

Problema 4. Efect Greenhouse

(1) bonding time

[3 puncte]

Emisia electromagnetică a planetelor constă în radiația solară împrăștiată de acestea, care domină în vizibil, la care se adaugă emisia de radiație termică proprie. Corpurile sistemului solar sunt așadar vizibile ca urmare a faptului că radiația solară este în mare parte concentrată între 0.4 și 0.8 microni (spectrul vizibil). O parte din această radiație este absorbită, iar o parte este împrăștiată înapoi în spațiu.

Proporția dintre cele două cantități fizice depinde de coeficientul de absorbție, sau mai degrabă de coeficientul definit ca albedo Bond, ce caracterizează cantitativ radiația reflectată de suprafața unui obiect, cum ar fi o planetă sau un asteroid. Albedoul este raportul dintre fluxul energetic de radiație reflectat și cel incident. Valoarea maximă a albedoului este 1 pentru o suprafață perfect reflectantă, în timp ce tinde spre zero pentru un corp negru. Vom considera că albedoul mediu al Pământului este $A = 0.33$.

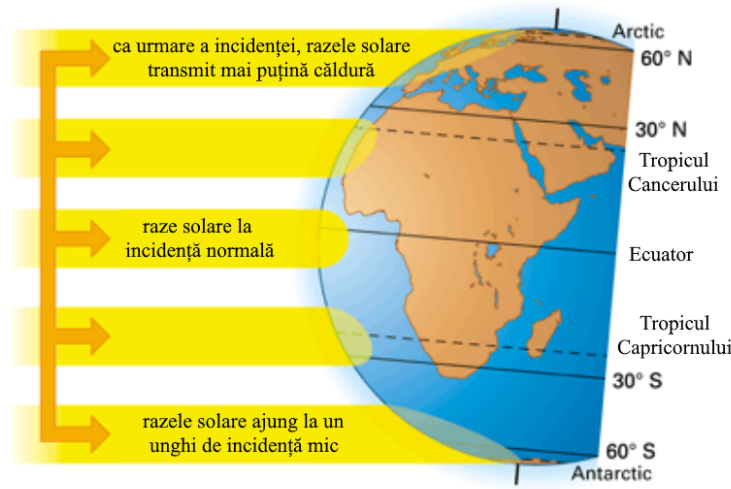


Figura 1: Incidența razelor solare pe Pământ

- (a) Densitatea de energie primită de la Soare pe unitatea de timp la incidență normală este egală cu $F_{\odot} = 1367 \text{ W m}^{-2}$ (constanta solară). Calculați cantitatea totală de radiație absorbită de Pământ în unitatea de timp. Se cunoaște raza Pământului, $R_{\oplus} = 6371 \text{ km}$.

[1]

Soluție:

la incidență $\theta \rightarrow dW = F_{\odot} \cos \theta dS = F_{\odot} (1 - A) \cos \theta \cdot 2\pi R_{\oplus} \sin \theta \cdot R_{\oplus} d\theta$ **0 p**

integrăm $\rightarrow W = 2\pi R_{\oplus}^2 F_{\odot} (1 - A) \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta = F_{\odot} (1 - A) \pi R_{\oplus}^2$ **0.5 p**

calcul numeric $\rightarrow W = 1367 \text{ W m}^{-2} \cdot 0.67\pi \cdot (6371 \times 10^3 \text{ m})^2 = 1.167 \times 10^{17} \text{ W}$ **0.5 p**

- (b) Apelați la intuiția voastră de fizicieni pentru a evalua corectitudinea enunțurilor din următorul tabel:

[2]

Soluție:

A	Fluxul relativ de radiație absorbită este egal cu $1 - A$.	Adevărat
B	Albedoul suprafeței Pământului este constant și nu depinde de poziția geografică.	Fals
C	Zăpada proaspătă este caracterizată de un albedo ridicat.	Adevărat
D	Schimbări ale albedoului pot fi corelate cu schimbări climatice.	Adevărat
E	O erupție vulcanică ar crește temporar albedoul planetei noastre.	Fals

A	Fluxul relativ de radiație absorbită este egal cu $1 - A$.	Adevărat / Fals
B	Albedoul suprafeței Pământului este constant și nu depinde de poziția geografică.	Adevărat / Fals
C	Zăpada proaspătă este caracterizată de un albedo ridicat.	Adevărat / Fals
D	Schimbări ale albedoului pot fi corelate cu schimbări climatice.	Adevărat / Fals
E	O erupție vulcanică ar crește temporar albedoul planetei noastre.	Adevărat / Fals

(2) luăm temperatura

[3 puncte]

Temperatura efectivă a unui corp al Sistemului Solar poate fi definită ca fiind temperatura de echilibru a unei sfere considerată un corp negru, situată la distanța D de Soare, de diametru r și albedo A . Puterea radiativă (fluxul total de radiație emis în unitatea de timp) a unui corp este dată de legea Stefan-Boltzmann:

$$P = \epsilon A \sigma T^4$$

unde ϵ este emisivitatea ($\epsilon = 1$ pentru un corp negru), A este suprafața radiativă a corpului, T este temperatura, iar $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ este constanta Stefan-Boltzmann.

- (a) Determinați temperatura efectivă a Pământului considerând că acesta este un corp negru la echilibru ce respectă legea Stefan-Boltzmann, emițând înapoi toată radiația absorbită din spațiu.

