

Strålningsbalans: Ett föremål absorberar lika mycket **värme** som den strålar ut.

Din kropp är ungefär 37 °C varm. Ett vanligt rum är cirka 20 °C varmt. Du kyls alltså ned av rumstemperaturen, och måste producera värme från maten du äter för att bibehålla din kroppstemperatur. Du har även kläder på dig, som hjälper dig att hålla din temperatur.

Antag att du har en metallkula i rumstemperatur. Kulan har samma temperatur som omgivningen, och värms varken upp eller kyls ner.

Om du placerar kulan i en ugn som är ställd på 100 °C så värms kulan upp tills den får samma temperatur som ugnen. Kulan absorberar alltså värmeenergi från omgivningen.

Om du sedan tar kulan i handen bränner du dig. Kulan "strålar ut" sin absorberade värmeenergi till din hand och man kan känna att den är väldigt varm.

Om du placerar kulan i rumstemperatur igen så svalnar den av: den strålar ut värmeenergi tills den har antagit rumstemperatur. Men rumstemperaturen har ju också värmeenergi, och kulan fortsätter att absorbera denna, även om den strålar ut mer än vad den absorberar.

*När kulan nått rumstemperatur igen betyder detta inte att kulan slutar att stråla ut värme, det betyder bara att värmeenergin den får in från rumstemperatur är lika stor som energin den strålar ut. Det har uppstått **strålningsbalans**.*



Med andra ord absorberar föremål värmeenergi - och samtidigt strålar ut värmeenergi. Detta sker även i rumstemperatur. Utstrålad värmeenergi per tidsenhet (= utstrålad effekt) kan beräknas med Stefan-Boltzmanns lag.

Den utstrålade effekten per areaenhet är lika med en konstant gånger temperaturen upphöjt till fyra.

$$I_{UT} = \sigma T^4$$

där I_{UT} = utstrålad effekt per areaenhet, med enheten W/m^2 ,
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Stefan Boltzmanns konstant, med enheten $W/m^2 K^4$
 T = temperatur i Kelvin *OBS!*

Metallkulan som är uppvärmd till 100 °C strålar alltså ut $5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (100 + 273)^4 \approx 1100 W/m^2$. Alltså 1100 Joule (energi) varje sekund per kvadratmeter.

Antag att kulan nu är vår lilla planet Jorden, och att ugnen som värmer oss är solen! ☀

Solens strålar ger jorden cirka 1370 W/m^2 , men precis som kulan är blank så reflekteras en viss del av solens strålning på jorden, som en spegel.

Den reflekterade strålningen studsar ut i rymden igen.

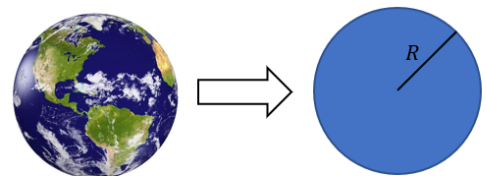
Speciellt istäckena på nord- och sydpolen reflekterar en stor mängd av solens strålning, och de bidrar starkt till att jorden reflekterar cirka 30% av all infallande strålning.



Vilken medeltemperatur får jorden enligt denna modell?

Definiera $S = 1370 \text{ W/m}^2$, detta är den så kallade *Solarkonstanten*
 $\alpha \approx 30\%$, jordens reflektionsförmåga i procent av infallande strålning, kallas "Albedo"
 R = jordens radie

α procent av infallande strålning, alltså $\alpha \cdot S$, studsar ut i rymden. Jorden absorberar resten, d.v.s. $(1 - \alpha) \cdot S$. Denna storhet har enheten W/m^2 och vi måste multiplicera med arean av den cirkelskiva som träffas av solens strålning, för att beräkna den totala effekten som absorberas av jorden, alltså: Absorberad värme IN = $(1 - \alpha) \cdot S \cdot \pi R^2$.



Solen ser jorden som en cirkelskiva med arean πR^2

Jorden befinner sig i balans och strålar ut den absorberade effekten över hela sin yta. Jorden har arean som en sfär med radien R , alltså arean $4\pi R^2$. Den totala utstrålade effekten blir alltså $4\pi R^2 \cdot I_{UT}$, vilket enligt Stefan-Boltzmanns lag är $4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$.

Strålningsbalans ger att

$$\begin{aligned} \text{Absorberad värme IN} &= \text{Utstrålad värme UT} \\ (1 - \alpha) \cdot S \cdot \pi R^2 &= 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \end{aligned}$$

Vi löser ut temperaturen genom att förkorta bort πR^2 på båda sidor och sedan dividerar med 4σ :

$$\frac{(1 - \alpha) \cdot S}{4\sigma} = T^4$$

Så att temperaturen blir

$$T = \left(\frac{(1 - \alpha) \cdot S}{4\sigma} \right)^{1/4} = \left(\frac{(1 - 0,3) \cdot 1370}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 255 \text{ K} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Huuy, detta är alldeles för kallt! Jordens medeltemperatur är ju cirka $+15 \text{ }^\circ\text{C}$! Vad har vi gjort fel? Jo, vi har inte räknat med våra kläder! Atmosfärens naturliga växthuseffekt som håller oss varma!

Lärarmaterial sida 1 (2)

Beräkning av jordens reflektionsförmåga, den så kallade "Albedo":

Vi antar att jorden främst består av land (all fast mark: skog, öken, berg, tundra, bebodd mark etc.), vatten (världshaven, sjöar) samt istäcken (främst på nord- och sydpolen men även t.ex. Grönland).

