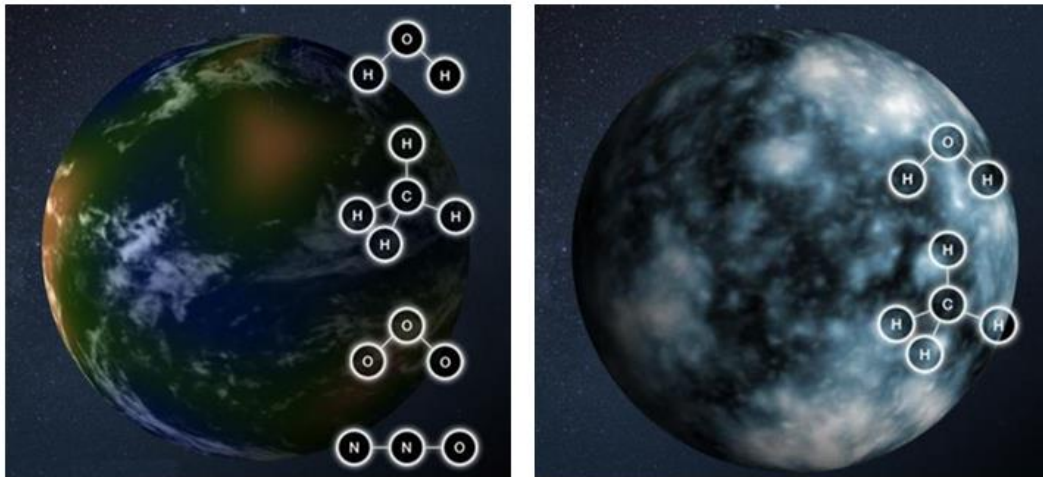


Spektroskopi af exoplaneter

Formål

At opnå bedre forståelse for spektroskopi og spektroskopis betydning for detektering af liv på exoplaneter.

Selv at være i stand til at oversætte et billede af et absorptionsspektrum (taget ved hjælp af spektroskopi) til en forståelse af hvilke grundstoffer der kan være til stede.



Figur 1: Hypotetiske exoplaneter, hvor man ved hjælp af spektroskopi har fundet interessante molekyler planeternes atmosfære, som kunne tyde på liv på planeterne ([Credit](#)).

Bemærkning

For at kunne lave dette forsøg skal man have stiftet bekendelse til spektroskopi eller eksempelvis arbejdet med "Forsøg med byg-selv spektroskop".

Baggrundsviden

Ordet 'exoplanet' er betegnelsen for ALLE de planeter i universet, som ikke tilhører vores solsystem. I solsystemet er der 8 planeter og i mælkevejen menes der at være mindst 10 milliarder exoplaneter. Der er altså en hel del exoplaneter derude. Vi ved at der er liv på Jorden, men har ingen ide om der også er liv på andre planeter end vores. I solsystemet har vi taget billeder af planeterne og har planer om at udforske dem ved hjælp af robotter eller bemandede missioner. Men alle exoplaneterne er så utrolig langt væk at det ikke er muligt at besøge, eller overhovedet at tage billeder af planeterne.

Ligesom at vi på jorden har en atmosfære har nogle exoplaneter også atmosfærer. Mennesker, dyr og planter på Jorden påvirker atmosfæren og skaber en ubalance, som et aftryk af vores tilstedeværelse. Hvis der på exoplaneter findes jordlignende liv vil det også sætte planetens atmosfære ude af balance. Vores bedste og hidtil eneste metode til at lede efter liv i universet er ved hjælp af spektroskopi af exoplaneters atmosfære, noget vi endnu ikke har mulighed for, men et af vores tid største naturvidenskabelige mål.

I et spektroskop udnytter man at når elektromagnetisk stråling (lys) bevæger sig igennem et materiale, afbøjes det forskelligt afhængigt af bølgelængderne, altså farverne i lyset. Dermed kan man "splitte" en lysstråle op i dens komponenter, og se hvilke bølgelængder den udgøres af. Man kan udnytte dette til at se hvilke bølgelængder der mangler (absorptionsspektret) og dermed fastslå hvilke grundstoffer der er til stede.

