

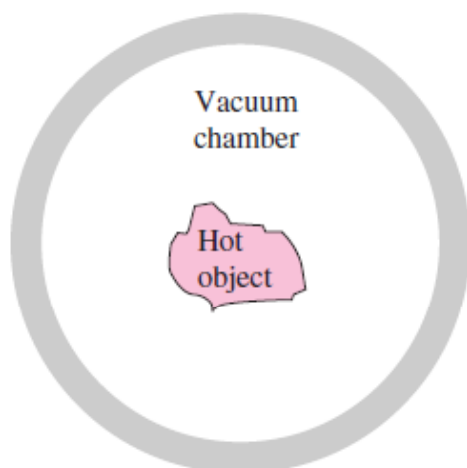
12. GAIA

ERRADIAZIO TERMIKOAREN OINARRIAK

12.0 - HELBURUAK

2/34

- **Erradiazio elektromagnetikoa** sailkatu, eta **erradiazio termikoa** identifikatu,
- **Gorputz beltz** idealizatua ulertu, eta gorputz beltzaren emisio-ahalmen totala eta espektrala kalkulatu,
- Uhin-luzeraren tarte jakin batean **igorritako erradiazio-frakzioa** kalkulatu, gorputz beltzaren erradiazio-funtzioak erabiliz,
- **Erradiazio-intentsitatearen** kontzeptua ulertu, eta magnitude direkzional espektralak definitu, intentsitatea erabiliz,
- **Emisibitate, absortibitate, erreflektibitate eta transmisibitatearen** propietateak ondo ulertu, oinarri espektral, direkzional eta totalekin,
- **Kirchhoffen legea** aplikatu emisibitate ezaguneko gainazal baten absortibitatea kalkulatzeko,
- **Erradiazio atmosferikoaren** eredua egin zero-tenperatura eraginkor bat erabilita, eta **berotegi-efektuaren** garrantziaz jabetu.



Erradiazioa

Ez du ingurune material baten beharra.

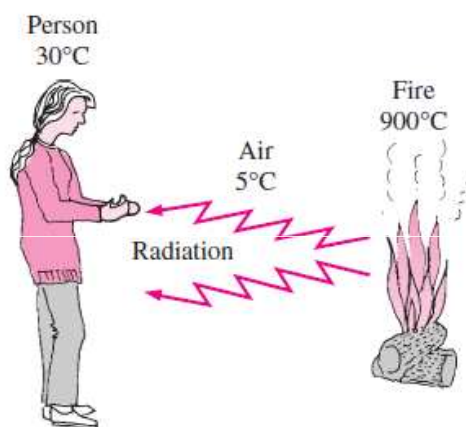
Ez da moteltzen hutsean

Energia-transferentzia lasterrena da (argiaren abiadura du),

Solidoetan, likidoetan eta gasetan gertatzen da.



Nola ailegatzen da Eguzkiaren energia Lurrera?



Erradiazio bidezko bero-transferentzia ingurune hotzago batek banatutako bi gorputzen artean gerta daiteke

FUNDAMENTU TEORIKOA

Uhin elektromagnetiko edo erradiazio elektromagnetiko materiak atomoen edo molekulen konfigurazio elektronikoaren aldaketen ondorioz igortzen duen energia adierazten dute

Fotoi izeneko energia-pakete multzoen hedatzen dituzte

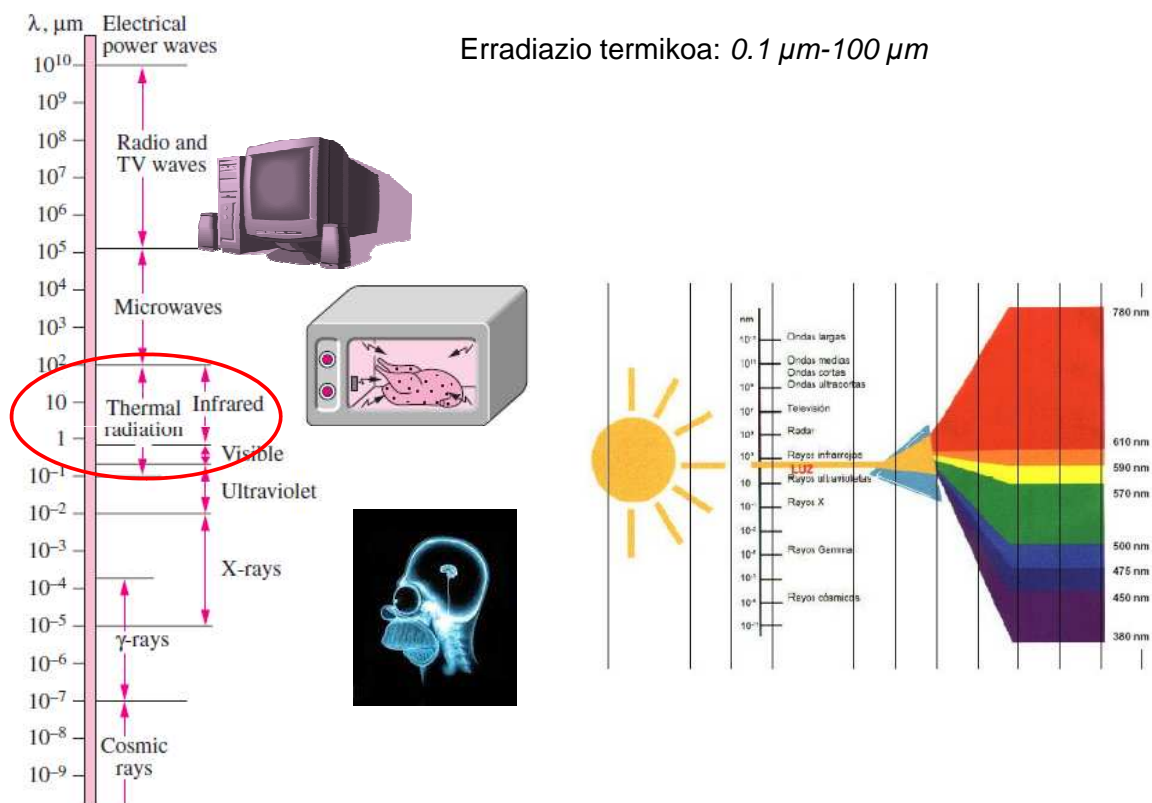
$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$c = \frac{c_o}{n}$$