Här kommer några efterforskade datavärden för hur stor procentandel av jorden som är täckt av land, vatten samt is samt även hur stor reflektionsförmågan är för varje typ.

Notera: Albedo (reflektionsförmåga) är en materialegenskap.

Typ	Procent av jordytan	Albedo α
Land	35	$\alpha_{Land} = 0,3$
Hav	50	$\alpha_{Hav} = 0,1$
Is	15	$\alpha_{Is} = 0,8$

Vi ser att is reflekterar hela 80% av all infallande strålning, medans haven är "mörka" och enbart reflekterar cirka 10%. Detta ger oss ett snitt på jordens reflektionsförmåga enligt följande

$$\alpha = 0,35\alpha_{Land} + 0,50\alpha_{Hav} + 0,15\alpha_{Is} = 0,275$$

Jordens reflektionsförmåga blir alltså 0,275.

Hur mycket atmosfären bidrar till att höja jordens medeltemperatur.

Jordens medeltemperatur är cirka 15 °C. I våran beräkning utan atmosfär fick vi -18 °C. Alldeles för lite!

Får att få korrekt medeltemperatur inser vi att inte all strålning σT^4 strålas ut till rymden igen, utan att atmosfären behåller värme vid planetens yta.

Antag att ϵ procent av den utstrålade energin från ytan behålls inuti atmosfären och hjälper till att höja jordens medeltemperatur.

$$\begin{aligned} \text{Absorberad värme IN} &= \text{Utstrålad värme UT} \\ (1 - \alpha) \cdot S \cdot \pi R^2 &= 4\pi R^2 \cdot \epsilon \cdot \sigma T^4 \end{aligned}$$

Uppgift: Beräkna ϵ givet att vi vet att jordens medeltemperatur är 15 °C

$$\epsilon = \frac{(1 - \alpha)S}{4\sigma T^4} = \frac{(1 - 0,275) \cdot 1370}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 288^4} = 0,63657 \approx 0,64$$

Lärarmaterial sida 2 (2)

Beräkning av ny reflektionsförmåga när alla isar har smält

Is täcker cirka 15% av jordens yta, och vi antar nu att all is har smält och området som tidigare var istäckt är nu täckt av vatten som har albedo 0,1 (d.v.s. mycket lägre än isens albedo på 0,8).

Typ	Procent av jordytan	Albedo
Land	35	0,3
Hav	50+15=65	0,1
Is	0	0,8

$$\alpha_{Smält} = 0,35\alpha_{Land} + 0,65\alpha_{Hav} = 0,17$$

Jordens reflektionsförmåga blir alltså 0,17.

Beräkning av jordens nya medeltemperatur när alla isar har smält

Jordens albedo har nu ändrats till 0,17.

Absorberad värme IN = Utstrålad värme UT

$$(1 - \alpha) \cdot S \cdot \pi R^2 = 4\pi R^2 \cdot \epsilon \cdot \sigma T^4$$

$$T = \left(\frac{(1 - \alpha) \cdot S}{4\epsilon\sigma} \right)^{1/4} = \left(\frac{(1 - 0,17) \cdot 1370}{4 \cdot 0,64 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 297,5 \approx 298 \text{ K} = 25 \text{ °C}$$

Jordens medeltemperatur har nu höjts 10 grader till 25 °C vilket är en betydande människopåverkad växthuseffekt.

Slutsats:

När jorden blir varmare smälter snö- och istäcken på jorden. När detta sker förlorar jorden en del av sin reflektionsförmåga, alltså den egenskap som hjälper till att hålla värme borta från planeten.

Jorden börjar absorbera mera värme då reflektionsförmågan minskar, och vi får en förstärkningseffekt av den mänskligt påverkade växthuseffekten.

Vad händer om isarna smälter?

I denna uppgift kommer vi använda klimatmodeller för att beräkna jordens medeltemperatur, samt även förstå hur jorden påverkas när is och snö smälter.

1. Jordens medeltemperatur på $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ beräknades med antagandet att jorden saknade atmosfär. Detta är självklart inte helt korrekt. Jordens medeltemperatur är $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vi har en atmosfär som absorberar en del av jordens utstrålade energi. Detta är den naturliga växthuseffekten, och höjer jordens medeltemperatur avsevärt!

Jordens utstrålade effekt utan atmosfär var lika med $4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$. Men atmosfären gör att enbart en procentandel av denna storhet försvinner ut i universum.

Hur stor procentandel av jordens utstrålade värme absorberas av naturligt förekommande växthusgaser, då vi vet att medeltemperaturen skall vara $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Ledning: Antag att enbart en viss procentandel ϵ av jordens utstrålade effekt når universum, resten absorberas av jordens växthusgaser och gör att jorden blir varmare. Den totala utstrålade effekten från jorden blir då $4\pi R^2 \cdot \epsilon \cdot \sigma T^4$.

2. *Vad blir jordens nya reflektionsförmåga, albedo, när alla isar har smält?*

Använd dig av följande tabell:

Typ	Procent av jordytan	Albedo α
Land	35	$\alpha_{Land} = 0,3$
Hav	50	$\alpha_{Hav} = 0,1$
Is	15	$\alpha_{Is} = 0,8$

3. *Hur mycket höjs jordens medeltemperatur om alla isar har smält?*