Fremgangsmåde

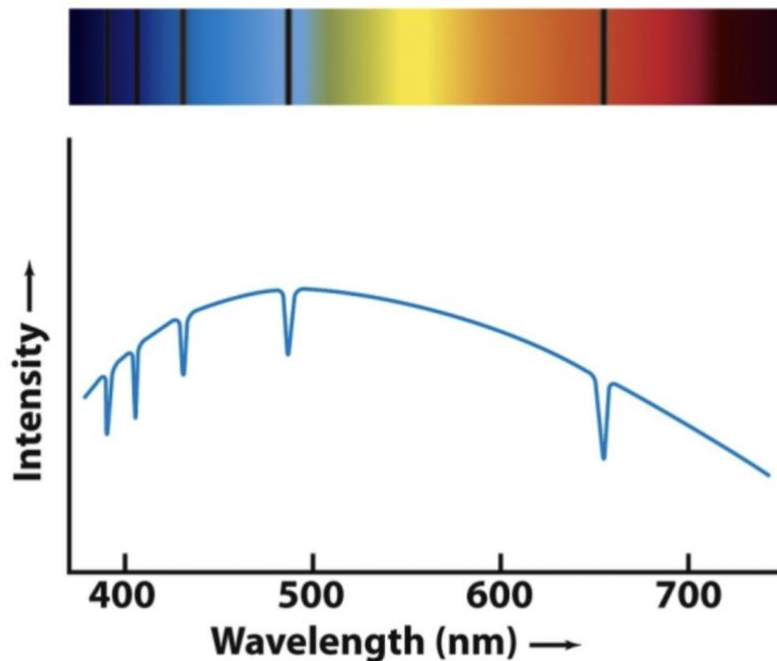
Start med at tænke over og undersøge hvad Jordens atmosfære består af. Hvilke dele af atmosfæren er skabt af mennesker, dyr og planter?

Hint: hvad udånder vi og hvad producerer planter i fotosynten? Nedskriv din hypotese.

I forsøget "Forsøg med byg-selv spektroskop" så vi på spektret fra sollys. Havde spektret været bedre ville vi kunne se absorptionslinier i lyset. Absorptionslinierne afslører vigtige egenskaber af de stoffer vi kigger på.

Absorptions spektrum for hydrogen

På billedet ses absorptionsspektret fra hydrogen af lyset fra fx en glødepære og under dette en graf der viser intensitet som funktion af bølgelængde. Der hvor der er hakker i grafen svarer til de mørke områder på billedet hvor noget af lyset er blevet absorberet.



Figur 2: Skitse af absorptionsspektrum for hydrogen ([Credit](#)).

Absorptionslinjer for blandet gas

Lad os nu forsøge at se på absorptionsspektret fra en blandet gas.

Spektret for blandet gas:



Vi kan nu forsøge at finde ud af hvilke grundstoffer der er i gassen ved at sammenligne med absorptionsspektre fra forskellige gasser. Hydrogen, som ovenfor, og så de tungere grundstoffer jern, natrium, calcium og magnesium. På Jorden er vi ikke vant til at se de sidste fire på gasform, men ved høje nok temperaturer (fx i stjerner) eksisterer de kun i gasform.

Spektret fra hydrogen:



Spektret fra jern:



Spektret fra natrium:



Spektret fra calcium:



Spektret fra magnesium:



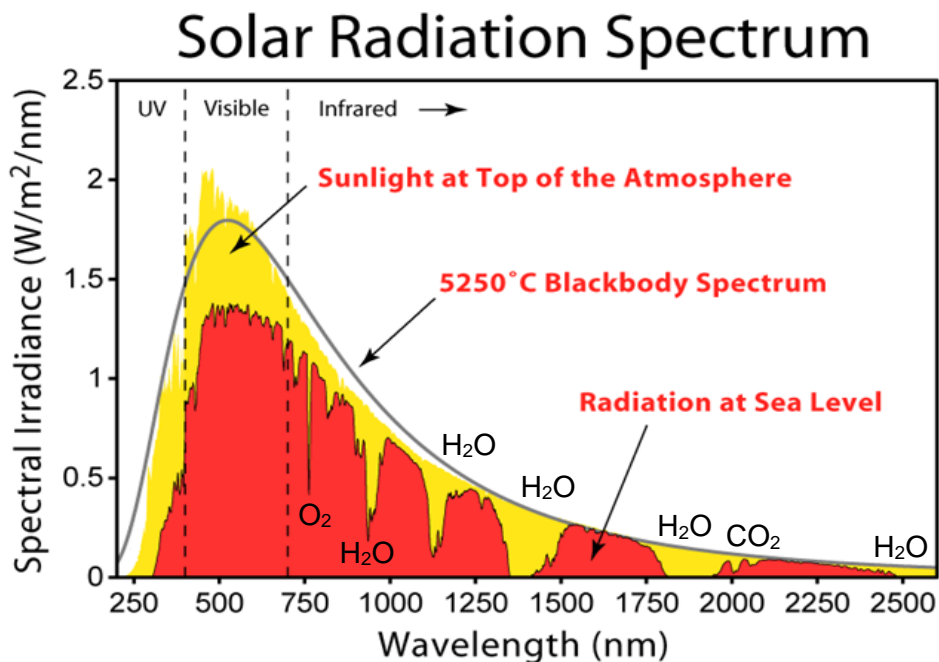
Ved hjælp af de ovenstående spektra kan vi bestemme bestanddelene af den blandede. Kig godt på spektrerne noter hvilke grundstoffer der indgår i den blandede gas.

Mere avancerede spektre

Nu har vi kigget på absorptionsspektre fra nogle simple gasser. I første opgave så vi en graf der viste intensitet som funktion af bølgelængde for hydrogen. Ligeledes kan man på større og mere avanceret skala se på absorptionsspektret fra solen eller Jordens atmosfære.

På grafen nedenunder er solens lys målt uden for Jordens atmosfære (området markeret med gul) angivet, og ud fra absorptionslinjerne, kan man bestemme hvilke grundstoffer der er i solen. Det var på den måde man for første gang opdagede helium (opkaldt efter 'helios', solen).

Derudover kan man også aflæse et spektrum for solens lys målt ved Jordens overflade (området markeret med rødt), det vil sige efter det har bevæget sig igennem atmosfæren. Herved opstår der et andet absorptionsspektrum, der illustrerer hvad Jordens atmosfære består af. Ved at måle solens lys ved Jordens overflade kan vi altså studere atmosfæren uden direkte at måle på den. For eksempel kan vi se at Jordens atmosfære består af kuldioxid (CO₂), vand (H₂O) og ilt (O₂), da der mangler lys, lige præcis ved de bølgelængder, hvor disse stoffer absorberer lys.



Figur 3: Spektrum af lyset fra solen målt henholdsvis i toppen af atmosfæren (gul) og ved havniveau (rødt). Herudover er angivet hvilke stoffer der absorberer store dele af lyset i atmosfæren, samt en kurve for et objekt med en temperatur på 5250 grader Celsius ([Credit](#)).

Denne metode, hvor man kigger på lyset gennem en gas kan også bruges for exoplaneter. På Jorden kunne vi i princippet også tage en prøve af luften og analyserer den i et laboratorium. Dette er ikke muligt med atmosfærer på exoplaneter, og det er netop derfor det er super smart at have en forståelse af spektroskopi og anvende det til at studere lyset der bevæger sig igennem exoplaneternes atmosfære. Man kan i så fald, ligesom med Jordens atmosfære, måle både på lyset fra en udvalgt stjerne i mælkevejen og lære hvad den består af, samt se hvordan absorptionsspektret ændrer sig når en exoplanet kommer ind foran stjernen og noget af lyset dermed passerer gennem exoplanetens atmosfære.

