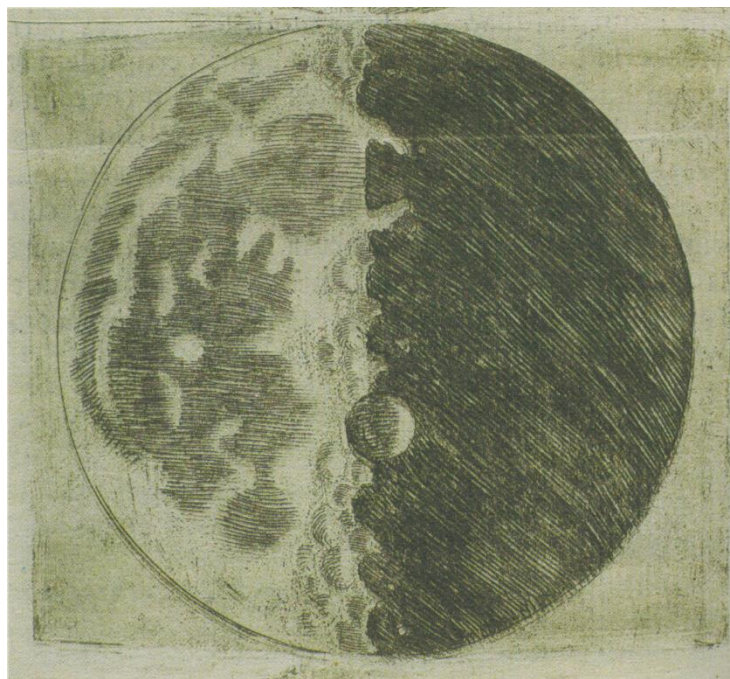
Astrobiologin utgår ofta från en sorts analogiresonemang, det vill säga utifrån det vi vet drar vi slutsatser om det vi inte vet. Vi utgår från vår kunskap om den enda form av liv vi känner till – liv på jorden – och går sedan vidare och söker efter liknande livsformer på andra planeter. Vi letar alltså efter det slags liv vi känner till, med andra ord något som behöver flytande vatten, som består huvudsakligen av kolföreningar, som bebor en planet av viss storlek, gravitation, atmosfär, kemi och temperatur, som kretsar kring en stjärna av samma slag som vår sol i en bana, inte för nära, inte för långt ut, just där vattnet inte förångas eller fryser, utan håller sig flytande. Ett sådant analogiresonemang kan tyckas som en rimlig arbetshypotes, men innebär dock vissa svårigheter. Känner vi till alla nödvändiga eller tillräckliga förutsättningar för liv? Samtidigt begränsar vi vårt sökande till en sorts liv som vi råkar känna till, och kanske därigenom förbiser andra, kanske mycket annorlunda livsformer som vi inte ens kan föreställa oss. Till detta kommer också evolutionens oförutbestämbarhet, att det tycks finnas vissa tillfälliga händelser som vi inte kan förutse, men som väsentligt påverkar den riktning som evolutionen tar. Om inte en asteroid för 65 miljoner år sedan mellan krita och tertiär hade slagit ner vid nuvarande Yucatánhalvön och som innebar själva dödsstöten för dinosaurierna, så hade kanske inte vi människor utvecklats och evolutionen tagit en annan riktning. Vi själva är delvis resultatet av en slump. Frågan är alltså: Om alla ingredienser för liv finns för handen, måste detta med nödvändighet leda till uppkomsten av liv? Är liv en naturlig konsekvens av materiens lagbundna processer?

Det finns en risk att förväxla nödvändiga villkor med tillräckliga. Om flytande vatten är ett nödvändigt villkor för liv, så är det bara ett i raden av andra nödvändiga villkor som alla måste finnas för att en planet ska vara beboelig. En upptäckt av en atmosfär, även om den innehåller de rätta kemiska ingredienserna inklusive vatten, är inte tillräckligt för att bevisa att liv existerar på dess yta. Ofta genom astrobiologins historia har man försökt, utifrån fyndet av några nödvändiga villkor bland en större mängd nödvändiga villkor, leda i bevis existensen av liv. Frågan är dock om vi känner till alla nödvändiga egenskaper som måste finnas eller om det finns okända villkor för liv som vi ännu inte känner till. Så länge vi inte känner till dem, så kan vi bara dra slutsatsen att planeten ifråga kan vara beboelig, inte att den verkligen är bebodd. Ändock kan ett analogiresonemang ha vissa metodologiska fördelar som ett sätt att börja leta efter liv. Jordtvillingsanalogin kan inte bevisa att liv måste finnas på andra platser i rymden, men det ger oss öppningar för en teoretisk möjlighet att liv kan existera bortom jorden. Ett enda exempel på

liv är en svag empirisk utgångspunkt, men inte heller ett stort antal möjliga jordtvillingar tvingar oss att dra slutsatsen att liv måste finnas på andra planeter. Men det är en teoretisk möjlighet att så är fallet.

Främmande berg och dalar

Hösten 1609 vände den italienske vetenskapsmannen Galileo Galilei sitt egentillverkade teleskop mot månen. För första gången kunde en människa teckna av månens yta sedd genom ett teleskop (Figur 2). I *Stjärnornas budbärare* (Sidereus nuncius) från 1610 drar han utifrån sina observationer analogier mellan månen och vårt klot. Månen uppvisade berg och därför var den av samma solida, ogeomskinliga och skrovliga natur som jorden. Den ojämna gränsen mellan dess mörka och belysta sida var oförenlig med idén om ett perfekt runt klot. Galilei skrev att ingen vill då med sinnet visa sig anta att månen har en slät och polerad yta, utan är grov och ojämn och, liksom jordytan, överallt är full med stora utskjutande delar, djupa klyftor och veck. Månen framstod som slät i dess kontur, på



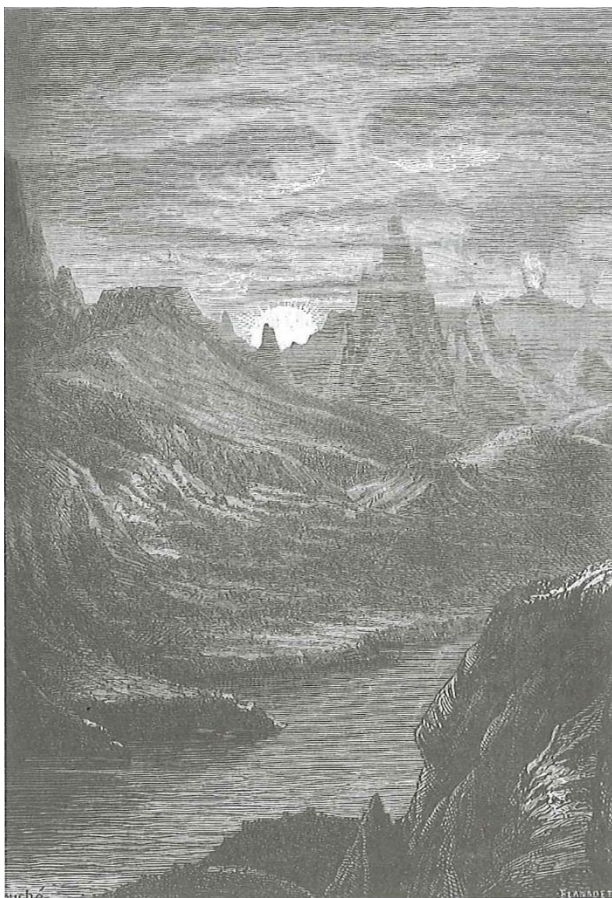
Figur 2: Galileo Galilei riktade den 30 november 1609 sitt teleskop mot månen och fann en värld av berg, dalar och slätter. De första bilderna av månen sedd genom ett teleskop publicerades i hans bok *Stjärnornas budbärare* (Sidereus nuncius, 1610).

grund av, antog han, att den kanske hade en atmosfär. Även om han inte drog några djärvtare slutsatser utifrån analogier med jorden, så såg han det inte som omöjligt att det skulle kunna finnas invånare på andra klot. Men vi kan inte heller, menade han, ta det för givet att liv på andra platser i universum måste likna vårt eget. Senare i sin *Dialog om de två världssystemen* (Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, 1632) konstaterade han att det inte finns vatten, ingen fuktighet, inga hav på månen, och därför inte heller något liv.

Den holländske vetenskapsmannen Christiaan Huygens uttryckte tanken i sin bok *Cosmotheoros* (1698) att det var mycket sannolikt att det fanns liv på andra planeter. Han antog att flytande vatten är nödvändigt för liv. Han såg också mörkare och ljusare fläckar på Mars och Jupiters yta, vilka han tolkade som bestående av vatten och is. Bortom vårt solsystem finns det stjärnor liknande vår sol, och han frågade sig, varför inte dessa stjärnor skulle kunna ha sina egna planeter med egna månar. Vad gäller Venus antog han att den omgärdas av en tjock atmosfär. Han kunde visserligen inte klart urskilja några fläckar på dess yta, vilka skulle kunna vara tecken på hav och berg. Kanske finns det inga hav på Venus, tänkte han, eller som han antog var mer sannolikt, luften och molnen kring Venus reflekterade nästan allt ljus från solen.

De första mer säkra observationerna av Venus genom ett teleskop, efter Galileis upptäckt av Venus faser, gjordes under Venuspassagen den 6 juni 1761. Många observatörer rapporterade vissa fenomen när Venus passerade över solskivan som de antog orsakades av en atmosfär kring Venus. Vissa fakta om denna planet var välkända för de flesta astronomer, som till exempel dess bana kring solen, dess storlek och faser. Men om den hade en atmosfär och en topografi var ännu okänt. Observationerna av Venuspassagen 1761 förändrade situationen. Förutom att passagen gav möjlighet till att beräkna avstånden i vårt solsystem i ett av vetenskapshistoriens första större internationella samarbeten, kunde observationerna avslöja något om Venus egenskaper. Man utgick från att det inte fanns någon större skillnad mellan jorden och Venus. Båda var planeter som kretsade kring solen, de var av liknande storlek, båda solida, och som några astronomer antog, så hade Venus också berg och en atmosfär. Om det finns liv på jorden, så bör man också ställa sig frågan om det inte då också borde finnas liv på Venus. Om vi kan bestämma Venus rotation kring sin axel och upptäcka en atmosfär och berg på dess yta, så kanske man kan dra slutsatser om den eventuella existensen av liv. Under 1600- och 1700-talen försökte man just besvara dessa frågor. Den ryske vetenskapsmannen Michail Lomonosov argumenterade för att hans observationer under Venuspassagen 1761 stödde tanken på existensen av atmosfär kring Venus. Eftersom existensen av en atmosfär hade bevisats, menade han, så skulle vi kunna dra slutsatsen att den också är bebodd.

