

Prijenos topline

**FIZIKA
PSS-GRAD
27. studenog 2024.**



WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

konvekcija

kondukcija

radijacija

termik

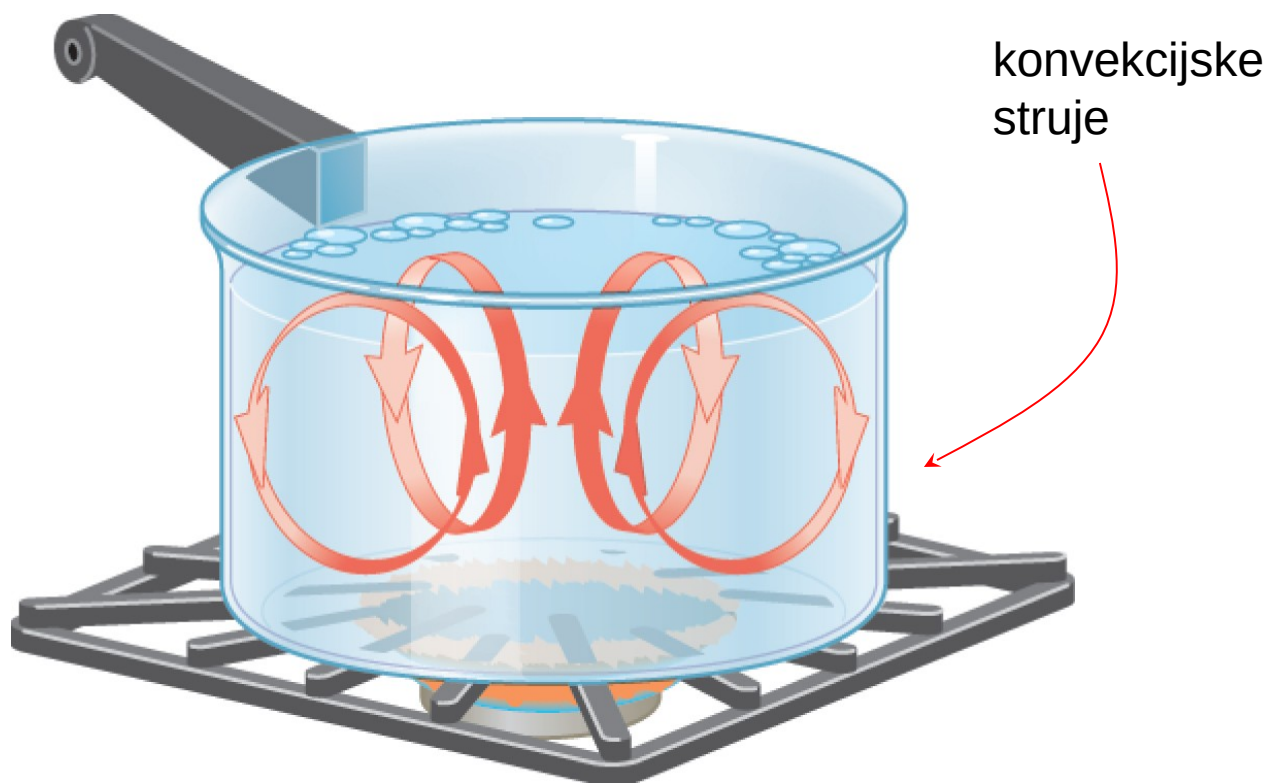
kiler

luminoznost



STRUJANJE (konvekcija)

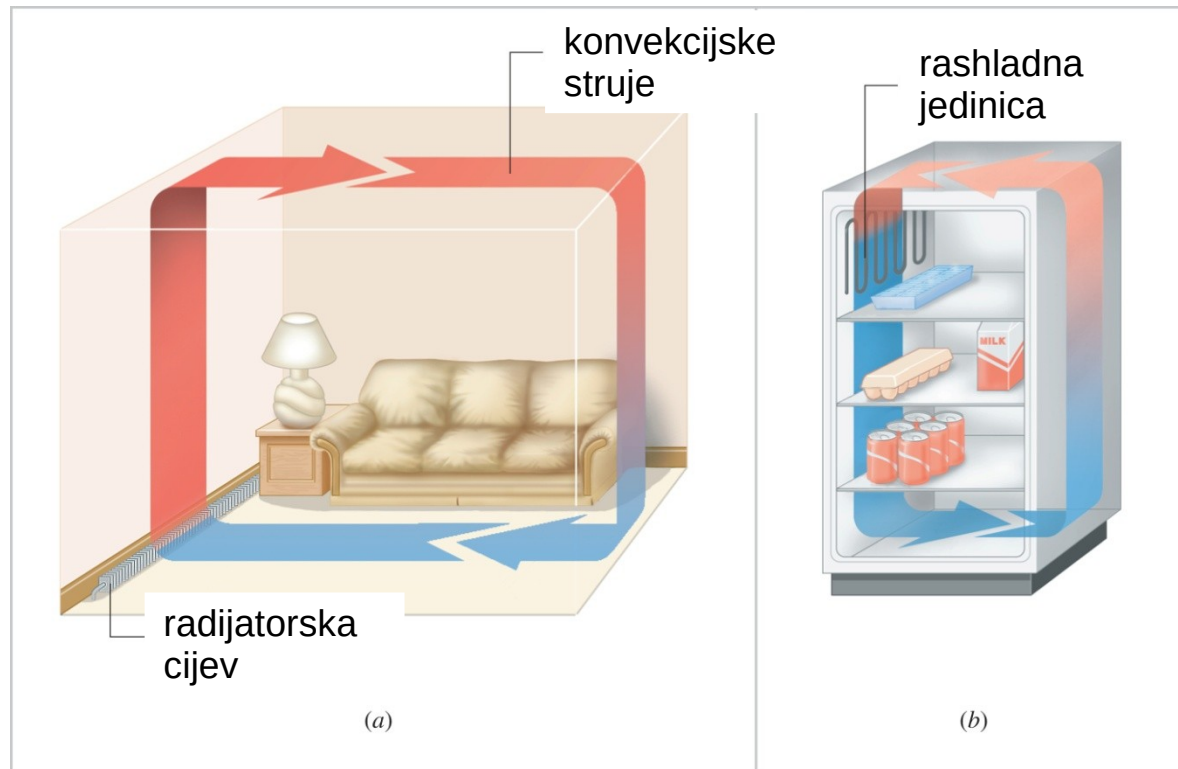
Strujanje je proces u kojem se toplina s jednog mjesta na drugo prenosi gibanjem dijelova fluida (zbog razlike gustoća toplijih i hladnijih dijelova).



