

[https://mega.nz/?fbclid=IwAR1w1um6WRnUtaVYjyK8NKvfH5vq\\_0wwK7IO8DNgDOW\\_z8Ixs7duTrL4l0#F!xNgVFCr!p5Y85PMeCFB8M9bUD6j5ew](https://mega.nz/?fbclid=IwAR1w1um6WRnUtaVYjyK8NKvfH5vq_0wwK7IO8DNgDOW_z8Ixs7duTrL4l0#F!xNgVFCr!p5Y85PMeCFB8M9bUD6j5ew) - wykłady (chyba wszystkie :D)

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21ALjKSCkZalvIAz0&id=76E6DB2D24A3E1BA%21303938&cid=76E6DB2D24A3E1BA> - instrukcje laboratoriów

## [L1] Szajding

[https://drive.google.com/open?id=12GwMeLmarGgq1Og3B-6\\_yZkGNwhwhMrJ](https://drive.google.com/open?id=12GwMeLmarGgq1Og3B-6_yZkGNwhwhMrJ) - pdf z materiałami

### Zagadnienia oficjalne:

*// ogólnie dawał różne pytania ale wszystkie z zagadnień, raczej nie będzie niespodzianek ~Carlos Bogeyman*

*//może dlatego że daje 3 minuty na kolosa ~Grzegorzulec*

- temperatura
- budowa i zasada działania termoelementu
- sposoby przekazywania ciepła
- ustalone i nieustalone przewodzenie ciepła
- prawo Fouriera
- współczynnik Przewodzenia ciepła
- opór przewodzenia ciepła

### Pytania z kolosów:

- opisać termoparę
- współczynnik przewodzenia ciepła
- opisać sposoby wymiany ciepła (konwekcja, promieniowanie i przewodzenie)

### Opracowanie:

#### **Temperatura.**

Temperatura jest miarą energii kinetycznej molekuł. (Malinowski)

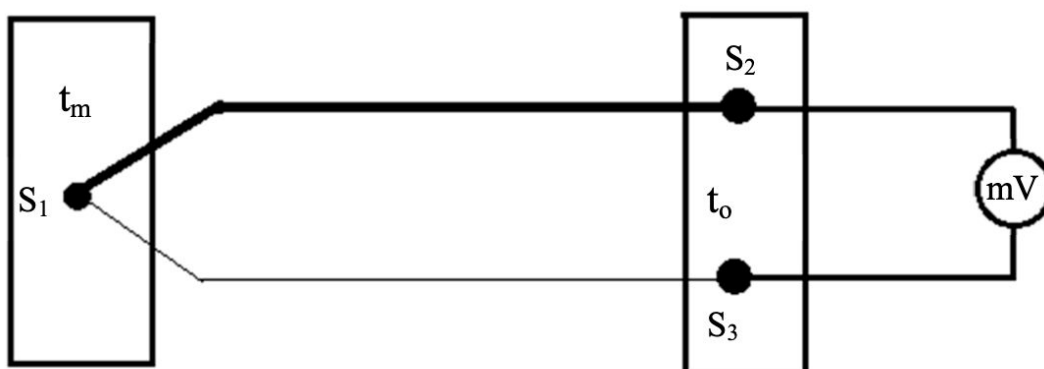
Temperatura jest związana ze średnią energią kinetyczną ruchu i drgań wszystkich cząsteczek tworzących dany układ i jest miarą tej energii. (Wikipedia)

#### **Termoelement.**

**Termopara** – element obwodu elektrycznego składający się z dwóch różnych przewodników, wykorzystujący zjawisko Seebecka, zachodzące na ich styku. Termopara jest wykorzystywana jako czujnik temperatury, rzadziej jako źródło zasilania o bardzo niskim napięciu i relatywnie wysokim prądzie.

W nierównomiernie nagrzanym przewodniku, na skutek różnicy energii i koncentracji nośników ładunku zacznie się ich ukierunkowany ruch. Jeżeli końce termopary znajdują się w temperaturze  $t_o < t_m$ , to na złączu o temperaturze  $t_m$  będzie występowała większa koncentracja nośników ładunku i będą one również miały większą energię. W efekcie wystąpi ich dyfuzja w kierunku zimniejszego końca ( $t_o$ ). W warunkach równowagi na zewnątrz przewodnika obserwuje się różnicę potencjałów między punktami o różnej temperaturze. Termopara to praktyczne wykorzystanie zjawiska Seebecka.

