TRANSFER DE CĂLDURĂ PRIN CONDUCTIVITATE

continuare

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

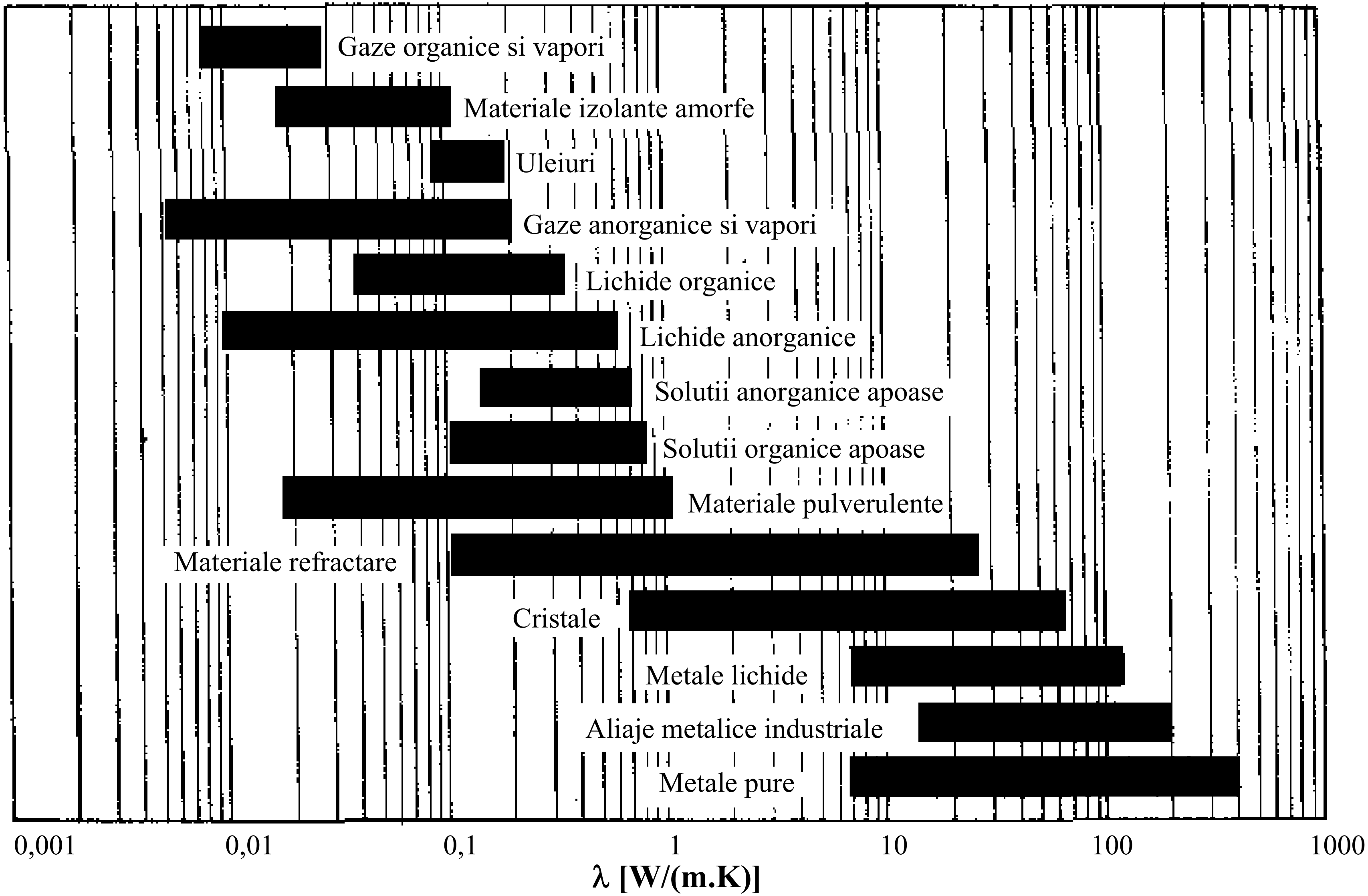
- λ = proprietate fizică specifică fiecărui tip de material,
- λ = exprimă comportarea materialului la transferul termic conductiv.
- Dimensiunile conductivității termice rezultă din condiția de omogenitate dimensională a ecuației (21):

$$[\lambda] = \left[\frac{(J/s) \cdot m}{m^2 \cdot K} \right] = \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (32)$$

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Conductivitatea termică este dependentă de proprietățile fizice ale materialului:
  - temperatură,
  - densitate,
  - porozitate,
  - umiditate.
- În fig. urmatoare este prezentat intervalul de variație al conductivității termice pentru diverse materiale.

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ



COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Alegerea materialelor pentru construcția aparaturii de transfer de căldură se face şi în funcție de λ:
  - pt. accelerarea transferului termic se utilizează materiale cu valori λ ridicate (metale, aliaje),
  - pt. reducerea sau inhibarea transferului se utilizează materiale cu valori λ scăzute (materiale izolante).
  - în procesele de transfer termic este necesară cunoaşterea sau determinarea conductivității fluidelor, mărime necesară pentru calculul **coeficientului global de transfer termic.**

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- **Conductivitatea termică a gazelor:**
  - Deducere pe baza teoriei cinetico-moleculare;
  - Variatia cu T (legea lui Sutherland):

$$\lambda_T = \lambda_0 \frac{273 + C}{T + C}\left(\frac{T}{273}\right)^{3/2} \qquad (35)$$

  - în care λ_T este conductivitatea la temperatura T, λ_0 este conductivitatea la 273 K, T este temperatura absolută, iar *C* este o constantă caracteristică fiecărui gaz.