konvekcija = prijenos topline strujanjem čestica fluida

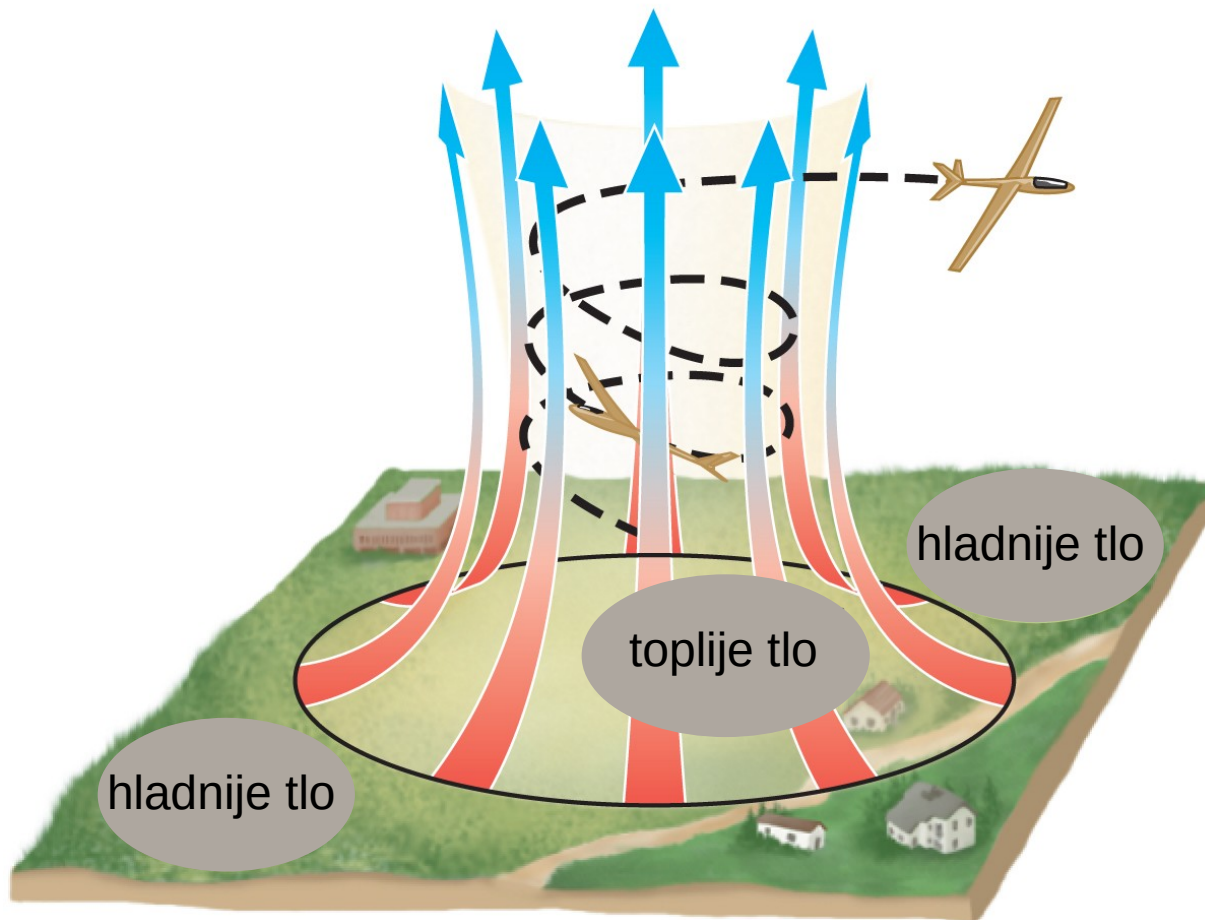
Konceptualni primjer 1 Radijatorske cijevi i hladnjaci

Radijatorske cijevi s vrućom vodom postavljene su na zid blizu poda. Rashladna jedinica hladnjaka postavljena je pri vrhu hladnjaka. Svaki od tih položaja odabran je tako da najviše pogoduje razvoju konvekcijskih struja. Objasnite.



13.1 Strujanje

Piloti jedrilica koriste *termike* za uspinjanje.

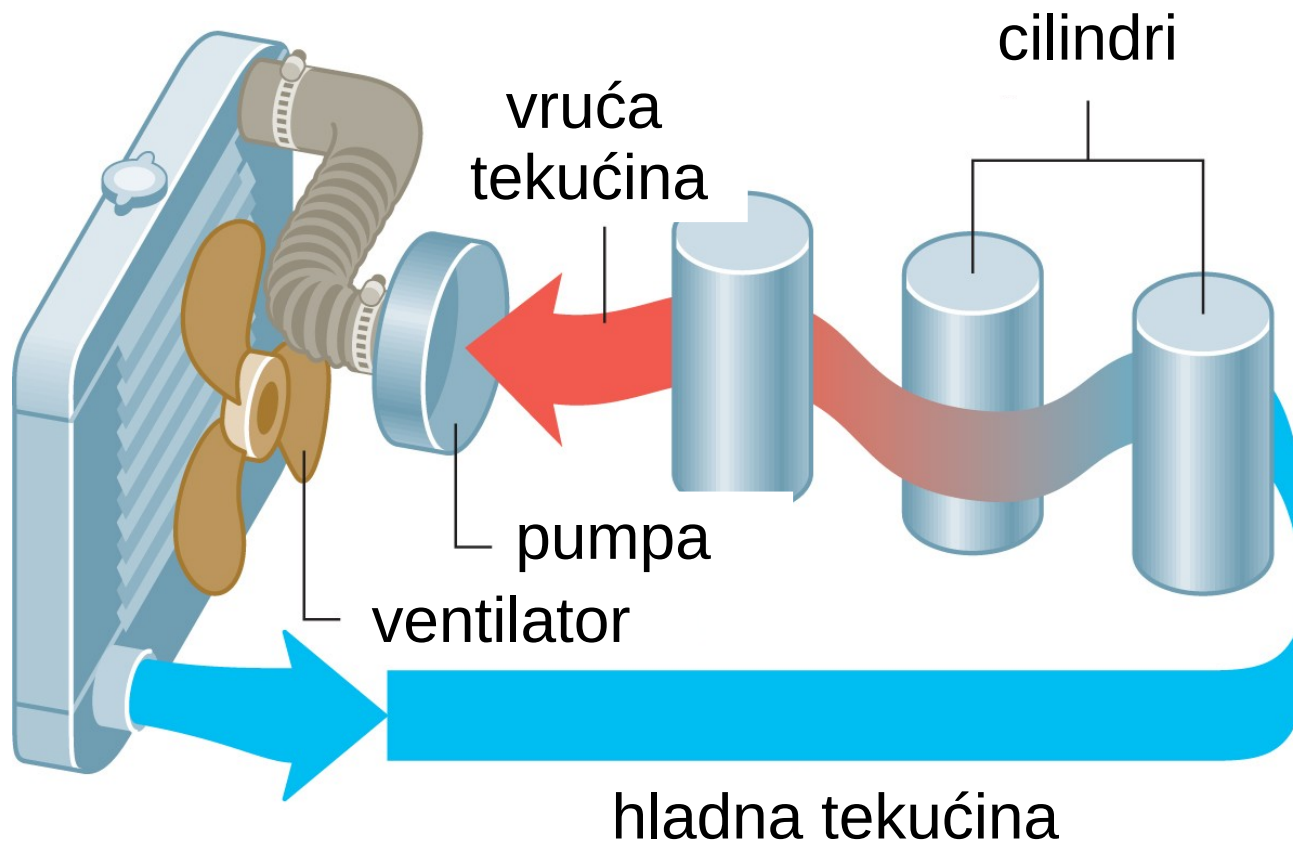


termik = stup uzlaznog strujanja zraka

WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Prisilno strujanje



kiler = hladnjak automobila (njem. Kühler, engl. chiller)

VOĐENJE (kondukcija)

Vođenje je proces u kojem se toplina s jednog mjesta na drugo prenosi kroz materijal, ali bez gibanja (makroskopskih) dijelova materijala.

