



Af: Hans Kjeldsen

VAND I UNIVERSET

Vand findes i rigelige mængder mange steder uden for Jorden. Vi finder vand i gasskyerne mellem stjernerne, på overfladen og i det indre af månerne, kometerne og planeterne i Solsystemet, og i exoplaneter.



Fig. 1. Carinatågen (NGC 3372) indeholder store mængder unge stjerner, gas, støv og molekyler, bl.a. vand. De forskellige molekyler er identificeret ud fra mønsteret af de spektrallinjer, de udsender radio- og mikro-bølger samt infrarødt lys i. (ESO/T. Preibisch) ▶

Vand blandt stjernerne i Mælkevejen

Det er ikke mærkeligt, at der findes relativt store mængder af vand i Universet. Vandmolekylet består af hydrogen og oxygen, og i Mælkevejen er det mest almindelige grundstof hydrogen (det udgør ca. 74 % af Mælkevejens masse). Det næstmest almindelige grundstof er helium (24 %) og herefter oxygen (1,04 %), kulstof (0,46 %), neon (0,13 %) og jern (0,11%). I Mælkevejens store gas- og støvskyer dannes nye stjerner, men det er samtidigt det sted, hvor atomerne samles og danner molekyler. Molekylerne dannes over perioder på millioner af år, både før stjernerne dannes og under selve dannelsen af nye stjerner. Dannelsen af molekylerne sker ved at atomer sætter sig fast på de enkelte støvkorn, og over lange tidsrum samles enkelte atomer i molekyler på støvkornenes overflader. Molekylerne løsrives senere fra de enkelte støvkorn, og de ender frit i rummet som en tynd gas af molekyler. På grund af de lange tidsrum kan der dannes store mængder af molekyler, og det er ikke kun vand som dannes i støv- og gasskyerne. F.eks. findes Metan (CH_4) blandt de omkring 200 forskellige molekyler, som er fundet i interstellare skyer. Også mere komplekse molekyler dannes i interstellare støv- og gasskyer, der er f.eks. fundet alkohol (ethanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) som molekyle, og også komplekse kulstofmolekyler, C_{60} og C_{70} (molekyler hvor kulstof atomer er placeret i regulære strukturer som danner en kugleform) er fundet i verdensrummet. Fordi hydrogen og oxygen er hhv. nr. et og tre på listen over de mest almindelige grundstoffer i verdensrummet, er netop vandmolekylet et af de mest almindelige molekyler, vi finder uden for Jorden.

Søgning efter liv – følg vandet!

I studiet af Universet spiller vand en vigtig rolle. Vand er helt centralt for livet på Jorden, og i søgningen efter om der findes liv andre steder end på Jorden, er tilstedeværelsen af vand afgørende. Det amerikanske rumagentur NASA definerer arbejdet med at finde de steder, hvor der potentielt kan være liv, ud fra den simple forudsætning, at der skal findes vand, og at vi derfor skal søge efter liv ved først og fremmest at finde de steder, hvor der er vand. Årsagen til at vand anses for at være en forudsætning for liv er, at levende organismer opretholder sig selv gennem stofskifte, hvor der sker tilførsel og omformning af energi, og hvor livet producerer affaldsstoffer. Når biologer analyserer de kemiske processer, som er en forudsætning for liv, viser det sig, at de kræver, at organismen indeholder et opløsningsmiddel, som muliggør at stoftransport og energioverførsel kan finde sted. I de organismer vi kender, er dette opløsningsmiddel

vand. Det kan tænkes, at der findes livsformer hvor vand ikke er nødvendigt, fordi et andet stof sikrer stoftransport, men givet at vand netop findes i store mængder i Universet, er der grund til at antage, at vandet ikke blot findes i livet på Jorden ved en tilfældighed - det er det oplagte valg fra naturens side! For at finde liv i rummet er det dog ikke nok at finde vand. Der skal også være energi til stede enten i form af lys eller i form af kemisk energi.

