

ТЕРМОЕНЕРГЕТИКА

Пrenos toplote - radijacija



Zračenje toplote (radijacija)

Zračenje toplote (radijacija) je oblik prenosa toplote, kojom se toplota od površine tela u obliku **elektromagnetnih talasa** širi kroz prostor i koja se na površini drugog tela potpuno ili delimično pretvara u toplotu.

Svako telo čija je temperatura iznad apsolutne nule, može da emituje u okolni prostor elektromagnetne talase različite dužine.

Stoga, zračenje predstavlja beskontaktni vid razmene toplote između dva tela. Zračenje tela zavisi od njegove prirode, temperature i stanja površine.



Elektromagnetni talasi

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

$$c = \lambda \cdot \nu$$

c – brzina prostiranja

λ – talasna dužina

ν – frekvencija



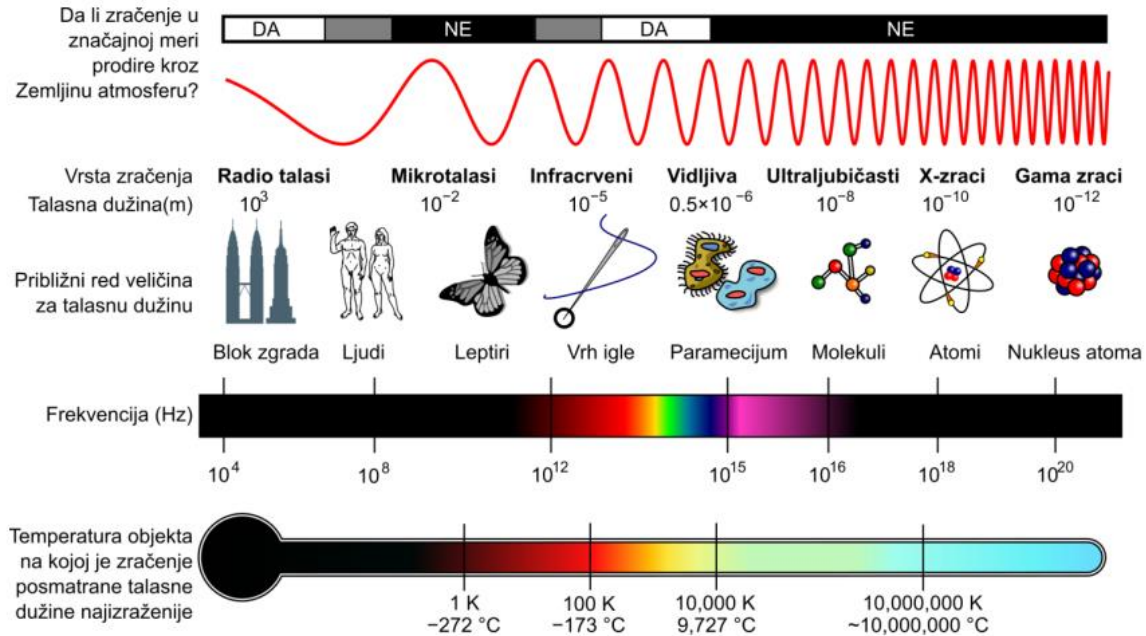
U vakuumu svi zraci imaju istu brzinu prostiranja: $c=3 \cdot 10^8$ m/s.

Samo zračenjem toplote 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.

Elektromagnetni talasi

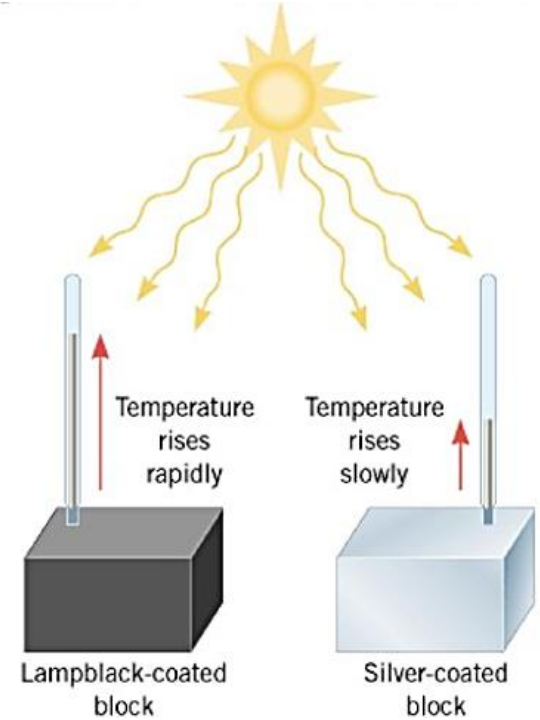
Telo zrači u celokupnom spektm talasnih dužina, $0 < \lambda < \infty$. Pritom se ukupno prenesena energija ne raspodeljuje jednolično na sve talasne dužine.