[2 1/2]

Solutie:

$$F_{\odot}(1 - A)\pi R_{\oplus}^2 = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T^4$$

2p

$$T = 252 \text{ K}$$

0.5p

- (b) Să considerăm că temperatura medie a suprafeței Pământului este de 15 grade Celsius. Comparați această valoare cu rezultatul obținut la punctul anterior. Ce observați?

[1/2]

Solutie:

$$\Delta T = 273 + 15 - 252 = 36 \text{ K}$$

Temperatura efectivă este mult mai mică decât valoarea medie măsurată la suprafața Pământului. Ca urmare, trebuie să existe și alte mecanisme prin care Pământul obține căldură.

0.5p

(3) un model simplu

[4 puncte]

Prezența unei atmosfere în jurul unei planete îi modifică temperatura în sensul că aceasta acționează ca un filtru pentru radiația infraroșie reflectată înapoi spre spațiu. O parte din

radiațiile reflectate de sol sunt reabsorbite de atmosferă, care la rândul ei va radia atât spre spațiu cât și spre sol. Acest efect se numește *efect de seră*, sau, *efect Greenhouse*. În cazul planetei noastre, efectul se datorează vaporilor de apă și dioxidului de carbon prezenți în atmosferă absorbind radiația infraroșie venită dinspre sol.

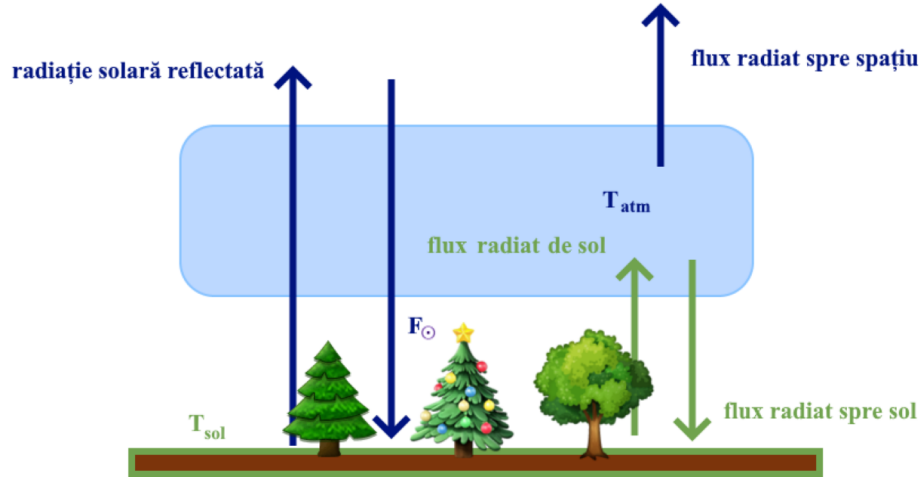


Figura 2: Efectul de seră - model simplificat

Pentru a cuantifica efectul de seră putem folosi un model simplu în care considerăm că atmosfera este o pătură parțial opacă, cu un coeficient de emisivitate/absorbție care este estimat în prezent în jurul valorii de $\alpha_{atm} = \epsilon_{atm} = 0.7$.

(a) Având în vedere și contribuția atmosferei, calculați temperatura Pământului la sol, T_{sol} .

[2]

Soluție: Punând condiția de echilibru pentru fluxurile radiative de "intrare" și "ieșire" din atmosferă (condiția de echilibru energetic cu spațiul), vom avea:

$$F_{\odot}(1 - A)\pi R_{\oplus}^2 = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{sol}^4(1 - \epsilon) + 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma \epsilon T_{atm}^4$$

Primul termen din membrul drept reprezintă radiația emisă de sol ce trece de atmosferă, iar al doilea membru este fluxul emis de atmosferă spre spațiu.

1p

Acum, scriem echilibrul energetic pentru pătura atmosferică:

$$\alpha \sigma T_{sol}^4 dS = \epsilon \sigma T_{atm}^4 2dS$$

unde am considerat că densitatea de flux energetic emisă de sol și absorbită de atmosferă va fi egală cu densitatea de flux energetic emis de atmosferă. Considerăm că atmosfera emite pe o suprafață dublă față de sol, deoarece sunt două direcții de emisie (spre sol și spre spațiu).

0.5p

În final, ținând cont de legea lui Kirchhoff pentru radiație ($\alpha = \epsilon$, cum se precizează și în enunț), se ajunge la

$$T_{sol} = \sqrt[4]{\frac{F_{\odot}(1 - A)}{4\sigma - 2\epsilon\sigma}}$$

Numeric: $T_{sol} = 280 \text{ K}$

0.25p

0.25p

(b) Calculați temperatura păturii atmosferice considerate în model, T_{atm} .

[1]

Soluție: Din prelucrarea ecuațiilor de la punctul anterior, se obține

$$T_{atm} = T_{sol} \cdot 2^{-1/4}$$

Numeric:

$$T_{atm} = 236 \text{ K}$$

0.5p

0.5p

(c) Ce aspecte sunt neglijate de modelul propus?

[1]

Soluție: Chiar dacă modelul propus se apropie destul de mult de valorile reale, acesta omite destul de multe aspecte, precum:

- variația temperaturii atmosferei cu altitudinea
- radiația parcurge distanțe diferite în atmosferă în funcție de latitudinea pe glob
- atmosfera este de fapt compusă din mai multe straturi, iar mecanismul de efect de seră este unul mai complicat decât cel prezentat aici
- chiar dacă considerăm multe straturi atmosferice, aceste straturi nu sunt perfect paralele, din cauza metrologiei complexe
- mișcarea atmosferică influențează de asemenea rezultatul