Men hvordan skal vi egentligt finde direkte tegn på liv på en fjern klode mange lysår fra Jorden? Det spændende er, at de levende organismer – uanset om der er tale om simple eller komplekse livsformer – kan ændre det miljø, som de er en del af, og det er de ændringer, som vi skal rette kikkerten mod og lede efter. Vi kan ved studier af atmosfæren og overfladerne af exoplaneter søge efter de stoffer, som organismerne danner via deres stofskifte – altså affaldsstofferne fra livsprocessen. Vi kalder disse affaldsstoffer for biosignaturer eller biomarkører. I Jordens atmosfære er tilstedeværelsen af ilt i ren form et tegn på eksistensen af liv. Hvis livet forsvandt fra Jorden, ville iltten også forsvinde fra atmosfæren. Finder vi derfor ilt-molekyler på fjerne exoplaneter, vil vi se det som et tegn på, at der muligvis er liv på denne exoplanets overflade.

Astronomer og biologer anvender på baggrund af overstående overvejelser følgende strategi for at søge efter liv og steder, som er egnet til liv:

- Søg efter flydende vand – eller steder, hvor vand i flydende form kan eksistere.
- Find en planet eller en måne, hvor lys og energi kan nå ned i det flydende vand.
- Undersøg miljøet gennem astronomiske observationer, og søg efter en eller flere typer af affaldsstoffer fra livet, altså biomarkører.

Vi har endnu ikke fundet tegn på liv andre steder end på Jorden. Omvendt har vi fundet masser af steder, hvor vand findes i store mængder og også steder, hvor der er energi tilstede. Vi har derfor fundet miljøer og steder, hvor de første to punkter i overstående liste er opfyldt, men altså uden at vi endnu har fundet tegn på, at livet findes disse steder.

Vandet findes ved remote sensing

Når man leder efter vand i Universet, kan vi normalt ikke måle direkte i det miljø, vi studerer (såkaldt on site-måling eller in situ-måling). Søgning efter vand i Universet sker primært ved remote sensing, altså fjernmåling, hvor undersøgelsen foregår ved at observere signaler fra de objekter, som studeres. Det kan være ved måling af lysstyrken igennem et eller



Fig. 2. NASA's Curiosity rover har fundet aflejringer, som viser, at der for 3,5 milliarder år siden fandtes en sø på Mars-overfladen, hvor materiale aflejreredes. (NASA/JPL-Caltech/MSSS).



Fig. 3. En stor flod afsatte for milliarder af år siden spor på overfladen af Mars. Det viser, at der på et tidspunkt fandtes store mængder af vand på Mars. (ESA/DLR/FU Berlin).
ESA-Copyright: http://www.esa.int/spaceimages/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images.