Johann Elert Bode vid observatoriet i Berlin antog år 1801, i linje med sin landsman, den tyske astronomen Johann Hieronymus Schröter, att det fanns berg och dalar på Venus. Han slog fast att om Venus hade land och hav, berg och dalar,



Figur 3: Bergen på Venus södra halvklot, enligt Camille Flammarion, *Jordkloten i rymden* (*Les terres du ciel*, 1877).

öppna ytor och kondensation i dess atmosfär, samt hade en måne, så vore den fullständigt lik vår jord och följaktligen också beboelig. Den franske populärastronomen Camille Flammarion menade i den vitt lästa *Bebodda världar* (*La pluralité des mondes habités*, 1862) att det var absurt att solen fanns endast för att belysa och värma vår lilla jord, i synnerhet med tanke på att Venus visade sig vara en planet av samma storlek som jorden, med berg och slätter, årstider och år, dagar och nätter i likhet med vår egen planet (Figur 3) (mer om Flammarion finns att läsa i Dravins kapitel). Överensstämmelsen vad gäller fysiska egenskaper innebar, menade han, att de också hade liknande funktion i universum. Om Venus saknar invånare, så måste på motsvarande sätt också jorden sakna det, och omvänt, om jorden är bebodd, så måste också Venus vara bebodd. I ett senare verk från 1880 i populär astronomi säger han om Venus, att denna värld skiljer sig lite från vår i storlek, massa och densitet, i dagarnas och nätternas längd. Därför borde den

också vara bebodd av växter, människor och djur, inte mycket annorlunda de vi finner på vår planet.

Dessa och liknande analogiresonemang i den tidiga astrobiologin kan karakteriseras som ett sökande efter så många likheter som möjligt, i synnerhet de som antogs vara av särskild betydelse för att anses kunna påvisa en beboelig miljö. Förutom förhållandet att både jorden och Venus var solida planeter av liknande storlek som kretsade kring samma sol och därigenom utsattes för dess ljus och värme, så menade vissa astronomer att de båda dessutom hade nästan exakt samma rotation kring sin axel, hade var sin måne, liksom berg och hav. Om jorden och Venus är perfekta tvillingar, så måste det också finnas liv på Venus.

Även inom modern astrobiologi, under de senaste två decennierna, finner man liknande analogiresonemang. Man har bland annat gjort ett antal experiment rörande jordiskt liv som en sorts förberedelse inför efterforskningar av liv på andra himlakroppar. Tecken på liv på jorden har använts som modeller för möjliga utomjordiska livstecken. Om vi betraktar oss själva utifrån, skulle liv på jorden vara möjligt att upptäcka från rymden? Astronomen Carl Sagan föreslog 1993 att man utifrån Galileosonden skulle studera det ljus som reflekteras från jordytan för att se om det uppvisade tecken på liv. Resultaten visade att vatten, syre, ozon, koldioxid, kolmonoxid, metan med mera kunde identifieras i jordens atmosfär. Tjugo år senare gjordes ett försök av ytterligare några forskare med ”Det mycket stora

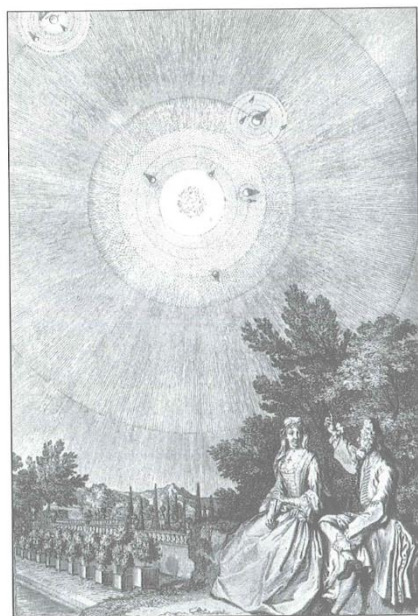


Figur 4: Jordsken över Paranal-observatoriet i Chile, med planeterna Merkurius och Venus. Foto: ESO/B. Tafreshi, 2011.

teleskopet” (The Very Large Telescope, VLT) i Atacamaöknen i Chile för att studera ”jordskenet”, det vill säga det ljus från jorden som reflekteras mot månens yta, vilket ses som ett gråaktigt ljus från den sida av månen som inte belyses av solen (Figur 4). Analysen av detta jordsken visade att jordens atmosfär bestod av moln, att dess yta delvis var täckt av hav och att den hade vegetation. Tanken var alltså att genom att studera hur jorden ser ut från rymden, så skulle man kunna få ledtrådar inför framtida analyser av främmande planeter och deras atmosfärer.

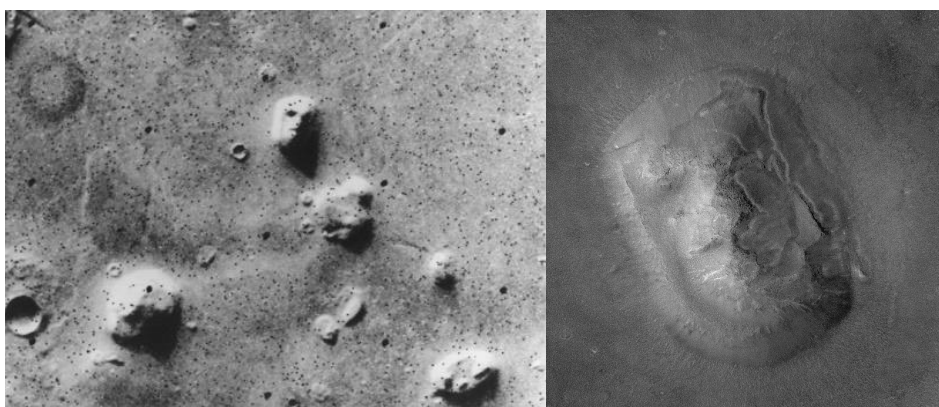
Nyfikenhet och dåliga ögon

Under en promenad i en vacker slottspark tillsammans med en förnäm och vetgirig markisinna, lägger filosofen i Bernard de Fontenelles *Samtal om världarnas mångfald* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686) fram påståendet att all filosofi (det vill säga i betydelsen naturvetenskap) grundar sig på två ting: nyfikenhet och dåliga ögon (Figur 5). Vi vill veta mer än vad vi kan se. Filosoferna misstror det de ser och försöker gissa sig till det de inte ser. I modern astrobiologi tycks det liv vi söker ständigt vara bortom det vi vet och kan se. Observationerna är osäkra och otydliga. Det som våra sinnen förmedlar måste därför tolkas utifrån



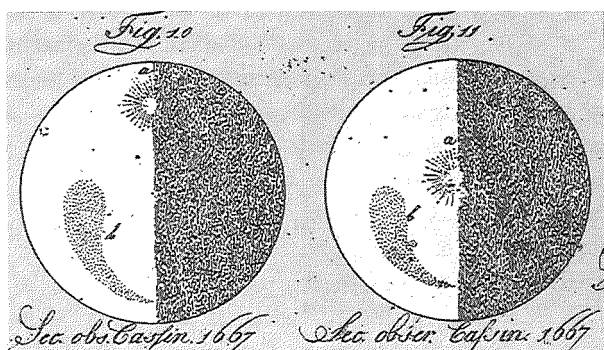
Figur 5: Bernard Le Bovier de Fontenelle, *Samtal om världarnas mångfald* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686), här ur en upplaga från 1687.

våra förståndsgåvor och den tolkning vi gör av det vi observerar utgår från våra förkunskaper och våra begrepp. Våra observationer är inte oavhängiga våra teorier, tvärtom, vi behöver teorier för att förstå det vi ser och våra förkunskaper och förväntningar leder oss i en eller annan riktning. Ibland förleds vi till felaktiga slutsatser. Inte sällan ser vi det vi hoppas och förväntar oss att se. När astronomerna studerar främmande världar i sina teleskop formas alltså deras tolkning av det de redan vet. Observatören tar inte bara passivt emot bilder och intryck från yttervärlden, utan med sitt tänkande söker han eller hon efter mönster och tolkar dessa intryck både utifrån sina mänskliga förmågor och utifrån sin vetenskapliga kultur. Man skulle kunna säga att världen förvrängs av våra begrepp, liksom våra begrepp förvrängs av världen.



Figur 6: Ansiktet på Mars, klippor i Cydonia Mensae-regionen. Den vänstra bilden togs av Viking 1 den 25 juli 1976 och skapade uppståndelse genom sin likhet med ett mänskligt ansikte. Kunde det vara ruinerna efter en forntida marsiansk civilisation? Mars Global Surveyor passerade över samma område 2001 och visade ett vindpinat, eroderat berg vars skuggspel lurade ögat att se ett ansikte. Ett exempel på pareidolia, människans benägenhet att söka efter ansikten. Foto: NASA/JPL.

Den 28 maj 1776 observerade den i England verksamme astronomen William Herschel "växande substanser" på månen som han antog var stora skogar bestående av träd upptill sex gånger högre än våra träd. Hans månobservationer visar hur svårt det är att se och komma fram till säkra slutsatser om vad man ser. År 1778 antog han dessutom att månkratrarna skulle kunna vara måninivånarnas städer. Han såg cirkelformade byggnader på månen, och han sade sig vara helt övertygad om att dessa otaliga små cirklar på månen var måninivånarnas verk, vilka skulle kunna kallas för deras städer. Herschel var inte ensam om att se spår av civilisationer på månen. I en artikel från 1824, "Upptäckt av många tydliga spår av måninivånare, särskilt av en av deras kolossala byggnader" (Discovery of Many