Emisiona moć

Telo više temperature emituje (odaje) infracrveno zračenje kao toplotni talas, koji može da apsorbuje (primi) drugo telo niže temperature i pri tome se zagreva.

Emisiona moć, E (W/m^2), predstavlja specifični toplotni protok koji se zračenjem emituje sa površine tela usled unutrašnjeg toplotnog kretanja.



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:

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

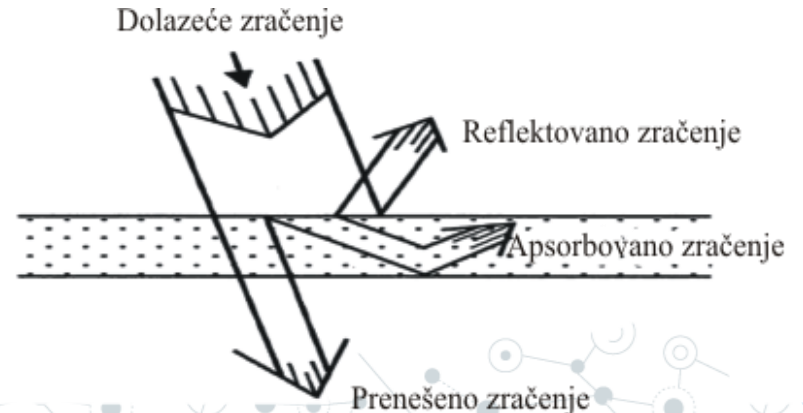
$$l = (E_r/E) + (E_a/E) + (E_d/E) = r + a + d$$

$$r + a + d = 1$$

r-koeficijent refleksije

a-koeficijent apsorpcije

d-koeficijent prozirnosti (dijatermije)



Bilans energije zračenja

Koeficijent apsorpcije (a) zavisi od vrste materijala, njegove temperature, talasne dužine zračenja, ali ne zavisi od intenziteta dozračene energije.

Koeficijent refleksije (r) zavisi od vrste materijala, svojstva njegove površine, ali i od vrste medija koji se graniči s površinom tela.

Koeficijent propusnosti (d) nekog tela zavisi od talasne dužine zračenja. Tako je, npr. staklo propusno za svetlosne zrake ($(\lambda = 0,4 \dots 0,8 \mu\text{m})$), dok je potpuno nepropusno za toplotne zrake ($(\lambda = 0,8 \dots 400 \mu\text{m})$). Ebonit, nasuprot tome, ne propušta svetlosne zrake, ali je potpuno prozračan za toplotne.

Apsolutno crno telo

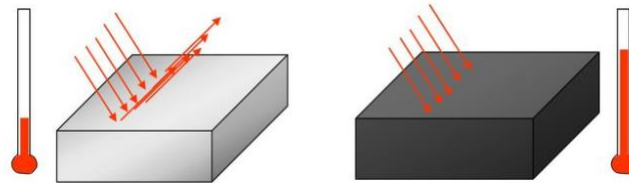
Čvrsta i tečna tela su većinom praktično neprozračna za toplotne zrake, pa je za njih $d=0$:

$$r + a = 1$$

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

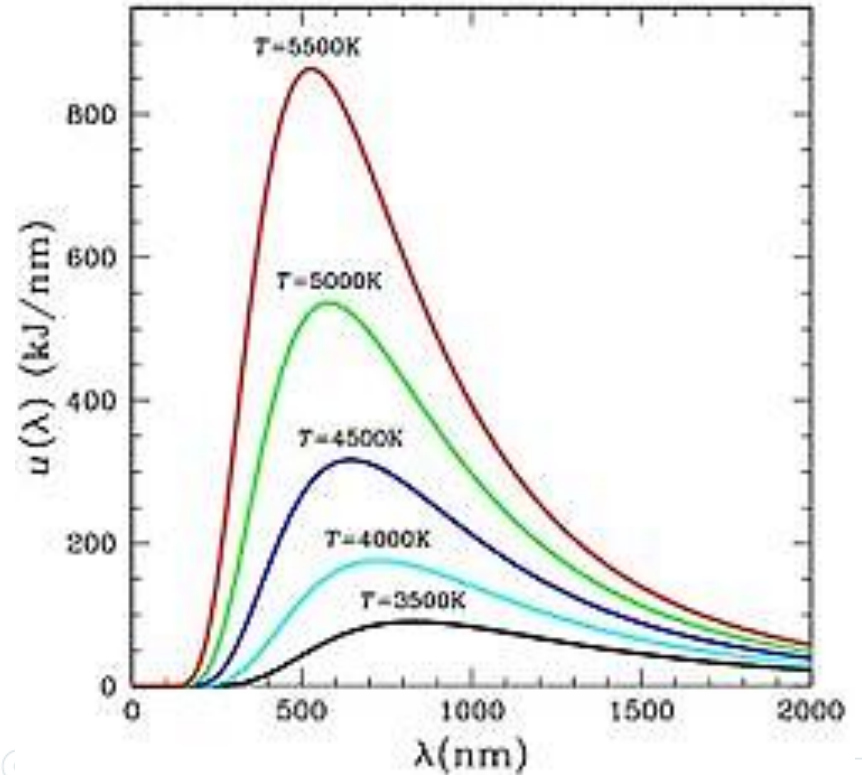
Kada bi koeficijent refleksije $r=1$, telo bi potpuno odbijalo (reflektovalo) dozačenu energiju (koeficijent apsorpcije $a=0$) – **ogledalasto (apsolutno belo) telo**.

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

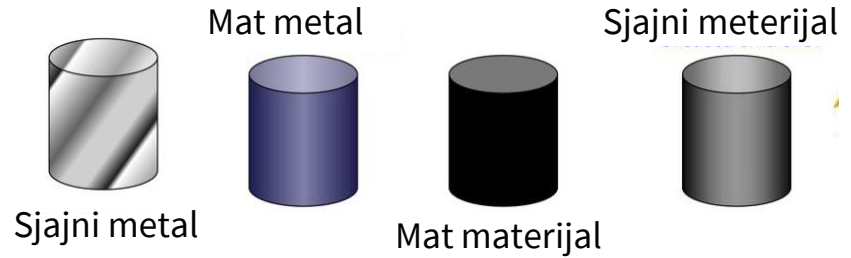


Apsolutno crno telo

Zavisnost intenziteta zračenja apsolutno crnog tela od talasne dužine i temperature



Apsolutno crno telo



Eksperiment emisije

Napunite četiri bureta toplom vodom. U kom će buratu biti najtoplija voda posle 10 minuta?

Sjajno metalno bure će biti najtoplije nakon 10 minuta jer njegova sjajna metalna površina reflektuje toplotu zračenja nazad u unutrašnjost bureta i manje se gubi u okolinu. Bure od mat crne materije biće najhladnije, jer najbolje emituje toplotu zračenja.

Eksperiment apsorpcije

Četiri bureta postaviti na isto rastojanje od izvora toplote. U kom će buretu voda biti najtoplija posle 10 minuta?

U buretu od mat materijala voda će biti najtoplija posle 10 minuta, jer njena površina najbolje apsorbuje toplotuzračenja. U buretu od sjajnog metala voda će biti najhladnija posle 10 minuta, jer najlošije upija toplotu zračenja.

Koeficijent zračenja (emisije)

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 (emisije)** odnosno stepen crnoće ε i dat izrazom:

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

Koeficijent zračenja (emisije)

Vrsta materijala	Stanje površine	Temperatura	Koeficijent zračenja ϵ
Aluminijum	SIROVI	0 °C - 200 °C	0,07 - 0,08
	visoko polirana	0 °C	0,04 - 0,05
	izvaljana	170 °C	0,039
		500 °C	0,05
	oksidirana	200 °C	0,11
		600 °C	0,19
	jako oksidirana	-	0,25
	hrapava	-	0,07
Čelik	folija, svetla strana	20 °C	0,036
	oksidirana zagrevanjem	260 °C - 540 °C	0,79
	jako oksidirana	40 °C - 540 °C	0,88
	ploča, hrapava, oksidirana	40 °C	0,94 - 0,97
	polirana	100 °C	0,07
		540 °C	0,1
		1100 °C	0,14
valjani čelični lim		0,56	

Štefan-Bolcmanov zakon

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

Energija koju 1 m² površine apsolutno crnog tela zrači u poluloptu prostora izrazili su u vidu jednačine – **Stefan-Boltzmanov zakon**:

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

Zračenje crnog tela proporcionalno četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature.

