# Forsøg: Årsag til årstider – variation i afstand eller Solens højde på himlen?

Om sommeren modtager vi mere energi fra Solen end om vinteren, og derfor er det varmere om sommeren end om vinteren, hvilket vi oplever som årstider. Men hvorfor modtager vi mere energi fra Solen om sommeren?

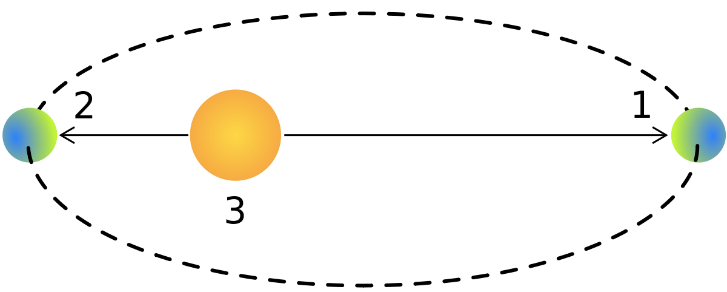
## Formål

At lave målinger som kan hjælpe med at vise, hvad der bedst forklarer, hvorfor vi har årstider på Jorden

1. Den varierende afstand til Solen på grund af Jordens elliptiske bane om Solen
2. Solen varierende højde på himlen ved middag (vinkel over horisonten), pga. jordaksens hældning i forhold til ekliptika

# A: Den varierende afstand til Solen

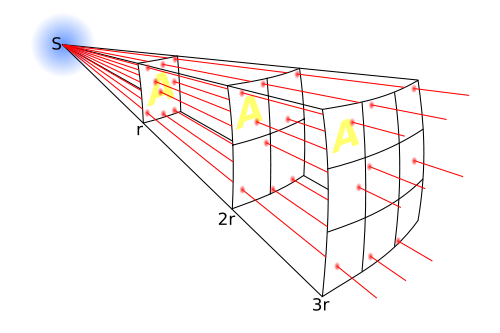
## Teori



Figur 1: Jordens bane om Solen er ikke helt cirkulær, men lidt elliptisk. Illustrationen overdriver effekten for tydelighedens skyld. Der er en lille ændring i afstanden til Solen (3) i løbet af året - mindste afstand kaldes perihel (2), største afstand aphel(1)

#### Afstand til Solen

Jordens bane om Solen er svagt elliptisk med en omløbstid på ca. 365,25 døgn, altså ét år. Den elliptiske bane betyder, at der er en lille afstandsvariation mellem Jorden og Solen i løbet af året. Når Jorden befinder sig tættest på Solen, hvilket kaldes *perihel*, er afstanden , og omvendt når den er *tættest* på Solen, i *aphel*, er afstanden . Middelafstand mellem Jorden og Solen er hvilket også kaldes én astronomisk enhed .



Figur 2: Illustration af afstandskvadratloven. Efterhånden som strålingen bevæger sig længere væk fra kilden, S, vil tætheden af strålingen (intensiteten) mindskes med kvadratet på afstanden. Det er det samme som at sige, at en fast mængde energi (røde streger) fordeles ud over et areal, som vokser med kvadratet på afstanden.

A

4A

9A

Solen udsender strålingsenergi med en vis effekt – ligesom en el-pære, hvor man kan læse på æsken, hvor mange watt den udsender. Effekten, *P*, per areal, *A*, kaldes intensiteten, .  
*Afstandskvadratloven* siger, at for en punktformig kilde, som udstråler energi med effekten *P* ensformigt ud i alle retninger, vil intensiteten være *proportional med én over afstanden i anden*:

, Afstandskvadratloven

Her er *k* en konstant, som afhænger af effekten af pæren og har enheden watt, så [*I*]=W/m2.