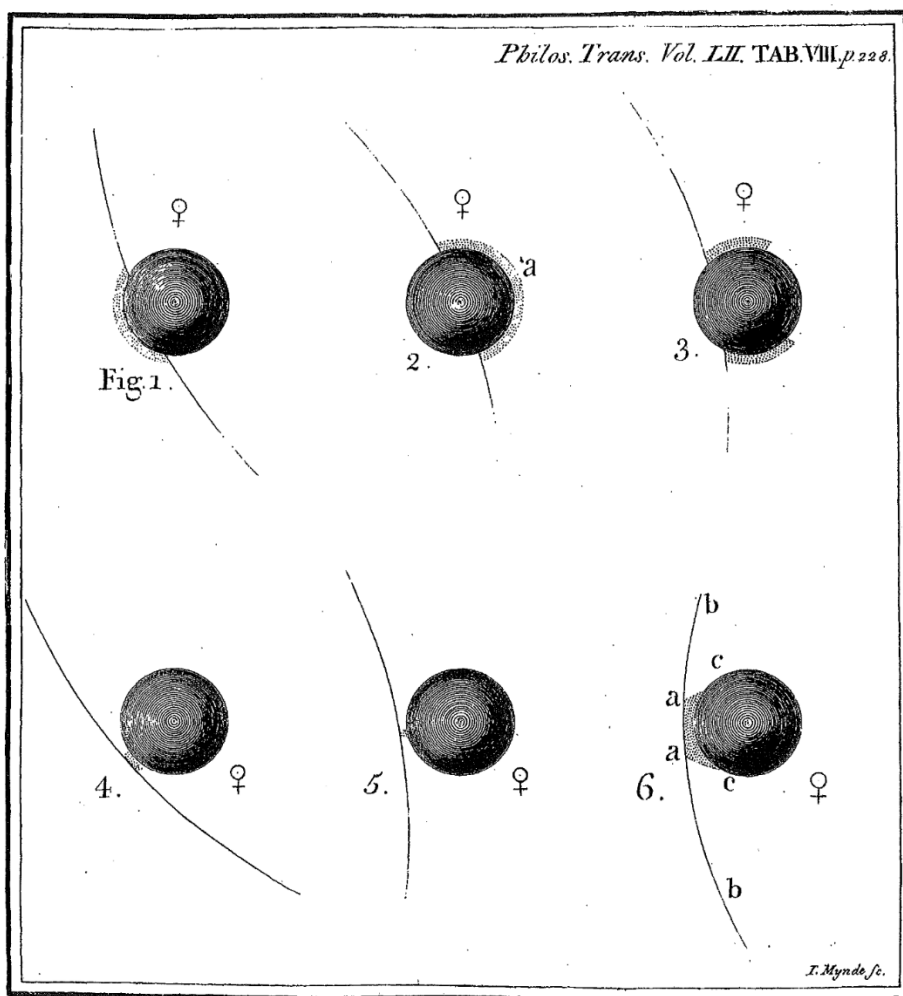


Figur 7: Giovanni Cassinis teckning från 1667 av Venus yta, ur Camille Flammarions *Les terres du ciel* (1877).

Distinct Traces of Lunar Inhabitants, Especially of One of Their Colossal Buildings) rapporterade den tyske astronomen Franz von Paula Gruithuisen att han bland annat hade observerat städer, fort, tempel och djurstigar på månen. Vad gäller de speciella lysande fläckar som man ibland kunde se på månens mörka yta hade Herschel förklarat som vulkanutbrott. En skotsk amatörastronom, Thomas Dick, skrev senare i mitten av 1800-talet att en mer tilldragande förklaring kunde vara att de var tillfälliga, praktfulla fyrverkerier som måninvanarna arrangerade under sina långa, mörka nätter. Astronomerna letar efter mönster, samband, mening. Ett sentida exempel på seendets sökande efter mönster är vår benägenhet att se ansikten omkring oss, som gubben i månen och ansiktet på Mars (Figur 6).

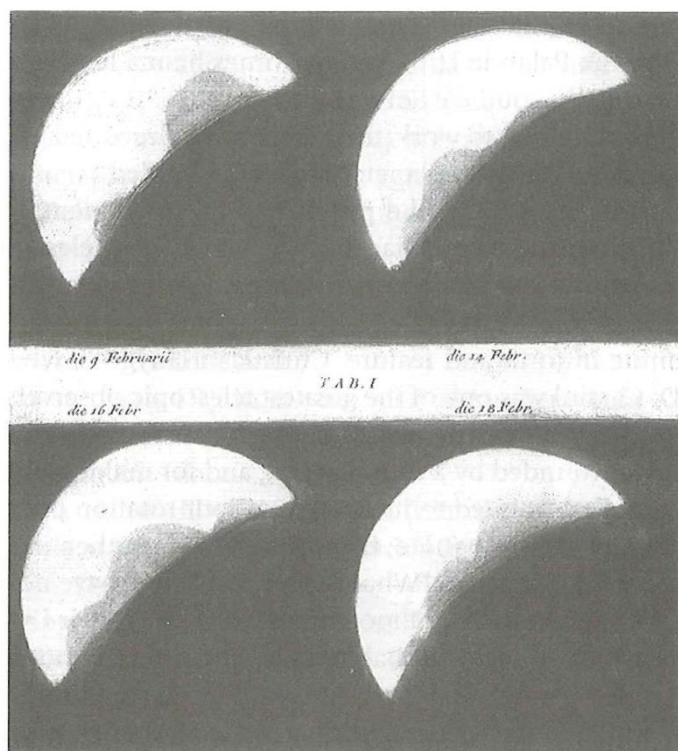
Venus atmosfär

Venuskartor från 1600- och 1700-talen uppvisar inte sällan berg och andra geologiska formationer. Även ett svagt ljus, bleka fläckar och linjer, till och med en beledsagande måne, tycks ha setts i teleskopet när man studerade Venus. Astronomerna tolkade sina otydliga observationer i linje med sina förkunskaper och tankar om hur världen var inrättad – och de fann ofta det de sökte. Om de trodde på existensen av berg och en atmosfär kring Venus, så fann de dem också. År 1645 lade den napolitanske astronomen Francesco Fontana märke till mörka fläckar i centrum av Venusskivan, som kan anses vara det första försöket att registrera detaljer på dess yta. En annan italiensk astronom, Giovanni Domenico Cassini, såg 1667 olika ljusa och dunkla fläckar utifrån vilka han gjorde den första beräkningen av Venus rotationstid (Figur 7). På 23 timmar och 21 minuter rörde den sig ett helt varv runt sin axel. Ytterligare en annan italiensk astronom, Francesco Bianchini, gjorde den första Venuskartan 1726 som anger både oceaner och kontinenter (Figur 8). Dimfria dagar, vid skymningen, kunde han se runda fläckar



Figur 8: Den ljusa ringen och den svarta droppen sett från Uppsala under Venuspassagen 1761. Torbern Bergmans brev i *Philosophical Transactions* (1762).

liknande de kratrar man kunde se på månen, och utifrån deras rörelse kunde han komma fram till en rotationstid motsvarande 24 dagar och 8 timmar. Föga anade de dock att Venus rotationshastighet egentligen var väsentligt långsammare – rymdsonden Mariner 2 uppmätte i december 1962 en rotationstid på hela 243 jorddagar. Det råder ingen tvekan om att 1600- och 1700-talens noteringar av formationer på Venus yta var rena optiska illusioner. Förutom det att den optiska kvaliteten hos tidens teleskop inte alltid var helt tillförlitlig och att väderförhållanden kunde märkbart påverka kvaliteten på observationerna, så innebar också tolkningen av observationerna att man kunde förledas i en viss riktning. Fontana,



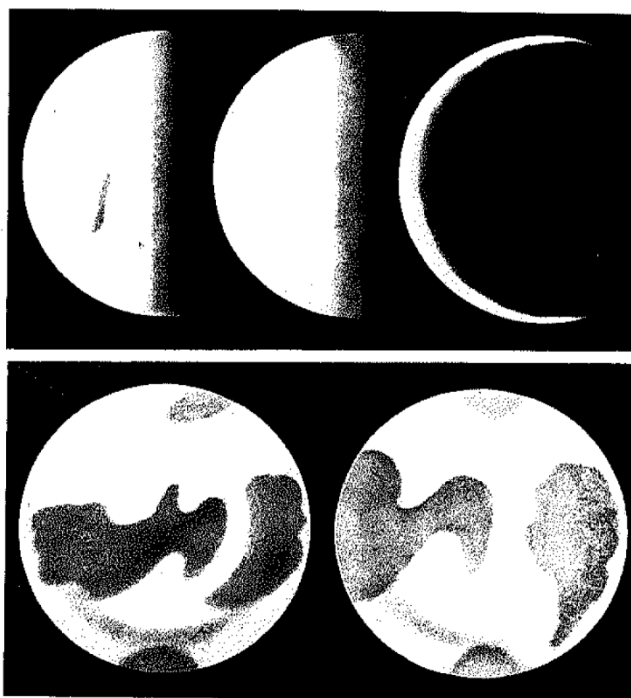
Figur 9: Francesco Bianchinis framställning av Venus i sitt arbete *Hesperii et phosphori nova phaenomena* (1728).

Cassini, Bianchini och andra astronomers osäkra observationer tvingade dem på ett eller annat sätt att tolka det de såg. Om de trodde på existensen av oceaner och kontinenter på Venus, så sökte de efter dem – och fann dem, eftersom deras förkunskaper och förväntningar ledde deras uppmärksamhet mot sådana tolkningar som överensstämde med vad de antog vara sannolikt. Illusionen hade sin grund inte enbart i bristerna i deras optiska utrustning, utan i deras tolkning av sinnesintrycken.

Under Venuspassagen den 6 juni 1761 observerades två oväntade fenomen: en ljus ring kring Venus och en "svart droppe" i kontaktpunkten mellan Venus och solskivan (Figur 9). Den ljusa ringen observerades också den 3 juni 1769. Dess orsak debatterades, men de flesta var eniga om att den bevisade existensen av en atmosfär kring Venus. Vad gäller den svarta droppen, menade den svenske astronomen Daniel Melanderhjelm, hade också den sin orsak i Venus atmosfär. Sekretären i Kungliga svenska vetenskapsakademien, Pehr Wilhelm Wargentin, å andra sidan, menade att den i stället kunde förklaras som ett enkelt ljusbrytningsfenomen. Melanderhjelm observationer, sade han, var endast optiska villfarelser.

Den svenske fysikern Johan Carl Wilcke utförde ett antal experiment under sommaren 1769 som visade att samma fenomen uppstod ifall man höll upp ett mörkt föremål mot en ljus yta, utan att man för den skull behövde anta existensen av en atmosfär. Men hur som helst, varken Wargentin eller Wilcke betvivlade att Venus hade en atmosfär, men den svarta droppen kunde inte vara beviset.

I slutet av 1700-talet drabbade astronomerna Herschel och Schröter samman i en hetsig debatt rörande närvaron eller frånvaron av berg på Venus. De var dock trots allt samstämmiga vad gäller existensen av en atmosfär kring Venus. Det var välkänt för de flesta av tidens astronomer att Venus och jorden var i det närmaste perfekta tvillingar vad gäller storlek och massa. Det fanns därmed också skäl för att anta att dessa två planeter också hade liknande atmosfärer vad gäller omfattning och sammansättning. I februari 1788 observerade Schröter att den vanligtvis enhetliga ljusa skivan tycktes vara täckt av genomskinliga strimmor som han antog vara den yttersta delen av en tjock, molnaktig atmosfär (Figur 10). Därtill tycktes "hornen" på Venusskärnan sträcka sig bortom halvcirkeln, vilket inte kunde vara fallet om den saknade en atmosfär. Den 28 december 1789 såg Schröter vidare att den södra änden av Venusskärnan var trubbig och att där fanns en liten belyst fläck. Han observerade detta återigen både 1790 och 1791 och drog slutsatsen att det



Figur 10: Johann Hieronymus Schröters teckning av Venus atmosfär.



Figur 11: Det första fotot på Venus yta taget av den sovjetiska rymdsonden Venera 13 den 1 mars 1982. Foto: Union of Soviet Socialist Republics/NASA.

