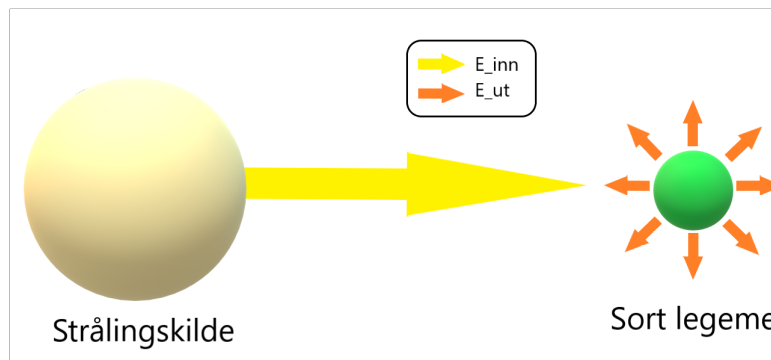


Jordens strålingsbalanse

I denne oppgaven skal vi konstruere en generell modell for strålingsbalanse ved å bruke Stefan Boltzmanns lov. Vi vil først starte med en enkel generell modell, og deretter tilpasse den til en modell som kan representere jordens strålingsbalanse

En enkel modell for strålingsbalanse



Figur 1: En enkel model av strålingsbalansen til et sort legeme med en strålingskilde.

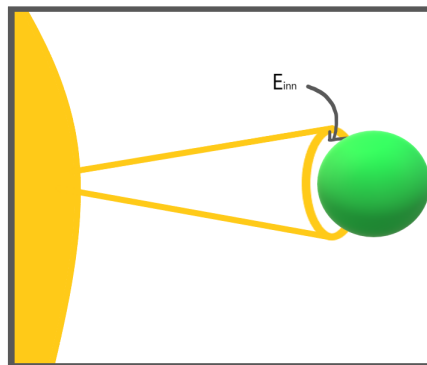
1. I denne oppgaven skal vi lage en modell for overflatetemperaturen til et sfærisk sort legeme i strålingsbalanse. Når et sort legeme er i strålingsbalanse vil **total innstrålt effekt** være like stor som **total utstrålt effekt**. Matematisk kan vi presentere strålingsbalansen slik:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (1)$$

En visualisering av modellen vi skal lage kan dere se i Figur 1.

- (a) Vi starter med å se på all innkommende stråling, E_{inn} . For denne modellen vil vi begrense oss til én sfærisk strålingskilde (feks én stjerne). For å finne hvor mye av kildens stråling som når det sorte legemet behøver vi å vite kildens utstrålingstetthet. **Fyll inn formelen for strålingskildens utstrålingstetthet, M_{kilde} , i funksjonen 'EnkelModell()' ved å bruke Stefan-Boltzmanns lov.**

- (b) Vi skal nå forsøke å finne venstre side av strålingsbalanselikningen, E_{inn} . Dette er et uttrykk for **hvor mye** stråling som treffer det sorte legemets overflate, **totalt innstrålt effekt**. Bruk gjerne Figur 2 for å visualisere hvor mye stråling som treffer det sorte legemet.



Figur 2: En visualisering av hvor mye stråling som treffer det sorte legemet.

Et uttrykk for utstrålingstettheten til strålingskilden, M_d , ved en distanse, d , unna kilden kan uttrykkes matematisk slik:

$$M_d = M_{kilde} \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 [W/m^2] \quad (2)$$

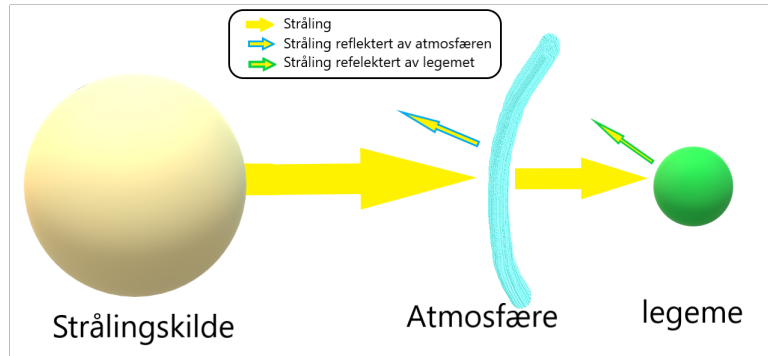
Bruk uttrykket for innstrålingstetthet Figur 2 til å bestemme totalt innstrålt effekt, E_{inn} . Hint: Bruk Figur 1.

