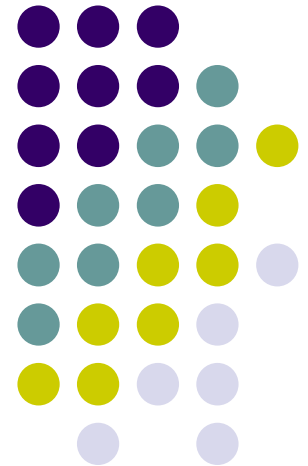
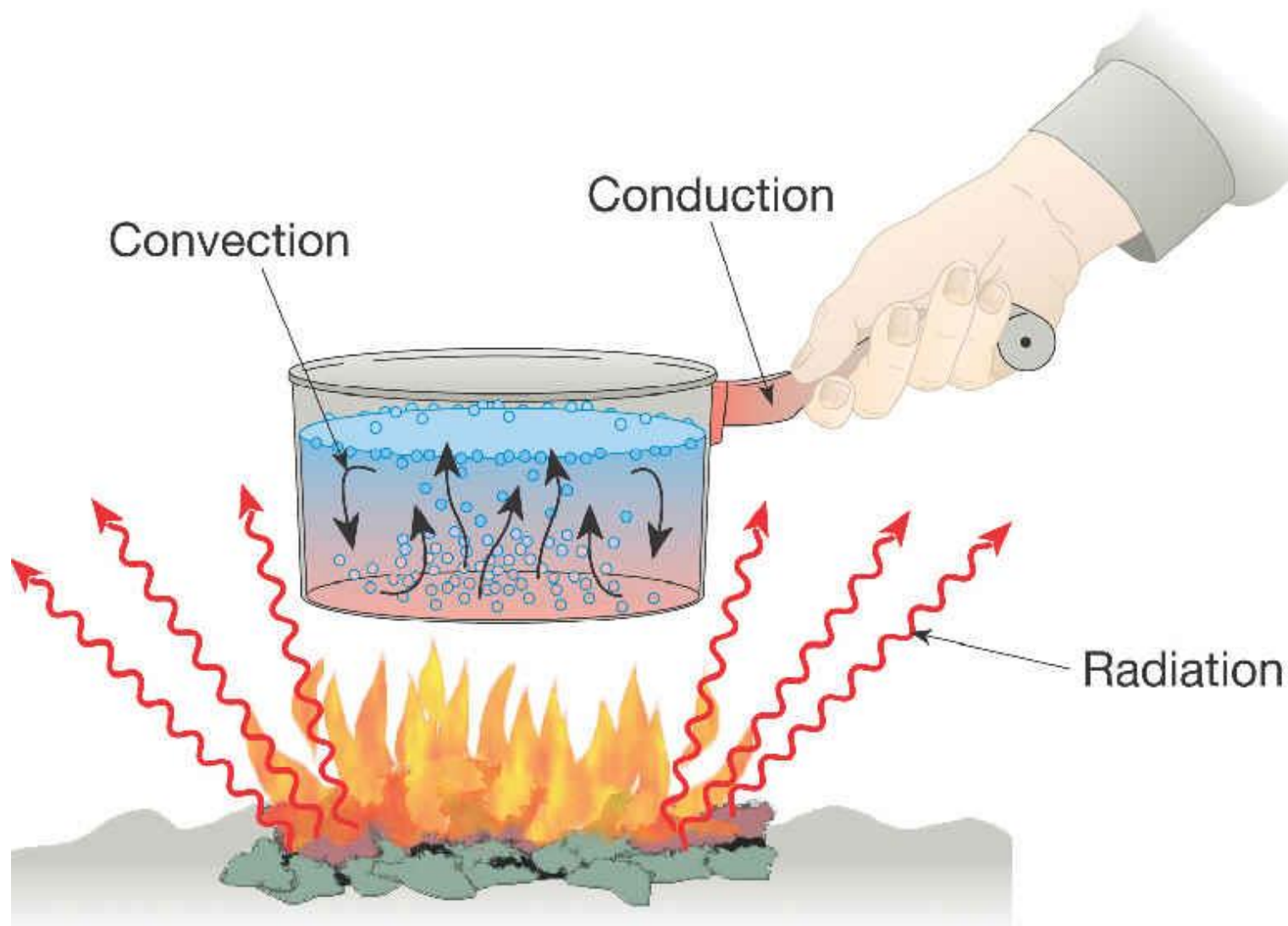