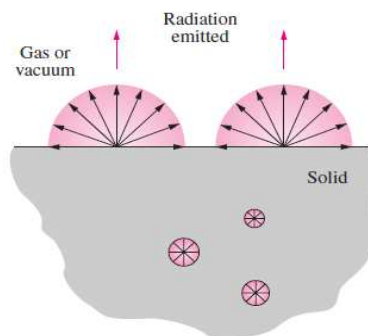
$$e = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

λ	<ul style="list-style-type: none"> Uhin luzera $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$
C	<ul style="list-style-type: none"> C: uhin batek ingurune horretan duen hedatze-abiadura [m/s] C_o: $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ (argiaren abiadura)
ν	<ul style="list-style-type: none"> Maiztasuna iturriaren menpekoea da, eta hedatzen den ingurunearekiko independentea da Hz
n	<ul style="list-style-type: none"> Errefrakzio indizea $n=1$ airea; $n=1.5$ beira; $n=1.33$ ura
e	<ul style="list-style-type: none"> Fotoiaren energia
h	<ul style="list-style-type: none"> Plank-en konstantea $6.6256 \times 10^{-34} \text{ J}$

12.2 – ERRADIAZIOTERMIKOA

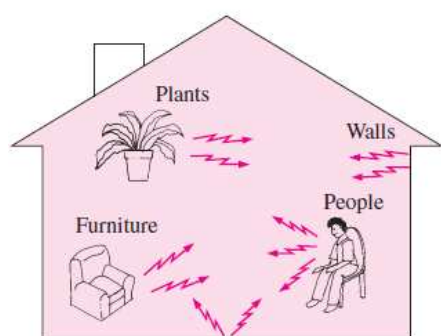


- Fenomeno bolumetrikoa da.
- Solido opakoetan (gardenak ez direnak): metalak, zura eta harria: gainazal fenomeno da.



$$T \uparrow \rightarrow Q \uparrow$$

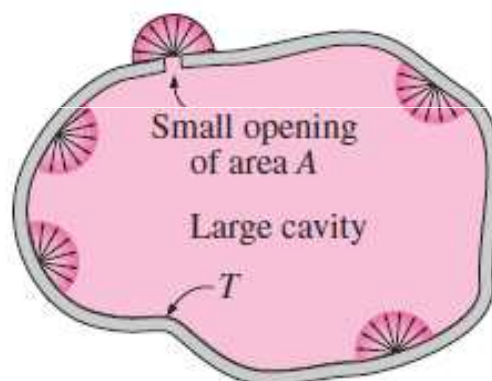
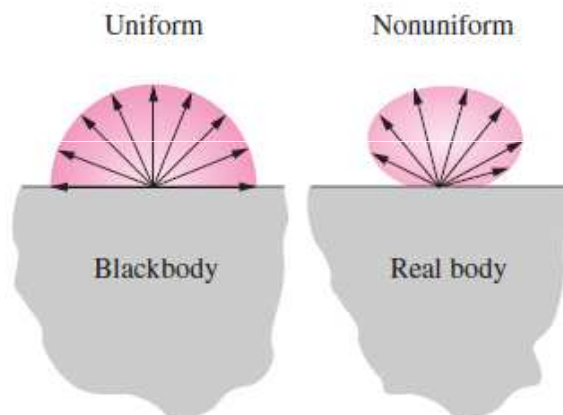
- Zerotik gorako tenperatura termodinamikoa (edo absolutua) duen gorputz batek norabide guztietan igortzen du uhin-luzera tarte zabal bateko erradiazioa. ($T > 0 \text{ K}$).



Zein da tenperatura batean gorputz batek igor dezakeen erradiazio maximoa?

12.3 – GORPUTZ BELTZAREN ERRADIAZIOA

- Erradiazio-igorle eta -xurgatzaile perfektua da
- Jasotzen duen erradiazio guztia xurgatzen du, uhin-luzera eta norabidea edozein direla ere..
- Igorle difusoa da: modu uniformean igortzen du erradiazioenergia norabide guztietan,



PLANK-EN LEGEA (HUTSA ETA GAS-ENTZAT)

Gorputz beltzaren emisio-ahalmen espektrala.

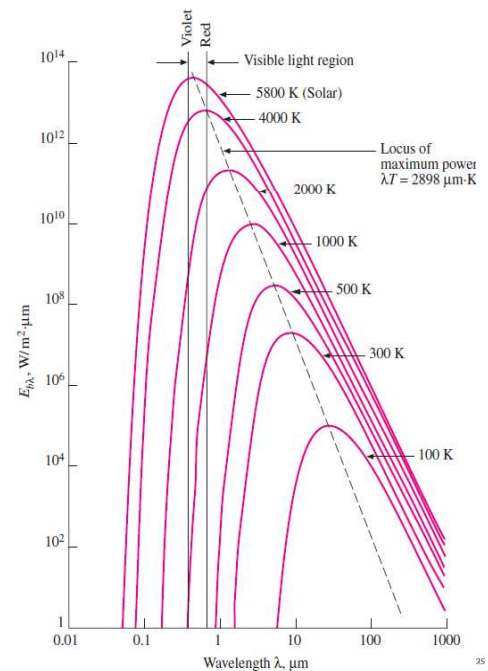
$$E_{b\lambda}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad [W / m^2 \mu m]$$