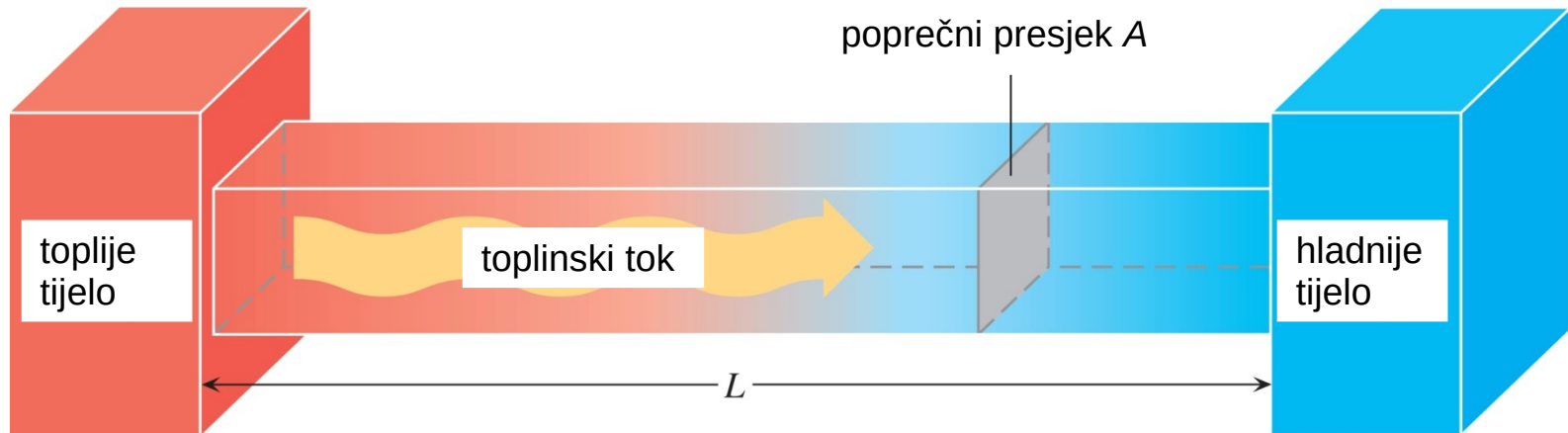
Jedan od mehanizama vođenja temelji se na titranju atoma ili molekula. Čestice u toplijem dijelu titraju intenzivnije nego čestice u hladnijem dijelu.

Objašnjeno međusobnim sudarima: molekule s većim energijama predaju dio svoje energije susjednim molekulama s manje energije.

Materijale koji dobro vode toplinu nazivamo **toplinskim vodičima**, a one koji slabo vode toplinu **toplinskim izolatorima**.

kondukcija = prijenos topline kroz medij bez transporta mase

13.2 Vođenje



Iznos topline Q koji se vođenjem prenese kroz šipku ovisi o nekoliko faktora:

1. trajanju vođenja
2. razlici temperatura krajeva šipke
3. poprečnom presjeku šipke
4. duljini šipke

VOĐENJE TOPLINE KROZ MATERIJAL

Toplina Q prenesena vođenjem za vrijeme t kroz šipku duljine L i poprečnog presjeka A je

$$Q = \frac{k A \Delta T t}{L}$$

toplinska vodljivost

Jedinica SI toplinske vodljivosti: $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$

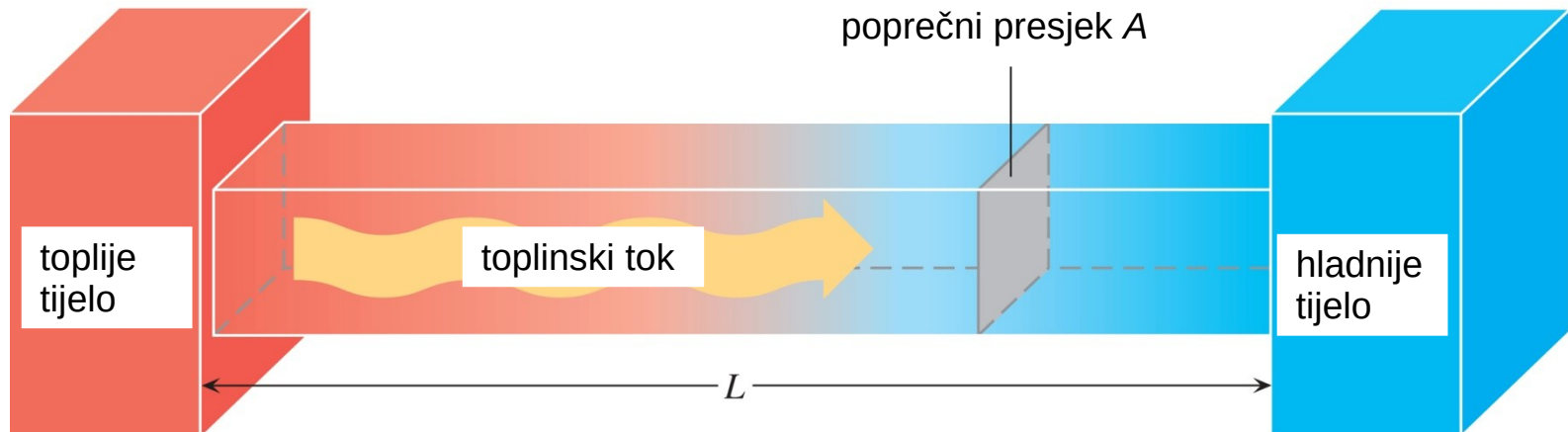


Table 13.1 Thermal Conductivities^a of Selected Materials

Substance	Thermal Conductivity, k [J/(s · m · °C)]
-----------	--

Metals

Aluminum	240
Brass	110
Copper	390
Iron	79
Lead	35
Silver	420
Steel (stainless)	14