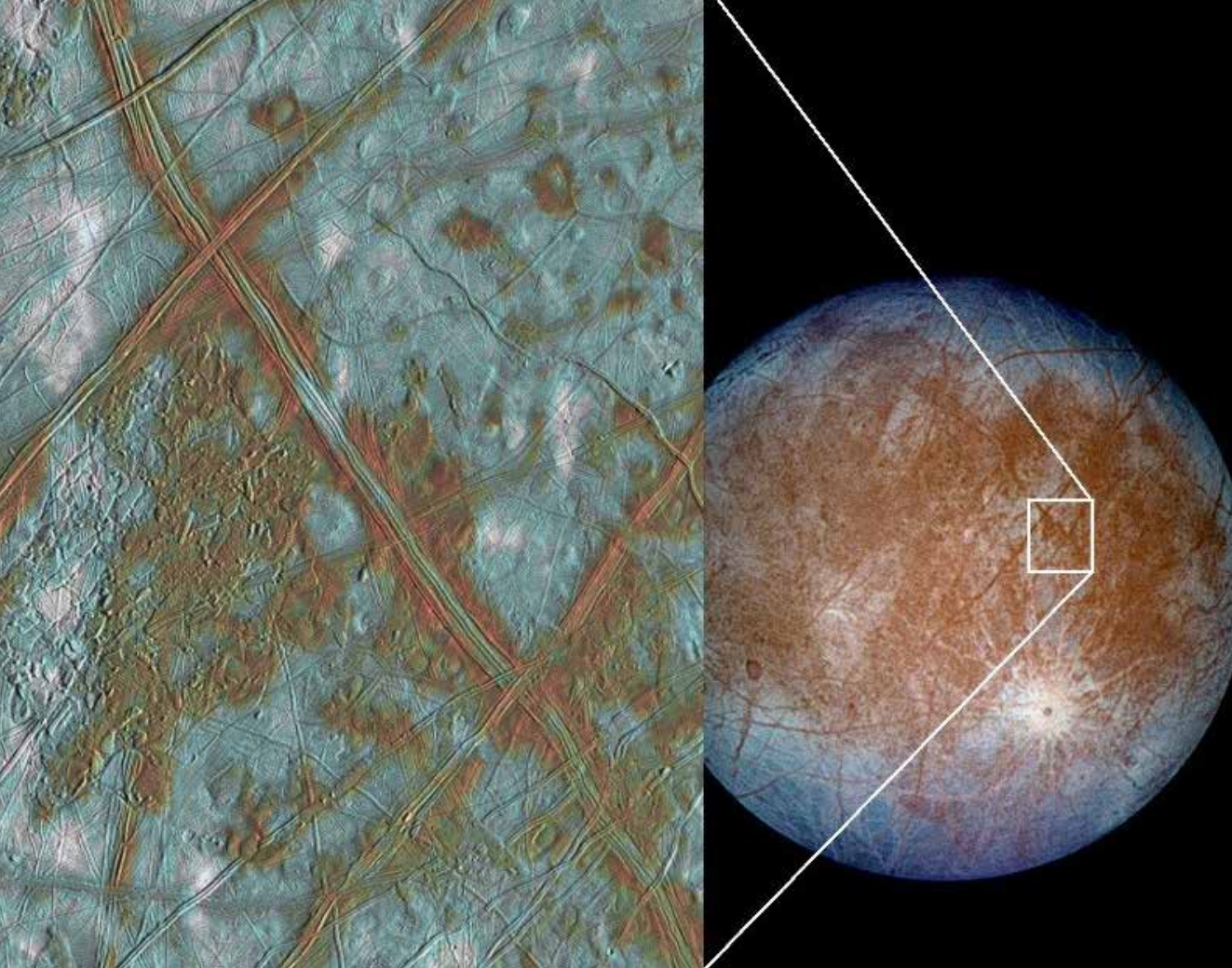


Fig. 4. Riller og sprækker i is på Jupiters måne Europa. Strukturen viser bevægelser, som tyder på, at der under islaget findes et ca. 100 km dybt ocean af flydende vand (NASA/JPL/University of Arizona). Europa har en diameter på 3.122 km svarende til ca. en fjerdedel af Jordens diameter.

flere filtre, hvor kun lys med en bestemt bølgelængde observeres, måling af den spektrale fordeling af lyset eller direkte billeder af objektet; ved alle disse metoder kan man identificere specifikke materialer, fordi materialer udsender forskelligt lys. Som beskrevet ovenfor har vi fundet vand i gas- og støvskyer imellem stjernerne, netop fordi forskellige molekyler – og herunder vandmolekylet – er identificeret ved observation af lys udsendt i forskellige spektrallinjer i radio- og mikrobølger og infrarødt lys.

Vand på Mars

På Mars viser tydelige spor, at der var store mængder af vand på overfladen for omkring 3,5 milliarder år siden, hvor hele den nordlige del af Mars var dækket af et udstrakt og dybt hav. På Mars findes der tydelige spor fra floder, som for flere milliarder år siden bragte

store mængder af vand fra højlandet i syd til havet mod nord. Sporene efter flydende vand er fundet ved at tage billeder af hele Mars-overfladen med rumsonder, der er i kredsløb omkring planeten. Mens disse spor altså er fundet ved remote sensing, har andre rumsonder fundet direkte tegn på vand ved studier på selve Mars-overfladen. NASA's Mars-rover Opportunity, som siden 2004 har kørt rundt på overfladen for bl.a. at lede efter spor af vand, har fundet landskaber, som tydeligt viser, at materiale er aflejret i vand over lange tidsrum. En anden af NASA's Mars-rovere, Curiosity, som landede i Gale-krateret på Mars i 2012, har ligeledes fundet aflejringer, som viser, at der for 3,5 milliarder år siden fandtes en sø i Gale-krateret, hvor materiale aflejredes. Vand findes desuden som is, både under overfladen i store områder på Mars og i de store iskalotter, som findes på Mars' nord- og sydpol.



Fig. 5. Gejseraktivitet gør, at vand sprøjtes op over overfladen på Saturn-månen Enceladus og sendes ud i rummet (Cassini Imaging Team, SSI, JPL, ESA, NASA).

