

# Innehåll

|           |                                                              |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----|
|           | Förord.....                                                  | 9   |
| KAPITEL 1 | Vad är astrobiologi? .....                                   | 13  |
| KAPITEL 2 | Från stjärnstoft till planeter,<br>livets miljöer .....      | 31  |
| KAPITEL 3 | Livets och miljöns ursprung.....                             | 49  |
| KAPITEL 4 | Från slem till det sublima.....                              | 69  |
| KAPITEL 5 | Liv: ett genoms sätt att skapa fler och<br>bättre genom..... | 93  |
| KAPITEL 6 | Liv i solsystemet .....                                      | 117 |
| KAPITEL 7 | Fjärran världar, avlägsna solar .....                        | 151 |
| KAPITEL 8 | Kontroverser och framtidsutsikter.....                       | 171 |
|           | Referenser och vidare läsning .....                          | 177 |
|           | Illustrationer .....                                         | 181 |
|           | Register .....                                               | 182 |



# Förord

Astrobiologi är ett relativt nytt forskningsområde inom den vetenskapliga världen men frågorna som undersöks är gamla: Hur kom livet till jorden? Finns det andra livsdugliga världar än vår, i solsystemet eller runt andra stjärnor? Kan liv ha uppstått där, oberoende från det som finns på jorden? Vad är förutsättningarna för liv?

Frågorna har visat sig vara utomordentligt svåra att besvara, men framförallt två genombrott under de senaste decennierna har fått fart på forskningen. Det första är utvecklandet av effektiv DNA-sekvensering, som framgångsrikt används till att undersöka livets utveckling och gränser. Förmågan att på gennivå studera släktskapet mellan nu levande och utdöda arter, samt hitta samband mellan gener och funktioner, har revolutionerat biologin och forskningen om livets uppkomst.

Det andra genombrottet är upptäckten av planeter runt andra stjärnor än solen. Fram tills helt nyligen visste man inte om solsystemet var en kosmisk tillfällighet eller om det var en typisk förekomst. Idag vet vi att universum är fullt av planeter med i genomsnitt fler än en planet runt varje sollik stjärna. Forskningen har alltmer börjat inrikta sig mot att karakterisera dessa exoplaneters egenskaper, det vill säga hur stora och varma de är, om de har atmosfär och vad den i så fall består av

och så vidare. Med hjälp av svaren på dessa frågor kan vi ställa nya: Hur många av planeterna är livsdugliga för liv såsom vi känner det? Och, slutligen: Om det finns liv på en planet runt en annan stjärna, finns det detekterbara kännetecken från det i till exempel planetatmosfären?

Dessa genombrott har bidragit till en enorm tillväxt av forskning i astrobiologi, där flertalet institut och centra ägnade att främja astrobiologisk forskning har öppnats runt om i världen, tidskrifter exklusivt ägnade åt astrobiologiforskning har grundats, och astrobiologikonferenser arrangeras som tillsammans lockar tusentals forskare varje år. Även i Sverige har astrobiologisk forskning vuxit, från pionjärerna inom det svenska nätverket för astrobiologi (SWAN) till satsningarna vid Pufendorf institutet i Lund och Stockholms universitets astrobiolog centrum.

Det stora intresset för astrobiologisk forskning har bidragit till nya projekt som flyttar fram kunskapens gränser. Nya rymdteleskop planeras för att leta efter och karakterisera exoplaneter, där ett av de starkast uttalade målen är att hitta planeter lämpliga för liv. Sverige är aktivt deltagande i två europeiska sådana projekt, *Cheops* och *Plato*, som enligt planerna kommer påbörja sina rymduppdrag 2017 respektive 2024. Om allt går som det ska kommer vi runt 2030 veta mer precist hur många jordlika planeter det finns i vårt galaktiska grannskap, samt hur vanligt det är med livsdugliga planeter. Rymdprojekt har långa tidsplaner.

Astrobiologins starka utveckling gör att böcker i ämnet åldras snabbt och urvalet av astrobiologiböcker framförallt på

svenska är ytterst begränsat. Denna bok, *Astrobiologi* av prof. David C. Catling, i svensk översättning, utgör därför ett välkommet nytillskott som trots sin titel ger en grundlig introduktion till vilka frågor man idag studerar inom astrobiologin och hur man vetenskapligt undersöker dessa. Det är en hisnande resa som gör nedslag vid allt från livets uppkomst till möjligheten för intelligent liv på främmande planeter. Boken passar lika bra vid skolbänken som för kvällsunderhållning. Trevlig läsning!

Alexis Brandeker, docent i astronomi  
Vetenskaplig koordinator vid Stockholms universitets astrobiologisentrum (SU-ABC)



# Vad är astrobiologi?

## Bakom namnet

”Vad fan är *astrobiologi*?” skrek en amerikansk säkerhetsagent i sin walkie-talkie. Han hade precis genomfört en identitetskontroll av en akademisk besökare vid Ames Research Center, den amerikanska rymdorganisationen NASA:s forskningscentrum i närheten av San Francisco. Besökaren hade sagt att han skulle delta i NASA:s första vetenskapliga konferens inom astrobiologi. Ames Research Center har en landningsbana som erbjuder en säker landningsplats för Air Force One, och i april 2000 hade president Bill Clinton precis flugit dit för att besöka området kring San Francisco Bay och medförde sitt följe av säkerhetsagenter.