$$C_1 = 2 \pi h c_0^2 = 3.74177 \times 10^8 [W \mu m^4 / m^2]$$

$$C_2 = h c_0 / k = 1.43878 \times 10^4 [\mu m K]$$

$$k = 1.38065 \times 10^{-23} [J / K]$$

Beste ingurunetarako: $C_1 = \frac{C_1}{n^2}$
 n: errefrakzio indizea



12.3 – GORPUTZ BELTZAREN ERRADIAZIOA

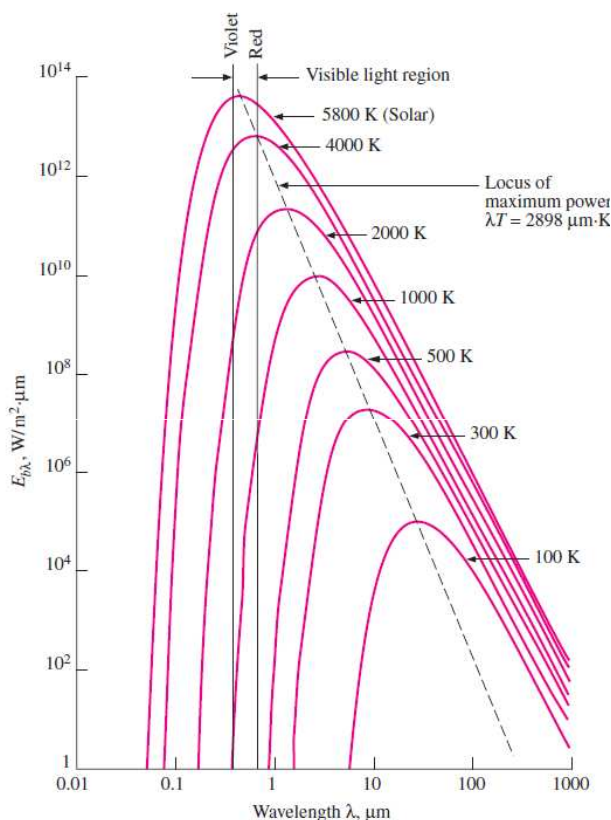
WIEN-EN DESPLAZAMENDU LEGEA

Erradiazioaren emisio-kurben gailurraren kokapena.

$$(\lambda \cdot T)_{\max \text{ power}} = 2897.8 \quad [\mu m K]$$

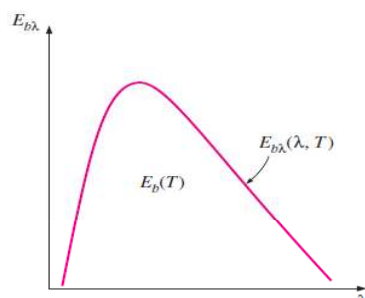
Eguzkiaren gainazalak 5800K dago

$\lambda_{\max} = 2897.8 / 5800 = 0.50 \mu m$
 tarte ikusgaiaren erdian



STEFAN-BOLTZMANN-EN LEGEA

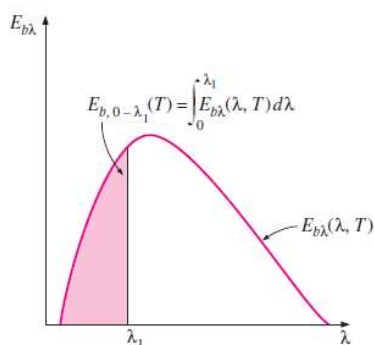
Gorputz beltzaren emisio-ahalmen totala ematen da, uhin-luzera guztietan igorritako erradiazioaren batura totala delarik.



$$E_b(T) = \int_0^{\infty} E_{b\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (W/m^2)$$

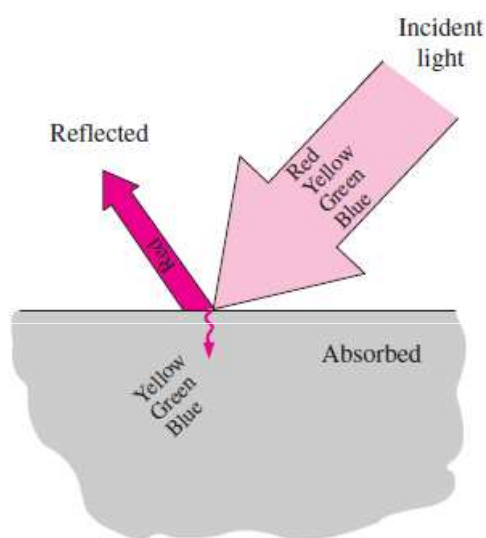
$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (W/m^2)$$

σ : Stefan-Boltzmann-en kte
 $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$



$$E_{b,0-\lambda}(T) = \int_0^{\lambda} E_{b\lambda}(\lambda, T) d\lambda \quad (W/m^2)$$

12.3 – GORPUTZ BELTZAREN ERRADIAZIOA

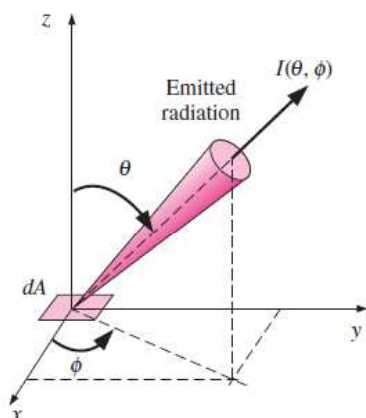


Zergatik elurra gainazal zuriak zuri
 ikusten dira?

Eta landareen hostoak berde?