Afstandskvadratloven er et resultat af energibevarelse: en konstant effekt (energi per sekund) udsendes, men spredes, som den bevæger sig væk, ud over en større og større kugleskal, hvorfor der bliver mindre effekt per areal, altså mindre intensitet. Det er også derfor, vi oplever en lampe som mere intens, jo tættere vi kommer på den – her er vores øje et fast areal, som så rammes af en stadig større effekt efterhånden som man kommer tættere på lampen. Se Figur 2.

I forsøget vil vi bruge en lampe som model for Solen. Vi vil gå ud fra, at glødetråden/lyskilden er så lille, at det er passende at betragte den som punktformig – det er ok, så længe afstanden til lyskilden er meget større end størrelsen af lyskilden. Desuden antager vi, at vi måler intensiteten i et punkt i afstanden *r*.

Indledende overvejelse og forberedelse:

Ud fra afstandskvadratloven: Hvordan ændres intensiteten, hvis man fordobler afstanden? Hvis man 10-dobler afstanden? Hvis man gør afstanden 1% større?

Hvad er Jordens mindste afstand til Solen? Hvad er den største afstand til Solen? Hvad er afstandsvariationen for Jorden i dens omløb i % i forhold til mindste afstand?

|  |  |
| --- | --- |
| Jordens mindste afstand til Solen (perihel) | Jordens største afstand til Solen (aphel) |
|  |  |
| Forskel i % i forhold til mindste afstand: |  |

### 

## Apparatur

Kraftig glødepære eller halogenlampe (arbejdslampe)

Pyranometer med display (måler intensiteten i W/m2)

Målebånd

Evt niveaubord

## Udførelse

Placer pyranometeret på et niveaubord (eller lignende), så den står i samme højde som pæren i lampen. Sensoren på pyranometeret skal stå vinkelret på det indkommende lys. Sensorens afstand til lampen skal kunne varieres.

Der tages en serie målinger, hvor afstanden mellem pæren i lampen og sensoren på pyranometeret varieres og samhørende værdier af intensitet og afstand måles.   
Lad lampen være tændt i et mindst et minut inden målingerne påbegyndes.  
Husk, det er afstanden r mellem glødetråden og den følsomme overflade på sensoren, som skal måles.

Der skal minimalt tages otte punkter. Det er en fordel, hvis man varierer afstanden på en måde, så intensiteten falder med nogenlunde samme andel (f.eks. 50%) mellem de enkelte målinger, f.eks. i området 1400-10 W/m2. Pas på, at pyranometerets måler ikke mættes ved små afstande.

Der må gerne være let dæmpet belysning i lokalet, men der behøver ikke at være mørkt. Det vigtigste er at undgå skiftende belysning og noterer hvad intensiteten er med lampen slukket.

## Måleresultater og databehandling

Tabel 1 viser målinger af intensitet, *I*, for varierende afstande *r*, samt de beregnede 1/*r*2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *r* (m) | 1/*r*2 (m-2) | *I* (W/m2) |
| 0,32 | 9,77 | 1190 |
| 0,36 | 7,72 | 919,0 |
| 0,42 | 5,67 | 665,0 |
| 0,54 | 3,43 | 379,8 |
| 1,00 | 1,00 | 103,3 |
| 1,49 | 0,45 | 46,4 |

Tabel 1: Måledata for *r* og intensitet. Beregnet 1/*r*2.

Plot intensiteten som funktion af 1/*r*2, og undersøg om målingerne passer med afstandkvadratloven ved at lave proportionel regression: , hvor y er intensiteten, I, og x er 1/*r*2. [indsæt din egen graf i stedet for den viste]

Figur 3: Plot af intensitet som funktion af 1/*r*2, hvor *r* er afstand mellem pæren i halogenlampen og sensoren på pyranometeret. Fit er bedste rette linje gennem punkterne. Vi ser fin overensstemmelse med den proportionelle sammenhæng som afstandskvadratloven forudsiger.

## Diskussion, fejlkilder og evaluering

**Overensstemmelse med afstandskvadratlov**

Beskriv overensstemmelsen mellem jeres måleresultater og afstandskvadratloven.

