

Övning 1: Jordens energibudget

1 Räkna ut den globala medeltemperaturen

Räkna först ut den inkommande strålning från solen ($E_{absorbed}$) och den energi som strålas tillbaka av jorden ($E_{emitted}$) för ett globala medeltemperaturvärde 288 K (som är ungefär det observerade värdet). Räkna nu ut den **globala medeltemperaturen** baserad på Stefan-Boltzmanns lag, som beskriver utstrålning energi av en svart kropp. För att formulera en ekvation, du får dessutom använda nedanstående information.

$$E_{emitted} = \sigma T^4$$
$$E_{absorbed} = K \cdot (1 - \alpha)$$

$$\sigma = 5.670373 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

$$\alpha = 0.31$$

$$K = 1361 \text{ W m}^{-2}$$

$$R_e = 6.371 \cdot 10^3 \text{ m}$$

där σ är Stefan Boltzmanns konstant, α är jordens albedo, K är solarkonstanten och R_e är jordens radius.

Tips: Vi vet från Energiprincipen (lagen om energins bevarande) att den utstrålade energin måste vara samma som den absorberade energin. Detta betyder att vi kan formulera en ekvation där det inkommande solljuset är lika med den energin som jorden utstrålar (tänk på att vi antar att jorden är en svart kropp). Vi kan beskriva det inkommande solljuset som arean av en cirkel med jordens radie (som i figuren nedan). Tänk dessutom på att den energin som jorden utstrålar kommer från hela jordytan (medans bara en del tar emot solljus).

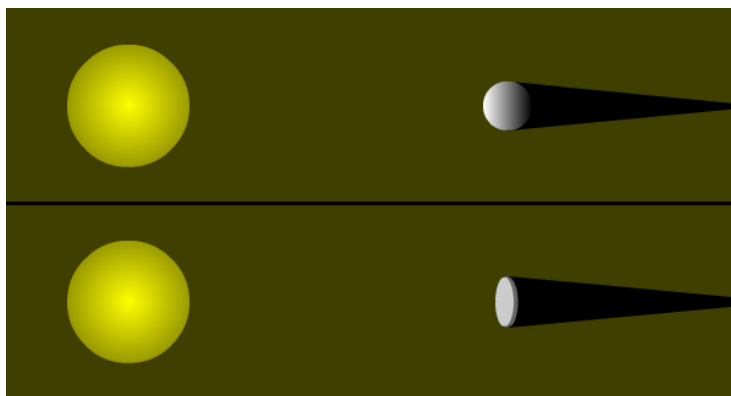


Figure 1: Sunlight intercepted by our spherical Earth (Credits: NCAR)

Frågor

Vad är den globala medeltemperaturen?

Varför är den kallare än det observerade värdet visar?

2 Global medeltemperatur som en funktion av albedo

I ekvationen som du får fram från uppgift 1 kan du se att den globala medeltemperaturen är beroende på jordens albedo, som beskriver hur mycket solljus som reflekteras tillbaka till universum pga moln etc. Använd en excel sheet för att skapa en enkel modell som baserar på din ekvation och räkna ut den globala medeltemperaturen T för olika albedo-värden. Rita ett diagram där man ser hur den globala medeltemperaturen T ändras med olika värden för α .

3 Solinstrålning och växthusgaseffekten

Ett sätt att ta hänsyn till växthusgaseffekten är att lägga till en parameter i energibalans-ekvationen. Denna parameter beskriver hur mycket energi som är fångad i atmosfären pga växthusgaser:

$$4\sigma T(1 - x)$$

Fråga

För vilket värde x får du ut den observerade globala medeltemperaturen?

Kom ihåg från föreläsningen att solinstrålning kan variera när man tänker på längre tidsperioder (Milankovitch cykler). Använd din modell i excel för att se vad som händer med den globala medeltemperaturen när du förändrar solarkonstanten (t.ex. till min/max värden av figuren nedan eller andra värden som du kan hitta)!

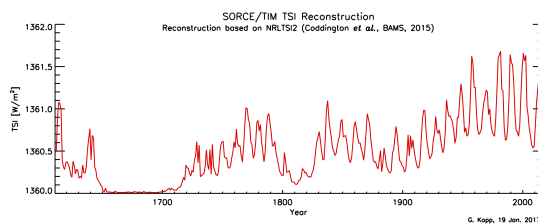


Figure 2: Reconstructed solar irradiance.

Temperatureförändringar över tid kan uttryckas med följande ekvation:

$$\Delta T = (E_{\text{absorbed}} - E_{\text{emitted}}) \cdot \text{time} / \text{heat capacity}$$

Surface heat capacity: $4.0 \cdot 10^8 \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

year	incoming radiation (W/m^2)	Re-radiated energy (W/m^2)	ΔT	T
0	390.1	390.1	0	288
1	397.8			
2	397.8			
3	397.8			
4	397.8			
5	397.8			
6	397.8			
7	397.8			
8	397.8			
9	397.8			
10	397.8			
11	397.8			
12	397.8			
13	397.8			
14	397.8			
15	397.8			

Nu ska vi skapa en jätteenkel klimatmodell och kolla hur den globala medeltemperaturen förändras, om vi förändrar en "forcing" (här: genom den inkommande solinstrålning). Kolla på tabellen nedan och försök dra samma i din excel sheet för att räkna ut strålningen från jorden, temperaturförändringen och den nya temperaturen för varje år. Från de beräkningar som du har gjort tidigare, vet du att.....

