F2:1 – En enkel modell av den naturliga växthuseffekten

I figuren nedan ses en enkel representation av den naturliga växthuseffekten, där atmosfären utgörs av ett enda lager som släpper igenom inkommande (*kortvågig*) solstrålning men hindrar utgående (*långvågig*) värmstrålning från att stråla direkt ut rymden. Genom att sätta upp uttryck för stålningsbalansen för jordytan, atmosfären och jorden som helhet så kan man räkna ut vilken temepratur jordytan har:

(1) Strålningsbalan för jordytan: $(1-\alpha)\cdot I_{solen} + \varepsilon_{atm}\sigma T_{\mathrm{atm}}^4 = \sigma T_{\mathrm{j}}^4$

(2) Strålningsbalans för atmosfären: $\varepsilon_{atm}\sigma T_{\mathrm{j}}^4 = 2\cdot\varepsilon_{atm}\sigma T_{\mathrm{atm}}^4$

(3) Strålningsbalans för jorden som helhet: $(1-\alpha)\cdot I_{solen} = (1-\varepsilon_{atm})\cdot\sigma T_j^4 + \varepsilon_{atm}\sigma T_{\mathrm{atm}}^4$

Lös för T_j på följande sätt:

Skriv om ekvation 2 - > $T_{\mathrm{atm}}^4 = T_{\mathrm{earth}}^4 / 2$

Sätt in i ekvation 3 -> $(1-\alpha)\cdot I_{solen} = (1-\varepsilon_{atm})\cdot\sigma T_{\mathrm{j}}^4 + \varepsilon_{atm}\sigma T_j^4 / 2$

-> $(1-\alpha)\cdot I_{solen} = T_{\mathrm{j}}^4\cdot\sigma\cdot[(1-\varepsilon_{atm}) + \varepsilon_{atm} / 2] = T_{\mathrm{j}}^4\cdot\sigma\cdot[1-\varepsilon_{atm} / 2]$

-> $T_{\mathrm{j}} = [(1-\alpha)\cdot I_{solen} / (\sigma\cdot(1-\varepsilon_{atm} / 2))]^{1/4}$

Med följande värden - $I_{solen} = 342$ [W/m^2], $\alpha = 31,3\%$, $\sigma = 5,67\cdot 10^{-8}$ [Wm^{-2}K^{-4}], $\varepsilon_{atm} = 0,8$ får man $T_{\mathrm{j}} = 288$ [K] = 15 [$^{\mathrm{o}}$C].

Notera också att om man sätter $\varepsilon_{atm} = 0$ (dvs, att atmosfären inte absrberar någon utgående strålning, eller att jorden saknar atmosfär) så blir resultatet istället $T_j = 254$ [K] = -19 [$^{\mathrm{o}}$C]. Detta brukar även kallas jordens 'effektiva srålningstemperatur' eftersom det är denna temperatur som jorden ser ut att ha om man ser den utifrån rymden (du kan testa detta genom att räkna ut den totala intensiteten i den värmestrålning som lämnar jorden i figuren nedan—dvs summan av utstrålningen från atmosfärslagret och den värmestrålning från jordytan som slipper igenom atmosfären—och sedan använda Stenfan-Boltzmanns lag för att räkna ut vilkn temperatur på en svartkropp som detta motsvarar).