Passer visse områder af målingerne (store afstande/små afstande) bedre med det forventede end andre? Kan man trække en grænse, hvor målingerne ikke længere passer med modellen? Prøv at forklare en evt. afvigelse, overvej f.eks. hvad vi har antaget om størrelsen af lyskilden og sensoren i teorien?

Hvordan ville grafen være anderledes, hvis forsøget var lavet med en pære med en større effekt (en kraftigere pære)?

**Er varierende afstand mellem Jorden og Solen en væsentlig faktor for årstider?**

I starten beregnede du, hvor mange procent Jorden øgede sin afstand til Solen fra perihel (mindste afstand) til aphel (største afstand). Dette skal vi nu bruge, så kopier resultaterne ind nedenfor:

|  |  |
| --- | --- |
| Jordens mindste afstand til Solen (perihel) | Jordens største afstand til Solen (aphel) |
|  |  |
| Forskel i % i forhold til mindste afstand: |  |

Fra matematik ved vi, at potensfunktioner () har den egenskab, at en bestemt procentvis ændring *i x*, giver en bestemt procentvis ændring *i y*.Da afstandskvadratloven siger, at solintensitetens variation med afstanden er en potensfunktion (), vil en vis procentvis ændring i afstanden, *r*, given en vis procentvis ændring i solintensiteten, *I*.

Dette kan vi udnytte til at beregne den procentvise ændring i solintensitet, ud fra den procentvise ændring for afstanden i jordens omløb, uden at bruge de rigtige afstande, men i stedet bruge vores modelforsøg.

For Jorden er intensiteten ved jordoverfladen ca 1000 W/m2, når Jorden er tættest på Solen (perihel).

* Hvor stor er perihel-afstanden i vores modelforsøg; altså hvad er afstanden , når intensiteten er 1000 W/m2? Brug ligningen fra regressionen til at beregne det (HUSK: *x* er 1/*r*2).  
  Indtast resultatet i tabellen (Tabel 2) nedenfor.

I starten beregnede du, hvor mange procent Jorden øgede sin afstand til Solen fra perihel (mindste afstand) til aphel (største afstand).

* Hvad er den tilsvarende aphel-afstand i vores modelforsøg? Indtast resultatet i tabellen nedenfor.
* Hvad falder intensiteten til i aphel for vores modelforsøg? Brug ligningen fra regressionen til at beregne det og indtast i tabellen nedenfor. (HUSK: *x* er 1/*r*2).
* Hvor stor en %-vis ændring er det? (). <Indtast i tabellen nedenfor.

|  |  |
| --- | --- |
| *I*perihel (W/m2) | 1000 (givet værdi) |
| rperihel (m) |  |
| raphel (m) |  |
| *I*aphel (W/m2) |  |
| %-vis ændring ifht største intensitet |  |

Tabel 2: Beregninger af %-vis variation i strålingsintensitet ved %-vis ændring i afstand svarende til jordens. Beregninger er baseret på regressionsmodel fra forsøget.

Vurdér, om denne ændring lyder stor nok til at forklare variationen i årstider.

Ekstraopgave:

Hvis lyskilden var en stjerne, ville man kunne definere en radius omkring lyskilden, hvor lysintensiteten var tilpas til at liv ville kunne opstå (ikke for varmt, ikke for koldt) – denne radius omkring en stjerne kaldes for livszonen (eng.: habitabel zone).

Hvis vi siger at intensiteten maks må være 1550 W/m2 og minimum skal være 700 W/m2, for at have mulighed for liv, hvad bliver da den indre og ydre radius af den beboelige zone for vores lampe?