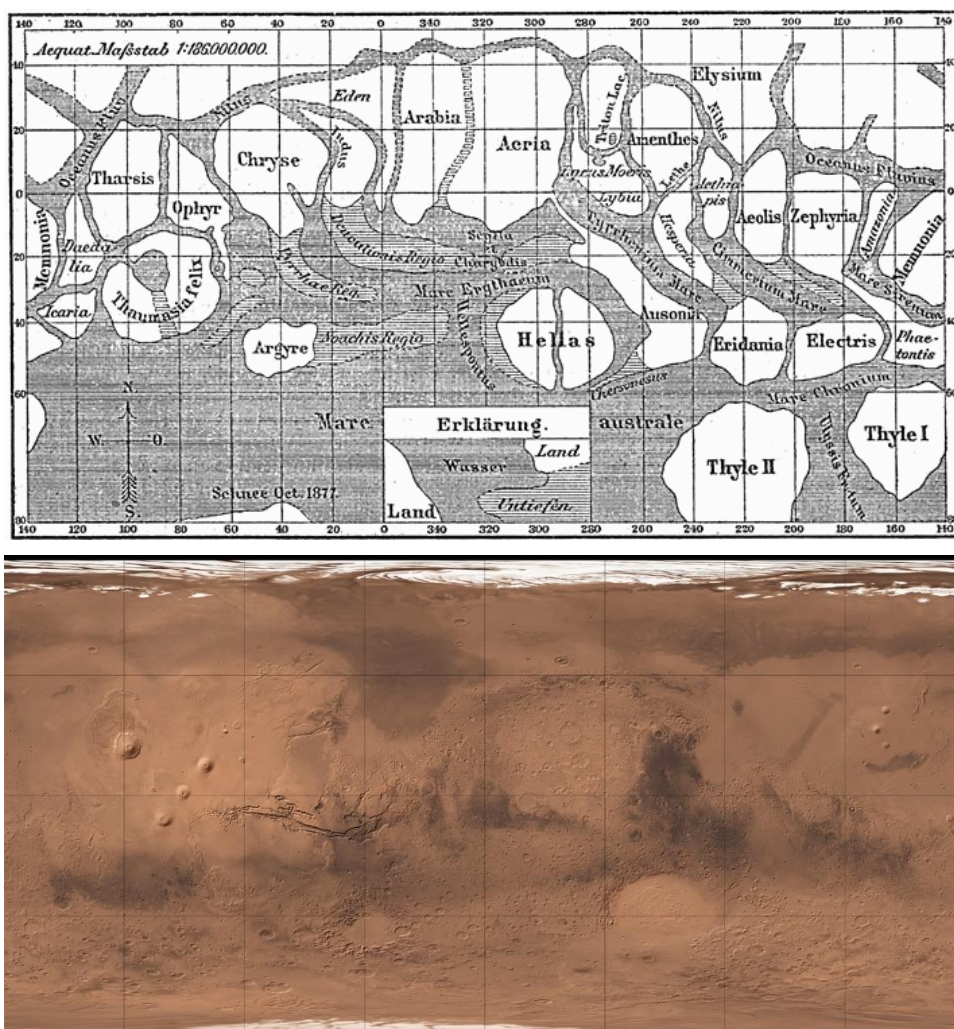
måste vara ett mycket högt, upplyst berg som fångade solens strålar. År 1793 vände Herschel sitt teleskop mot Venus, men kunde inte återfinna vad Schröter hade sett. Han intygade att Venus hade en atmosfär, men några höga berg, som Schröter påstod fanns, kunde han inte se. I *Philosophical Transactions* samma år skriver han ifråga om bergen på Venus, att inga ögon som inte är betydligt skarpare än hans eller assisterade av mycket bättre instrument, kommer någonsin att få en glimt av dem.

När Schröter, Herschel och andra studerade Venus såg de fenomen som krävde förklaringar och tolkningar. De tyckte sig se otydliga fläckar, streck, linjer, droppar, ett dunkelt ljus och skymten av en måne. Det askgrå ljuset, som syntes dunkelt över den icke solbelysta sidan av Venus, när den var halvmåneformad, rapporterades första gången 1643 av den italienske jesuiten och astronomen Giovanni Battista Riccioli. Även detta fenomen ledde till vissa tolkningar av det de tycktes se. Gruithuisen förklarade att detta ljus hade setts både 1759 och 1806, alltså med ett intervall på 76 Venusår. Hans lite besynnerliga förklaring var att detta uppenbarligen var ett resultat av offentliga festilluminationer för att hedra en ny kejsares bestigande av tronen. Emellertid modifierade Gruithuisen sin förklaring och i stället för en venusiansk kröning, så föreslog han att ljuset kunde vara orsakat av svedjebruk när venusianerna brände ner skog för att skapa jordbruksmark. Senare under 1800-talet skapade den nya spektroskopiska analysmetoden förhoppningar om att kunna upptäcka spektrallinjer för syre och vattenånga i Venus atmosfär. Vissa preliminära resultat tycktes understödja en sådan upptäckt. Först 1966–1967 när de ryska rymdsonderna Venera 3 och Venera 4 dök ner genom Venus täta molnmassa uppenbarade sig en mycket ogästvänlig miljö (Figur 11). En het, tryckande atmosfär, en värld lidande under växthuseffektens plågor.

Kanalerna på Mars

Ett av de mest kända exemplen i astrobiologins historia där planetskådarnas föreställningar och förväntningar visade sig bedrägliga är debatten kring Marskanalerna i slutet av 1800-talet (se även Dravins kapitel). Giovanni Schiaparelli vid

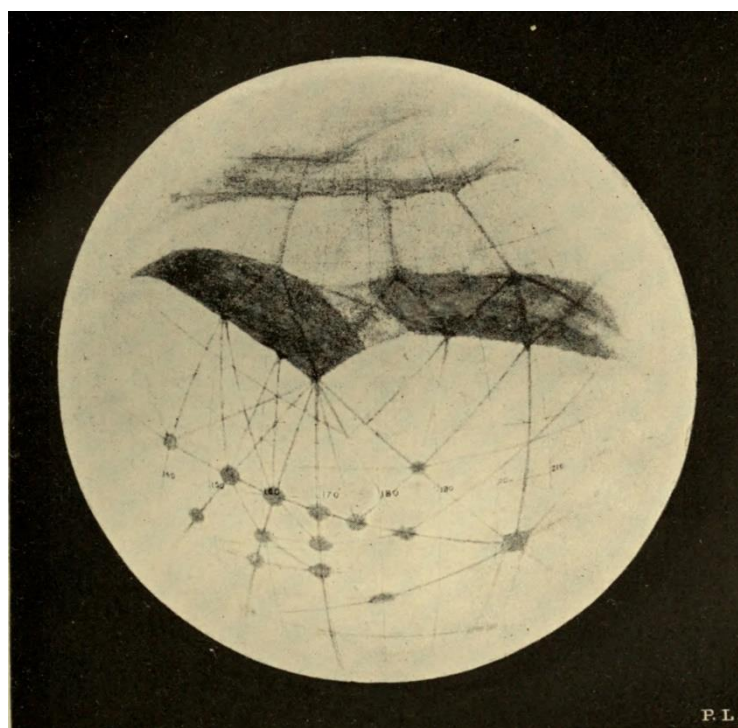
Brera-observatoriet i Milano gjorde 1877 detaljerade bilder av ett nätverk av kanaler på Mars (Figur 12). Till en början hade de flesta astronomer svårt att bekräfta dessa observationer, men under de följande årtiondena lyckades många återse det som Schiaparelli tyckte sig se. Den amerikanske amatörastronomen Percival Lowell bekräftade Schiaparellis "upptäckter" och mer därtill – han "upptäckte" hundratal Marskanaler, vilka han tolkade som ett konstgjort bevattningssystem skapat av intelligenta marsianer (Figur 13). I sin bok *Mars* (1895) hävdade han att han nu hade bindande bevis för en intelligent civilisation på en döende planet.



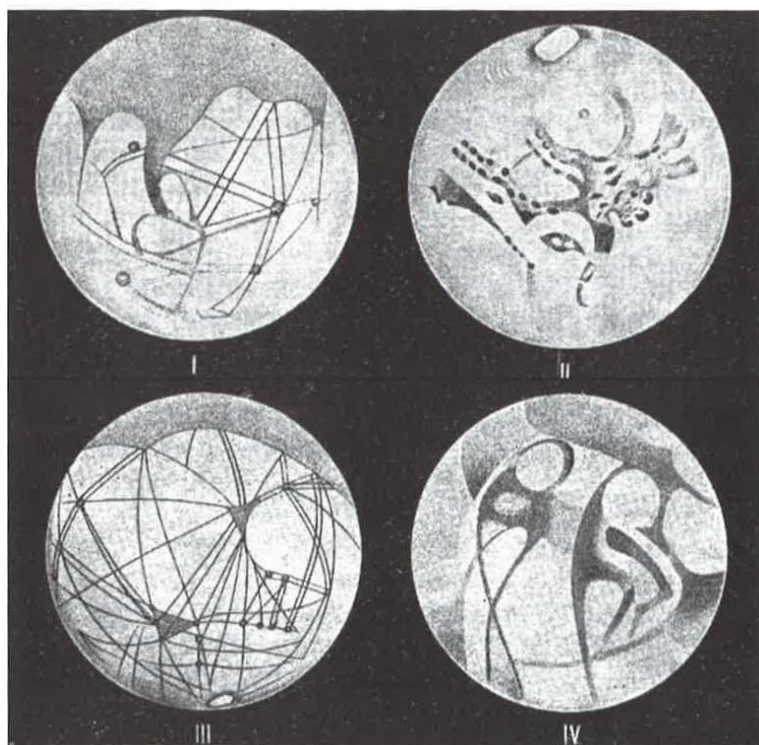
Figur 12: Giovanni Schiaparellis karta över kanalerna på Mars från 1888 jämförd med en modern satellitkarta.

Färgskiftningar på Marsytan observerades också, vilka togs som bevis för existensen av årstider och vegetation. Ytan förmörkades när våren var i antågande.

Men det fanns de som förhöll sig skeptiska till dessa uppgifter. Edward Walter Maunder vid Greenwich-observatoriet ifrågasatte dessa kanalobservationer som han menade endast var optiska illusioner. Ögat tenderar att föra samman detaljer som befinner sig bortom det synbaras gräns, förklarade han. Eugène Antoniadi, vid observatoriet i Meudon i Frankrike, använde sig av ett teleskop av högsta kvalitet, med vars hjälp han gjorde teckningar av specifika regioner på Mars, vilka han sedan jämförde med Schiaparellis teckningar av samma områden. Det visade sig att där Schiaparellis teckningar visade kanaler, där kunde Antoniadi endast finna otydliga detaljer, men inga kanaler (Figur 14). Antoniadis förklaring var att Schiaparellis kanaler hade skapats genom att binda samman fläckar på Marsytan eller genom att markera gränslinjerna mellan mörkare och ljusare regioner. I ett nummer från 1912 av den amerikanska tidskriften *Popular Science* kunde läsaren själv få en upplevelse av denna optiska illusion genom ett enkelt, praktiskt test bestående av slumpartade punkter (Figur 15). Vid den tiden hade de allra flesta astronomer övergivit denna fantasieggande tanke.