- jordens strålning beror på temperaturen
- temperaturförändringen för varje år är responsen till den inkommande solinstrålning och kan räknas ut genom ovanstående ekvation
- det nya temperaturvärdet T räknas ut genom att addera ΔT med T

Fråga

Om du ökar den inkommande solinstrålningen med 2% (som resulterar i samma forcing som om man skulle fördubbla CO₂ i atmosfären), hur förändras temperaturen under de första 15 år? Kommer modellen till ett equilibrium tillstånd där temperaturen inte längre förändras utan är stabil?

4 1D-Energibalans model med diffusion

I den enkla energibalans-modellen som baserar på Stefan Boltzmanns lag får vi bara ut ett enda temperaturvärde för hela jordklotet, vilket innebär att vi inte tar hänsyn till att det inkommande solljus varierar med olika latituder. Därför ska vi nu titta på en modell som är lite mer komplex och som inkluderar värmetransport från låga till höga latituder. Vi pratar då om en "1-dimensionell" modell. Följ instruktionerna nedan för att få tillgång till modellen i Jupyter notebook.

Frågor

Eftersom den här energibalans-modellen inkluderar värmetransport, blir temperaturskillnaden mellan olika latituder mindre med varje tidssteg. Detta betyder att de varma regioner nära ekvatorn blir kallare medan de kalla regioner i polområdena blir varmare. Vad borde hända om vi kör modellen för en längre tidsperiod?

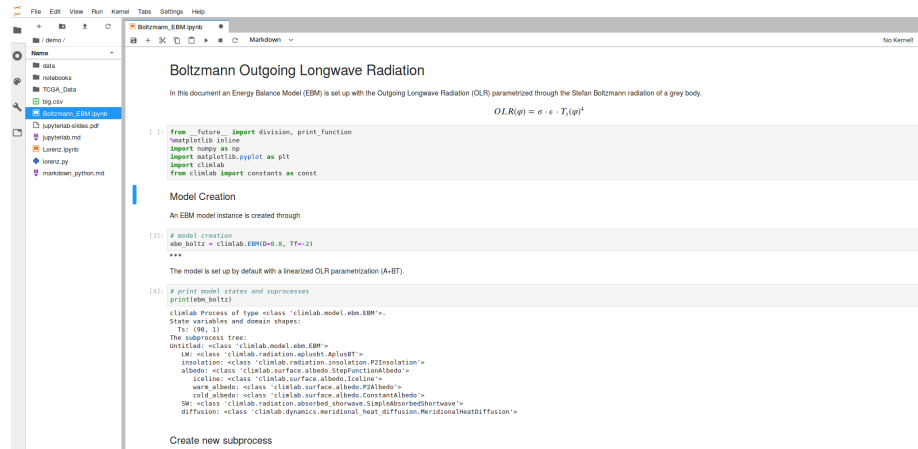
Observera att det här är en förenklad modell som använder sig av en såkallad parameterisering för att beskriva värmetransporten. Vad är de viktigaste processer för värmetransport enligt det som du har lärt dig i lektionen?

Jupyter notebook online:

- Gå till <https://jupyter.org/try> och klicka på *Try JupyterLab*
- Ladda upp filen *Boltzmann_EBM.ipynb* and klicka på filen i namnlistan till vänster
- Nu kan du ändra och köra koden
- Följ vidare instruktioner som finns i notebooken.

Installera Jupyter notebook på din labdator:

- Öppna OSGeo4W Shell genom Start>OSGeo4W
- Skriv `py3_env`
- Skriv `pip install jupyter` (ta kanske lite tid)
- Skriv `pip install --upgrade jupyter_client`
- Skriv `pip install climlab` (ett paket som behövs för denna övning)
- Skriv `pip install attrdict` (ett paket som behövs för denna övning)
- Skriv `jupyter notebook`



Jupyter notebook Basics:

"Jupyter-notebook is an open-source web application that allows you to create and share documents that contain live code, equations, visualizations and narrative text." (<https://jupyter.org/>)

- There two general modes when you work with a jupyter-notebook. Type *esc* come to the "out-of-cells" mode where you can insert and delete new cells. You are in the "editing" mode when you click on one cell. Here you can modify the text/code or run the cells (=execute the code).
- There are **text cells** which contain text in markdown language and **code cells** which contain Python code. When you run a *textit* code cell, the output of the code appears below it.
- To run a cell: type *Ctrl + c*
- To insert new cells above/below a selected cell: type *a / b*
- To delete cells: type *dd*