# B: Solens højde på himlen

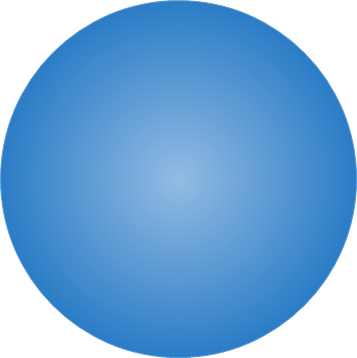
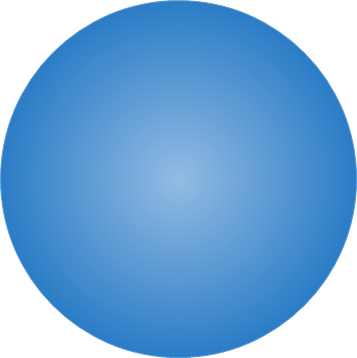
## Teori

#### Solen højde på himlen

Solens højde på himlen, *h*, måles som det antal grader, som Solen står over horisonten. For et givent sted på Jorden, er Solens højden på himlen er fastlagt af breddegrad, tid på døgnet (pga. Jorden rotation om egen akse), samt tid på året (på grund af Jordens aksehældning på ca. 23,5° i forhold til ekliptika).

Ved jævndøgn står rotationsaksen vinkelret på Solens stråler, se Figur 4. Dermed er Solens højde på himlen *h* = 90° ved ækvator ved middag, mens den ved breddegraden θ mindskes med samme antal grader, så den bliver *h* = 90° - θ. I Danmark er vi ved 56° nordlig bredde, så dermed bliver *h* = 34°.

Figur 4: Illustration af den mindskede sol-intensitet ved jordoverfladen med voksende breddegrad. Denne illustration viser situationen ved jævndøgn, hvor rotationsaksen står vinkelret på retningen til Solen og Solen derfor står lige over ækvator, dvs. Solens højde på himlen, *h*, er 90°. De røde dobbeltpile illustrerer et bestemt areal af jordoverfladen ved to forskellige breddegrader og de gule dobbeltpile illustrerer den mængde strålingseffekt (energi per sekund), som rammer det pågældende areal.  
Hvis intensiteten er *I*0 ved ækvator, hvor Solen står i zenit, bliver intensiteten formindsket med en faktor cos()= cos(90°-*h*), når man bevæger sig breddegraden .



Når det ikke er jævndøgn, vil jordens rotationsakse hælde i forhold til retningen til Solen med op til 23,5° - aksehældningen i forhold til ekliptika. På ét tidspunkt vil den nordlige halvkugle blive tiltet mod Solen og på et anden tidspunkt tiltet væk fra Solen.

I Danmark, når jordaksens hældning ”vender os mod Solen” vil Solen maksimalt nå *h* = 90°-56°+23,5°=57,5° over horisonten. Omvendt vil Solen, når Jordaksens hældning tilter os bort fra Solen, højst nå *h* = 90°-56°-23,5°=10,5° over horisonten.

Efterhånden som Solens højde over horisonten bliver mindre, vil et givent areal på jordoverfladen, røde dobbeltpile på Figur 4, rammes af en lavere strålingseffekt fra Solen, gule dobbeltpile i Figur 4.   
Effekten, *P*, per areal, *A*, kaldes intensiteten,  
 ,   
så strålings*intensiteten* ved jordoverfladen vil altså aftage med breddegraden, grundet Solens lavere højde på himlen. Enheden for intensitet er watt per kvadratmeter, [I]=W/m2.

Hvis man kigger på skitsen i Figur 4 finder man, at intensiteten ved jordoverfladen mindskes med en faktor , hvor *h* er Solens højde på himlen, når man bevæger sig breddegraden θ.   
Hvis intensiteten med Solen i *h* = 90° er , så er intensiteten

, (Solintensiteten på jordoverfladen, når Solens højde på himlen er *h*)

når man har bevæget sig breddegraden θ, så Solen højde på himlen er mindsket til , se Figur 4.

I vores modelforsøg bruger vi en lampe som Solen, og pyranometerets sensor er jordoverfladen, hvor vi ønsker at måle intensiteten. Vi efterligner varierende højde af Solen på himlen ved at rotere pyranometeret, så lyset rammer sensoren i forskellige vinkler.