# PRELAZ TOPLOTE – ZRAČENJE (RADIJACIJA)

---



# Prostiranje toplote

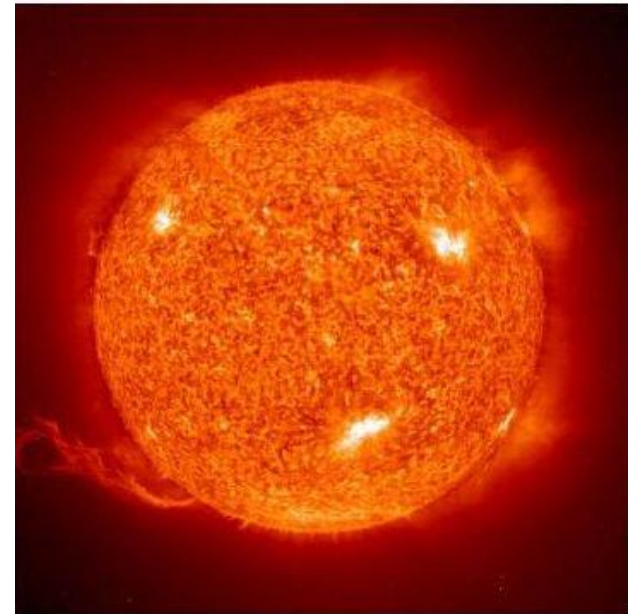




# Zračenje (radijacija)

Zračenje uopšte, pa i zračenje toplote rezultat je unutar atomskih promena, koje se ispoljavaju u raznim oblicima energije – obično, toplotne energije.

**Zračenje** je proces prostiranja toplote koji se dešava između dva tela koja se nalaze na različitim temperaturama. Svako telo emituje toplotno zračenje, jer se nalazi na nekoj temperaturi.



# Elektromagnetni talasi



Zračenje se prostire u vidu elektromagnetnih talasa, čija je brzina prostiranja:

$$c = \lambda * \nu$$

$\lambda$  – talasna dužina

$\nu$  - frekvencija

U vakuumu svi zraci imaju istu brzinu prostiranja:  
 $c=3*10^8$  m/s.

Samo zračenjem toplota se može prenositi kroz prazan prostor, vakuum, odnosno sa jednog tela na drugo bez direktnog kontakta.

Ovakvim vidom prostiranja toplote se prenosi toplota sa Sunca do Zemlje.

# Bilans energije zračenja



Svako telo date temperature zrači (emituje) energiju, pored toga ono apsorbuje ( $E_a$ ), reflektuje ( $E_r$ ) ili propušta ( $E_d$ ) energiju dozračenu od drugih tela:

$$E = E_r + E_a + E_d (W)$$

$$1 = (E_r/E) + (E_a/E) + (E_d/E) = r + a + d$$

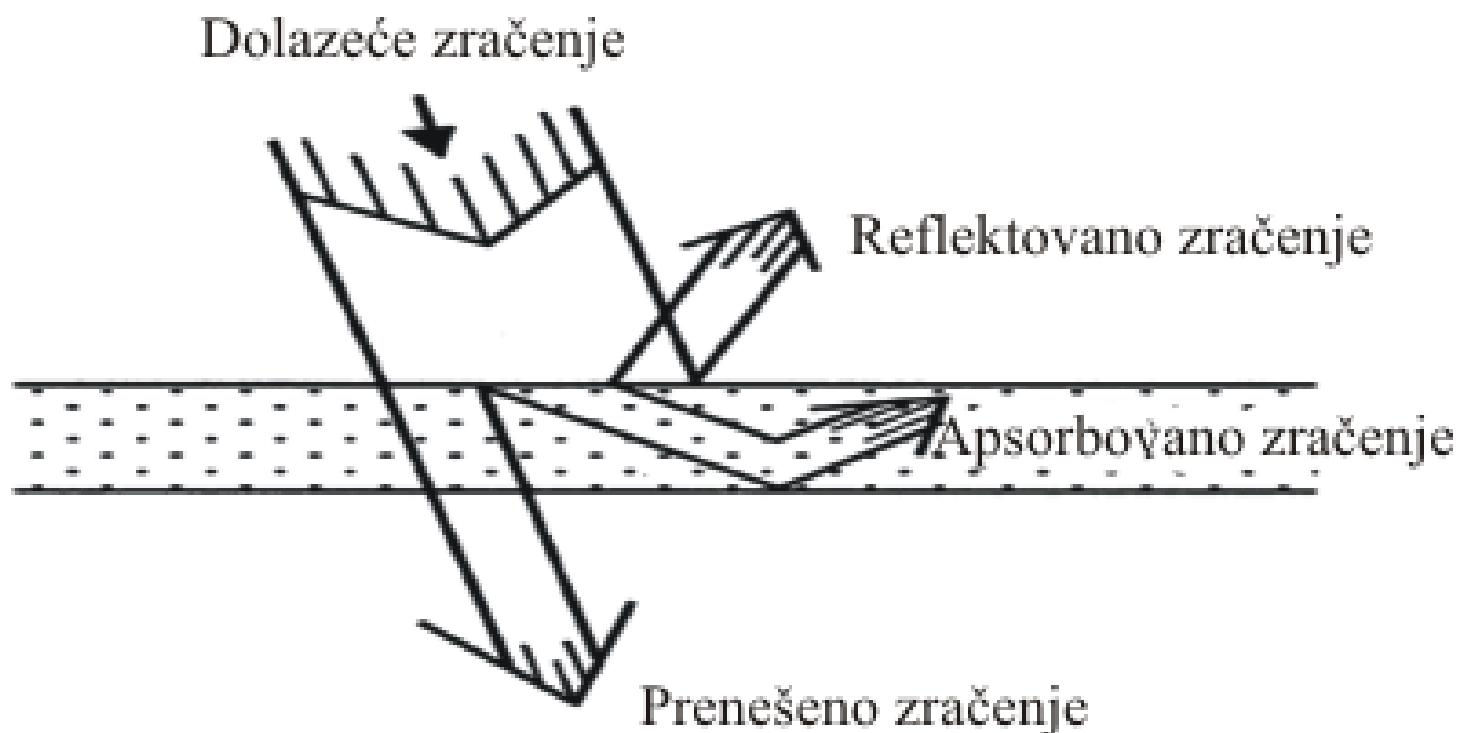
$$r + a + d = 1$$

r-koeficijent refleksije

a-koeficijent apsorpcije

d-koeficijent prozirnosti (dijatermije)

# Bilans energije zračenja



# Apsolutno crno telo



Čvrsta i tečna tela su praktično neprozračna za toplotne zrake, pa je za njih  $d=0$ :

$$r + a = 1$$

Telo koje je sposobno da potpuno upije svu dozračenu energiju, (koeficijent apsorpcije  $a=1$ , koeficijent refleksije  $r=0$ ) naziva se **apsolutno crno telo**.

Kada bi koeficijent refleksije  $r=1$ , telo bi potpuno odbijalo (reflektovalo) dozračenu energiju (koeficijent apsorpcije  $a=0$ ) – **ogledalasto (apsolutno belo) telo**.

Apsolutni crno (odnosno belo) telo u prirodi ne postoji, već postoji **sivo (realno telo)** –  $0 < a < 1$ ,  $0 < r < 1$ .

# Koeficijent zračenja



Odnos toplotne energije  $E_s$  koju zrači neko stvarno telo na nekoj temperaturi i toplotne energije apsolutno crnog tela  $E_c$  na istoj toj temperaturi se naziva **koeficijent zračenja** odnosno stepen crnoće  $\varepsilon$  i dat izrazom:

$$\varepsilon = \frac{E_s}{E_c} < 1$$



# Stefan - Boltzmanov zakon



Naučnici Stefan i Boltzman su dokazali da toplotna energija zračenja zavisi od temperature.

Energija koju 1 m<sup>2</sup> površine apsolutno crnog tela zrači u poluloptu prostora izrazili su u vidu jednačine – **Stefan-Boltzmanov zakon**:

$$E_c = \sigma_c T^4 = C_c * \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

***Zračenje crnog tela proporcionalno četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature.***

$\sigma_c$  – koeficijent zračenja apsolutno crnog tela

$C_c$  – konstanta zračenja apsolutno crnog tela

$\sigma_c = 5,76 \cdot 10^{-11}$  (kW/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

$C_c = 5,76 \cdot 10^{-3}$  (kW/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)



# Stefan - Boltzmanov zakon

Specifični toplotni protok koji se razmeni između dva tela (1 i 2) apsolutnih temperatura  $T_1$  i  $T_2$ :

$$\dot{q} = C_{12} * \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$C_{12} = C$  – efektivna konstanta zračenja