Säkerhetsagentens fråga var befogad. Det var först i slutet av 1990-talet som vetenskaplig konsensus om betydelsen av ordet *astrobiologi* uppstod. Få lekmän eller säkerhetsagenter kunde ha hört talas om begreppet. Det var då som NASA började finansiera ett forskningsprogram inom astrobiologi som leddes av Ames Research Center, där jag arbetade som rymdforskare. Till en början ogillade somliga av mina kollegor den bokstavliga grekiska betydelsen av ”stjärnornas biologi”. Man påpekade med ett hånskratt att liv inte kunde existera inne i

stjärnornas infernaliska värme. En mindre kverulantisk tolkning är att ”astro” i astrobiologi handlar om livet *kring* stjärnor, däribland solen, eller helt enkelt liv i rymden. I själva verket är många astrobiologer lika intresserade av historien om liv på jorden som av liv någon annanstans. Astrobiologer är överens om att vi behöver ha en klar förståelse av hur liv utvecklades på jorden för att kunna grubbla över om det finns liv i rymden. Men en häpnadsväckande aspekt på den moderna vetenskapen är att den än så länge inte har lyckats besvara frågor inom biologin som till och med ett barn skulle kunna ställa. Hur uppstod liv på jorden? Vi har några uppslag, men detaljerna är okända. Vilka speciella egenskaper hos jorden och solsystemet gör vår planet beboelig? Återigen, det finns en del förklaringar men fortfarande mycket att lära. Och vad var det som fick liv att utvecklas till komplexa organismer istället för att förbli enkla? Även här står vi på osäker grund.

För att fylla dessa luckor i människans vetande har astrobiologi vuxit fram som *en vetenskapsgren som ägnar sig åt studiet av livets ursprung och utveckling på jorden och eventuell mångfald av liv någon annanstans*. Detta är den definition som jag själv föredrar. NASA har definierat astrobiologi som *studiet av uppkomst, utveckling, spridning och fortsättning av liv i universum*. Andra vanliga definitioner är *studiet av liv i universum* eller *studiet av liv i ett kosmiskt sammanhang*. Inom denna ram ägnar sig astrobiologer åt frågorna ”Vad har liv på jorden för historia och framtid?” och ”Finns det liv någon annanstans?”

Fyra händelser sammanträffade med framväxten av astro-



biologi som ämnesområde i slutet av 1990-talet. År 1996 hittades kontroversiella tecken på forntida liv inuti en marsiansk meteorit – en sten på 1,9 kilo som hade sprängts bort från Mars yta genom ett asteroidnedslag och slutligen landat i Antarktis. Oavsett om denna tolkning av fossiliserat mikroskopiskt liv var korrekt eller inte (se kapitel 6), fick den folk att börja undra. Dessutom har biologer under de senaste två decennierna konstaterat att vissa mikrober inte bara tålde ett betydligt större spektrum av miljöer än man tidigare hade trott, utan faktiskt *trivdes* under extrema förhållanden ifråga om temperatur, syra, tryck eller salthalt. Därför blev det rimligt att föreställa sig att utomjordiska mikrober kan existera på skenbart fientliga platser. En tredje upptäckt kom, även den 1996, genom bilder tagna av NASA:s rymdsond Galileo föreställande den istäckta ytan på Jupiters måne Europa, vilka avslöjade isbitar som hade glidit isär i det förflutna, något som tyder på ett hav under en isig skorpa. Sedan, från mitten av 1990-talet och framåt, upptäckte astronomer allt fler extrasolära planeter eller *exoplaneter*, vilka är planeter som inte kretsar kring vår sol utan kring andra stjärnor. Möjligheten att liv skulle kunna finnas på exoplaneter eller i vårt eget solsystems kosmiska bakgård blev ett incitament för att fråga om liv kunde vara vanligt förekommande i universum.

## Astrobiologi i idéhistorien

Även om astrobiologi kom på tapeten först under 1990-talet går frågan huruvida vi är ensamma i universum tusentals

år tillbaka. Thales (cirka 600 f.Kr.), som ofta betraktas som den västerländska filosofins fader, anslöt sig till uppfattningen om en *mångfald av världar* med liv. Senare förespråkade den grekiska atomläran från Leukippos till Demokritos och Epikuros, som trodde att materien bestod av odelbara atomer, en sådan "mångfald". Metrodoros (cirka 400 f.Kr.), en av Demokritos lärjungar, skrev: "Det är onaturligt att i ett stort fält endast finna en vetestjälk och i det oändliga universum endast en värld med liv." Men det vore fel att likställa de antika filosofernas mångfald med vår moderna uppfattning om liv på Mars eller exoplaneter. Metrodoros hade ingen aning om att stjärnorna var solliknande föremål på enorma avstånd och trodde att de bildades varje dag av fukt i jordens atmosfär. De befolkade världarna i atomisternas fantasi var kroppar i en abstrakt rymd, likt moderna uppfattningar om parallella universum. Hur som helst blev den motsatta åsikten hos Platon (427–347 f.Kr.) och Aristoteles (384–322 f.Kr.) den som till sist kom att dominera. Deras uppfattning att endast jorden var bebodd och befann sig i centrum av universum blev förhärskande i över tusen år.

Slutligen visade astronomer under renässansen att jorden kretsade kring solen. Efter insikten att jorden endast var ännu en planet uppstod snart spekulationer om utomjordiskt liv på andra planeter i solsystemet. Johannes Kepler (1571–1630), den tyske astronomen som var ansvarig för astronomins tre lagar om planeternas rörelser, umgicks gladeligen med tanken på bebodda planeter. Senare, mot slutet av 1600-talet, föreställde sig den nederländske astronomen Christiaan Huygens