Indledende overvejelse og forberedelse:

Tegn skitser svarende til Figur 4, når Jordens rotationsakse hælder den nordlige halvkugle ind mod Solen. Angiv på skitsen vinklen, *h*, som Solen står over horisonten for hvert af de givne steder på Jorden, og angiv hvilken årstid, du tror det svarer til, for hvert sted.  
Lav tilsvarende skitser for, når rotationsaksen hælder den nordlige halvkugle væk fra Solen.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Rotationsaksen hælder nordlig halvkugle mod Solen (Angiv vinkel og årstid) | Rotationsaksen hælder væk fra Solen (angiv vinkel til Solen og årstid) |
| I DK  (56°N) |  |  |
| Australien  (34°S) |  |  |
| Ækvator  (0°) |  |  |

## Apparatur

Kraftig glødepære eller halogenlampe (arbejdslampe)

Pyranometer med display (måler intensiteten i W/m2)

Evt niveaubord

Smart-phone med kompas-app eller vinkelmåler

## Udførelse

Placer pyranometeret på et niveaubord (eller lignende), så den står i samme højde som pæren i lampen. Sensorens afstand til lampen skal holdes konstant, og afstanden skal være meget større (x3) end størrelsen af sensoren på pyranometeret. Ideelt er intensiteten ikke meget under 800 W/m2 i denne afstand. Lad lampen være tændt i et mindst et minut inden målingerne påbegyndes.

Sensoren på pyranometeret skal stå vinkelret på det indkommende lys til at starte med, hvilket svarer til at Solens højde på himlen, *h*, er 90°.  
Der tages en serie målinger, hvor vinklen mellem det indkommende lys og sensoren på pyranometeret varieres og samhørende værdier af intensitet og vinkel måles.  
Husk, vinklen der noteres, er vinklen, som svarer til Solens højde på himlen, hvis sensoren er jordoverfladen.

Der skal minimalt tages seks punkter med vinkel mellem 90°-10°. Varier med et fast antal grader.

## Måleresultater og databehandling

Tabel 2 viser målinger af intensitet, *I*, for varierende vinkler, *h*, samt den beregnede intensitet  
, hvor er intensiteten når . Desuden den beregnede vinkel , som er det antal grader, Solen er væk fra positionen lodret over én (zenit)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *h* (°) | *I* (W/m2) | 90°-*h* (°) | (W/m2) |
| 90 | (=*I*0) |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabel 3: Måledata for *h* og intensitet, *I*. Beregnet 90°-og . er intensiteten når .

Plot den målte intensitet som funktion af 90°-*h*, og undersøg om målingerne passer med den beregnede intensitet ved at plotte dem i samme graf.

## Diskussion, fejlkilder og evaluering

Beskriv overensstemmelsen mellem jeres måleresultater og det beregnede.

Bestem ud fra dine målinger, og viden om hvad Solens største og mindste højde på himlen er i Danmark, hvor meget intensiteten af Solen varierer ved jordoverfladen.

Hvor stor en %-vis ændring er det? ()

Gør det samme for Australien og ækvator.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | I DK | Australien | Ækvator |
| Største h |  |  |  |
| Tilsvarende intensitet |  |  |  |
| Mindste h |  |  |  |
| Tilsvarende intensitet |  |  |  |
| %-vis variation ifht største intensitet |  |  |  |

Vurdér om den fundne variation synes stor nok til at forklare variation i årstider.

Kan du ud fra dine målinger forklare, hvorfor der er mindre variation mellem årstiderne ved ækvator end der er i Danmark?

## Konklusion:

Lav en samlet konklusion for de to øvelser hvor du vender tilbage til formålet:

At lave målinger som kan hjælpe med at vise, hvad der bedst forklarer, hvorfor vi har årstider på Jorden

1. Den varierende afstand til Solen på grund af Jorden elliptiske bane om Solen
2. Solen varierende højde på himlen ved middag (vinkel over horisonten), pga. Jordaksens hældning i forhold til ekliptika