- (c) Bruk Stefan-Boltzmanns lov til å bestemme den totale utstrålte effekten, E_{ut} , for et kuleformet sort legeme.
- (d) Bruk uttrykket for strålingsbalansen til å kunne beregne overflatetemperaturen til det sorte legemet i modellen. **Fyll inn uttrykket for overflatetemperaturen, $T_{sortlegeme}$, i 'EnkelModell()'.**
- (e) Hvilken overflatetemperatur anslår denne modellen at jordkloden har? Sammenlign med den faktiske gjennomsnittlige overflatetemperaturen til jorda på ca $14.9^\circ C$.

Modell 2, Refleksjon fra atmosfæren tatt i betraktning

2. Forrige modell tok bare høyde for fullstendige sorte legemer, altså legemer som absorberer all innkommende stråling. Dette er ikke realistisk for de aller fleste tilfeller, og vi skal nå lage en modell som bedre kan ta høyde for dette.

Uttrykket albedo beskriver hvor mye stråling som blir reflektert av et legeme. For eksempel vil et legeme med 0.2 albedo reflektere 20% av all innkommende stråling, mens de resterende 80% blir inkludert i strålingsbalansen. For en planet kan det samlede albedoet være en sum av refleksjonsbidragene fra eksempelvis planetoverflaten og atmosfæren (se figur 2).



Figur 3: Viser hvordan deler av innkommende stråling kan bli reflektert av en atmosfære og/eller overflate. Albedo er den samlede prosentandelen stråling som blir reflektert.

- (a) Med albedo tatt i betraktning. Hva blir nå uttrykket for total innstrålt effekt, E_{inn} ?
- (b) Bruk forrige model som basis, men gjør nødvendige justeringer og konstruer en ny modell, **AlbedoModell()**, som tar høyde for albedo.
- (c) Test den nye modellen ved å undersøke jordens strålingsbalanse. Sammenlign den beregnede temperaturen med jordens faktiske temperatur (fra oppgave 1e).

Modell 3, Drivhuseffekten tatt i betraktning

3. Vi skal nå ta høyde for drivhuseffekten i modellen vår. Denne vil kun gjelde for planeter med atmosfære. Det eksisterer eksempelvis ingen drivhuseffekt på månen da den har en neglisjerbar atmosfære. Drivhuseffekten fungerer ved at en del av den langbølgede strålingen et legeme utstråler vil bli absorbert i atmosfæren (nærmer bestemt drivhusgasser). Den prosentandelen av den langbølgede strålingen som blir absorbert i atmosfæren kaller vi for **emissiviteten**, ϵ .

Drivhusgassene i atmosfæren vil etter å ha absorbert stråling, emittere stråling i alle retninger. På sett og vis kan man si at deler av strålingen blir fanget i atmosfæren, mens resten forsvinner ut av atmosfæren.

- (a) Drivhuseffekten fører til at strålingsbalansen i modellen vår nå kan uttrykkes som:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (3)$$

$$(1 - \alpha)E \cdot \pi r_{legeme}^2 + \epsilon \sigma T_A^4 \cdot 4\pi r_A^2 = \sigma T_{legeme}^4 \cdot 4\pi r_{legeme}^2 \quad (4)$$

Hvor T_A og r_A er henholdsvis atmosfærens temperatur og radius. Fra denne modellen for strålingsbalansen kan man finne en formel for overflatetemperaturen til legemet. Dere trenger ikke sette dere inn i hvordan man kommer frem til dette.

$$T_{legeme}^4 = \frac{E(1 - albedo)}{4\sigma(1 - \frac{\epsilon}{2})} \quad (5)$$

Fyll inn manglende felt i 'DrivhusModell()' slik at funksjonen returnerer overflatetemperaturen til legemet når du har tatt drivhuseffekten til betraktning.

- (b) I koden ligger funksjonen **emissivitetsberegner()**, denne vil returnere en graf som temperaturen som en funksjon av emissiviteten. Bruk denne til å finne en tilnærmet verdi for emissiviteten til jorda.
- (c) Emissiviteten blir påvirket av konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren. En dobling av CO₂ kan føre til at emissiviteten på jorda øker med 2%. Hvor stor vil temperaturøkningen være i følge vår strålingsbalanse-modell?