Gases

Air	0.0256
Hydrogen (H ₂)	0.180
Nitrogen (N ₂)	0.0258
Oxygen (O ₂)	0.0265

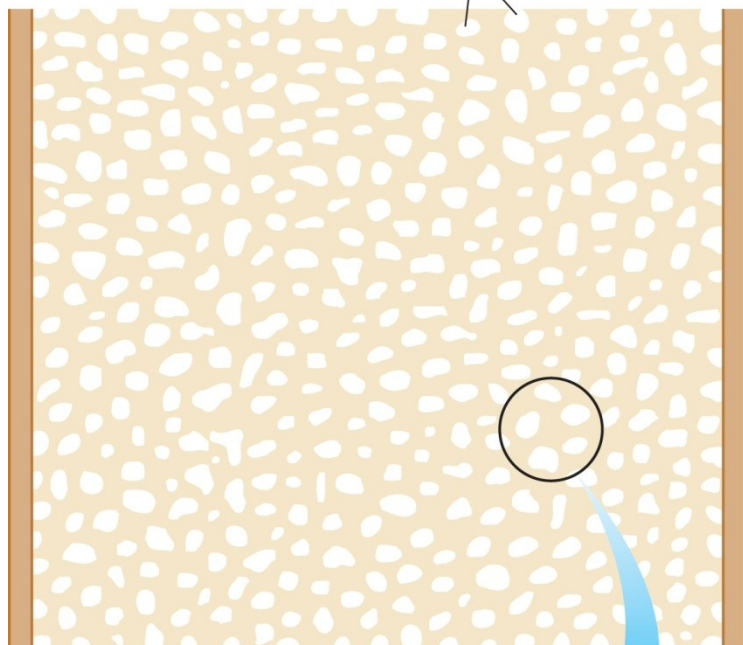
Other Materials

Asbestos	0.090
Body fat	0.20
Concrete	1.1
Diamond	2450
Glass	0.80
Goose down	0.025
Ice (0 °C)	2.2
Styrofoam	0.010
Water	0.60
Wood (oak)	0.15
Wool	0.040

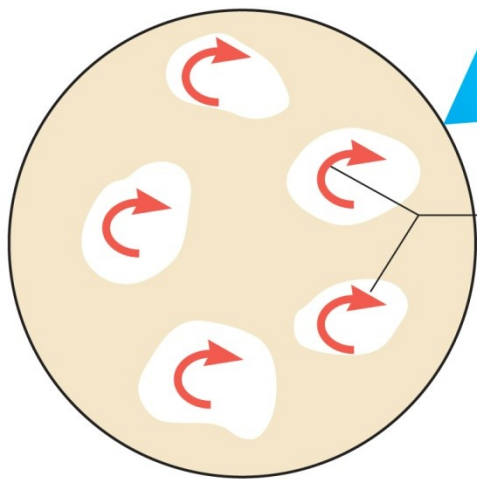
^aExcept as noted, the values pertain to temperatures near 20 °C.

13.2 Vođenje

zarobljeni zračni mjehurići



Šupljikavi materijali obično su izvrsni toplinski izolatori.



sićušne
konvekcijske
struje

WILEY

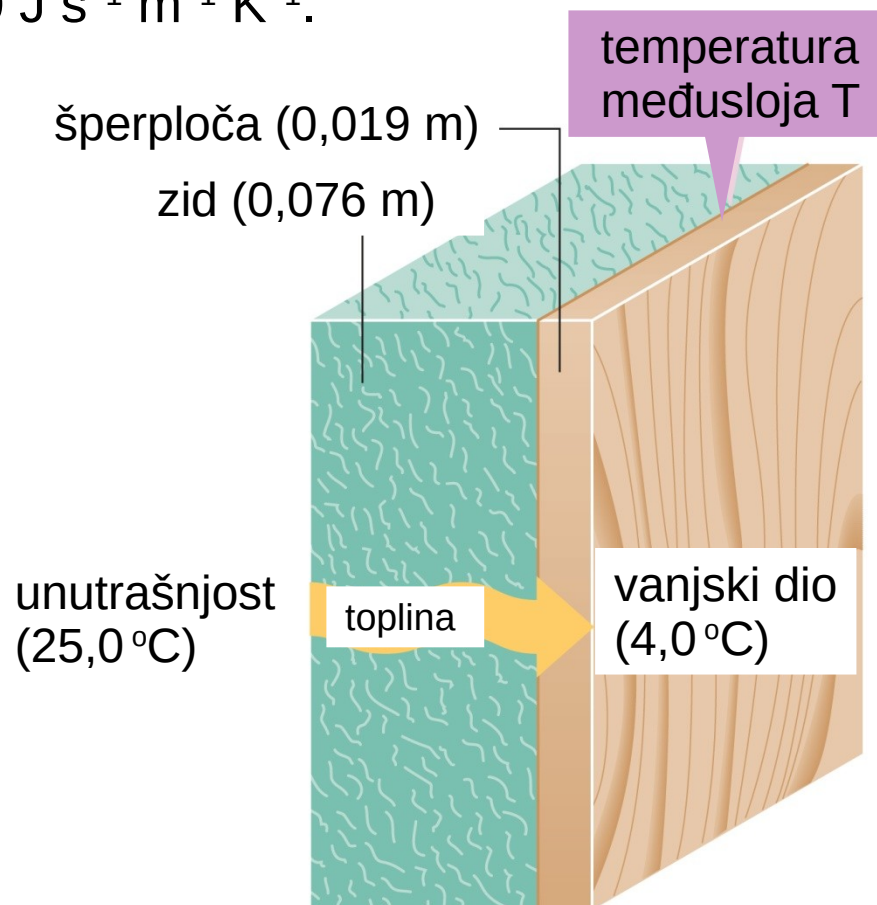
Primjer 4 Slojevita toplinska izolacija

Jedan je zid kuće pokriven šperpločom.

Toplinska vodljivost zida je $0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$,
a toplinska vodljivost šperploče $0,080 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Površina zida je 35 m^2 .

Kolika se toplina izgubi kroz taj zid
u jednome satu?



13.2 Vođenje

$$Q = Q_{\text{zid}} = Q_{\text{šperploča}}$$

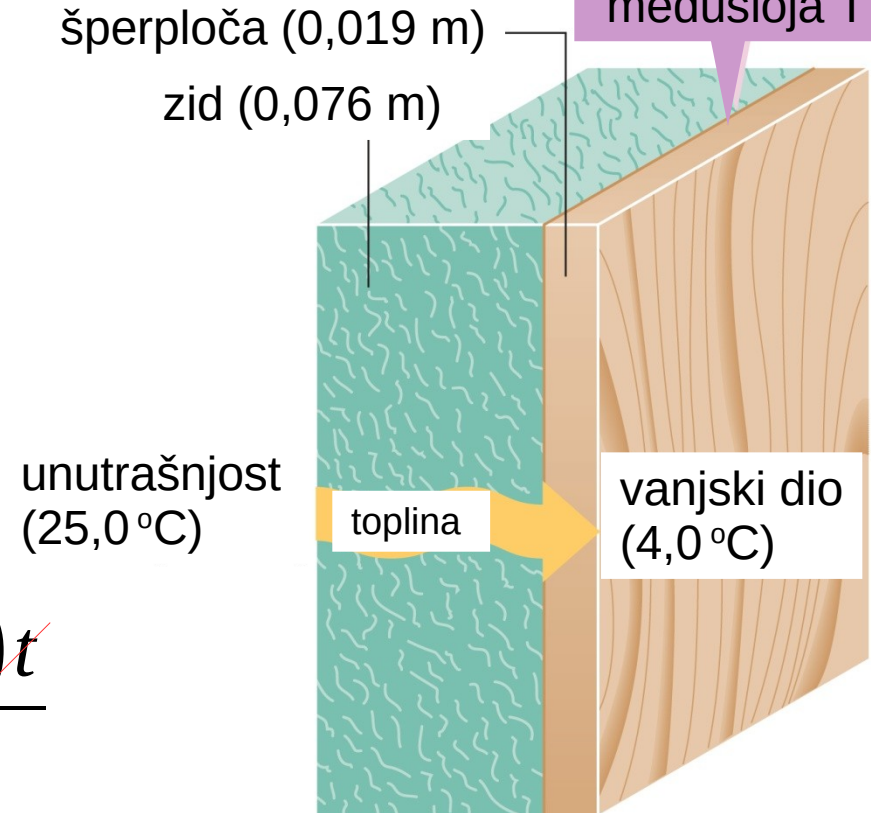
$$Q = Q_1 = Q_2$$

Najprije treba naći temperaturu međusloja.