ERRADIAZIO INTENTSITATEA (I)

Espazioko norabide jakin batean igorritako (edo jasotako) erradiazioa norabide zenitalean θ eta azimutalean ϕ

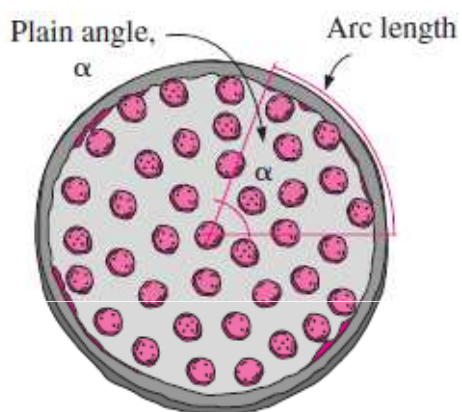


KASUA

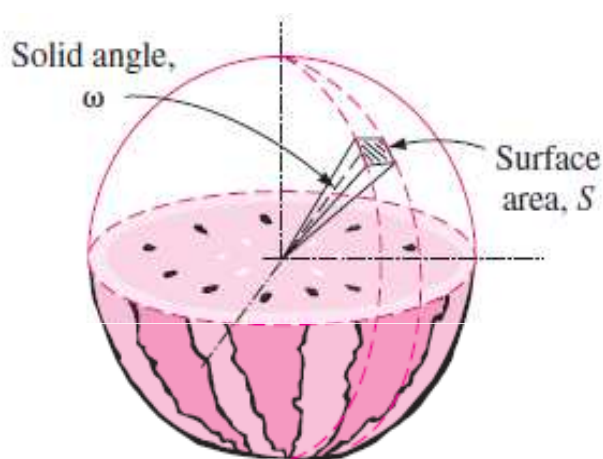
Gorputz beltza: Igorle difusoa: igorritako erradiazioa berdina da norabide guztietan, beraz, ez da norabidearen araberakoa

12.4 – ERRADIAZIO INTENTSITATEA

ANGELU SOLIDOA

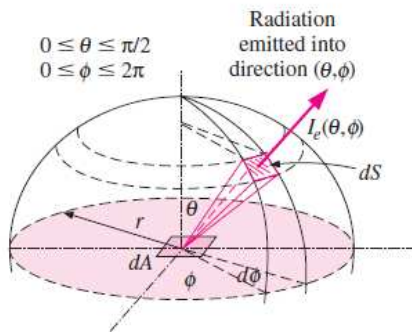
A slice of pizza of plain angle α

Angelu laua (α): $r=1 \rightarrow 2\pi$

A slice of watermelon of solid angle ω

Angelu solidoa (ω): $r=1 \rightarrow 4\pi$ [sr]

ANGELU SOLIDOA



Hemisferioaren angelu solidoa

$$\omega = \int_{\text{esphere}} d\omega = \int_{0=\theta=0}^{\pi/2} \int_{0=\phi}^{2\pi} \sin \theta d\theta d\phi = 2\pi$$

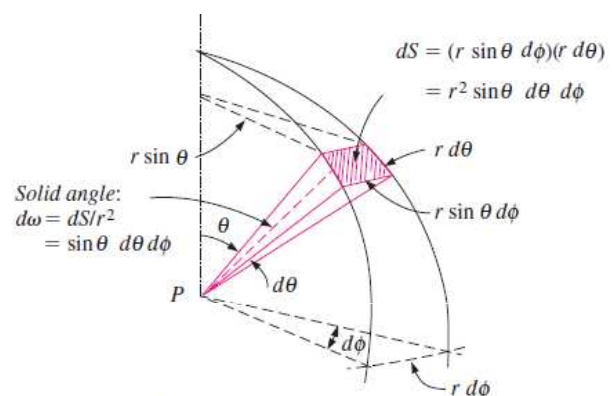
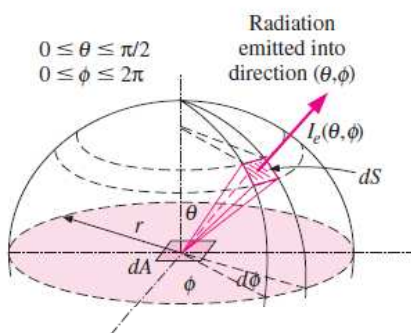
$$S = \int_{\text{esphere}} dS = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} r^2 \sin \theta d\theta d\phi = 2\pi r^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \sin \theta d\theta = 4\pi r^2$$

Si $r=1 \rightarrow S=4\pi \rightarrow \omega=4\pi$ [sr]Hemisferioa: $\omega=2\pi$ [sr]

$$d\omega = \frac{dS}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi$$

$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} = \frac{dA \cos \alpha}{r^2}$$

12.4 – ERRADIAZIO INTENTSITATEA

IGORRITAKO ERRADIAZIOAREN INTENTSITATEA [$I_e(\theta, \phi)$]

$$I_e(\theta, \phi) = \frac{d\dot{Q}_e}{dA \cos \theta d\omega} = \frac{d\dot{Q}_e}{dA \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi} \quad [W / m^2 \text{ sr}]$$

ERRADIAZIO FLUXUAK: EMISIO-AHALMENA; IRRADIACION- RADIOSIDAD

1- EMISIO-AHALMENA (E)

Igorritako erradiazio fluxua da energiaren igortze-abiadura, gainazal igorlearen azalera unitateko

$$E = \int_{\text{hemisphere}} dE = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_e(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad [W / m^2]$$

KASUAK:

Modu difusoa igortzen duen gainazala: $I_e = \text{cte}$ $E = \pi I_e \quad [W / m^2]$

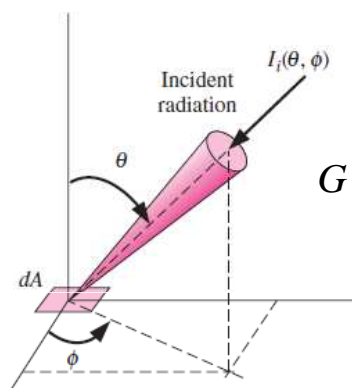
Gorputz beltza: Igorle difusoa $E_b = \pi I_b \quad [W / m^2]$

$$I_b(T) = \frac{E_b(T)}{\pi} = \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad [W / m^2 \text{ sr}]$$

12.4 – ERRADIAZIO INTENTSITATEA

2-IRRADIAZIOA (G)

Gainazal batera norabide guztietatik **iristen** den erradiazio-fluxua da irradiazio,