Endelig har forskellige rummissioner i kredsløb om Mars gentagne gange fundet tegn på, at der også i dag findes flydende vand på overfladen i form af mindre udløb af vand på skrænter på Mars' overflade, som kortvarigt får vandet til at flyde (trods det, at Mars har en overfladetemperatur under frysepunktet og en tynd atmosfære med et tryk på under 1 % af det lufttryk, vi har på Jordens overflade). Under Phoenix-rummissionen i 2008 lykkedes det at lande i Mars' nordlige polaregne, og her blev der foretaget direkte målinger af vand-is nær overfladen ved at grave et stykke ned i overfladen.

Flydende vand på Jupiters og Saturns måner

I den ydre del af Solsystemet findes store mængder af vand i form af is. Det findes på overfladen og i det indre af kometerne, på visse asteroider og på Pluto.

Studerer vi månerne og ringsystemerne i kredsløb om de fire store planeter i vores solsystem (Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun) er det tydeligt ud fra både landskabsformerne, det reflekterede sollys, og densiteten af materialet i månerne, at is og vand udgør en hovedbestanddel af det stof månerne, og ringene er opbygget af. Der er tale om meget store mængder af vand-is, og den samlede mængde af vand i den ydre del af Solsystemet gør Jorden til et særdeles tørt sted i sammenligning! For nogle af månerne er der tale om, at vandet med stor sikkerhed findes i flydende form under overfladen. På Jupitermånen Europa er der tegn på eksistensen af et 100 km dybt ocean, som ligger under et islag, der er flere kilometer tykt. Temperaturen på overfladen af Europa er -220 grader C, men i det indre er temperaturen højere og her findes flydende vand, som bl.a. giver sig til kende ved den måde, ▶

overfladen viser tegn på at være i bevægelse. Den samlede mængde af flydende vand alene på månen Europa er 2-3 gange mængden af vand i verdenshavene på Jorden. Havet under den isdækkede overflade på Europa er et af de steder i Solsystemet, hvor der potentielt kunne findes et miljø, som tillader liv. Derfor forventes det, at man engang i fremtiden vil sende en mission til månen Europa med det formål at lede efter liv i havet, f.eks. ved at trænge igennem islaget og med en undervandsbåd udforske forholdene i Europas indre.

En anden interessant måne, når vi leder efter flydende vand, er Saturns lille ismåne Enceladus. Enceladus har en diameter på 499 km og alene af den grund burde den ikke kunne holde på indre varme, som vil være tilstrækkeligt til at tillade flydende vand under overfladen. På trods af det viser Enceladus tydelige tegn på gejseraktivitet ved månens sydpol. Ved hjælp af undersøgelser fra Cassini-rumsonden har man fundet ud af, at det materiale, som sprøjter ud af gejserne på Enceladus, er vand. Dybt nede i sprækkerne på Enceladus er vandet kogende, og det sprøjtes af gejserne ud i rummet. Den indre varmekilde, som er årsag til gejseraktiviteten, skaber et miljø dybt under overfladen, hvor liv i princippet kunne eksistere.

Vand på exoplaneter

Bevæger vi os uden for Solsystemet, finder vi planeter omkring andre stjerner, som formentlig indeholder meget store mængder af vand. Ved hjælp af forskellige teknikker og en lang række avancerede teleskoper har astronomer i de seneste godt 20 år fundet og karakteriseret flere tusinde exoplaneter (planeter omkring andre stjerner end Solen). Som det er tilfældet i den ydre del af vores eget solsystem, så forventer vi, at vand indgår som en vigtig bestanddel af det materiale, som exoplaneterne består af. Det er dog ikke umiddelbart muligt at afgøre, hvor meget vand de enkelte exoplaneter indeholder, og specielt om der findes vand på overfladerne af en given exoplanet. Der findes umiddelbart to metoder til at afsløre om en exoplanet indeholder vand:

- Exoplaneter vil være opbygget af forskellige typer af stoffer, bl.a. klippe (silikatminerale og jern), vand og forskellige gasarter (primært hydrogen og helium). De forskellige stoffer har meget forskellige densiteter, og ved at sammenligne radius med masse for en given exoplanet er det muligt at give et bud på, hvilke stoffer en given exoplanet består af, og også hvor store mængder der mest sandsynligt findes af det pågældende stof.