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

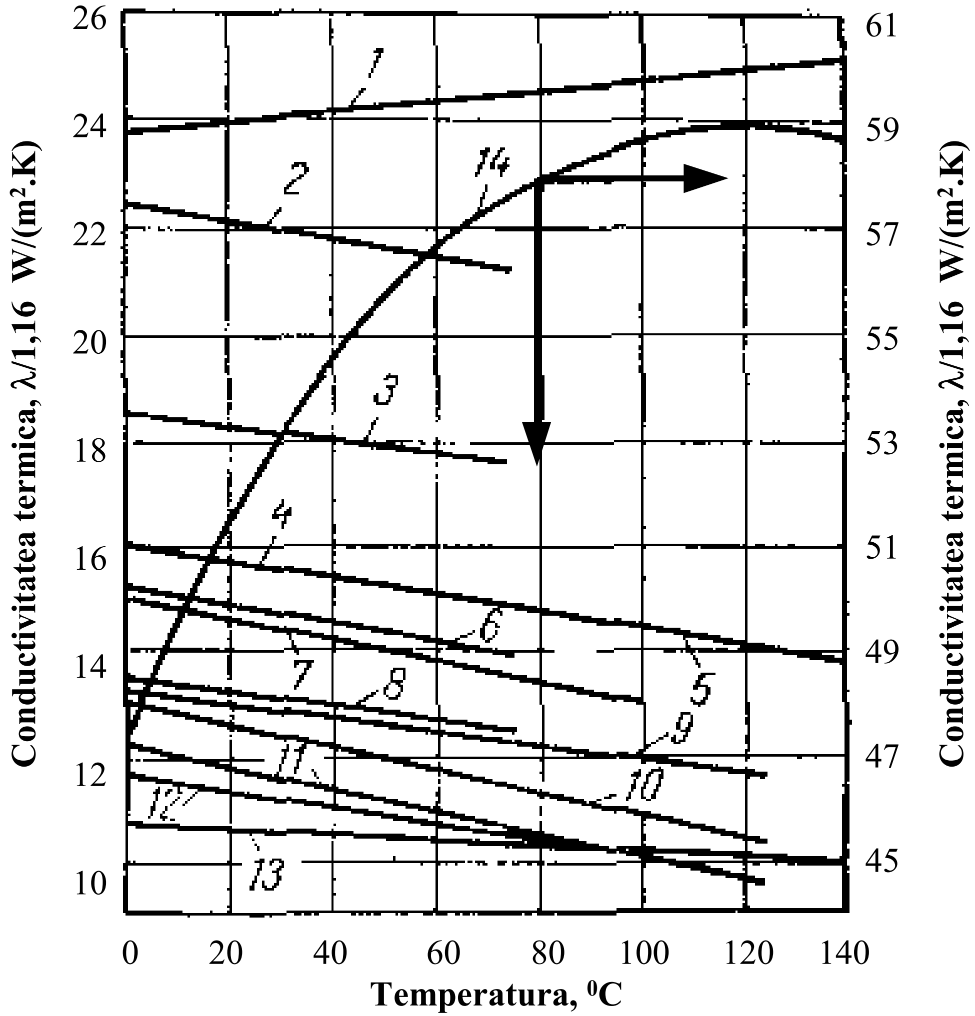
Valorile λ_0 şi C din ecuaţia (35)

Gazul	λ_0 [W/(m.K)]	C [K]	Gazul	λ_0 [W/(m.K)]	C [K]
Hidrogen	0,1594	94	Oxid de carbon	0,0215	156
Azot	0,0243	102	Amoniac	0,0200	626
Aer	0,0234	122	Dioxid de sulf	0,0077	396
Oxigen	0,0234	144	Clor	0,0072	351

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- **Conductivitatea termică a lichidelor**
  - Conductivitatea termică a lichidelor este funcție de temperatură şi de presiune.
  - Cu excepția apei şi glicerinei, conductivitatea termică a lichidelor scade cu creşterea temperaturii.
  - Conductivitatea termică a soluțiilor apoase este mai redusă decât a apei şi scade cu creşterea concentrației solutului.

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ



1 - glicerina anhidra;
2 - acid formic;
3 - metanol;
4 - etanol;
5 - anilina;
6 - acid acetic;
7 - acetona;
8 - butanol;
9 - nitrobenzen;
10 - benzen;
11 - toluen
12 - xilen;
13 - ulei de vaselina;
14 - apa (pe ordonata din dreapta).

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Conductivitatea termică a materialelor solide
  - λ pentru solide are valori foarte diferite, funcție de natura şi proprietățile mat.
  - Funcție de valoarea λ, solidele se împart în:
    - materiale izolante λ = 0,02 - 0,12 $W.m^{-1}.K^{-1}$
    - materiale refractare λ = 0,60 - 3,50 $W.m^{-1}.K^{-1}$
    - materiale metalice λ = 8,70 - 458 $W.m^{-1}.K^{-1}$

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- **Umiditatea** măreşte mult conductivitatea termică a materialelor; conductivitatea termică a materialului umed este mai mare decât suma conductivităților apei şi materialului uscat.
- Pentru **materialele poroase**, conductivitatea termică scade cu creşterea porozității (a densității aparente), tinzând către conductivitatea termică a aerului (0,023 $W.m^{-1}.K^{-1}$ la 20 ^0C).

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Conductivitatea acestor materiale se poate calcula cu relația:

$$\lambda \cong \lambda_m \frac{1-\left(1-\dfrac{3\lambda_p}{2\lambda_m+\lambda_p}\right)\cdot\varepsilon}{1+\left(\dfrac{3\lambda_m}{2\lambda_m+\lambda_p}-1\right)\cdot\varepsilon} \qquad (39)$$

  - λ_m = conductivitatea materialului propriu zis,
  - λ_p = conductivitatea fluidului din pori,
  - ε = porozitatea (fracția de goluri) materialului.

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- λ creşte aproximativ liniar cu creşterea temperaturii după o funcție de forma:

$$\boxed{\lambda_T = \lambda_0 + b \cdot T} \qquad (40)$$

$$\boxed{\lambda_T = \lambda_0 \left(1 + \beta \cdot T\right)} \qquad (41)$$

în care coeficienții b şi β sunt caracteristici fiecărui material în parte

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Materialele metalice au cea mai ridicată conductivitate termică.
- Conductivitatea termică a metalelor pure este aproximativ proporțională cu conductivitatea electrică.
- Aliajele metalice au o conductivitate termică mai scăzută decât metalele constituente aflate în stare pură.

COEFICIENTUL DE CONDUCTIVITATE TERMICĂ

- Cu excepția Cu şi Al, λ pt. metale scade cu creşterea temp. după o relație de forma:

$$\lambda = \lambda_0\left(1 - k_1 T - k_2 T^2\right) \qquad (43)$$

- Pentru calcule aproximative, se poate considera o dependență liniară a λ de T:

$$\lambda = \lambda_0\left(1 - k_1 T\right) \qquad (44)$$

Conductivitatea termică a unor materiale solide

Materiale nemetalice	λ [W/(m.K)]	Materiale metalice	T [K]	λ [W/(m.K)]
azbest	0,15 - 0,21	alamă	303	113
azbociment	0,35	aluminiu	373	207
beton	1,28	argint	373	416
cărămidă	0,69 – 0,81	bronz	303	189
lemn de fag	0,23 – 0,41	cadmiu	291	94
lemn de brad	0,17 – 0,35	cupru	373	378
nisip uscat	0,35 – 0,81	fontă	373	49
plută	0,04 – 0,05	grafit	373	151
polistiren	0,04	nichel	373	59
poliuretan	0,04	oţel (1%C)	291	45
rumeguş	0,07 – 0,09	oţel inox	293	16
sticlă	0,70 - 0,81	plumb	373	33
vată minerală	0,07	staniu	373	59
vată de sticlă	0,03 - 0,07	tantal	291	55
zgură	0,22 - 0,29	zinc	373	110

Transfer termic conductiv în regim staționar

- Regimul staționar este definit prin constanța în timp a câmpului de temperatură.
- Temperatura oricărui punct din sistem rămâne constantă, fluxul termic care trece prin orice secțiune a sistemului este constant, fluxurile care trec prin suprafețele izoterme sunt egale şi acumularea de căldură în sistem este nulă.