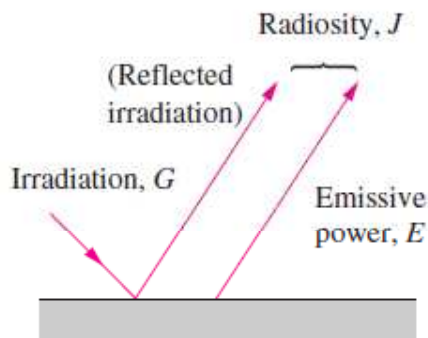
$$G = \int_{\text{hemisphere}} dG = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_i(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad [W / m^2]$$

KASUA:

Erradiazio intzidentes difusoa: $I_i = \text{cte}$ $G = \pi I_i \quad [W / m^2]$

3- ERRADIOSITATEA (J)

Gainazal baten azalera unitate batetik norabide guztietan irteten den erradiazio energiaren abiadura da



$$J = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_e(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad [W / m^2]$$

KASUA

Igorle eta islatzaile difusoa: $J = \pi I_{e+r} \quad [W / m^2]$

12.4 – ERRADIAZIO INTENTSITATEA

MAGNITUDE ESPEKTRALAK

Erradiazioaren-aldaketak uhin-luzeraren arabera

$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{d\dot{Q}_e}{dA \cos \theta d\omega d\lambda} \quad [W / m^2 sr \mu m]$$

$$E_\lambda = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad [W/m^2]$$

KASUA

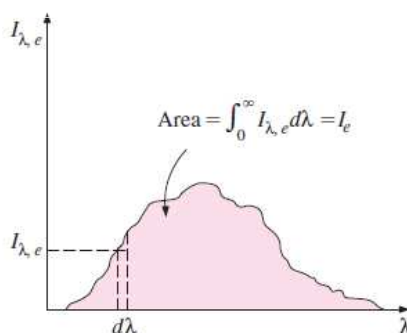
Gainazalak eta erradiazio intzidentea difusoa:

$$E_\lambda = \pi I_{\lambda,e} \quad G_\lambda = \pi I_{\lambda,i} \quad J_\lambda = \pi I_{\lambda,e+r}$$

Gorputz beltza :

$$I_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 [\exp(hc_0 / \lambda KT) - 1]} \quad [W / m^2 sr \mu m]$$

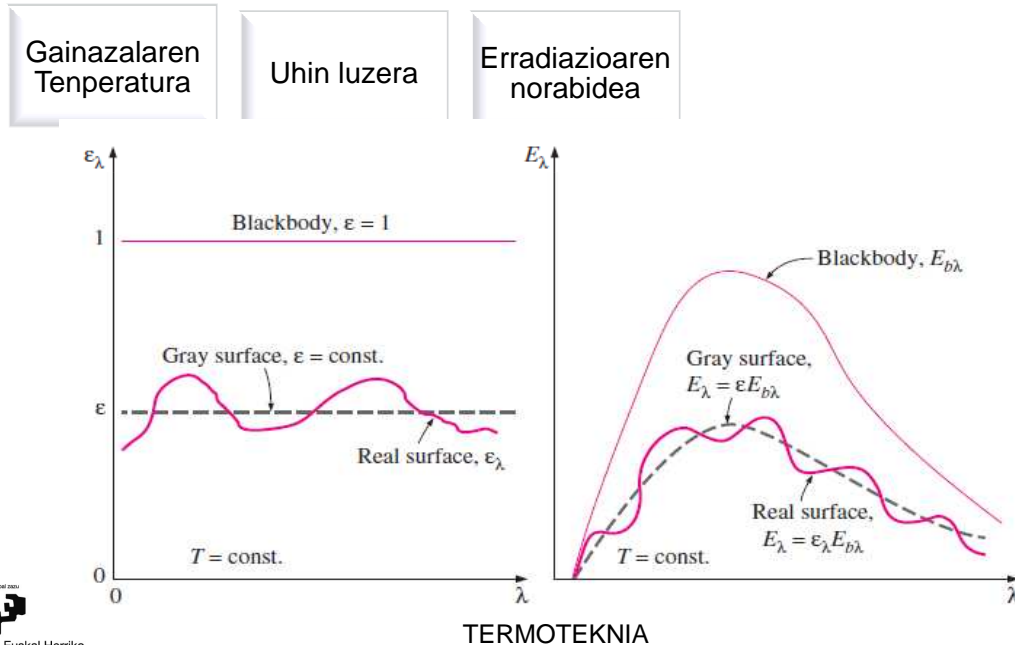
$$E_{b,\lambda}(\lambda, T) = \pi I_{b,\lambda}(\lambda, T)$$



EMISIBITATEA (ϵ)

Gainazalak tenperatura jakin batean igorritako erradiazioaren eta gorputz beltz batek tenperatura berean igorritako erradiazioaren arteko arrazioa.

Gorputz beltza $\epsilon = 1$ Gainazal erreala $0 < \epsilon < 1$



12.5 – ERRADIAZIO PROPIETATEAK

EMISIBITATE DIREKZIONAL ESPEKTRALA EMISIBITATE DIREKZIONAL TOTALA

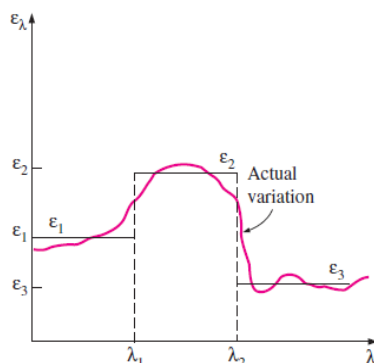
$$\epsilon_{\lambda\theta}(\lambda, \theta, \phi, T) = \frac{I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T)}{I_{b\lambda}(\lambda, T)}$$

$$\epsilon_\theta(\theta, \phi, T) = \frac{I_e(\theta, \phi, T)}{I_b(T)}$$

EMISIBITATE HEMISFERIKO ESPEKTRALA EMISIBITATE HEMISFERIKO TOTALA

$$\epsilon_\lambda(\lambda, T) = \frac{E_\lambda(\lambda, T)}{E_{b\lambda}(\lambda, T)}$$

$$\epsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)}$$



$$\epsilon_\lambda = \begin{cases} \epsilon_1 = \text{constant}, & 0 \leq \lambda < \lambda_1 \\ \epsilon_2 = \text{constant}, & \lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2 \\ \epsilon_3 = \text{constant}, & \lambda_2 \leq \lambda < \infty \end{cases}$$