$$\frac{k_1 A (T_1 - T) t}{L_1} = \frac{k_2 A (T - T_2) t}{L_2}$$

$$\frac{0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} (25,0^\circ \text{C} - T)}{0,076 \text{ m}} = \frac{0,080 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} (T - 4,0^\circ \text{C})}{0,019 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow T = 5,8^\circ \text{C}$$



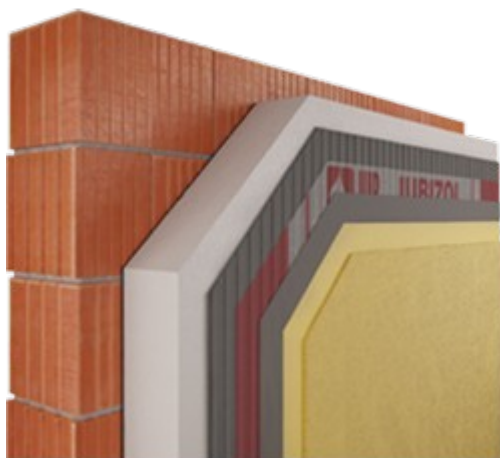
WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

13.2 Vođenje



izo-staklo



termo-fasada

šperploča (0,019 m)

zid (0,076 m)

temperatura
međusloja T

unutrašnjost
(25,0 °C)

toplina

vanjski dio
(4,0 °C)

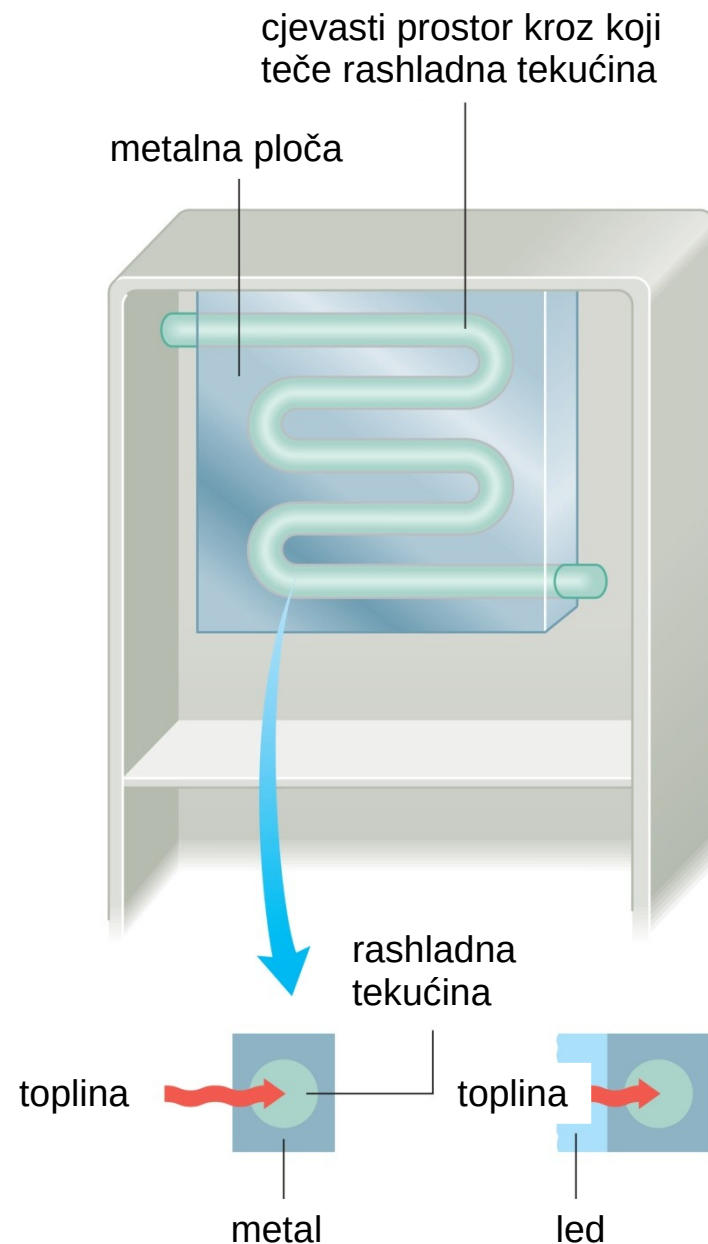
$$Q = \frac{0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 35 \text{ m}^2 \cdot (25,0^\circ \text{C} - 5,8^\circ \text{C}) \cdot 3600 \text{ s}}{0,076 \text{ m}}$$