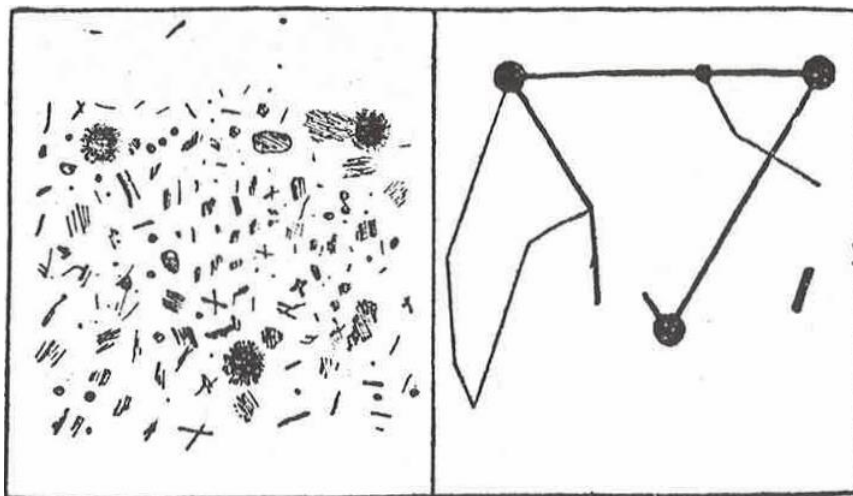


Figur 13: Konstgjorda kanaler på Mars, enligt Percival Lowell 1894.



Figur 14: Mars i det mänskliga ögat. Fyra tolkningar av en och samma planet: Schiaparelli 1877; Antoniadi 1909; Lowell 1909; och ett fotografi tagit samma år från Pulkovo-observatoriet utanför Sankt Petersburg.

Att kartera planeterna fordrade stort tålamod. Under långa vakande nätter tvingades man följa det skimrande ljusets förändringar i teleskopet som förvrängdes av jordens atmosfär. De suddiga bilderna som syntes i teleskopet var inte annat än otydliga sinnesintryck som avkrävde betraktaren tolkningar genom att applicera sina förkunskaper och begrepp på det som ögat förmedlade. Det aktiva seendet sökte efter regelbundenheter, ordning och begriplighet i observationerna. Berättelsen om människans observationer av månen, Venus och Mars säger oss något om det mänskliga ögats, hjärnans och handens osäkerhet när hon ställs inför svårtolkade fenomen. När människor söker efter livstecken, spanar de efter regelbundenheter, ordning och samband utifrån sina förkunskaper, förväntningar och teorier om verkligheten. Men hur binder vi samman det vi ser, livstecknet, med det som vi antar är dess orsak, det levande?



Figur 15: Har professor Lowell bedragit sig? Betrakta bilden från 20 fot och du kommer då se att fläckarna på den vänstra bilden kommer likna linjerna i den högra. Ur Popular Science (1912).

Livstecknet och det levande

Sökandet efter livstecken handlar mycket om hur vi upptäcker, skapar, dechiffre-rar och tolkar samband mellan olika företeelser, mellan livstecknet och livet självt. Först måste man förstå att det man ser just är ett tecken på liv och att det på något sätt står i samband med något levande. I vårt vardagliga liv gör vi ganska enkelt dessa sammankopplingar. När vi ser fotspår på stranden kan vi dra slutsatsen utifrån våra tidigare kunskaper och erfarenheter vad för slags djur det är, hur stort och tungt det är och i vilken riktning det är på väg. Emellertid när vi söker efter livstecken på okända livsformer, om vilka vi inte har några som helst kunskaper, blir våra slutsatser väsentligt osäkrare. Vi tvingas till en rad antaganden om sambanden mellan livstecknet och det liv det refererar till. Våra antaganden kan vara oriktiga, vilket leder till felaktiga tolkningar, eller kanske ännu värre, vi misslyckas med att upptäcka att tecknet innehåller mening, och förbiser därmed att tecknet i själva verket är ett livstecken. Även om vi skulle ha goda skäl att anta att våra teorier om sambandet mellan livstecknet och livet är vetenskapligt korrekta, så måste vi därtill utesluta alla andra möjliga förklaringar till "livstecknet". Det kanske visar sig att det vi först trodde var ett livstecken inte alls är det, utan har sin orsak i en för oss okänd icke-biologisk process.

Livstecken blir meningsfulla först när någon tolkar dem och antar att de har en specifik mening eller betydelse genom att upprätta ett samband mellan livstecknet och det liv det tänks avslöja. Att söka efter livstecken är ett sätt bland många att

finna mening i de observationer och data som vi samlar in. Livstecknen finns inte bara där ute för oss att upptäcka. I någon mening finns de också i våra huvuden, i vår tolkning av världen, i samspelet mellan vårt tänkande och världen. Alltså, förutom livstecknet och det liv det betecknar, måste vi räkna in oss själva. Så vad astrobiologen gör är att försöka hitta dessa samband mellan uttryck och innehåll, det vill säga mellan livstecken och liv. Detta sökande efter samband sker i det mänskliga tänkandet.

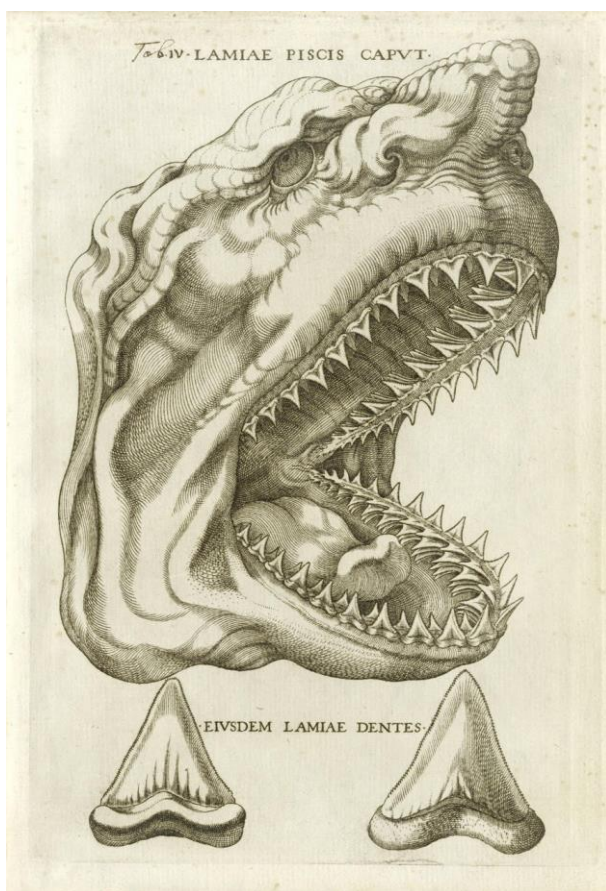
När astrobiologerna studerar ljuset från andra planeter eller radiovågor från yttre rymden försöker de välja ut de mest meningsbärande tecknen, de som antas vara de mest relevanta. Vad av allt detta vi tar emot är meningsfullt för oss och vad är bara ett meningslöst brus? Och vi behöver också kunna ge en rimlig förklaring till på vilket sätt tecknet på liv står i samband med liv och inget annat. På vilket sätt är en specifik gas ett resultat av ämnesomsättningen hos en för oss okänd levande organism? På vilket sätt är en viss form en kvarleva från en levande organisms anatomiska uppbyggnad? Vi måste med andra ord känna till de fysiska processerna som binder samman tecknet med det levande. Dessa samband mellan uttryck och innehåll är i huvudsak av tre slag, det kan vara en relation baserat på likhet, närhet eller konventioner. Hos ikoner (bilder) finns det en likhet mellan tecknet och dess objekt. Index bygger i stället på närhet eller kontinuitet med objektet, tecknet liksom pekar mot objektet. Och slutligen symboler, när det egentligen inte finns något fysiskt samband mellan livstecknet och det liv det refererar till, utan är en konvention eller vana. Astrobiologen är en sorts teckentydare i det okända.

Bilder av liv

När han vandrade på stranden och i bergen i Attika lade den grekiske filosofen Aristoteles märke till att de snäckliknande strukturer man kunde finna i klippbranterna liknade de som sköljdes upp på havsstranden. Är denna likhet bara en slumpmässig tillfällighet eller finns det i själva verket ett verkligt samband mellan de förstenade snäckformerna och de levande snäckorna i havet? Om det är så, hur kan det komma sig? Den persiske naturforskaren Ibn-Sīnā (Avicenna) lade i början av 1000-talet fram hypotesen att det skulle kunna finnas vissa vätskor som låg bakom denna försteningsprocess. Under många århundraden diskuterades om dessa så kallade figurstenar, som påminde om levande organismer, var fossiliserade havssnäckor eller just bara var naturens gyckelspel, och om de växte inne i stenen eller rentav var lämningar efter ett levande djur som dog ut med Syndafloden. Den danske anatomen och geologen Nicolaus Steno fann 1665 när han vandrade i bergen i Toscana vassa trekantiga stenar som var mer eller mindre identiska med levande hajars rakbladsvassa tänder, varvid han drog slutsatsen att där det nu var höga berg, en gång har varit ett hav (Figur 16). Andra fynd som gjordes av geologer tycktes dock inte ha några nu levande motsvarigheter. I slutet av 1700-

talet började den franske paleontologen Georges Cuvier ana att dessa annorlunda fossiler i själva verket var lämningar efter nu utdöda arter.