σ_c – koeficijent zračenja apsolutno crnog tela

C_c – konstanta zračenja apsolutno crnog tela

$\sigma_c = 5,76 \cdot 10^{-11}$ (kW/m²K⁴)

$C_c = 5,76 \cdot 10^{-3}$ (kW/m²K⁴)

Štefan-Bolcmanov zakon

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

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

C_{12} – efektivna konstanta zračenja

Kirchoff-ov 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 $C_c = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$.

$$\frac{E}{A} = C_c$$

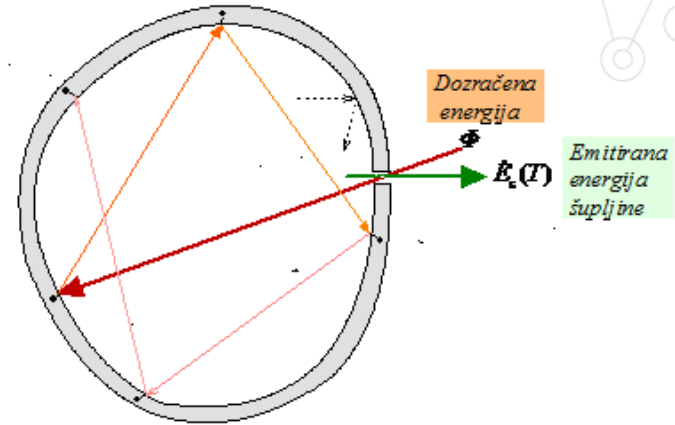
Stepen crnoće nekog tela jednak je pri ravnotežnom zračenju koeficijentu apsorpcije toga tela (po brojnoj vrednosti).

Kirchoff-ov zakon

Emisiona sposobnost nekog stvarnog 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.



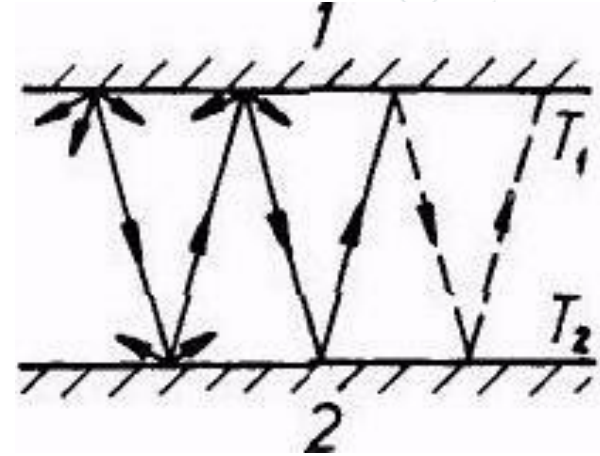
Zračenje između dve paralelne ploče

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.

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:



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

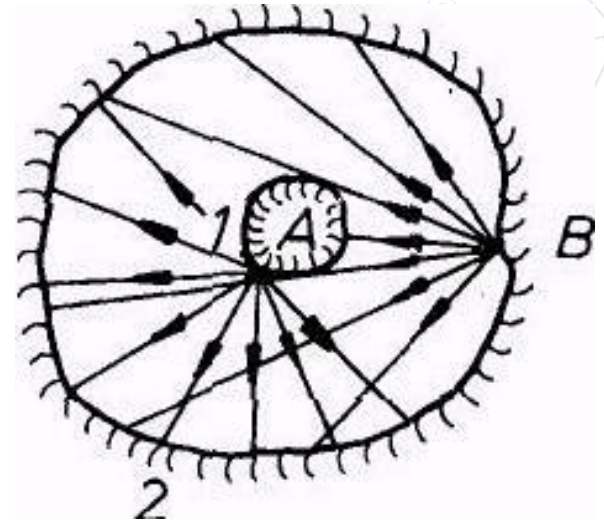
Zračenje između dve površine od kojih je jedna sa svih strana obuhvaćena drugom

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 .



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