Transfer termic conductiv în regim staționar

- Condiția de staționaritate se scrie:

$$\boxed{\frac{\partial T}{\partial t} = 0} \qquad (45)$$

- În condiții de regim staționar ecuația (27):

$$\boxed{\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = \lambda \nabla^2 T} \qquad (27)$$

- devine:

$$\boxed{a\nabla^2 T = 0} \qquad (46)$$

Transfer termic conductiv în regim staționar

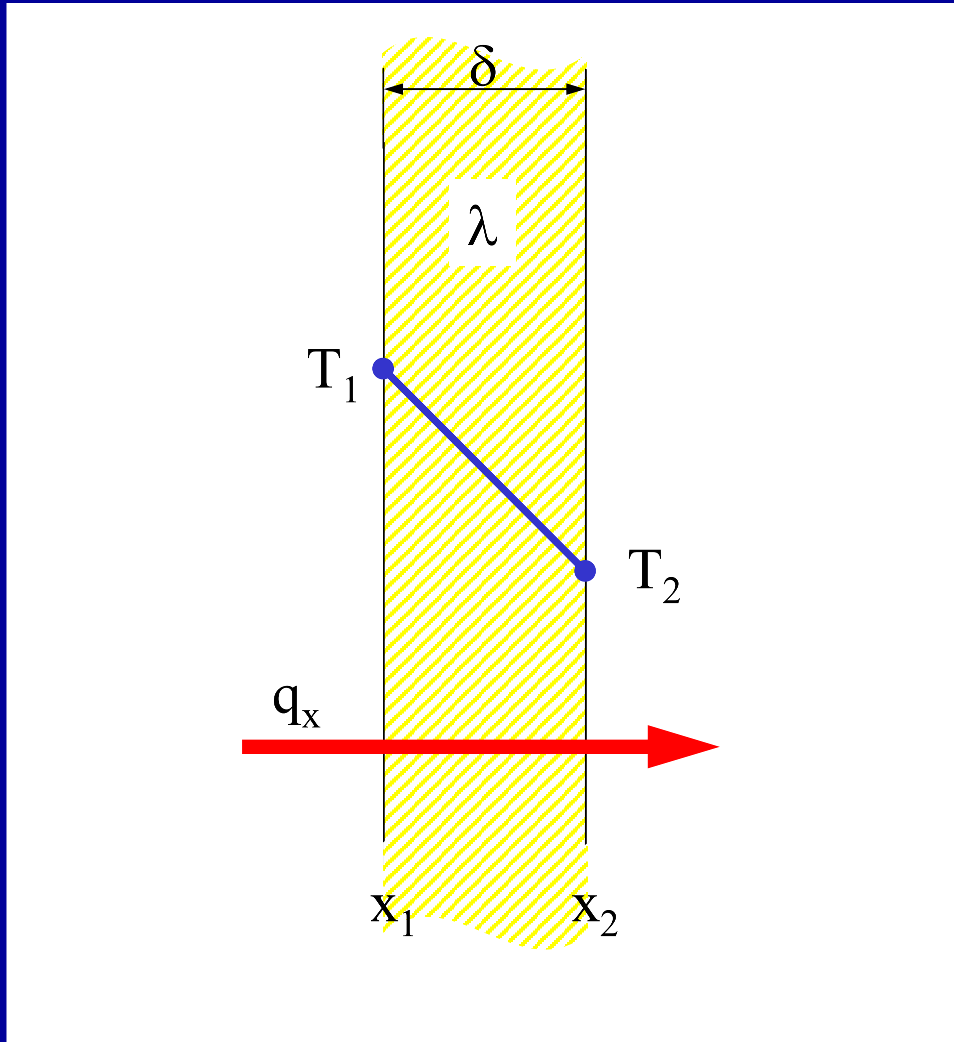
- Întrucât difuzivitatea termică a este diferită de zero, (46) se scrie:

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \qquad (47)$$

- Ecuația (47) poate fi rezolvată analitic pentru câteva cazuri particulare care prezintă importanță practică.

Transfer termic prin pereți plani simpli

- Se consideră (fig) un perete plan, omogen, a cărui suprafață este infinit mare comparativ cu grosimea δ a acestuia.
- Transferul termic are loc unidirecțional, pe direcția x, normală la suprafață peretelui.



Transfer termic prin pereți plani simpli

- Ecuația (47) se scrie:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \qquad (48)$$

- După o primă integrare rezultă:

$$\frac{dT}{dx} = k_1 \qquad (49)$$

de unde printr-o nouă integrare se obține:

$$T = k_1 x + k_2 \qquad (50)$$

ecuație care arată că variația temperaturii în interiorul peretelui este liniară dacă λ este constant în raport cu temperatura

Transfer termic prin pereți plani simpli

- k_1 şi k_2 se obțin din cond. la limită:

$$\begin{aligned} &\text{pentru } x = 0, \quad T = T_1 \\ &\text{pentru } x = \delta, \quad T = T_2 \end{aligned} \qquad (51)$$

- Înlocuind prima condiție în (50) se obține:

$$k_2 = T_1 \qquad (52)$$

- Din a 2-a condiție şi k_2 înlocuite în (50) şi ținând cont de (49), se obține:

$$k_1 = \frac{dT}{dx} = -\frac{T_1 - T_2}{\delta} \qquad (53)$$

Transfer termic prin pereți plani simpli

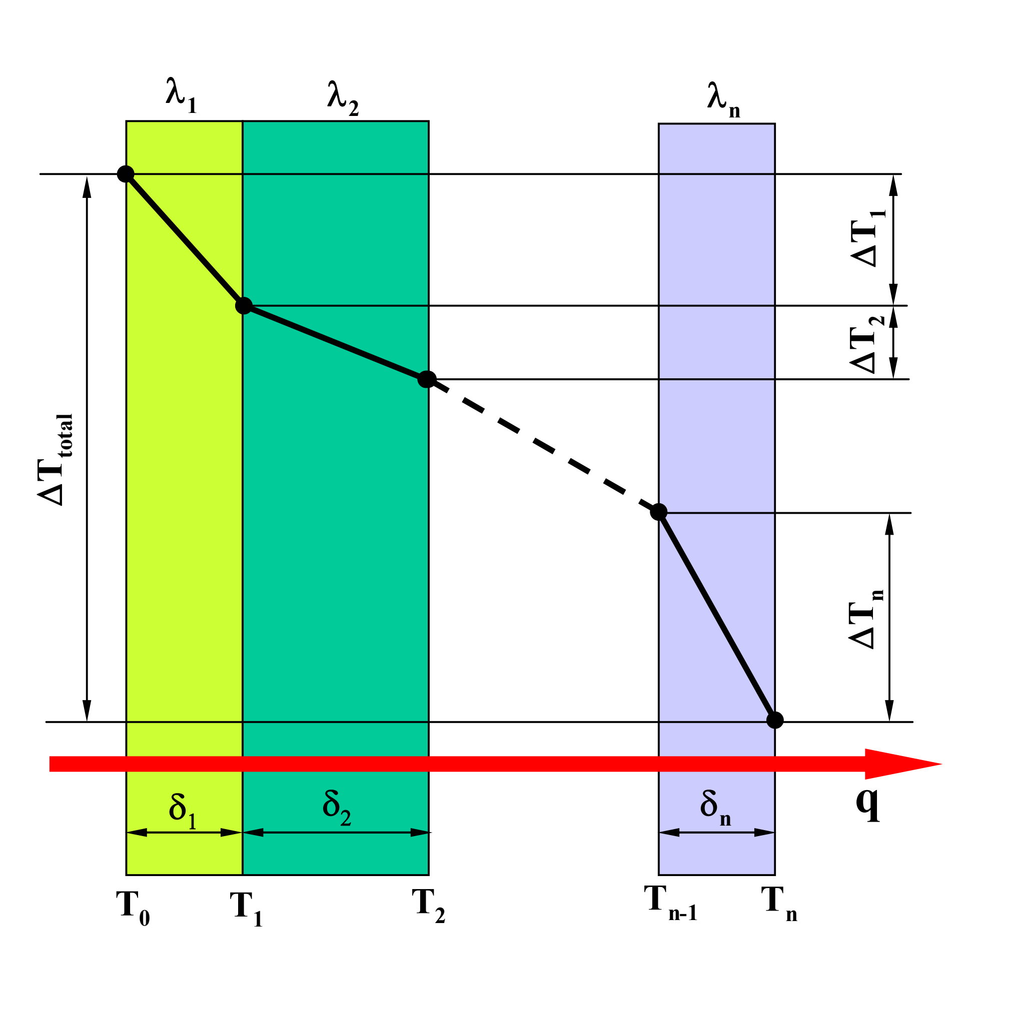
- Ecuația (53) = expresia grad(T) pentru un perete plan, omogen, de grosime δ.
- Înlocuind (53) în legea lui Fourier (22) se obține relația de calcul a fluxului unitar:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}\left(T_1 - T_2\right) \qquad (54)$$

- Fluxul termic total va fi:

$$Q_s = \frac{\lambda}{\delta} A\left(T_1 - T_2\right) = \frac{\lambda}{\delta} A \Delta T \qquad (55)$$

Transferul termic prin pereți plani compuși



Se consideră un perete format din **n** straturi paralele cu:

- grosimile δ_1, δ_2, ..., δ_n,
- conductivitățile termice λ_1, λ_2, ..., λ_n
- căderile de temperatură corespunzătoare ΔT_1, ΔT_2, ..., ΔT_n
- T_0 și T_n = temperaturile pe fețele exterioare ale peretelui

Transferul termic prin pereți plani compuşi

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \ldots + \Delta T_n = T_0 - T_n \qquad (61)$$

- Regimul fiind staționar, fluxurile termice transmise prin fiecare strat sunt egale între ele:

$$\frac{\lambda_1}{\delta_1}\Delta T_1 = \frac{\lambda_2}{\delta_2}\Delta T_2 = \ldots = \frac{\lambda_n}{\delta_n}\Delta T_n = q \qquad (62)$$

Transferul termic prin pereți plani compuşi

- Din (62) se poate scrie:

$$\Delta T_1 = T_0 - T_1 = q\frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 = q\frac{\delta_2}{\lambda_2} \qquad (63)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\Delta T_n = T_{n-1} - T_n = q\frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

Transferul termic prin pereți plani compuși

o Adunând ecuațiile (63) membru cu membru:

$$T_0 - T_n = q\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i} \qquad (64)$$

care se poate scrie:

$$q = \frac{T_0 - T_n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad \text{sau} \quad \mathrm{Q} = \frac{T_0 - T_n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}} \cdot A \qquad (64^*)$$

Transferul termic prin pereți plani compuşi

- Notând căderea totală de temperatură cu ΔT, (64*) se poate scrie:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \qquad (65)$$

unde:

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}}\right] \qquad (66)$$

coeficientul total de transfer de căldură conductiv.

Transferul termic prin pereți plani compuşi

- Inversul acestuia este rezistența totală la transmisia căldurii prin conducție, exprimată ca sumă a rezistențelor termice parțiale (raportate la unitatea de suprafață):