Den begynnande kunskapen om fossiler kombinerades snart med tanken om utomjordiskt liv. Om meteoriter hade sitt ursprung i rymden, vilket man i början av 1800-talet hade börjat förstå, i stället för att vara uppkastade stenar från vulkaner, så skulle dessa kunna studeras med kemiska och geologiska metoder. Måhända kunde dessa meteoriter från yttre rymden innehålla spår av utomjordiskt liv, om inte av levande, så åtminstone av fossiliserad form. Den svenske kemisten Jöns Jacob Berzelius upptäckte att meteoriter faktiskt innehöll organiskt material, det vill säga kolväteföreningar. Han hade undersökt ett antal meteoriter från ett meteorregn i november 1833. Vidare gjorde han en kemisk analys av en kolkhaltig meteorit som fallit ner i Alès i Frankrike 1806, men kunde inte dra några säkra

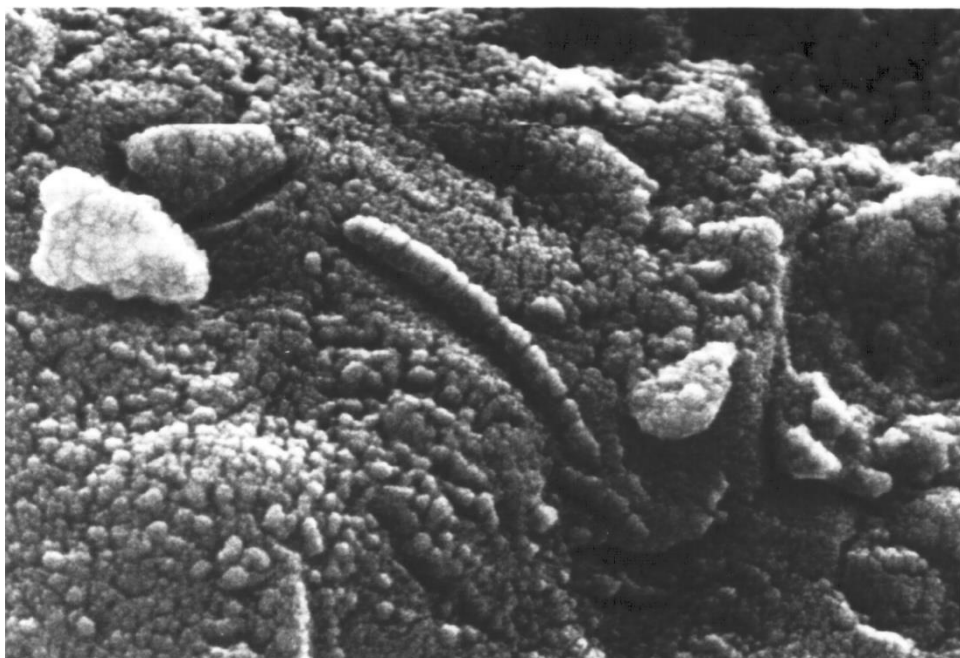


Figur 16: Fossila hajtänder är av samma slag som nu levande hajars. Nicolaus Steno, *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica* (1667).



Figur 17: En rymdresenär. Björndjur kan överleva i rymden.

slutsatser ifall dess kolföreningar var av utomjordiskt ursprung. På 1870-talet var de flesta ense om att vissa meteoriter kunde innehålla organiskt material, men något övertygande bevis för att de också innehöll utomjordiskt liv fanns inte. Med Berzelius och andra blev emellertid tanken om "panspermia", det vill säga att meteoriter genom rymden kunde föra med sig frön till liv, ett alltmer möjligt forskningsområde. En av de mest tongivande i utvecklandet av panspermiehypotesen var den svenske fysikaliske kemisten Svante Arrhenius i början av 1900-talet. Ännu i dag diskuteras denna möjlighet. Forskningen har visat att mikroorganismer faktiskt kan överleva i rymden och färdas från planet till planet med meteoriter. Björndjur – upp till en millimeter stora så kallade trögkrypare – kan utstå extrema förhållanden, rymdens kyla, vakuum, strålning och torka (Figur 17). En grupp svenska och tyska forskare, ledd av Ingemar Jönsson vid Högskolan i Kristianstad, visade 2008 i ett experiment att de kan överleva minst två veckor i rymden om de skyddas från solens UV-strålning. År 2007 skickades ett antal björndjur upp i rymden med en rysk rymdsond från kosmodromen i Baikonur. En stor andel överlevde rymdfärden. En del till och med trivdes och förökade sig, andra föll i dvala.



Figur 18: Marsmeteoriten Allan Hills 84001 fotograferad genom ett elektronmikroskop, uppvisar strukturer som en del har hävdad kan vara fossiliserade bakterielliknande livsformer. Foto: NASA.

Ett tema i paleontologins historia är frågan om hur man ska skilja verkliga kvarlevor av levande organismer från strukturer som bara tycks härma levande former. Dessa så kallade pseudofossil kan misstas för att vara verkliga fossiler, som till exempel grenliknande strukturer i kalksten, eller den så kallade mossagaten vars mossliknande blad, eller andra mönster i stenar och mineral, uppstår genom geologiska och inte biologiska processer. I sökandet efter fossiler för att spåra livets tidiga historia på jorden eller för att finna fossiliserat liv i stenar från Mars innebär detta påtagliga utmaningar. År 1996 tillkännagavs att fossiliserat liv hade upptäckts i Marsmeteoriten ALH84001 (Figur 18). När man studerade den under ett elektronmikroskop fann man tubliknande strukturer som påminde om fossiliserade bakterier. Det var dock en förhastad slutsats. Icke-biologiska processer kunde i själva verket skapa dessa strukturer. Detta manade till sökandet efter nya prover för att kunna bekräfta existensen av fossiliserat liv i stenar från yttre rymden. Ytterligare prover är med andra ord nödvändiga för att bekräfta eller avvisa tidigare hypoteser som baserats på den första omgången av prover.

Livstecken i form av fossiler är märkbart annorlunda till sin natur än de som skulle kunna upptäckas genom studier av den kemiska sammansättningen av fjärran atmosfärer. Inte just för att de kan studeras på plats, utan genom relationen mellan det som är ett tecken på liv och det liv som det hänvisar till. Fossiler är livstecken som uppvisar likheter med levande organismer. De, skulle man kunna

säga, avbildar det levande och delar något av deras egenskaper och utseende. Fossiler är avtryck av de hårda delarna av djur och växter, varvid avtrycken av skelett eller bladverk låter oss, genom deras likhet, etablera ett samband mellan den fossiliserade strukturen och den levande organismen. Själva detaljrikedomen hos fossilen leder oss mot slutsatsen, utifrån antagandet att en sådan detaljrikedom och komplexitet inte skulle kunna ha uppstått genom någon annan känd icke-biologisk process.

Mikroskopiska fossiler, så kallade mikrofossil, är än mer utmanande. Allt liv som vi känner det delar egenskapen att ha inre volymer eller celler, vilka skiljs från den omgivande miljön genom cellmembran. Tanken är alltså att man skulle kunna söka efter sådana cellstrukturer. Välbevarade fossila celler kan vara identiska i fråga om storlek, form och struktur med levande encelliga organismer. Deras cellstruktur, som uppvisar mindre komplexitet än fossiler efter hela djur och växter, gör det emellertid svårare att verkligen kunna skilja biologiska strukturer från icke-biologiska. På vår jord, i Pilbara i västra Australien, har man hittat cellliknande strukturer som bedömts vara hela 3,5 miljarder år gamla. Tolkningarna har gått isär, å ena sidan fossiliserade celler av trådliknande bakterier eller resultatet av icke-biologiska processer å den andra. Alltså för att kunna antas vara ett verkligt livstecken är det inte tillräckligt att det finns en likhet mellan tecknet och det levande. Vi behöver också en förklaring till hur den levande organismen kan bli ett fossil. Om vi finner något som påminner oss om något levande, till exempel en mikrob, en cell eller liknande, behöver vi en teori som länkar samman den levande organismen med biosignaturen. För liv på jorden har vi en ganska klar uppfattning om hur fossiliseringsprocessen kan ha gått till. Många genomförda experimentella fossilstudier ger oss goda skäl att göra denna sammankoppling. Och vidare, fossiler är i sig inte heller tillräckliga för att ge oss fullständiga kunskaper om det liv som det är spår av. De ger oss till exempel inte fullständig information om den levande organismens biokemi.

Den här likheten mellan livstecknet och det levande behöver inte endast bestå i en synlig likhet grundad i likheter i struktur och uppbyggnad, utan kan uppstå genom att de delar vissa kemiska egenskaper. De kan till exempel dela komplexa biologiska makromolekyler som kolväteföreningar, proteiner och nukleinsyror (RNA och DNA). De flesta biomolekyler förändras emellertid och bryts ner, och produkterna (vad man skulle kunna kalla molekyloffsiler) av denna nedbrytning är inte längre något som liknar de ursprungliga molekylerna, men ändå har ett samband med dem. Det finns något i livstecknet som pekar mot det levande.

Livets pekfinger

”En dag vid middagstid när jag var på väg till min båt, fick jag till min häpnad se spår av en naken mans fot på stranden, där det var tydligt avtryckt i sanden. Jag stod liksom träffad av blixten eller som om jag sett ett spöke. Jag såg mig omkring,



Figur 19: Robinson Crusoe finner ett fotspår i sanden. Illustration från 1894 av Walter Paget.

jag lyssnade men kunde varken se eller höra någonting. Jag gick upp på en höjd för att kunna se längre bort, jag gick åt båda hållen på stranden, men allt förgäves. Jag kunde inte upptäcka något mer spår än detta enda. Jag gick tillbaka till spåret igen för att se om där var några fler eller om det hela endast var ett foster av min inbillning. Så var det emellertid inte, för där var fortfarande ett tydligt märke av en fot med tå och häl och varje del av den. Hur det kommit dit kunde jag inte på något sätt föreställa mig.”

När den skeppsbrutne Robinson Crusoe, uppkastad på en strand på en obobodd ö, en dag såg fotspår i sanden, visste han att där fanns mänskligt liv – sin

blivande vän Fredag (Figur 19). Han drog denna slutsats, inte genom att detta fotspår på något sätt skulle likna en mänsklig varelse, utan därför att den hade ett orsakssamband med den livsform som hade gjort det. Spåret pekade mot en levande varelse. På samma sätt när man ser röken över en skog och drar slutsatsen att där måste finnas en eld, som orsakat denna rök. Dessa tecken, som inom semiotiken kallas index, upprättar ett kausalt samband mellan uttryck och innehåll genom närhet eller beröring. Tolkningen av dessa tecken förutsätter kunskaper genom erfarenheter av de återkommande sambanden mellan tecknet och vad det refererar till. Det finns en stor mängd sådana potentiella tecken omkring oss även om vi ännu inte lärt oss känna igen dem som meningsfulla tecken. Några av dessa otaliga tecken, som för oss återstår att upptäcka, kan i själva verket hänvisa till dess orsak, något levande.