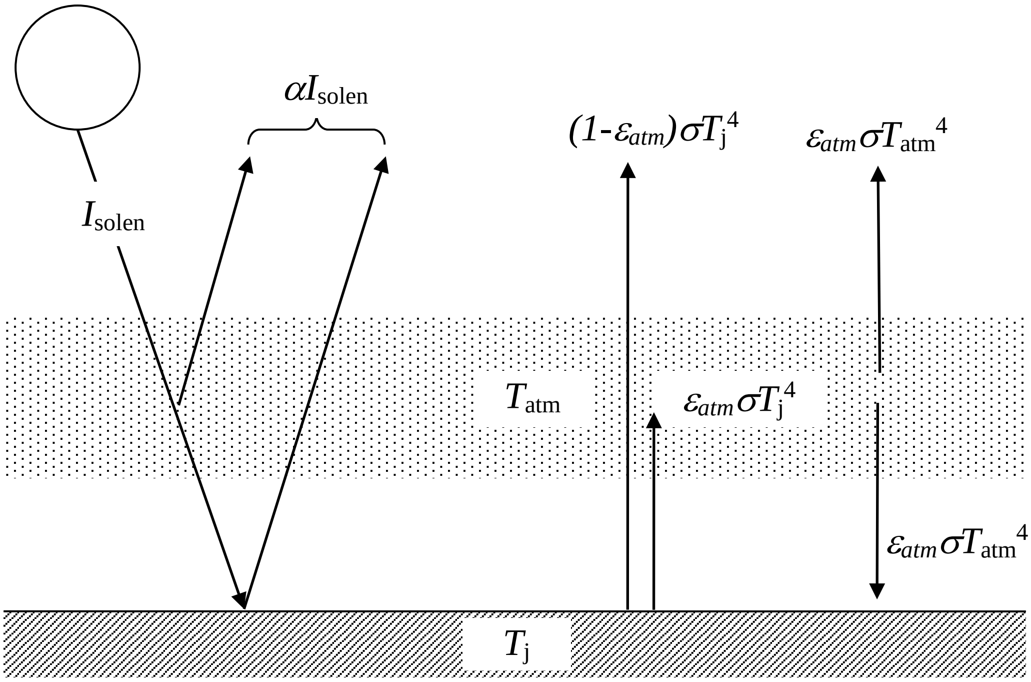
Det är skillnaden mellan temperaturen utan atmosfär och den med en atmosfär som absorberar en stor del av den utgående värmestrålningen—dvs ca 33 [$^{\mathrm{o}}$C]—som utgör den naturliga växthuseffekten. Den naturliga växthuseffekten kan även utryckas som skillnaden mellan den värmestrålning som jordytan avger och den värmestrålning som lämnar jorden,det vill säga:

$$\text{Växthuseffekten} = \sigma T_j^4 - [(1-\varepsilon_{atm})\cdot\sigma T_j^4 + \varepsilon_{atm}\sigma T_{\mathrm{atm}}^4] = \varepsilon_{atm}\sigma(T_j^4 - T_{\mathrm{atm}}^4)$$

Från detta ser man att det som avgör storleken på växthuseffekten är atmosfärens förmåga att fånga in utgående långvågig värmestrålning från jorden (ε_{atm}) samt temperaturskillnaden mellan jordytan och atmosfärslagret ($T_j^4 - T_{\mathrm{atm}}^4$). Annurlunda uttryckt kan man se att den totala mängden värmesrålning som lämnar jorden kan uttryckas som:

$$(1-\varepsilon)\cdot\sigma T_{\mathrm{earth}}^4 + \varepsilon\sigma T_{\mathrm{atm}}^4 = \sigma T_{\mathrm{earth}}^4 - \varepsilon\sigma(T_{\mathrm{earth}}^4 - T_{\mathrm{atm}}^4)$$

Det vill saga, den värmestrålning som jorden strålar ut i rymden är lika med den värmesrålning som jordytan avger *minus den naturliga växthuseffekten*.



Figur 1: *En enkel modell av den naturliga växthuseffekten där atmosfären representeras av ett enda lager.* I_{solen} *är solinstrålningen vid toppen av ordens atmosfär i medel över hela jordytan (342 W/m*^{2}*),* α *är jordens albedo (den andel av den inkommande kortvågiga solinstrålningen som reflekteras tillbaka ut i rymden utan att värma upp jorden),* T_j *och* T_{atm} *är temperaturen på jordytan respektive atmosfärsagret,* ε_{atm} *är atmosfärslagrets emissivitet (tillika dess absroptionsfaktor – minns Kirchhffs lag; jordytans emissivitet antas vara 1, dvs en perfekt svartkropp) och* σ *är Stefan-Boltzmanns konstant.*