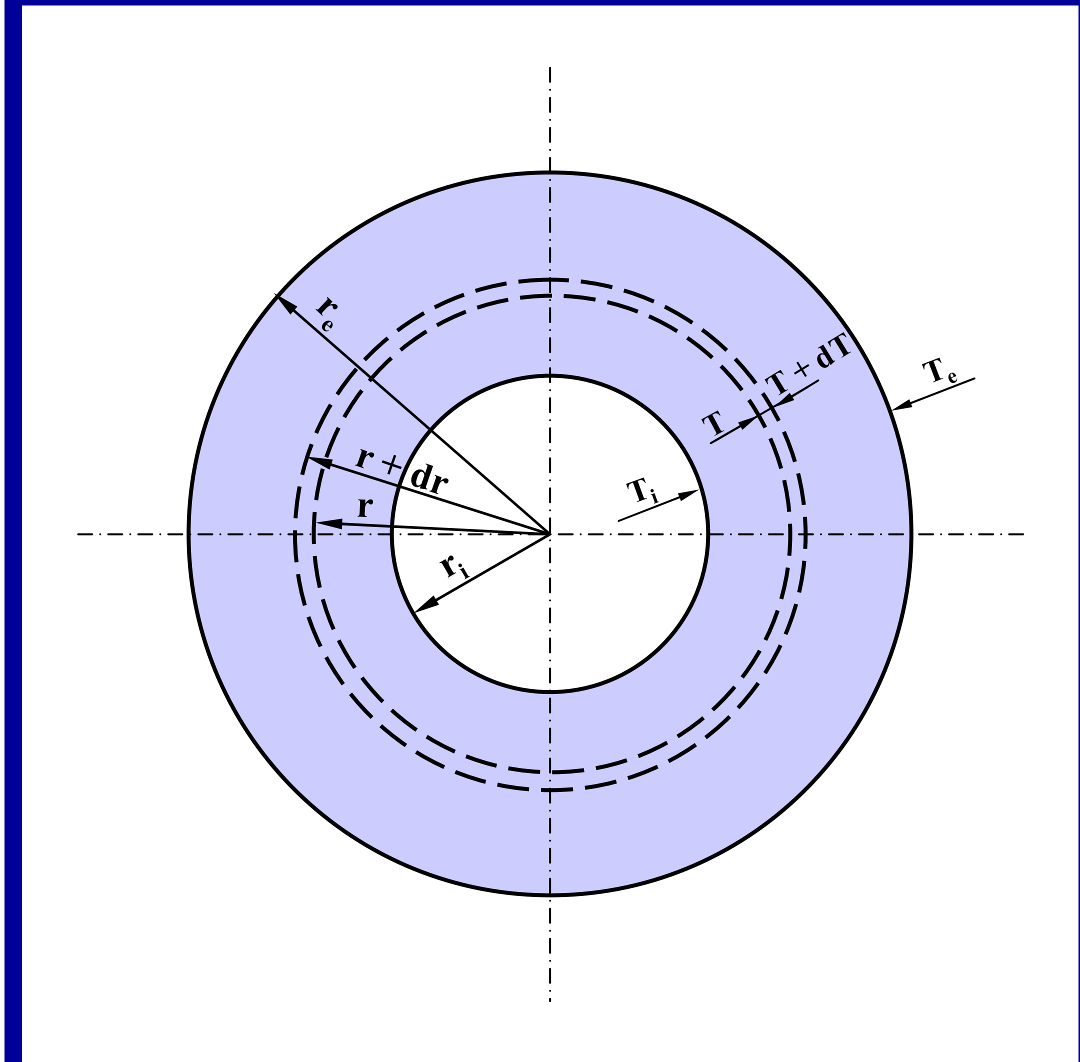
$$R_T = \frac{1}{k} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}}{\mathrm{W}} \right] \qquad (67)$$

Transferul termic prin pereţi plani compuşi

Din ecuaţiile prezentate rezulta:

- pentru aceeaşi grosime δ a peretelui, căderea de temperatură va fi cu atât mai mare cu cât λ este mai mic;
- pentru materiale cu acelaşi λ, căderea de temperatură va fi proporţională cu grosimea stratului, δ.

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli



Considerând un perete cilindric omogen de lungime l, având raza interioară r_i şi raza exterioară r_e în care căldura se transmite din interior spre exterior (deci $T_1 > T_2$), ec. Fourier pt. transfer termic conductiv unidirecțional se scrie (în coordonate cilindrice):

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

$$\boxed{Q_s = -\lambda A \frac{dT}{dr}} \qquad (68)$$

- Suprafața normală la fluxul termic este

$$A = 2\pi r l \qquad (68a)$$

și (68) se scrie:

$$\boxed{Q_s = -2\pi\lambda r l \frac{dT}{dr}} \qquad (69)$$

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

- Separând variabilele şi integrând, considerând că λ este independent de T:

$$Q_s \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -2\pi\lambda l \int_{T_1}^{T_2} dT \qquad (70)$$

- Rezolvând integralele şi grupând termenii se obține în final:

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

$$Q_s = \frac{2\pi\lambda l\left(T_1 - T_2\right)}{\ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{\pi\lambda l\left(T_1 - T_2\right)}{\ln\frac{d_2}{d_1}} \qquad (71)$$

unde d_1 şi d_2 sunt diametrele corespunzătoare razelor r_1 şi r_2.

- Dacă în (71) se înmulțeşte şi numitorul şi numărătorul cu grosimea peretelui cilindric, $(r_2 - r_1)$, rezultă:

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

$$Q_s = \lambda \frac{2\pi l\left(r_2 - r_1\right)\cdot\left(T_1 - T_2\right)}{\left(r_2 - r_1\right)\ln\left(r_2/r_1\right)} = \lambda \frac{\left(A_2 - A_1\right)\cdot\left(T_1 - T_2\right)}{\left(r_2 - r_1\right)\ln\left(A_2/A_1\right)} = \lambda \cdot A_m \frac{\Delta T}{\Delta r} \qquad (72)$$

unde prin A_m s-a notat aria medie logaritmică a suprafeței de transfer termic:

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

$$A_m = \frac{A_2 - A_1}{\ln\left(A_2/A_1\right)} \qquad (73)$$

- Dacă în relația (71) se adoptă l = 1 m, fluxul termic specific pe unitate de lungime va fi:

$$q = \frac{2\pi\lambda\left(T_1 - T_2\right)}{\ln\left(r_2/r_1\right)} \quad [\mathrm{W/m}] \qquad (74)$$

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

- Ecuația (71) scrisă sub forma:

$$T_1 - T_x = \frac{Q_s}{2\pi\lambda l} \cdot \ln\frac{r_x}{r_1} \qquad (75)$$

permite calculul temperaturii în interiorul peretelui la o rază oarecare, r_x:

$$T_x = T_1 - \frac{Q_s}{2\pi\lambda l} \cdot \ln\frac{r_x}{r_1} = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \cdot \ln\frac{r_x}{r_1} \qquad (76)$$

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

- Pentru pereți nu prea groşi calculul se poate simplifica, înlocuind raza medie logaritmică cu raza medie aritmetică:

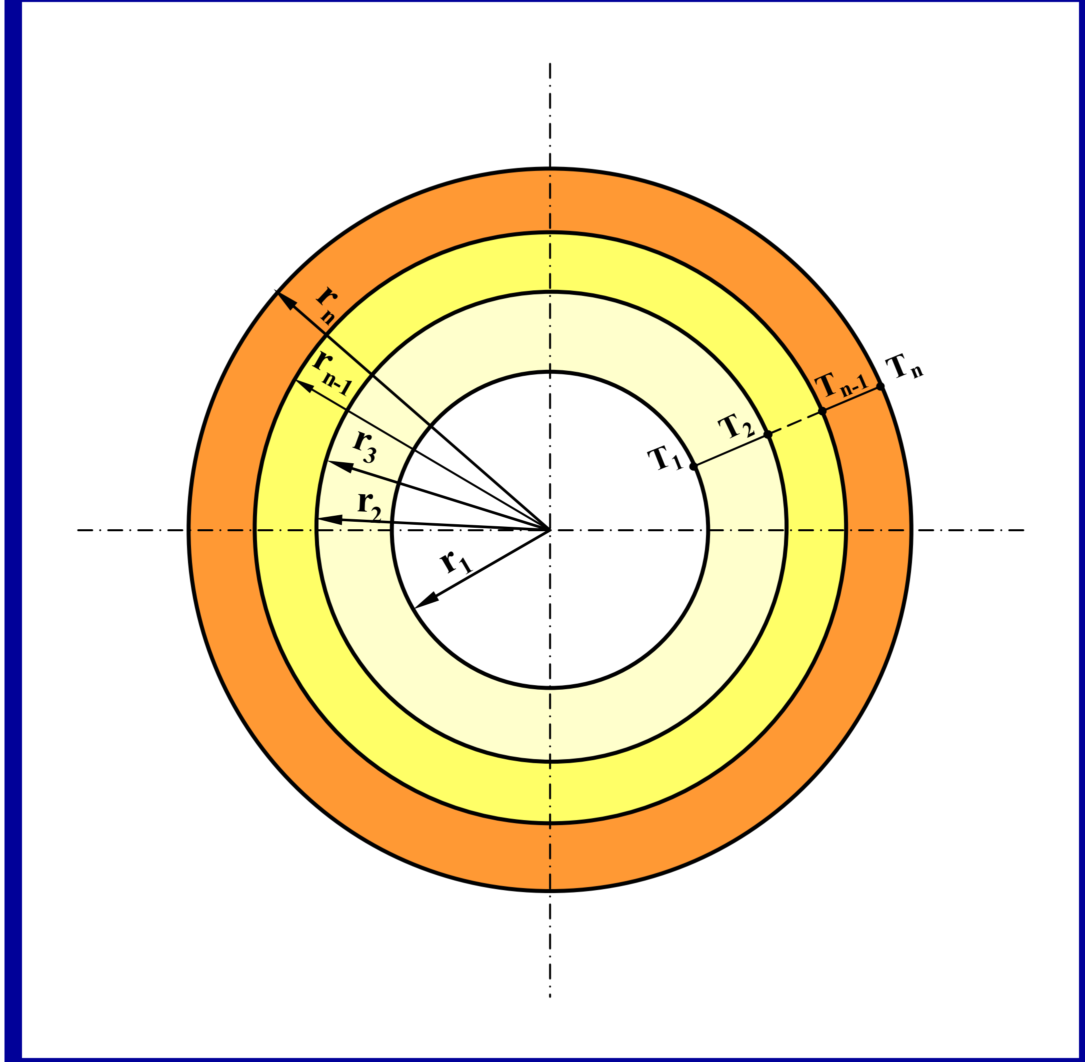
$$r_{ma} = \tfrac{1}{2}(r_e + r_i);$$

- Pentru pereți subțiri, în locul razei medii se poate folosi r_e sau r_i.

Transferul termic prin pereți cilindrici simpli

- Aceste simplificări introduc următoarele erori:
  - **sub 10%** când re/ri < 3,2 şi se lucrează cu media aritmetică;
  - **sub 10%** când re/ri < 1,24 şi se lucrează cu re sau ri;
  - **sub 1%** când re/ri < 1,5 şi se lucrează cu media aritmetică;
  - **sub 1%** când re/ri < 1,02 şi se lucrează cu re sau ri.

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi



Se consideră un perete format din n straturi cilindrice concentrice cu
- grosimile $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_{n-1}$,
- cond. termice $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{n-1}$
- căderile de temp. coresp. $\Delta T_1, \Delta T_2, \ldots, \Delta T_{n-1}$
- T_1 şi T_n = temp. pe fața interioară, respectiv exterioară a peretelui

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \ldots + \Delta T_{n-1} = T_1 - T_n \qquad (77)$$

- Regimul fiind staționar, fluxurile termice transmise prin fiecare strat sunt egale între ele:

$$q_1 = q_2 = \ldots = q_n = q \qquad (78)$$

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi

$$q_1 = \frac{Q_{s1}}{l} = \frac{2\pi\lambda_1\left(T_1 - T_2\right)}{\ln\left(r_2/r_1\right)}$$

$$q_2 = \frac{Q_{s2}}{l} = \frac{2\pi\lambda_2\left(T_2 - T_3\right)}{\ln\left(r_3/r_2\right)} \qquad (79)$$

....

$$q_n = \frac{Q_{sn}}{l} = \frac{2\pi\lambda_{n-1}\left(T_{n-1} - T_n\right)}{\ln\left(r_n/r_{n-1}\right)}$$

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi

- Ecuațiile (79) puse sub forma:

$$
\begin{aligned}
T_1 - T_2 &= \frac{q \cdot \ln\left(r_2 / r_1\right)}{2\pi\lambda_1} \\
T_2 - T_3 &= \frac{q \cdot \ln\left(r_3 / r_2\right)}{2\pi\lambda_2} \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
T_{n-1} - T_n &= \frac{q \cdot \ln\left(r_n / r_{n-1}\right)}{2\pi\lambda_{n-1}}
\end{aligned}
\qquad (80)
$$

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi

şi adunate membru cu membru conduc la expresia: (81)

$$T_1 - T_n = \frac{q}{2\pi}\cdot\left[\frac{\ln(r_2/r_1)}{\lambda_1}+\frac{\ln(r_3/r_2)}{\lambda_2}+\ldots+\frac{\ln(r_n/r_{n-1})}{\lambda_{n-1}}\right]$$

de unde rezultă expresia fluxului unitar **q**, respectiv a fluxului total **Qs**:

Transfer termic prin pereți cilindrici compuşi

$$q = \frac{\pi\left(T_1 - T_n\right)}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \qquad (82a)$$

$$Q_s = \frac{\pi \cdot l \cdot \left(T_1 - T_n\right)}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \qquad (82b)$$

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- În cazul proceselor nestaționare, temperatura şi fluxul termic într-un punct oarecare sunt mărimi variabile în timp.
- În industriile de proces, conducția în regim nestaționar apare în cazul pornirii, opririi sau modificării de sarcină a instalațiilor termice care funcționează predominant în regim staționar.

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- La încălzirea sau răcirea mediilor conductive, fluxul termic depinde de:
  - rezistențele termice interne
  - rezistențele termice de suprafață,
- Cazurile limită sunt reprezentate de:
  - corpurile cu rezistențe interne neglijabile
  - corpurile cu rezistențe de suprafață neglijabile.

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- **Corpurile cu rezistențe termice interne neglijabile:**
  - conductivitate termică relativ ridicată
  - suprafață exterioară de contact cu mediul ambiant mare în comparație cu volumul corpului,
- Temperatura T a corpului la momentul t se determină din ecuația:

$$\frac{T - T_f}{T_0 - T_f} = \exp(-\mathrm{Bi} \cdot \mathrm{Fo} \cdot \mathrm{G}) \qquad (83)$$

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- unde:

$$\mathrm{Bi} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; \quad \mathrm{Fo} = \frac{a \cdot t}{l^2}; \quad \mathrm{G} = \frac{A \cdot l}{V} \qquad (84)$$

- Bi = criteriul **Biot**,
- Fo = criteriul **Fourier** (timpul relativ),
- *G* =factor geometric
  - *G* = 1 pentru plăci infinite,
  - *G* = 2 pentru cilindri infiniți şi bare pătrate infinite,
  - *G* = 3 pentru cuburi şi sfere.

