

Projekt 5.8. Planettemperaturer – undersøgelse af zoner for liv

Empiri

Jo længere væk en planet er fra Solen jo koldere er den! Den følgende tabel viser planeternes gennemsnitstemperatur T målt i Kelvin grader sammenholdt med planeternes afstand r fra Solen:

Planet	$r / 10^9\text{m}$	T / K
Merkur	57.9	440
Venus	108	737
Jorden	150	288
Mars	228	210
Jupiter	778	129
Saturn	1427	97
Uranus	2869	58
Neptun	4497	58
Pluto	5900	50

- Du kan hente denne tabel i et regneark-format [her](#). Gør det og fremstil et diagram, der viser gennemsnitstemperaturen som funktion af afstanden til Solen.
- Hvilken model kan beskrive denne sammenhæng? Fremstil også et residualplot for den fundne sammenhæng.
- En af planeterne passer særligt dårligt i den viste sammenhæng. Hvad kan forklare afvigelsen for denne planet?
- Stryg denne planet fra modellen og find den sammenhæng, der gælder for de tilbageblevne planeter. Hvis denne sammenhæng er en 'pæn sammenhæng' (dvs. potensen er et 'pænt tal'), hvilken ligning gælder der så for sammenhængen?

Teori

For at forstå sammenhængen vil vi nu prøve at konstruere en særligt simpel model for den forventede temperatur. Planeternes temperatur stammer i det store og hele fra indstrålingen fra Solen (idet vi ser bort fra den varme der genereres i de radioaktive processer i planetens indre). Planeterne befinder sig i en ligevægt, dvs. de udstråler den samme mængde energi, som de modtager fra Solen.

Solarkonstanten

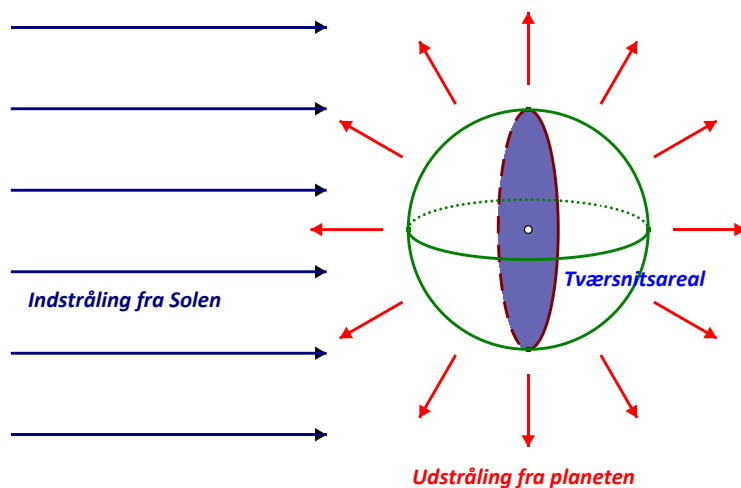
Det første, vi skal have styr på, er derfor *solarkonstanten*, dvs. den mængde energi per kvadratmeter, der modtages i planetens afstand fra Solen.

- Solens samlede udstråling er givet ved $3,826 \cdot 10^{26}$ W. Solens radius r_0 er givet ved $0,696 \cdot 10^9$ m. Hvor stor en udstråling er der så per kvadratmeter fra Solens overflade? Dette er Solens egen solarkonstant S_0 ! Vink: Overfladen af en kugle med radius r har arealet $4\pi \cdot r^2$.
- I en given afstand fordeles udstrålingen fra Solen på overfladen af en kugle med den pågældende afstand som radius. Hvad sker der med overfladen af denne kugle, hvis radius gøres dobbelt så stor? Hvad sker der med solarkonstanten, hvis afstanden til Solen bliver dobbelt så stor?
- Gør rede for, at Solarkonstanten afhænger af afstanden fra Solen efter den følgende formel:

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$$

- Gør rede for, at sammenhængen er givet ved en potenslov, og fremstil såvel en tabel som en graf over Solarkonstanten som funktion af planeterne.

Udstrålingen



Det næste, vi skal have styr på, er planetens egen udstråling. Den samlede udstråling fra planeten svarer ifølge antagelsen om ligevægt netop til den samlede indstråling, den modtager fra Solen. Når Solens stråling rammer planeten, er det planetens tværsnitsareal, vi skal bruge. Men planetens udstråling sker derimod fra dens samlede overflade:

- Hvor mange gange større er planetens overfladeareal i forhold til dens tværsnitsareal.
- Hvor mange gange mindre er planetens udstråling pr kvadratmeter i forhold til solarkonstanten?

Temperaturen

Vi er nu nået frem til, at vi kan sige noget om temperaturen. Hvis planeten ikke genspejlede noget af den stråling, der kommer fra Solen, ville planeten følge den såkaldte Stefan-Boltzmanns lov, som siger at planetens udstråling pr kvadratmeter er proportional med den effektive temperatur i fjerde potens:

$$\frac{S}{4} = \sigma \cdot T^4$$

- k) Hvor mange gange større skal udstrålingen så være, hvis temperaturen fordobles? Hvor mange gange mindre skal udstrålingen så være, hvis temperaturen halveres?
- l) Hvor mange gange større skal afstanden for planeten så være for at temperaturen halveres? Hvilken sammenhæng gælder der så mellem planetens afstand og planetens teoretiske temperatur?

Vi kan se sammenhængen i detaljer ved at regne lidt mere detaljeret på den. Solens effektive temperatur T_0 er givet ved 5770 grader Kelvin. Dens udstråling pr kvadratmeter S_0 har du fundet i spørgsmål e.

- m) Gør rede for, at der gælder den følgende sammenhæng mellem solarkonstanten og planetens

temperatur:

$$\frac{S}{4S_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^4$$

- n) Benyt denne sammenhæng til at finde planeternes teoretiske temperatur ud fra deres solarkonstant.
- o) Afbild den teoretiske temperatur som funktion af afstanden. Hvilken ligning gælder der for den teoretiske sammenhæng? Sammenhold denne ligning med resultatet i spørgsmål l.
- p) Sammenlign de faktiske temperaturer med de teoretiske temperaturer. Hvor god er overensstemmelsen? Hvad kan evt. uoverensstemmelser skyldes?
- q) Hvis du skriver den fundne sammenhæng på formen $T = b \cdot r^a$, hvilken værdi har så potensen a ? Hvordan hænger konstanten b sammen med Solens solarkonstant S_0 og dens temperatur T_0 ?

Zonen for planeter med liv

- r) Hvis man skal lede efter liv på en planet uden om en stjerne, er det i første omgang rimeligt at indskrænke sig til planeter, hvor middeltemperaturen ligger over vands frysepunkt og under vands kogepunkt (da vand formodes at være en afgørende bestanddel af organisk liv).
- s) Hvilke planeter ligger indenfor den teoretiske zone for planeter med liv?