EMISIBITATEA (ϵ)*Real surface:*

$\epsilon_\theta \neq \text{constant}$

$\epsilon_\lambda \neq \text{constant}$

Diffuse surface:

$\epsilon_\theta = \text{constant}$

Gray surface:

$\epsilon_\lambda = \text{constant}$

Diffuse, gray surface:

$\epsilon = \epsilon_\lambda = \epsilon_\theta = \text{constant}$

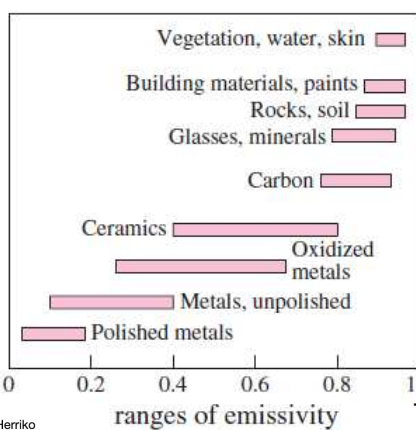
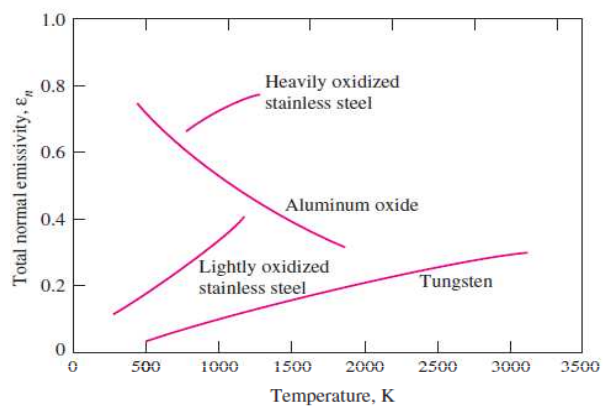
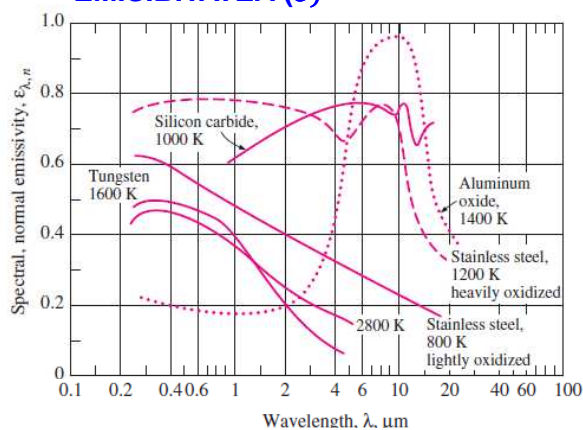
Gainazal Difusoa

- Bere propietateak norabidearekiko independenteak baldin badira

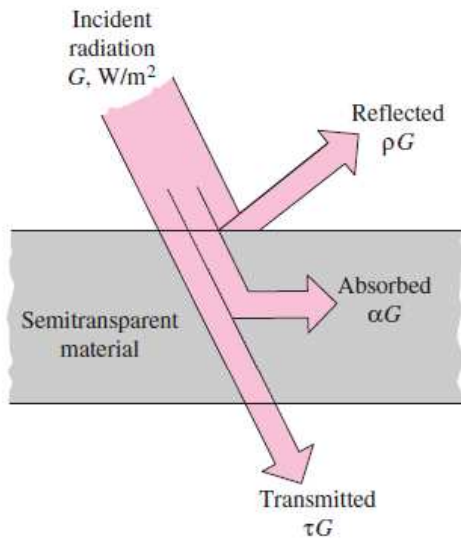
Gainazal Grisa

Bere propietateak uhin luzerarekiko independenteak baldin badira

12.5 – ERRADIAZIO PROPIETATEAK

EMISIBITATEA (ϵ)

ABSORTIBITATEA (α), ERREFLEKTIBITATEA (ρ) ETA TRASMISIBITATEA (τ)



Absorptivity: $\alpha = \frac{\text{Absorbed radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{abs}}}{G}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$

Reflectivity: $\rho = \frac{\text{Reflected radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{ref}}}{G}, \quad 0 \leq \rho \leq 1$

Transmissivity: $\tau = \frac{\text{Transmitted radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{tr}}}{G}, \quad 0 \leq \tau \leq 1$

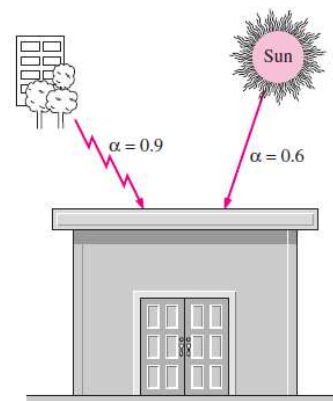
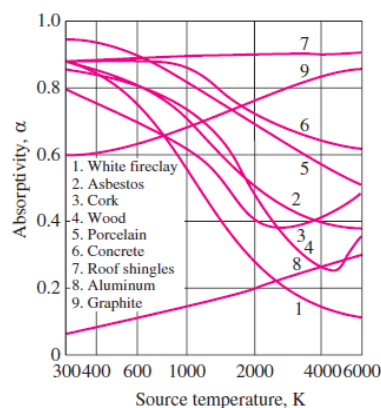
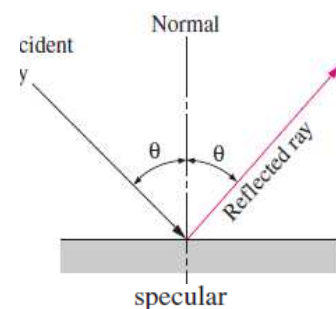
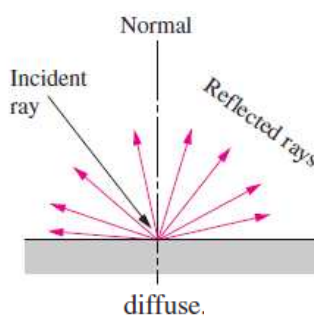
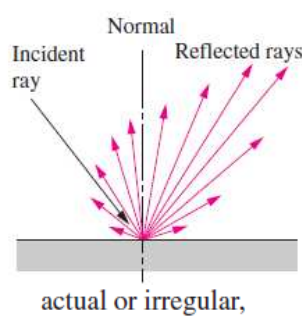
$$G_{\text{abs}} + G_{\text{ref}} + G_{\text{tr}} = G$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