$$Q = 9,5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

WILEY

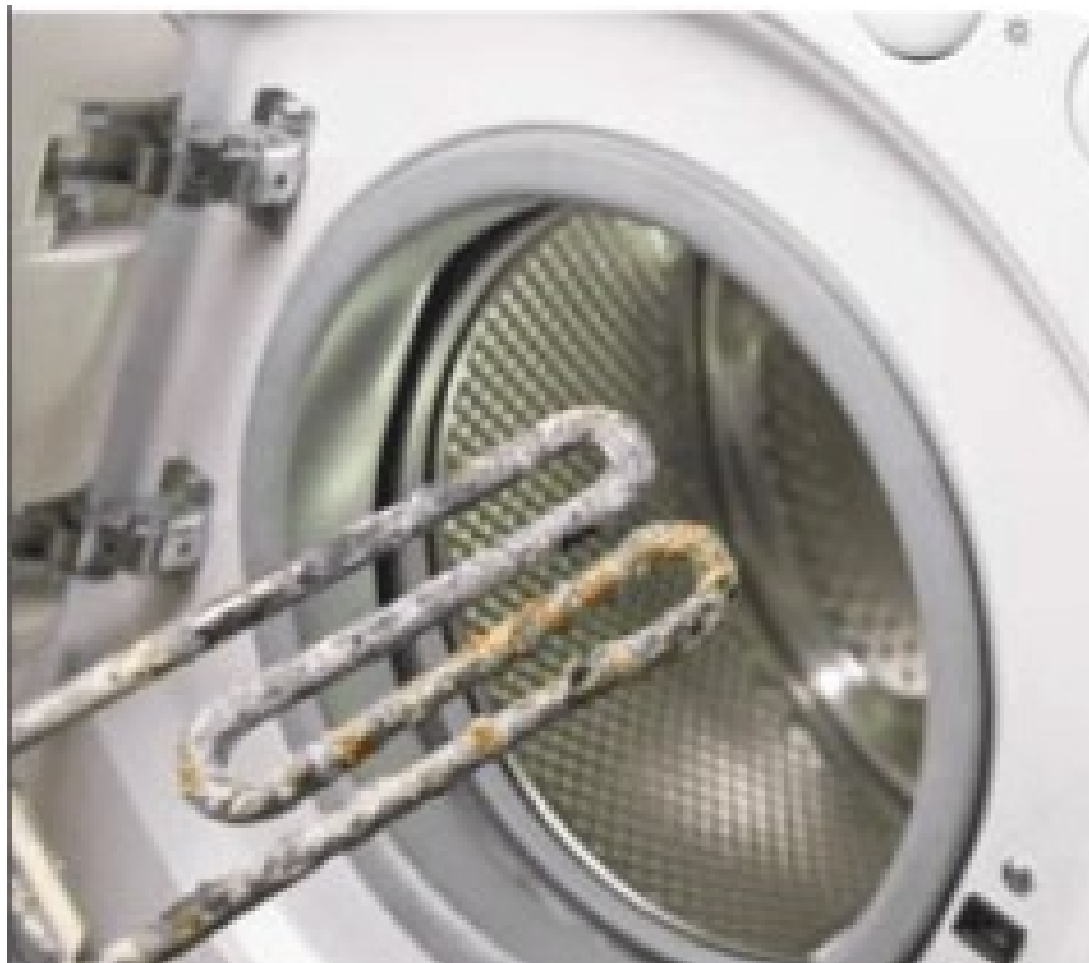
Konceptualni primjer 5 Zaleđeni hladnjak

Toplina se u hladnjaku odvodi hladnom rashladnom tekućinom koja cirkulira kroz cjevasti prostor u metalnoj ploči. Bi li ploča trebala biti aluminijska ili čelična? Hoće li sustav bolje ili lošije raditi kad je prekriven slojem leda?



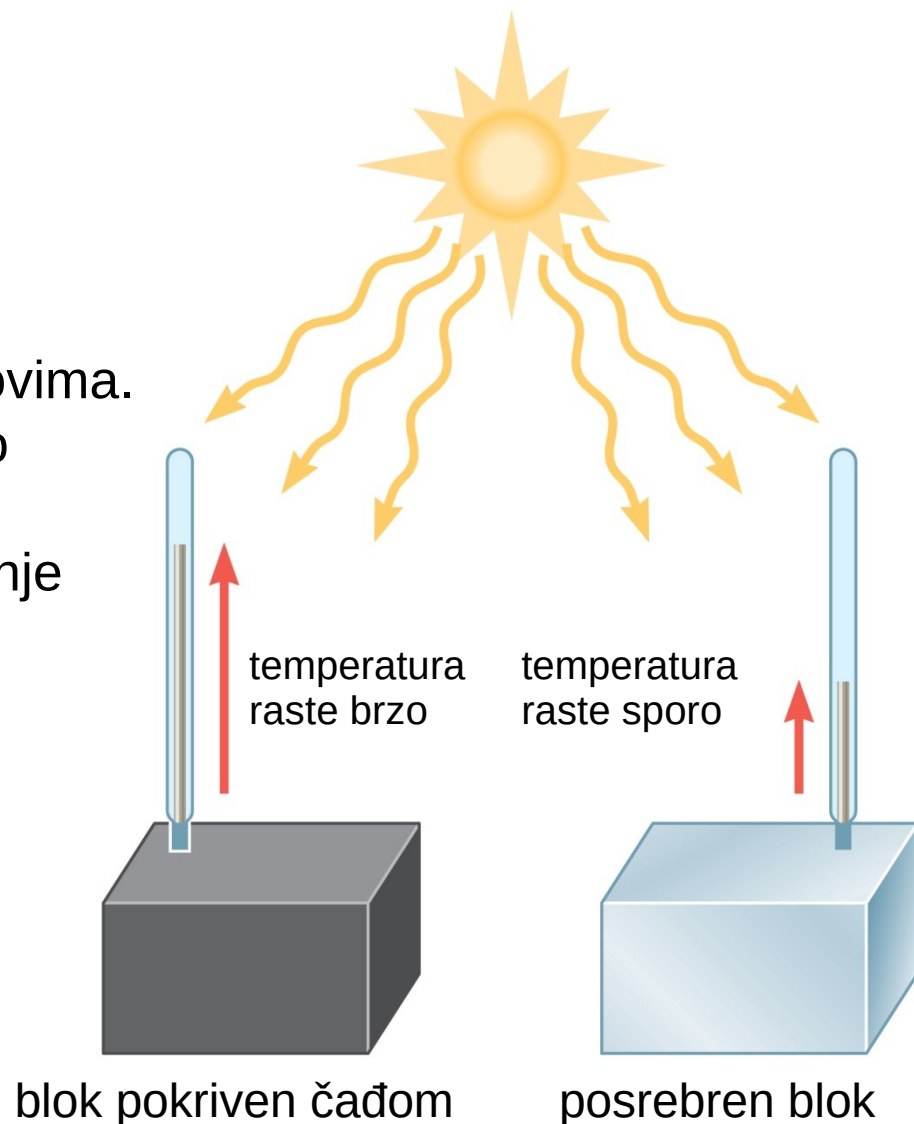
Najčešći kvar perilice rublja

Zašto “pregori” grijač perilice?



ZRAČENJE (radijacija)

Zračenje je proces u kojem se toplina (openito, energija) s jednog mjesta na drugo prenosi elektromagnetskim valovima. Materijal koji je dobar apsorber ujedno je i dobar emiter. Materijal koji potpuno apsorbira zračenje nazivamo **savršenim crnim tijelom**.



radijacija = prijenos topline kroz prostor elektromagnetskim valovima

13.3 Zračenje

Stupanj emisije e je bezdimenzijski broj između nula i jedan. To je omjer energije koju tijelo emitira i energije koju bi tijelo emitiralo da je savršeni emiter.