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- T_0 = temperatura inițială uniformă a corpului,
- T_f = temperatura fluidului cu care corpul este pus în contact,
- α = coeficientul individual de transfer termic între corp şi fluid ($W.m^{-2}.K^{-1}$),
- l = raza suprafeței sau semigrosimea corpului (m),
- a = difuzivitatea termică a corpului ($m^2.s^{-1}$),
- λ = conductivitatea termică a corpului ($W.m^{-1}.K^{-1}$),
- *A* = suprafața corpului (m^2),
- V = volumul corpului (m^3).

Transfer termic conductiv în regim nestaționar

- **Corpurile cu rezistențe termice de suprafață neglijabile** - temperatura suprafeței, T_s, este constantă în timp şi egală cu temperatura fluidului, T_f.
  - În cazul unei plăci plane infinite, de grosime L, cu temperatura inițială uniformă T_0, variația în timp a temperaturii în planul central (z = 0) este de forma:

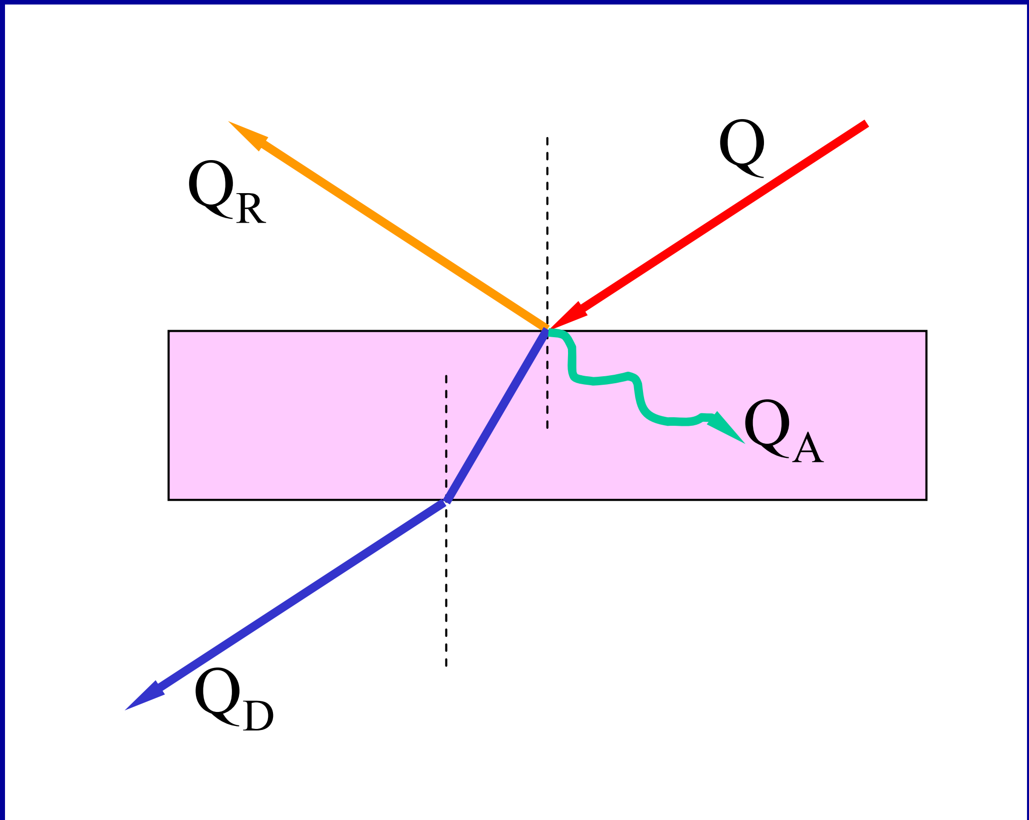
$$\frac{T - T_s}{T_0 - T_s} = \frac{4}{\pi}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{n}\sin\left(\frac{n\pi}{L}z\right)\exp\left[\left(\frac{n\pi}{2}\right)^2 \cdot \mathrm{Fo}\right]; \quad n = 1,2,3,..., \qquad (85)$$

TRANSFER TERMIC RADIANT

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- Energia radiantă, de natură termică, este emisă de orice corp aflat la T > 0 K
- În procesele industriale în care intervine transferul termic, este important transferul de energie radiantă la temperaturi cuprinse între 700 – 2200 K.
- Deşi emisia de radiații termice are loc la orice temperatură, iar transferul radiant decurge concomitent cu transferul conductiv şi convectiv, la temperaturi normale (300 – 400 K), ponderea sa în transferul global de căldură este neglijabilă.

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE



- Energia radiantă **Q** incidentă pe suprafața unui corp se distribuie astfel:
  - o parte absorbită (Q_A),
  - o parte reflectată (Q_R),
  - restul difuzată (Q_D), străbătând corpul.

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D = AQ + RQ + DQ = (A + R + D) \cdot Q \qquad (86)$$
$$A + R + D = 1$$

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- *A* = coeficientul de absorbție,
- D = coeficientul de reflecție
- R = coeficientul de difuzie (permeabilitate)
- Acești coeficienți iau valori cuprinse între 0 şi 1, în funcție de:
  - natura corpului,
  - starea suprafeței sale,
  - temperatură,
  - spectrul radiației incidente.

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- **Corpul negru** absoarbe toate radiațiile incidente: $A = 1$; $R = D = 0$.
- **Corpul alb** reflectă toate radiațiile incidente: $R = 1$; $A = D = 0$.
- **Corpul diaterm** este transparent pentru toate radiațiile incidente: $D = 1$; $A = R = 0$.
- **Corpurile cenuşii** absorb pe toate lungimile de undă o anumită proporție din radiațiile incidente. Aceste corpuri au $A < 1 = \text{constant}$.
- **Corpurile colorate** absorb selectiv radiația incidentă pe anumite lungimi de undă.

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- **Corpurile lucioase** reflectă parțial radiațiile incidente într-o direcție determinată, unghiul de incidență fiind egal cu unghiul de reflecție.
- **Corpurile mate** reflectă parțial radiațiile incidente în toate direcțiile.
- **Radiația monocromatică** corespunde unei anumite frecvențe (υ) sau lungimi de undă (λ), între cele două mărimi existând relația:

Viteza luminii

$$\lambda = \frac{c}{\upsilon} \qquad (87)$$

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- **Radiația integrală** cuprinde întreg spectrul de radiații cu lungimi de undă variind de la zero la infinit.
- **Puterea totală de emisie** (E) = cantitatea de energie radiată de un corp în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață, în toate direcțiile şi pe toate lungimile de undă:

$$E = \frac{Q}{A} \quad [\mathrm{W/m^2}] \qquad (88)$$

  - Q = energia radiată de corp în unitatea de timp,
  - *A* = suprafața de radiație.