Inom astrobiologin söker man efter sådana tecken som pekar på en biologisk process som orsakat dem. Bland annat skulle man kunna söka efter kemiska livstecken i en främmande planets atmosfär orsakade av levande organismers ämnesomsättning. Skulle man till exempel finna stora mängder metangas i atmosfären



Figur 20: Stromatoliter, det vill säga sedimentstrukturer uppbyggda av mikroorganismer, särskilt cyanobakterier. Ouazgatzate-stromatoliterna är från kambrium och prekambrium, och bildades i en grund lagun för omkring 600 miljoner år sedan. Foto: David Dunér.

skulle det kunna vara tecken på förekomsten av biologiska processer, även om man inte kan utesluta en icke-biologisk orsak. Vissa mineral skulle kunna vara orsakade av ämnesomsättningen hos mikroorganismer, men som så ofta kan de vara ytterst svåra att skilja från mineral som har ett icke-biologiskt ursprung. Ett annat slag av tecken som pekar mot biologiska processer är olika strukturer som bär spår av levande organismers beteende eller aktivitet. På vår jord har man till exempel funnit så kallade stromatoliter, vilka består av skiktade mattor av fossila mikroorganismer (Figur 20). Dessa stromatoliter är i sig inte levande, liknar inte heller något levande, men är orsakade av levande organismer, särskilt cyanobakterier. Andra exempel på sådana tecken som är spår av levande organismers aktivitet är urborringar, hålor och fotspår. Återigen, utmaningen är här att skilja dessa livstecken från mönster som endast är resultatet av icke-biologiska processer som vi tycker liknar de som orsakas av levande organismer.

Frågan är hur man skulle kunna söka efter dessa kemiska tecken på liv, då vi knappast kan resa till andra planeter utanför vårt solsystem och undersöka dessa på plats. Den frågan fick en oväntad vändning på 1800-talet. Den franske positivisten Auguste Comte, som ständigt underströk den rationella vetenskapligheten, menade att det finns vissa saker vi aldrig kommer att veta, utan endast kan spekulera om. I fråga om himlakropparna skrev han 1835 att vi aldrig på något sätt kommer att kunna studera deras kemiska eller mineralogiska sammansättning. Men bara några få årtionden senare upptäcktes en ny metod, kallad spektroskopi, för att analysera ljuset från andra himlakroppar. Spektroskopet blev ett verktygsfullt redskap inte bara för att undersöka andra himlakroppars kemiska sammansättning, utan dessutom för att söka efter utomjordiskt liv. Beroende på olika molekyler som var och en har sin unika karaktär, kunde forskare genom att analysera ljuset nu dra slutsatser om de främmande atmosfärernas kemiska sammansättning. De första studierna med hjälp av spektroskopi för att upptäcka syre och vatten i Mars atmosfär gjordes av astronomerna William Huggins och Jules Janssen på 1860-talet. De utgick från antagandet att vatten är en nödvändig förutsättning för liv. Om man därtill förknippar planetens miljöförhållanden (närvaron av vattenånga i atmosfären och flytande vatten på dess yta) med möjligheten för liv att uppstå och överleva, så har man en ledtråd. Det vill säga, en upptäckt av vattenånga i en planets atmosfär skulle därigenom bli en avgörande indikation på att det kan finnas liv på dess yta. Janssen hävdade 1867 också att han hade upptäckt närvaron av vattenånga i Mars atmosfär, vilket därmed skulle bekräfta hypotesen om en levande planet. Troligen var detta tecken på vattenånga i själva verket av jordiskt ursprung, vilket den amerikanske astronomen William Wallace Campbell korrigerade 1894.

Förhoppningen är att vi i framtiden skall kunna studera exoplaneter av samma slag som jorden. Men de är ännu för små och ligger för långt bort från sin stjärna för att vi med dagens instrument skulle kunna observera dem. Med den teknik vi nu har är det omöjligt för oss att urskilja denna främmande planets geologiska

formationer, som hav, berg och kontinenter. Men vi skulle sannolikt inom ganska snar framtid kunna upptäcka vissa gaser i dess atmosfär som kan förknippas med liv, även om tolkningen av denna förekomst skulle vara besvärlig och tvetydig. Ett första steg i sökandet efter livstecken på en exoplanet skulle vara att ta reda på dess temperatur, storlek, massa, densitet, gravitation och ljusförhållanden. I ett nästa steg skulle man kunna försöka ta reda på om den har en atmosfär, flytande vatten, moln, hur ytan kan vara beskaffad, planetens dagliga rotation kring sin axel, hur årstiderna varierar och hur vädret skulle kunna vara. I ett tredje steg skulle man kunna vara redo för ett mer konkret sökande efter livstecken, det vill säga försöka upptäcka specifika gaser – till exempel syre, ozon, metan och koldioxid – som kan ha sitt ursprung i biologisk aktivitet (se även Dravins kapitel). Särskilt intressant är kombinationen av gaser och mängden av dem. Som forskarna Joshua Lederberg och James Lovelock föreslog 1965 kan gaser i ojämnvikt vara tecken på liv. Liv, kan man säga, leder till ojämnvikt, det vill säga, mängden och kombinationen av gaser skulle inte vara som den är om inte en biologisk aktivitet upprätthöll denna obalans. Om livet plötsligt skulle dö ut på en levande planet, skulle de kemiska livstecknen snart försvinna. Alltså, om de ändå finns där, så måste det finnas en kontinuerlig källa som upprätthåller den mängd gas som egentligen inte borde finnas. En sådan källa skulle kunna vara livet självt. Men som ett återkommande tema i sökandet efter liv är livstecknen tvetydiga.

Först och främst försöker astrobiologerna leta efter tecken på enkla biologiska processer, men det finns också möjligheter för att söka efter mer avancerade livsformer. En annan skeppsbruten resenär i främmande trakter, den antike grekiske filosofen Aristippos, kastades i land vid Rhodos kust någon gång omkring 400 före vår tideräkning. När han fann geometriska figurer i sanden blev han emellertid övertygad om att han hade kommit till ett land bebott av civiliserade människor (Figur 21). Dessa geometriska figurer indikerade inte bara att där fanns liv, människor, utan till och med att där fanns en intelligent civilisation. Tanken på att kunna finna konkreta tecken på intelligenta utomjordiska civilisationer har eggat forskare sedan länge. Sedan 1960-talet har man avlyssnat rymden på radiovågor, men man kan också tänka sig att man i framtiden skulle kunna analysera ljuset från jordliknande exoplaneter som kanske uppvisar tecken, vilka vad vi vet, inte har en naturlig orsak, utan måste vara artificiella, skapade av en teknisk civilisation. Till exempel, som på vår jord, skulle man kunna finna en förändrad atmosfär orsakad av industriföroreningar, molekyler framställda på konstgjord väg som freoner eller andra artificiella spår av en miljö i obalans. Dessa skulle kunna vara tecken på att det där finns en avancerad livsform som på konstgjord väg kan förändra och påverka sin livsmiljö. Finns det utomjordiska astrobiologer på en annan avlägsen planet som studerar oss, som följt vår utveckling ett par hundra år, skulle se en planet som dramatiskt har förändrats vad gäller livsbetingelser, med föroreningar och ökad temperatur. En döende planet, kanske de då tänker.



Figur 21: Aristippos finner spår av mänsklig civilisation. Ur Euklides, *Elementa*, i en utgåva från 1703 av den skotske astronomen och matematikern David Gregory.

När vi genomsöker stjärnor och planeter i vår galax, avlyssnar rymden på främmande signaler, kan vi en dag råka på tecken på tekniskt avancerade utomjordiska civilisationer. En eventuell upptäckt av tecken på teknik måste dock inte nödvändigtvis leda till slutsatsen att den har sitt ursprung i en civilisation bestående av biologiska varelser. Hypotetiskt kunde man tänka sig att livet där för länge sedan dött ut och övergått till ett så kallat postbiologiskt tillstånd där det levande, organiska, bytts ut mot självkopierande maskiner. Dessa så kallade von Neumann-maskiner, en idé som kastades fram av matematikern John von Neumann i slutet av 1940-talet, kan kopiera och sprida sig själva oberoende av några biologiska skapare.

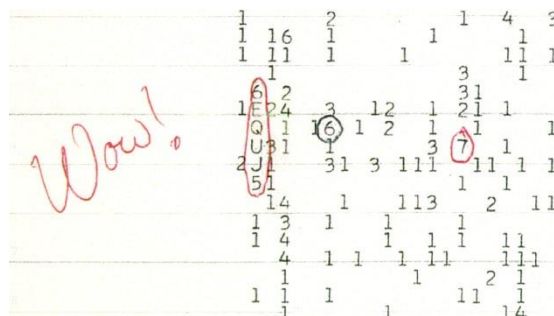
Sökandet efter tecken på liv är, kan man säga, ett sätt att finna samband mellan olika fenomen omkring oss, dra slutsatser utifrån vissa tecken att de står i orsaks-samband med sitt ursprung – liv. Detta sökande efter mening består av något mer än själva livstecknet och vad det betecknar, det levande. Som den brittiske astrofysikern Arthur Eddington uttryckte det i en bok om den allmänna relativitetsteorin från 1920: ”Vi har funnit ett underligt fotspår vid det okändas strand. Vi har tänkt ut djupsinniga teorier, den ena efter den andra, för att förklara dess ursprung. Till slut lyckas vi rekonstruera den varelse som gjorde detta fotspår. Och se! Det är vårt eget.” Det är vi själva, uttolkarna av dessa tecken som upprättar detta samband mellan tecknet och det betecknade, livstecknet och det levande. Sökandet efter tecken på liv skulle kunna ge oss ny kunskap om det levande universum i vilket vi lever, men också en ny, djupare förståelse av hur vi som meningssökande varelser finner mening i den till synes obegripliga och kaotiska världen omkring oss.

Det levandes symboler

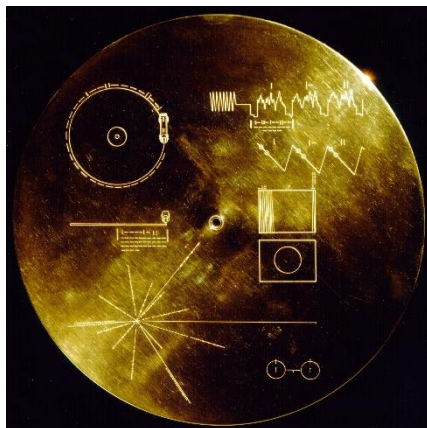
Den 15 augusti 1977 tog ”det stora örat”, radioteleskopet Big Ear i Ohio, emot en mycket kraftfull radiosignal från yttre rymden som varade i 72 sekunder. När astronomen Jerry R. Ehman gick igenom datautskriften noterade han en märklig avvikelse. Slagen av häpnad antecknade han i marginalen: ”Wow!” (Figur 22) Denna avvikelse har sedan varken kunnat återfinnas eller kunnat ges en tillfredsställande förklaring. Det första problemet man ställs inför i en sådan situation är att bestämma ifall det är en naturlig eller en artificiell signal av utomjordiskt ursprung. Det vill säga man måste utesluta alla kända naturliga orsaker till signalen, liksom alla mänskliga, jordiska källor, som till exempel satelliter eller mikrovågsugnen i rummet bredvid. Genom att utesluta alla sådana naturliga förklaringar, hoppas man kunna komma fram till slutsatsen att det måste vara en artificiell signal från en tekniskt avancerad intelligent civilisation. Men än svårare är det efterföljande problemet att avgöra om den okända signalen är något mer än endast ett tecken på teknik, eller närmare bestämt, om den därtill också innehåller ett meddelande, information, ett budskap som är menat att kommuniceras, dechiffreras och bli förstått av en mottagare. Om vi får in en sådan signal från yttre rymden vill vi nog inte stanna vid att konstatera att den kan ha sitt ursprung i en annan teknisk civilisation även om detta skulle vara i högsta grad uppseendeväckande – vi skulle ju också vilja veta vad den betyder, vad de vill säga. Livstecknet kan nämligen innehålla ett budskap till oss.