- Hvis vanddamp findes som gasart eller som skyer i atmosfæren af en exoplanet, vil det påvirke den tilsyneladende diameter af exoplaneten, som man ved remote sensing kan observere ved forskellige bølgelængder af lyset. For denne type målinger er der tale om et slags "spektrum" af gennemsigtigheden af atmosfæren ved forskellige bølgelængder af lys, og da vand absorberer og spreder lyset forskelligt ved forskellige bølgelængder, er det muligt at afgøre, om vand findes i f.eks. dampform i atmosfæren af en given exoplanet, fordi atmosfæren vil virke tættere og større ved bestemte bølgelængder af lyset.

Ved brug af de mest avancerede teleskoper (bl.a. Hubble-rumteleskopet og ESO's Very Large Telescope i Chile) har forskellige forskergrupper målt størrelsen af nogle af de exoplaneter, som er i kredsløb omkring stjerner, der ligger relativt tæt på Jorden. En række af de exoplaneter vi har fundet, kredser omkring deres stjerne i en bane som gør, at exoplaneten kan komme ind foran stjerneskiven og dermed skygge for en del af stjernens lys. Uden at vi i teleskoperne kan iagttage selve exoplaneten og måle dens størrelse, kan vi ved at måle, hvor meget lys exoplaneten absorberer fra stjernen bestemme en nøjagtig radius for exoplaneten. Ved at måle hvor meget lys exoplaneten absorberer ved forskellige bølgelængder af lyset kan man således bestemme, hvor stor udstrækning atmosfæren af de målte exoplaneter er ved de pågældende bølgelængder. Det er en vanskelig måling, som kun har været mulig at foretage for få exoplaneter. Undersøgelser af exoplaneten HAT-P-11 viser, at den ser ud til generelt at have få skyer i atmosfæren, og samtidigt indeholder store mængder af vanddamp i gasform (og altså ikke i fortættet form, som i tilfælde af skydannelse). Det forventes, at vi i de kommende år vil kunne foretage lignende målinger på mange andre exoplaneter.

De sikreste tegn på at vand findes i store mængder i det indre af visse exoplaneter stammer fra et stort antal målinger af visse exoplaneters radius og masse. Ved at undersøge exoplaneter, som i deres kredsløb omkring deres moderstjerne passerer ind foran stjerneskiven, og dermed skygger for noget af stjernelyset (som beskrevet ovenfor), kan vi bestemme radius for en række exoplaneter. Hvis vi samtidigt måler, hvor meget tyngdekraften fra exoplaneten trækker i moderstjernen og flytter den væk fra systemets tyngdepunkt (som beskrevet ved fysikkens love) er det muligt at bestemme massen af en given exoplanet. Et antal af de exoplaneter, som er udmålt nøjagtigt, viser sig at have en radius og en masse, som stemmer



Fig. 6. Tegning som viser hvordan man forestiller sig at exoplaneten GJ 1214b ser ud i kredsløb omkring en lille stjerne, som kun udsender 0,3 % af den effekt som Solen udsender. Selve exoplaneten (GJ 1214b) er ca. 2,7 gange så stor som Jorden og har en masse som er 6-7 gange Jordens masse. Dette er i overensstemmelse med, at GJ 1214b består af ca. 75 % vand og at det er en Water World (også kaldet en ocean planet). Tegning: NASA, ESA og G. Bacon, Space Telescope Science Institute.

bedst med, at de pågældende exoplaneter indeholder store mængder af vand. Man har fundet exoplaneter, som har en diameter på 2-3 gange Jordens diameter, og hvor målingerne tyder på, at vandet når en dybde på omkring 10.000 km. Det er en type exoplanet, som vi ikke kender til i vores eget solsystem, og som man ikke umiddelbart havde forventet at finde i så stort et antal, som det er tilfældet. Vi kalder denne type exoplaneter for Water Worlds. Fremtidige rummissioner vil kunne foretage nøjagtige observationer af mange flere exoplaneter, og det er håbet, at vi om nogle år kan finde Water Worlds i kredsløb omkring stjerner, som ligger relativt tæt på Jorden, og dermed vil vi kunne undersøge disse exoplaneter nøjere og lede efter biomarkører.

Artiklen er skrevet af:

Hans Kjeldsen,
Stellar Astrophysics Centre,
Institut for Fysik og
Astronomi,
Aarhus Universitet