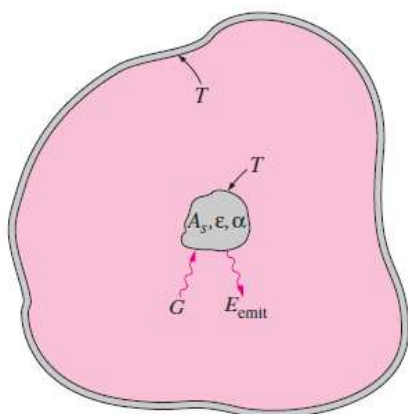
Gainazal beltza	Gainazal ispilua	Gainazal gardena	Gainazal opaka	Gainazal matea
<ul style="list-style-type: none"> $\alpha = 1$ $\rho = \tau = 0$ 	<ul style="list-style-type: none"> $\rho = 1$ $\alpha = \tau = 0$ 	<ul style="list-style-type: none"> $\tau = 1$ $\alpha = \rho = 0$ 	<ul style="list-style-type: none"> $\tau = 0$ $\alpha + \rho = 1$ 	<ul style="list-style-type: none"> $\rho = 0$ $\alpha + \tau = 1$

12.5 – ERRADIAZIO PROPIETATEAK

ABSORTIBITATEA (α), ERREFLEKTIBITATEA (ρ) ETA TRASMISIBITATEA (τ)



KIRCHHOFF-EN LEGEA



$$\left. \begin{aligned} G_{abs} &= \alpha G = \alpha \sigma T^4 \\ E_{emit} &= \varepsilon \sigma T^4 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Oreka termikoa:} \\ \varepsilon(T) = \alpha(T) \end{array}$$

Baldintza:

T gainazala = T irradiazio-iturriaren tenperatura

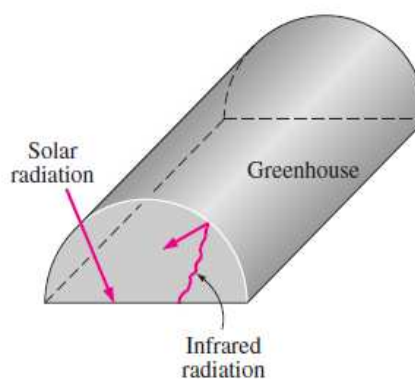
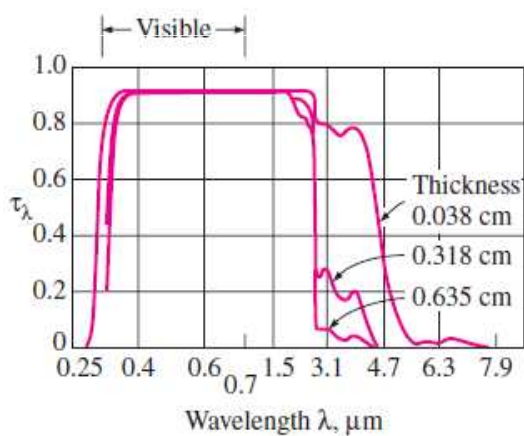
12.5 – ERRADIAZIO PROPIETATEAK

BEROTEGI EFEKTUA



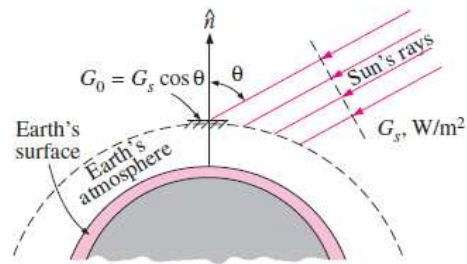
Zergaitik autoa egun eguzkitsu batean eguzkitan uztean autoaren barrua kanpoko airea baino askoz gehiago berotzen da?

Zer da Lurraren berotegi efektua?

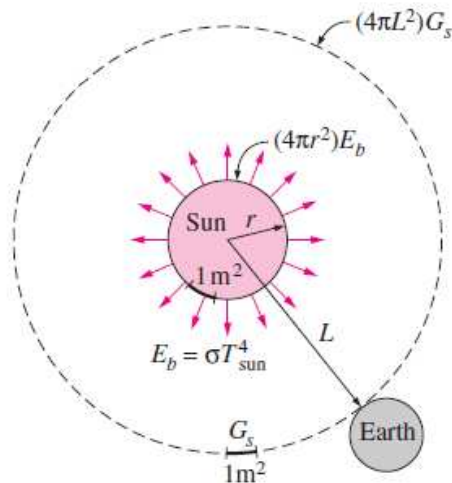


EGUZKI EZAUGARRIAK

$D = 1.39 \times 10^9 \text{ m}$
 $L = 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ de la Tierra
 $E_{\text{sol}} = 3.8 \times 10^{26} \text{ W}$
 Lurrera ailegatzen dena $E = 1.7 \times 10^{17} \text{ W}$
 Nukleoaren $T = 40\,000\,000 \text{ K}$
 Kanpoaldeko $T = 5\,800 \text{ K}$



Eguzki irradianza totala: Lurraren
 atmosferara iristen den eguzki energia
 $G_s = 1373 \text{ W/m}^2$