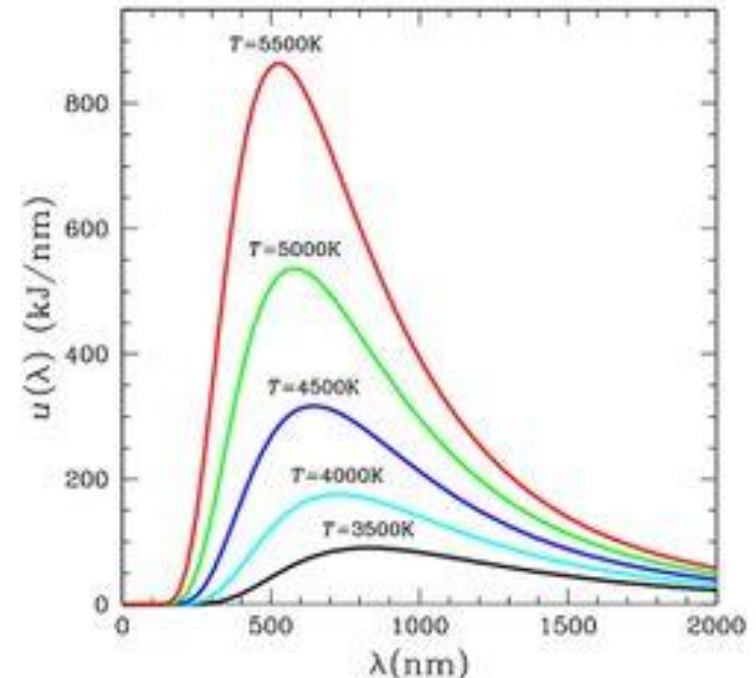
# Plankov zakon



Izučavajući fenomen zračenja, Max Planck je postavio poznatu teoriju kvanta i izračunao intenzitet zračenja apsolutno crnog tela.

Na osnovu maksimuma intenziteta i Planckovog zakona moguće je izračunati temperature užarenih dalekih tela (zvezda) u svemiru.

Tako je izračunata temperatura Sunca (5000 – 6000 K).



*Zavisnost intenziteta zračenja apsolutno crnog tela od talasne dužine i temperature*

# Kirchoffov zakon



Kirchoff je istraživao vezu između emisione i apsorpcione sposobnosti tela. On je pronašao da je odnos konstante zračenja i koeficijenta apsorpcije uvek stalna veličina, jednaka konstanti zračenja apsolutno crnog tela  $C_c = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$ .

$$C/a = C_1/a_1 = C_2/a_2 = \dots = C_c/a_c = C_c$$

***Stepen crnoće nekog tela jednak je pri ravnotežnom zračenju koeficijentu apsorpcije toga tela (po brojnoj vrednosti).***

$$\varepsilon = \alpha_s$$

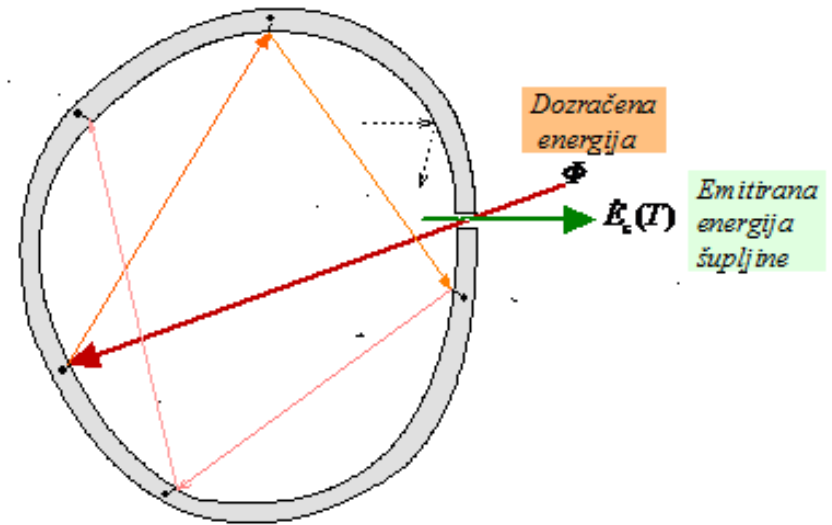
# Kirchoffov zakon



Emisiona sposobnost nekog stvranog tela uvek je manja od emisione sposobnosti apsolutno crnog tela.

Emisiona sposobnost tela će biti utoliko veća ukoliko je veća njegova apsorpciona sposobnost.