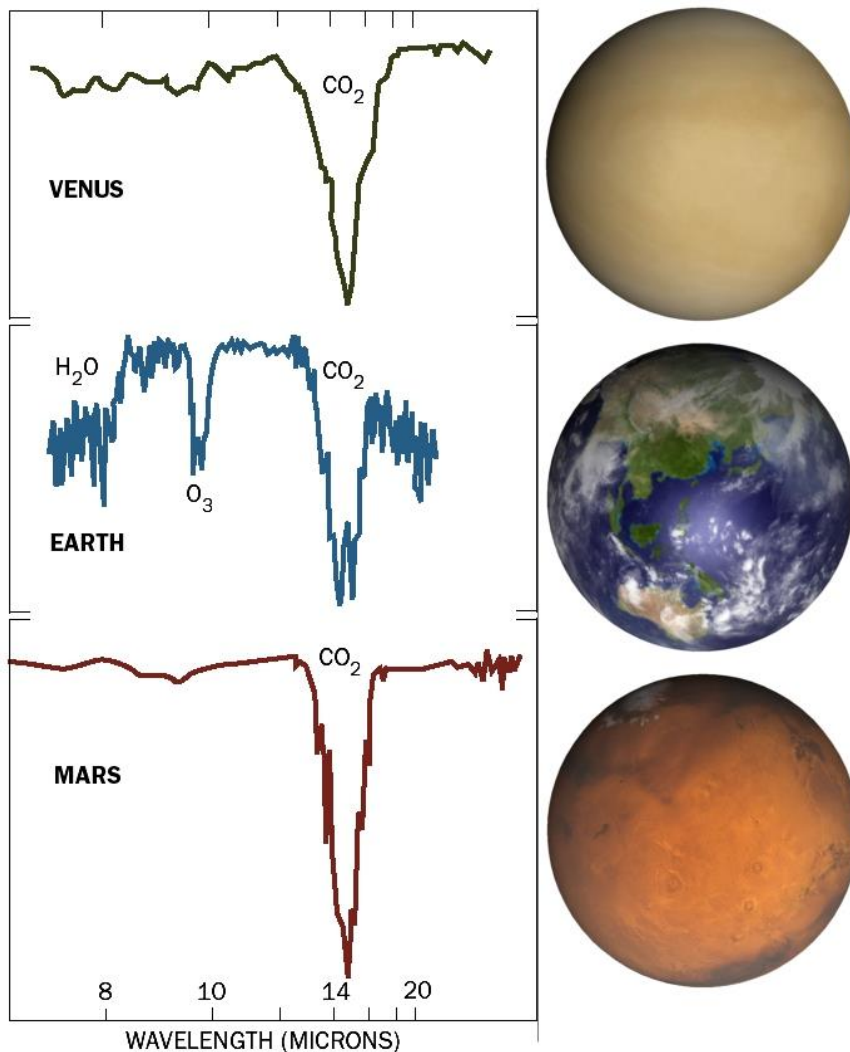
Spektra af atmosfæren på Jorden, Venus og Mars

For mange milliarder år siden var Jorden, Mars og Venus ganske ens og planeterne mindede meget om hinanden i udseende og komposition. Deres atmosfære bestod hovedsageligt af CO₂, da der var en del CO₂ til stede dengang planeterne blev skabt.

- Hvorfor er CO₂ almindeligt?
(Hint: Hvad er de mest almindelige grundstoffer næst efter hydrogen og helium?)

Sidenhen er der kommet liv på Jorden, og vi ser nu biomarkører i Jordens atmosfære, hvorimod Venus' og Mars' atmosfære stadigvæk er domineret af CO₂.

- Hvad ser man på de forskellige planeter? Hvad har de til fælles, hvad er forskellen?
- Hvad er H₂O, O₃ og CO₂? Hvordan bliver det skabt på Jorden? Hvordan forbliver det på Jorden?
- Hvorfor er der forskel på spektrene?