STEFAN-BOLTZMANNOV ZAKON ZRAČENJA

Energija Q koju tijelo (temperature T , površine A i stupnja emisije e) emitira za vrijeme t dana je izrazom

$$Q = e \sigma T^4 A t$$


Stefan-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

$$L = \frac{Q}{t} = e \sigma T^4 A$$

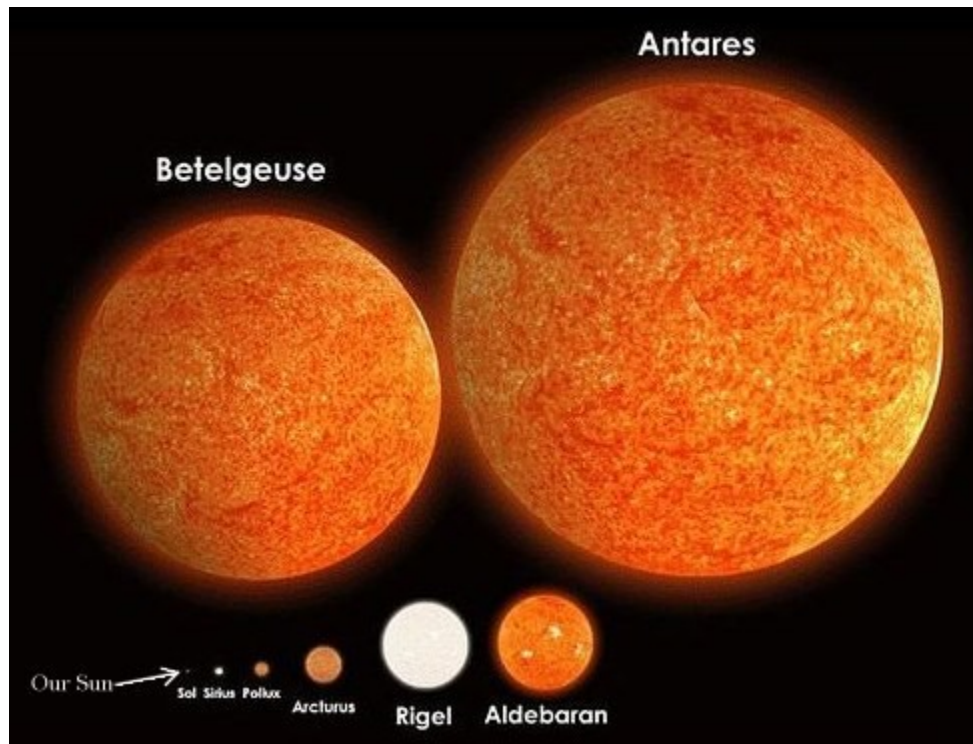
luminoznost = snaga zračenja kozmičkog izvora

WILEY

Primjer 6 Zvijezda superdiv

Superdivovska zvijezda Betelgeuse ima površinsku temperaturu oko 2900 K, a snaga kojom zrači je oko $4 \cdot 10^{30}$ W.

Odredite polumjer te zvijezde uz pretpostavku da je kugla i savršeni emiter.



$$Q = e \sigma T^4 A t$$

$$4 r^2 \pi$$

$$Q = e \sigma T^4 \cdot 4 r^2 \pi t \quad P = \frac{Q}{t} \quad e = 1$$

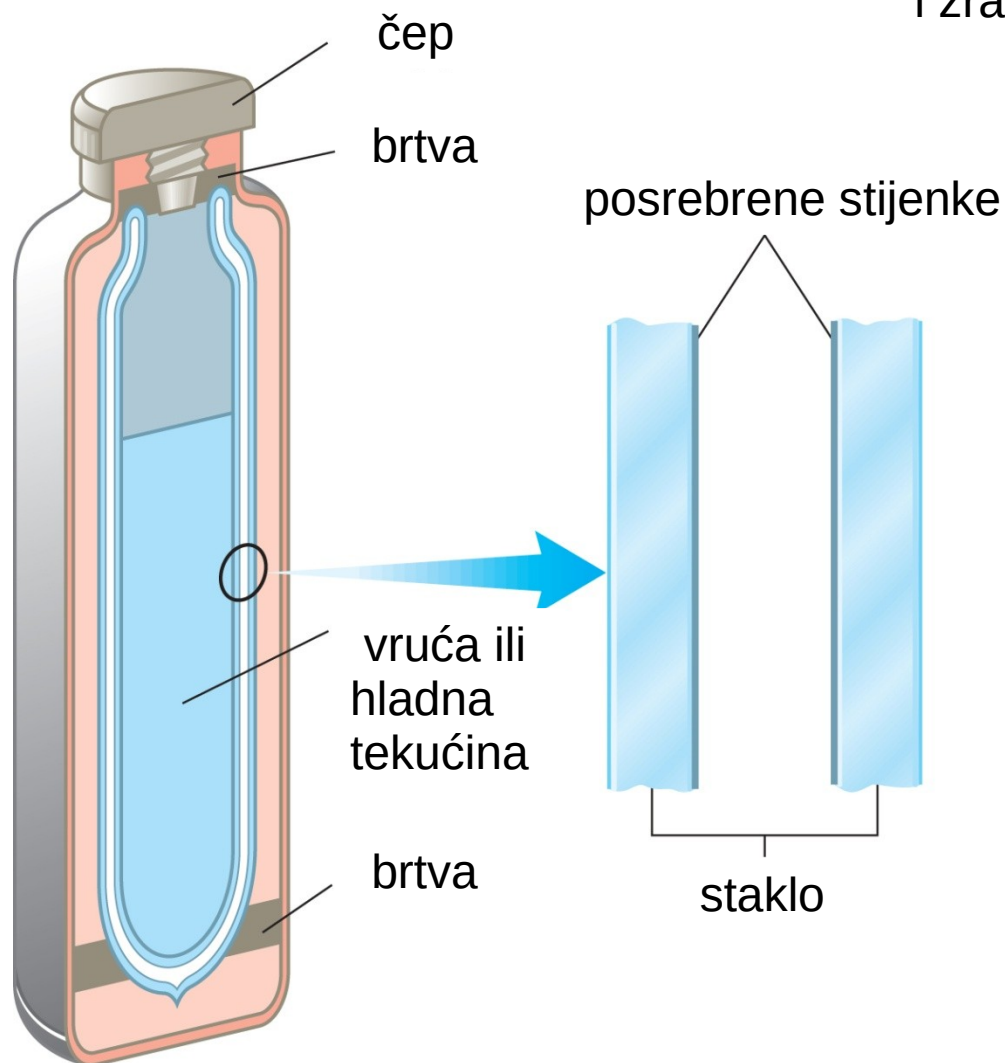
$$r = \sqrt{\frac{Q}{e \sigma T^4 \cdot 4 \pi t}} = \sqrt{\frac{P}{e \sigma T^4 \cdot 4 \pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{30} \text{ W}}{1.5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Js}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4} (2900 \text{ K})^4 \cdot 4 \pi}}$$