Ett aktivt sökande efter utomjordisk intelligens med hjälp av radioastronomi har pågått sedan 1960-talet. År 1960 startade ett projekt kallat Ozma (efter prinsessan i det imaginära landet Oz) som ämnade söka efter tecken på utomjordiska civilisationer. Utgångspunkten är fullt rimlig. Elektromagnetisk strålning från jorden går att upptäcka från rymden. Från vår jord läcker det ut

Att vara intelligент är något mer än att kunna skapa avancerade maskiner. Teknik förutsätter vissa mentala och sociala färdigheter. När vi söker efter utomjordisk intelligens, söker vi efter varelser med förmågan att tänka abstrakt, symboliskt, och inte minst kan och vill överföra dessa tankar till andra tänkande varelser. Intelligens kan beskrivas som en sorts mental förmåga att snabbt och flexibelt kunna förändra sitt tänkande när situationen så kräver det. Denna mentala gymnastik har växt fram under människans evolution i och med att den visat sig underlätta förmågan att överleva och reproducera sig inom en specifik miljö. Till dessa mentala förståndsgåvor hör förmågan att skapa inre föreställningar om världen, men med tänkandet kan man också föreställa sig ting som inte existerar i sinnevärlden, som inte finns närvarande, inte har existerat eller kommer att existera. Med lätthet kan vi föreställa oss enhörningar som inte existerar och aldrig har existerat, vi kan föreställa oss utomjordingar även om vi inte vet att de existerar. Vi kan föreställa oss abstrakta ting som pengar, demokrati eller mänskliga rättigheter. Detta abstrakta tänkande bygger till stor del på användandet av symboler. Med hjälp av språket kan vi förmedla dessa abstrakta tankar från medvetande till medvetande.



122



Figur 23: Förstår sig utomjordingarna på matematik, fysik och kemi? Voyager Golden Record skickades ut i rymden 1977 med sonderna Voyager 1 och Voyager 2. Foto: NASA.

De sorters tecken jag tidigare har talat om, ikon och index, det vill säga bilder och ”pekningar” som bygger på likhet respektive närhet med det de refererar till, är inte godtyckliga, utan har i någon bemärkelse ett verkligt samband med det de står för. Problemet med symboler är däremot att de bygger på konventioner. De är i någon mening godtyckliga och är beroende av det kulturella och sociala sammanhanget. Ordet ”liv” har inget orsakssamband med vad det står för, inte heller liknar detta ord en levande organism. Det finns alltså inget inneboende samband mellan ordet ”liv” och verkligt liv. Det hela bygger på en konvention. Vi har, kan man säga, kommit överens om att ordet ”liv” betecknar något som vi förstår som ”liv”. Det är något vi måste lära oss. När vi ställs inför ett kosmiskt meddelande är det inte självklart att vi kommer att förstå vad deras meddelande står för. Eftersom det abstrakta tänkandet är beroende av symboler kommer vi sannolikt att ha stora svårigheter med att lista ut betydelsen av utomjordiska meddelanden. Det finns med andra ord inget i den fysiska anblicken av tecknet som ger oss några ledtrådar till vad det står för.

Om man skulle upptäcka signaler som har sitt ursprung i en teknisk civilisation, skulle detta inte bara visa att det finns liv i rymden – det skulle dessutom visa att det finns andra intelligenta varelser som kan resonera, tänka, kommunicera och konstruera avancerad teknik. Det sistnämnda skulle dessutom innebära, menar man, att de har ingående kunskaper i vad vi skulle kalla matematik, fysik och kemi (Figur 23). Det är förstås inte otänkbart att föreställa sig att utomjordingarna skulle kunna ha specifika och initierade kunskaper om sin miljö, som till sitt innehåll mer eller mindre motsvarar våra egna grundläggande naturvetenskapliga kunskaper.

Men hur de uttrycker dessa kunskaper kommer med stor sannolikhet att vara väldigt olikt vårt sätt. Det är således snarare meddelandets uttryck än dess innehåll som skapar svårigheter för oss. Då de rimligen inte skickar konkreta föremål till oss, utan vill uttrycka abstrakta tankar, så måste de på ett eller annat sätt koda detta i ett språk som vi måste dechiffrera. De flesta försök som gjorts att konstruera interstellära meddelanden som ska förstås av en utomjordisk tänkande varelse går bet på denna skillnad mellan uttryck och innehåll (se vidare Čápvás kapitel angående försök att skapa interstellära meddelanden). Symboler är som sagt konventioner och därmed beroende av det kulturella och sociala sammanhanget som skapar dessa godtyckliga, men mer eller mindre regelbundna samband. Just vårt sätt att kommunicera och symbolisera våra tankar med hjälp av våra talade språk har växt fram genom en evolutionär och historisk process på vår jord, och är därmed också begränsad av våra mänskliga kroppar, vår specifika miljö och vår arts sociala och kulturella egenheter. På motsvarande sätt kommer de eventuella meddelanden som vi kanske en dag mottar från yttre rymden att vara symboliska meddelanden begränsade av de biologiska och kulturella förutsättningarna hos den intelligenta art som skickade dem.

Om vi en dag upptäcker liv

Än så länge har vi inte några säkra bevis på existensen av utomjordiskt liv. Men kommer vi någonsin att bli fullständigt säkra på att vi är ensamma? En svårighet som sökandet efter utomjordiskt liv tyngs av är att det i praktiken är omöjligt att falsifiera tesen om att liv finns där ute. Det finns ingen metod eller något sätt att bevisa att liv inte existerar eller inte kan existera någon annanstans i universum än här på jorden. Det är ju inte praktiskt möjligt att vända på varenda sten i universum, på varenda planet i varenda galax. Hittar vi inte liv under den stenen kan vi gå vidare och lyfta på en annan, finner vi inte liv på den planeten kan vi gå vidare till nästa och så vidare. Astrobiologin kan alltid färdas vidare, förfina sina metoder, observationer, teorier, ständigt hitta nya förklaringar till misslyckandet och finna på nya sätt att i framtiden göra, förhoppningsvis, framgångsrika upptäckter. Om vi inte finner liv på Mars yta, fortsätter vi och letar under dess yta – vilket man nu är i färd att göra. Om man inte hittar liv i vårt solsystem, fortsätter vi till nästa och nästa, kanske i det oändliga. Men när ska vi ge upp och dra slutsatsen att liv med största sannolikhet inte existerar någon annanstans än på vår jord? Efter hundra noggrant undersökta planeter, efter tusen eller miljoner? Vi kommer aldrig att kunna veta att vi är ensamma i världsrymden. Det förblir en fråga om sannolikhet. Men det räcker med ett enda exempel på utomjordiskt liv – och vi vet att vi inte är ensamma.

Vi söker efter liv som vi känner det. Vi letar efter något som på sätt och vis påminner om oss själva, som liknar oss, vårt jordiska liv. Men annat liv i rymden skulle kunna vara mycket olikt det vi finner på jorden, långt bortom våra vildaste



Figur 24: Fotspår på månen. Buzz Aldrin den 21 juli 1969. Foto: NASA.

fantasier. Vetenskapshistorien är just en historia om mänsklig förvåning. Världen vi lever i visade sig vara mycket annorlunda det vi först tänkte oss, rikare, mer komplicerad, mer egendomlig och mer förvånande än vad vi kunde drömma om: när Galilei fann berg och slätter på månen, när Newton fann himlakropparnas dragningskraft genom tomrummet, när Darwin fann människan vara släkt med aporna, när Einstein beskrev hur tiden kan gå olika snabbt och hur rummet kröks av materiens massa. Detta gäller också astrobiologin och sökandet efter liv i rymden. Framtida upptäckter inom astrobiologin kommer att fullständigt överraska oss.

En dag kanske vi finner tecken på liv på en annan planet. Vi kommer då att erhålla vissa kunskaper, som till exempel om planetens kemiska sammansättning

och miljöförhållanden. Men framför allt, beskrivningarna, tolkningarna och slutsatserna rörande denna nya värld kommer då också att säga något om oss själva och vår plats i det levande universum, och hur vi tolkar och förstår den verklighet vi erfar. Det finns nämligen något vi vet. Sökandet efter liv har sin grund i det mänskliga tänkandet, människans kultur och historia. Astrobiologerna använder tankeförmågor som har växt fram genom människans evolution och historia. Särskilda tankeprocesser är i verksamhet när vi ställs inför okända ting, när vi tolkar potentiella tecken på liv, när vi samlar och klassificerar den information som vi inhämtar från rymden, och när vi drar slutsatser utifrån dessa observationer. Och detta sker i en kultur, vid en bestämd tidpunkt i historien, i en specifik forskningsmiljö och i samarbete med andra tänkande varelser av vår art. Vårt sökande efter livstecken vilar på de tankeförmågor och det sociala-kulturella sammanhang i vilket vår mänskliga art lever – och som gör vår planet till levande och tänkande. Även om liv inte existerar där ute, är det vi mänskliga, jordiska varelser med våra hjärnor, kroppar och kultur som söker efter det. Även om vi aldrig finner något, lär vi oss mer om oss själva – vi finner fotspår i sanden, våra egna (Figur 24).



Lästips

Crowe, Michael J. (1986) *The extraterrestrial life debate 1750–1900: the idea of a plurality of worlds from Kant to Lowell*. Cambridge University Press

Dick, Steven J. (1982) *Plurality of worlds: the origins of the extraterrestrial life debate from Democritus to Kant*. Cambridge University Press

Dick, Steven J. (1996) *The biological universe: the twentieth-century extraterrestrial life debate and the limits of science*. Cambridge University Press

Dunér, David (2013) ”Extrema världars historia”, i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Dunér, David (2013) ”Extrem kommunikation”, i Dunér, David (red.) *Extrema världar – Om sökandet efter liv i rymden* Pufendorfinstitutet

Dunér, David, Joel Parthemore, Erik Persson & Gustav Holmberg (red.) (2013) *The history and philosophy of astrobiology: perspectives on extraterrestrial life and the human mind*. Cambridge Scholars Publishing

Persson, Erik (2013) “Philosophical aspects of astrobiology” in Dunér, D.; Pathermore, J.; Persson, E.; Holmberg, G. (eds.): *The History and Philosophy of Astrobiology* Cambridge Scholars Publishing

Sullivan, Woodruff T. & John A. Baross (red.) (2007) *Planets and life: the emerging science of astrobiology*. Cambridge University Press