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- **Factorul de emisie** (e) = raportul dintre puterea totală de emisie a corpului (E) şi puterea totală de emisie a corpului negru (E_0):

$$e = \frac{E}{E_0} \qquad (89)$$

- **Intensitatea de radiație** (I_λ) = energia radiată de unitatea de suprafață a unui corp, în unitatea de timp, pe o anumită lungime de undă, λ:

$$I_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} \quad [\mathrm{W/m^3}] \qquad (90)$$

TRANSFER TERMIC PRIN RADIAȚIE

- Dacă se cunoaşte legea de distribuție a energiei radiante în funcție de lungimea de undă, se poate determina puterea totală de emisie a corpului:

$$E = \int_0^\infty dE = \int_0^\infty I_\lambda d\lambda \qquad (91)$$

LEGILE RADIATIEI TERMICE

- **Legea lui Planck**

legea de distribuție a intensității de radiație I_λ, funcție de λ, pentru corpul negru, la diferite temperaturi:

$$I_\lambda = \frac{k_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{k_2/\lambda T} - 1} \quad [\mathrm{W/m^3}] \qquad (92)$$

$k_1 = 0{,}374.10^{-15}$ W.m^2 -prima constantă a lui Planck

$k_2 = 1{,}4388.10^{-2}$ m.K -a doua constantă a lui Planck

LEGILE RADIATIEI TERMICE

- Din legea lui Planck →:
  - intensitatea de radiație creşte cu creşterea temperaturii şi că prezintă un maxim pentru fiecare temperatură T.
  - valoarea lui λ_{max} se obține prin anularea primei derivate a intensității de radiație în raport cu lungimea de undă:

$$\boxed{\frac{dI_\lambda}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{\mathrm{const}}{T}} \qquad (93)$$

  - **(93) = legea de deplasare a lui Wien**: maximul intensității de radiație se deplasează cu creşterea temperaturii către lungimi de undă mai mici

LEGILE RADIATIEI TERMICE

- **Legea Stefan – Boltzmann** stabileşte dependența puterii totale de emisie a corpului negru (E_0) de temperatura sa:

$$E_0 = \int_0^{\infty} I_\lambda d\lambda = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{94}$$

$c_0 = 5{,}67\ \mathrm{W.m^{-2}.K^{-4}}$ = coeficientul de radiație al corpului negru.

- Pt. corpurile cenuşii, legea Stefan – Boltzmann:

$$E = e \cdot E_0 = e \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 = c \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 \tag{95}$$

  - $e = c/c_0 < 1$ - factorul de emisie al corpului cenuşiu,
  - c - coeficientul de radiație al corpului cenuşiu

LEGILE RADIATIEI TERMICE

- **Legea lui Kirchhoff:** raportul dintre puterea totală de emisie (E) şi coeficientul de absorbție (A) este acelaşi pentru toate corpurile, egal cu puterea totală de emisie a corpului negru (E_0), şi este funcție numai de temperatură:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \ldots = \frac{E_0}{A_0} = E_0 = c_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = f(T) \quad (96)$$

- **Consecință:** pentru un corp în echilibru TD, coeficientul de absorbție A este egal cu factorul de emisie e.

Transfer termic radiant între corpuri solide

- Între 2 corpuri solide având T diferite se stabileşte un schimb reciproc de emisii şi absorbţii de energii radiante, fluxul radiant al corpului cu T mai mare fiind mai mare.
- După un timp, între corpuri se stabileşte un echilibru termic: T celor două corpuri se egalează şi potenţialul transferului se anulează.
- Transferul de căldură încetează, dar corpurile continuă să emită şi să absoarbă energie radiantă, fiecare corp cedând tot atâta energie câtă primeşte.

Transfer termic radiant între corpuri solide

- Se consideră 2 suprafețe negre plan - paralele, având temp. T_1 şi respectiv T_2.
- Emisia de energie în unitatea de timp (fluxul termic) pentru condiția $T_1 > T_2$ va fi:

$$Q_{s,1} = c_0\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 A \tag{97a}$$

$$Q_{s,2} = c_0\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 A \tag{97b}$$

Transfer termic radiant între corpuri solide

- Fluxul termic net (primit de suprafața cu temperatura mai mică) va fi:

$$Q_s = Q_{s,1} - Q_{s,2} = c_0\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdot A \quad (98)$$

Transfer termic radiant între corpuri solide

- Dacă cele două corpuri au o poziție arbitrară în spațiu, fluxul termic net va fi:

$$Q_s = Q_{s,1} - Q_{s,2} = c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot A_1 \cdot k_{1,2} \quad (99)$$

- $k_{1,2}$ - factor geometric, (coeficient mutual de iradiere), reprezentând fracția din radiația emisă de suprafața A_1 cu temp. T_1, pe care o primeşte suprafața A_2 cu temp. T_2.

Transfer termic radiant între corpuri solide

- În cazul unor suprafețe reale, fluxurile radiante se corectează prin introducerea coeficienților de emisie *e*:

$$Q_s = c_0 \cdot e_{1,2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdot A_1 \cdot k_{1,2} = \\ = c_0 \cdot e_{2,1}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdot A_1 \cdot k_{2,1} \qquad (100)$$

Transfer termic radiant între corpuri solide

- Ecuația (100) se poate scrie şi sub forma:

$$Q_s = Q_{s,1} - Q_{s,2} = c_0\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdot A_1 \cdot K_{1,2} \quad (101)$$

în care $K_{1,2}$ - coeficient care include influența:

- factorului geometric
- coeficienților de emisie.

Radiația gazelor şi vaporilor

- Gazele şi vaporii prezintă particularități în ceea ce priveşte absorbția şi emisia radiației termice.
- Solidele = spectre continue de radiație,
- Gazele = caracter selectiv, absorbind şi emițând energia numai în anumite intervale de lungimi de undă, în altele fiind transparente (diaterme).
- Absorbția şi radiația energiei de către gaze nu are loc în **stratul superficial**, ca în cazul solidelor, ci **în volum**, datorită drumului mediu liber al moleculelor de gaz mult mai mare decât distanța între particulele corpului solid.

Radiația gazelor şi vaporilor

- Gazele mono- şi diatomice (He, Ar, O_2, N_2, H_2) = practic complet transparente pentru radiația termică,
- Gazele poliatomice (CO_2, H_2O, NH_3, SO_2 etc.) posedă o mare capacitate de emisie sau absorbție a radiației termice.