12.6 – ERRADIAZIO ATMOSFERIKOA ETA EGUZKI-ERRADIAZIOA

ATMOSFERAREN ABSORTZIOA

Eguzki-erradiazioak atmosfera zeharkatzean nabarmen *moteltzen da*
 Atmosferaren %99 lurrazaleetik 30 km-ko distantziaren barruan dago

O_2 : absortzioa $\lambda = 0.76 \mu\text{m}$

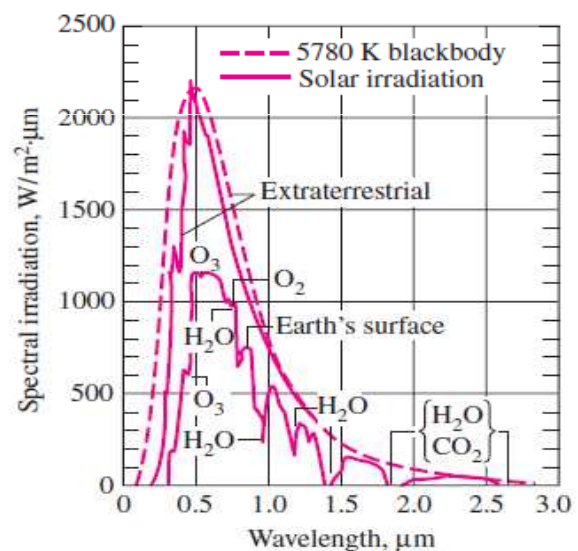
O_3 (ozonoa): absortzioa $\lambda = 0.30 \mu\text{m}$ (ultramorea)

H_2O y CO_2 : absortzioa $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ (infragorri)

Lurraren gainazalean

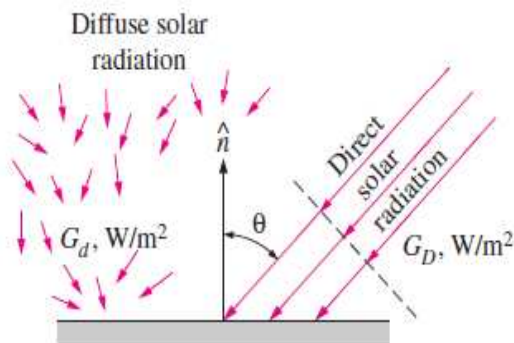
Eguzki-energia : 950 W/m^2

Uhin luzeera: $0.3\text{-}2.5 \mu\text{m}$



Eguzki Erradiazio Zuzena G_D : Lurrazalera atmosferak dispersatu edo xurgatu gabe iristen den eguzki-erradiazioaren zatia.

Eguzki Erradiazio Difusoa G_d : erradiazio barreiatua lurrazalera modu uniformean iristen da norabide guztietatik



$$G_{solar} = G_D \cos \theta + G_d \quad [W / m^2]$$

θ : intzidentzia angelua

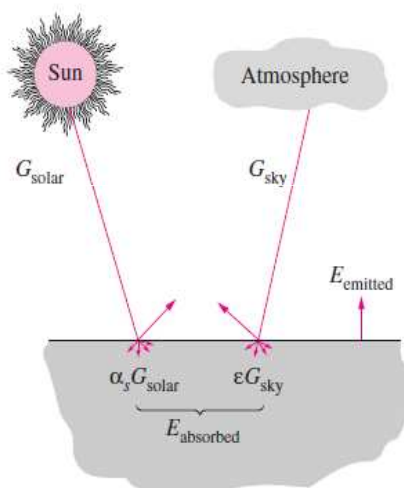
12.6 – ERRADIAZIO ATMOSFERIKOA ETA EGUZKI-ERRADIAZIOA

32/34

ATMOSFERAKO IGORPENAK

H_2O eta CO_2 : igorri $\lambda = 5-8 \mu m$

Zeru tenperatura eraginkorra (T_{sky}) : baldintza atmosferikoen araberakoa da 230-285 K



$$G_{sky} = \sigma T_{sky}^4 \quad [W / m^2]$$

Kirchhoffen legea: $\epsilon = \alpha$

$$E_{sky,abs} = \alpha G_{sky} = \alpha \sigma T_{sky}^4 = \epsilon \sigma T_{sky}^4 \quad [W / m^2]$$

$$q_{net,rad} = \sum E_{abs} - \sum E_{emitted}$$

$$q_{net,rad} = E_{solar,abs} + E_{sky,abs} - E_{emit}$$

$$q_{net,rad} = \alpha_s G_{solar} + \epsilon \sigma T_{sky}^4 - \epsilon \sigma T_s^4$$

$$q_{net,rad} = \alpha_s G_{solar} + \epsilon \sigma (T_{sky}^4 - T_s^4) \quad [W / m^2]$$

Comparison of the solar absorptivity α_s of some surfaces with their emissivity ε at room temperature

Surface	α_s	ε
Aluminum		
Polished	0.09	0.03
Anodized	0.14	0.84
Foil	0.15	0.05
Copper		
Polished	0.18	0.03
Tarnished	0.65	0.75
Stainless steel		
Polished	0.37	0.60
Dull	0.50	0.21
Plated metals		
Black nickel oxide	0.92	0.08
Black chrome	0.87	0.09
Concrete	0.60	0.88
White marble	0.46	0.95
Red brick	0.63	0.93
Asphalt	0.90	0.90
Black paint	0.97	0.97
White paint	0.14	0.93
Snow	0.28	0.97
Human skin (caucasian)	0.62	0.97



Eguzki kolektoreak ze materialarekin egiten dira?

Eta kamioi hoztaileen kanpo-gainazalak?



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

TERMOTEKANIA



Makina eta Motor
Termikoak Saila
Departamento de Máquinas
y Motores Térmicos

12.7 – IRAKATSIKO EZ DIREN ATALAK

34/34



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

TERMOTEKANIA



Makina eta Motor
Termikoak Saila
Departamento de Máquinas
y Motores Térmicos