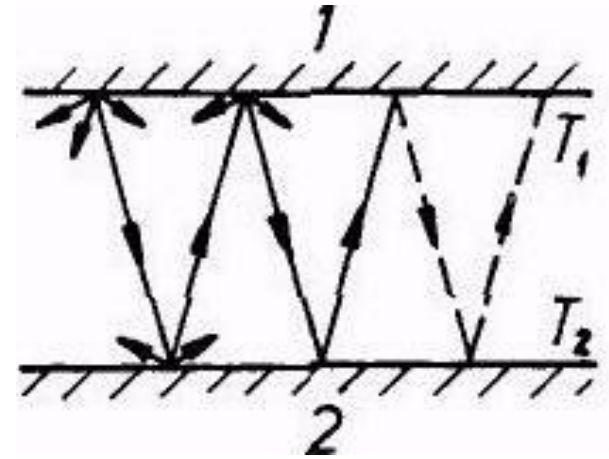
Ova činjenica omogućava da se modelira zračenje crnog tela, kao zračenje iz šupljine, koja, s obzirom na to da u potpunosti apsorbuje sve toplotne zrake, istovremeno ih idealno i emituje



# Zračenje između dve paralelne ploče



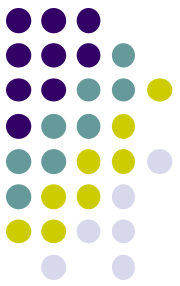
Ako posmatramo razmenu toplote zračenjem između dve paralelne ploče i neka površina 1 ima temperaturu  $T_1$ , konstantu zračenja  $C_1$  i koeficijent apsorpcije  $a_1$ , a površina 2 ima analogno  $T_2$ ,  $C_2$  i  $a_2$ , onda će površina 1 zračiti energiju  $E_1$  i istovremeno reflektovati  $(1-a_1)E_{2ei}$  energije dozračene od površine 2 i analogno to važi i za površinu 2, pa se ukupni efektni fluksevi energije koje odaju površine 1 i 2 određeni izrazima:



$$E_{3ef} = E_1 + (1 + a_1)E_{2ef}$$

$$E_{2ef} = E_2 + (1 + a_2)E_{3ef}$$

# Zračenje između dve paralelne ploče



$$E_{3ef} = \frac{E_1 + E_2 - a_1 E_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2} \quad E_{2ef} = \frac{E_1 + E_2 - a_2 E_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}$$

Ako pretpostavimo da je  $T_1 > T_2$  onda je:

$$E = E_{3ef} - E_{2ef}$$

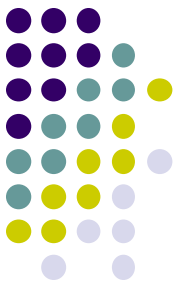
Ukupna energija koja se razmeni zračenjem između dve paralelne ploče:

$$E = \frac{a_2 E_1 - a_1 E_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}$$

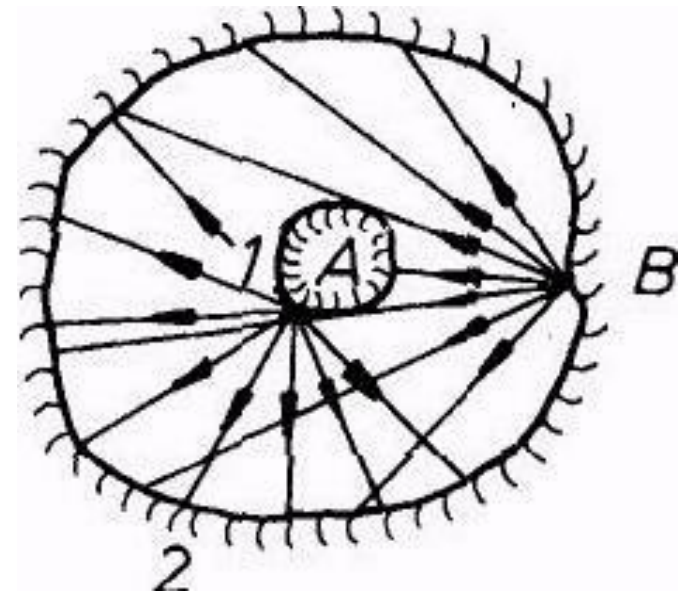
Kada primenimo Stefan-Boltzmanov zakon, dobićemo efektivnu konstantu zračenja – C:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_e}}$$

# Zračenje između dve površine od kojih je jedna sa svih strana obuhvaćena drugom



Između površina tela 1 i 2 razmenjuje se toplota zračenjem. Površina tela 2 sa svih strana obuhvata površinu tela 1 pa je površina tela 1 manja od površine tela 2. Primer: jedna cev u prostranom kanalu. Jedan deo energije koju zrači površina 2 promiče pored površine 1 i pada na drugi deo površine 2. Površina 1 je uvek konveksna (ispupčena), pa zraci sa bilo koje tačke površine 1 stižu na površinu 2. Za površinu 2 postavlja se uslov da ne sme biti većih udubljenja ni izbočina. Neka je površina 1 označena kao  $A_1$ , a površina 2 označena kao  $A_2$ .



$$C = \frac{C_e}{\frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{C_2} - 1 \right)}$$