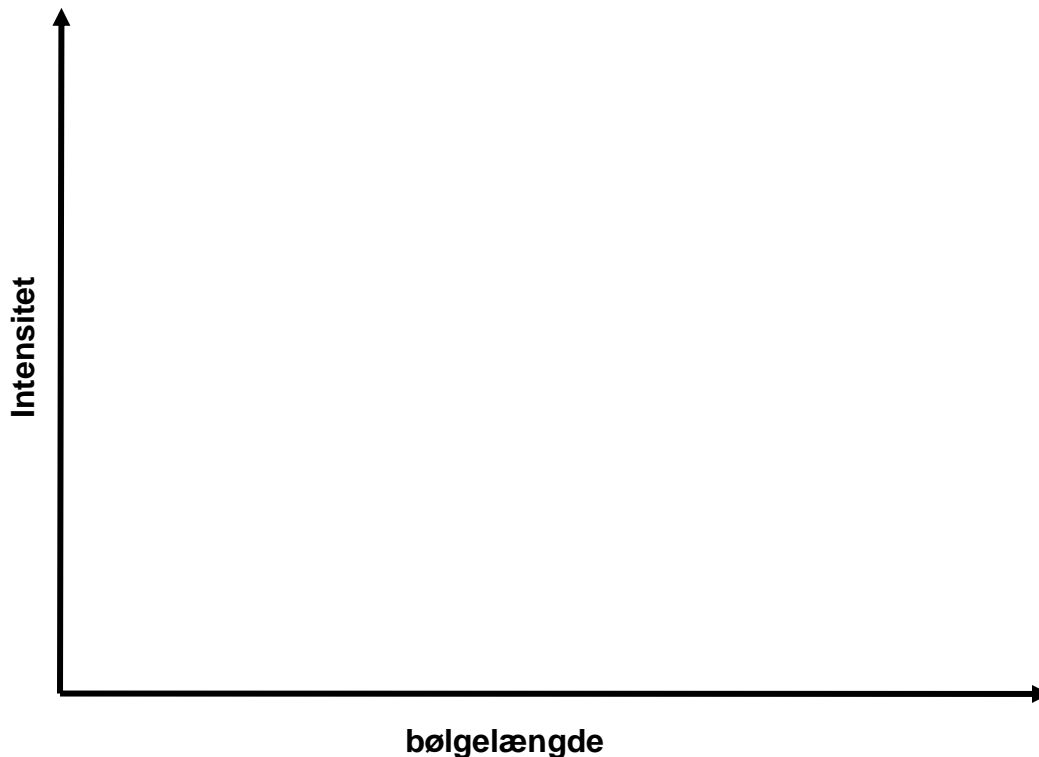


Figur 4: Illustrative spektra af atmosfæren på henholdsvis Venus, Jorden og Mars målt i det infrarøde område ([Credit](#)).

Ekstraopgave: Lav selv et absorptionsspektrum for atmosfæren på en exoplanet

I starten af denne opgave skulle I tænke over hvilke gasser der karakteriserer liv på jorden. Indtegn nu en hypotetisk graf for en exoplanet, og giv den nogle hakker med angivelse af de gasser, som I mener der kunne være et tegn på liv.

Måske er det et spektrum lignende til det du har tegnet, som en dag vil blive præsenteret (måske med din hjælp) i nyhederne med resultatet fra udforskningen af fjerne exoplaneter og tegn på at vi måske ikke er helt alene i universet!



Figur 5: Koordinatsystem, så du kan tegne dit eget spektrum for en hypotetisk exoplanet. Hvilket type af liv synes du kunne være spændende at finde?.

Refleksionsspørgsmål

- Hvilken type af liv kan vi finde ved at lede efter fx. oxygen i atmosfæren på andre planeter? Hvordan kan vi finde ud af om der er dyreliv, som på Jorden?
- Kan det være at der findes liv i universet som 'udånder' noget helt andet end planter, dyr og mennesker på Jorden?
- Hvad kræver det at studere atmosfæren på exoplaneter? Hvorfor har vi endnu ikke nogle målinger af atmosfærer på andre exoplaneter?
- Tænk hvis der sidder aliens og laver spektroskopi af jordens atmosfære lige nu og dermed finder beviset for at de ikke er de eneste levende væsener i universet. Hvilken effekt tror du det vil have på deres liv? Hvilken effekt tror du det vil have på vores liv, hvis vi endda opdager tegn på liv på andre planeter?
- Tror du at vi vil finde liv på andre planeter?