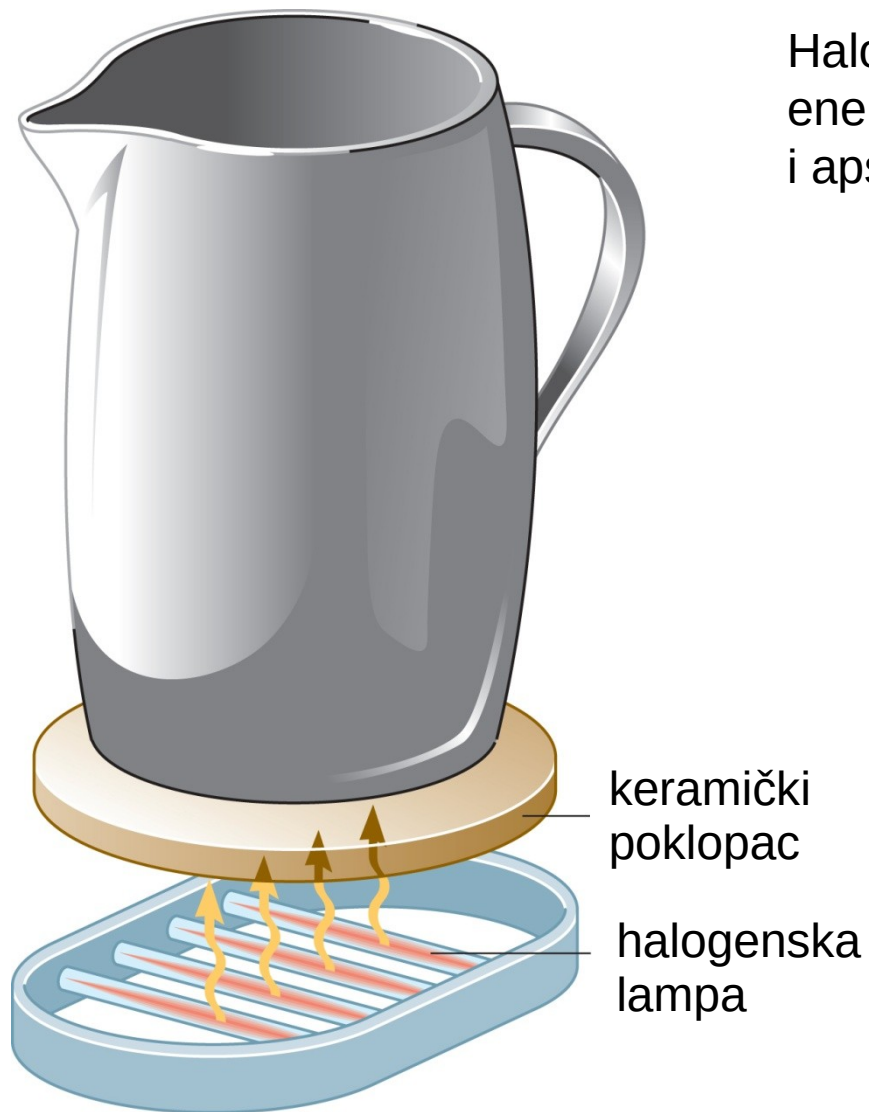
$$r = 3 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

TERMOSICA

Prijenos topline (vođenjem, strujanjem i zračenjem) sveden je na minimum.



13.4 Primjene



Halogensko kuhalo emitira elektromagnetsku energiju koja prolazi kroz keramički poklopac i apsorbira se izravno u dnu vrča.

WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

ZADACI ZA VJEŽBU

1. Toplina u jedinici vremena koju krvne kapilare vode do kože je 240 J/s. Debljina kože je 2,0 mm, a ukupna površina kože 1,6 m². Uz pretpostavku da je toplinska vodljivost kože jednaka toplinskoj vodljivosti masnog tkiva (pogledajte tablicu) odredite razliku temperatura između unutrašnjeg i vanjskog dijela kože.

RJEŠENJE: 1,5 °C

2. Soba se grije električnom grijalicom. Temperatura unutrašnje (sobne) površine betonskog zida je 20,0 °C, a vanjske (fasadne) površine zida je 12,8 °C. Zid ima debljinu 0,10 m i površinu 9,0 m². Pretpostavite da 1 kWh električne energije košta 1 €. Za koje se vrijeme kroz zid izgubi energija vrijedna 10 €?

RJEŠENJE: 14 h

3. Jedan kraj željeznog žarača nalazi se u vatri na temperaturi od 502 °C, a drugi je izvan vatre na temperaturi 26 °C. Žarač je dug 1,2 m i kružnog presjeka promjera 1,0 cm. Kolika toplina prođe žaračem, s jednog kraja na drugi, za 5,0 s? Zanemarite gubitke topline uzduž žarača.

RJEŠENJE: 12 J



WILEY

ZADACI ZA VJEŽBU

4. Jedan kraj mjedene šipke drži se na temperaturi $306\text{ }^{\circ}\text{C}$, a drugi na kontantnoj, ali nižoj, temperaturi. Površina presjeka šipke je $2,6 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$. Zbog izolacije uzduž šipke gubici topline su zanemarivi. Brzina kojom toplina prolazi kroz šipku je $3,6\text{ J/s}$. Koja je temperatura dijela šipke udaljenog 15 cm od toplijeg kraja?

RJEŠENJE: $290\text{ }^{\circ}\text{C}$

5. Dva lonca su po svemu identična osim što jedan ima aluminijsko, a drugi bakreno dno. Voda se u oba lonca zagrije do vrelišta za isto vrijeme grijanja. Temperatura ploče na kojoj je lonac s aluminijskim dnom iznosi $155,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uz pretpostavku da se voda grije samo kroz dno lonca, izračunajte temperaturu ploče na kojoj je lonac s bakrenim dnom.

RJEŠENJE: 134°C

6. Sirius B je bijela zvijezda čija je površinska temperatura (u kelvinima) četiri puta veća od površinske temperature Sunca. Snaga zračenja Siriusa B manja je od snage zračenja Sunca za faktor $0,040$. Odredite polumjer Siriusa B, ako je polumjer Sunca $6,96 \cdot 10^8\text{ m}$.

RJEŠENJE: $8,7 \cdot 10^6\text{ m}$

ZADACI ZA VJEŽBU

7. Čvrsta kugla ima temperaturu 773 K. Kuglu rastopimo i preoblikujemo u kocku. Kolika je temperatura kocke ako ona zrači istom snagom kojom je zračila kugla?

RJEŠENJE: 732 K

8. Bakrena cijev vanjskog polumjera 0,013 m prolazi kroz zid kuće do vanjske pipe. Temperatura pipe je 4 °C, a temperatura cijevi - na tri metra od pipe - je 25 °C. Za 15 minuta cijev provede ukupno 270 J topline iz unutrašnjosti kuće do vanjske pipe. Koliki je unutrašnji polumjer cijevi? Vodu u cijevi zanemarite.

RJEŠENJE: 0,012 m

9. Koliko dana treba savršeno crnom tijelu (stranice 0,0100 m i temperature 30,0°C) da izrači istu energiju kao žarulja snage 100 W koja sjaji jedan sat?

RJEŠENJE: 14,5 d

10. Tijelo se nalazi u sobi čija je temperatura 293 K. Tijelo emitira (zračenjem) tri puta više energije u jedinici vremena nego što apsorbira od sobe. Na kojoj se temperaturi tijelo nalazi? Pretpostavite da je ta temperatura stalna.

RJEŠENJE: 386 K

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Strujanje (konvekcija)
2. Vođenje (kondukcija)
3. Vođenje topline kroz materijal
4. Toplinski izolator
5. Zračenje (radijacija)
6. Stefan-Boltzmannov zakon
7. Savršeno crno tijelo
8. Zaleđeni hladnjak i iglu
9. Termosica
10. Izo-staklo i termo-fasada