Styk pomiędzy dwoma metalami generuje napięcie będące funkcją temperatury. Wielkość generowanego w ten sposób napięcia zależy od różnicy temperatur pomiędzy stykami S1 i S2 oraz od rodzajów metali użytych w stopie 1 i stopie 2. Termopara jest zatem elementem obwodu elektrycznego składającego się z dwóch przewodów wykonanych z różnych metali (mogą być metale czyste lub stopy metali).



Miejsce łączenia nazywa się „spoiną pomiarową” zaś pozostałe końce - zimnymi końcami. Przewody termoelementu nazywa się „termoelektrodami”. W tak utworzonym termoelemencie składającym się z różnych materiałów, powstaje siła termoelektryczna wtedy, gdy spoina i zimne końce utrzymywane są w różnych temperaturach. Czułość termoelementu zależy od siły termoelektrycznej materiałów, z których wykonane są termoelementy.

Np. Cr - NiCr

Wielkość generowanego w ten sposób napięcia zależy od różnicy temperatur pomiędzy stykami S1 i S2 oraz od rodzajów metali użytych w stopie 1 i stopie 2.

Wynik można opisać następującym równaniem:

$$V = \alpha (t_m - t_o)$$

gdzie V to napięcie, a  $\alpha$  jest współczynnikiem Seebecka.

### **Sposoby przekazywania ciepła.**

- konwekcja (naturalna, sztuczna) - proces przekazywania ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w gazie, cieczy lub plazmie  
Wyróżnia się:
  - Konwekcję swobodną – ruch płynu jest wywołany różnicami gęstości (ciśnienia), wywołanymi różnicą temperatur.
  - Konwekcję wymuszoną – występuje ruch płynu niewynikający z konwekcji, wywoływany przez czynniki zewnętrzne (urządzenia wentylacyjne, wiatr itp.)

- przewodzenie - proces wymiany ciepła między ciałami o różnej temperaturze pozostającymi ze sobą w bezpośrednim kontakcie. Polega on na przekazywaniu energii kinetycznej bezładnego ruchu cząsteczek w wyniku ich zderzeń. Proces prowadzi do wyrównania temperatury między ciałami.
- promieniowanie - promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez cząstki naładowane elektrycznie w wyniku ich ruchu termicznego w materii. Promieniowanie ciepłe emitowane jest przez każdą materię o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego.

### *Ustalone i nieustalone przewodzenie ciepła.*

**Nieustalona wymiana ciepła** - zjawiska wymiany ciepła są zmienne w czasie, pole temperatury zmienia się w czasie.

**Ustalona wymiana ciepła** - zjawiska wymiany ciepła nie zależą od czasu, pole temperatury nie zmienia się w czasie

Przewodzenie ciepła jest **USTALONE** gdy

$$dQ/dt = \text{const}$$

lub

$$Q_{*1} = Q_{*2} = Q_{*3}$$

lub inaczej

Jeżeli gradient temperatury jest niezależny od czasu i stały, to proces przewodzenia ciepła jest **ustalony**.

Przewodzenie ciepła jest **NIEUSTALONE** gdy

$$dQ/dt \neq \text{const}$$

lub

$$Q_{*1} \neq Q_{*2} \neq Q_{*3}$$

### *Prawo Fouriera.*

$$\dot{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

Gęstość przewodzonego strumienia ciepła  $\dot{q}$  jest proporcjonalna do pochodnej temperatury w kierunku prostopadłym do powierzchni izotermicznej. Znak minus oznacza, że ciepło płynie zgodnie ze spadkiem temperatury.

### *Opór przewodzenia ciepła.*

Opór cieplny jest to stosunek grubości warstwy materiału do współczynnika przewodnictwa cieplnego rozpatrywanej warstwy materiału. (Wikipedia)

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad [1.2]$$

gdzie:

- d** - grubość przegrody lub warstwy, [m],
  - λ** - obliczeniowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału przegrody, [W/m·K] wg załącznika nr 2.2.
- 

### **Współczynnik przewodzenia ciepła:**

Jednostka współczynnika przewodzenia ciepła λ (lambda)

Jednostką współczynnika przewodzenia ciepła w układzie SI jest [W/(m·K)]. Wyraża ona wielkość przepływu ciepła przez jednostkową powierzchnię z materiału o danej grubości, jeśli różnica temperatur między dwiema jego stronami wynosi 1 Kelwin.

Współczynnik przewodzenia ciepła λ (lambda) to ilość energii cieplnej przepływającej na wskroś pewnej masy próbki, w wyniku zewnętrznej różnicy temperatur.

To jedna z najważniejszych cech materiałów izolacyjnych. Im mniejsza wartość współczynnika λ (lambda), tym materiał słabiej przewodzi ciepło, a zatem lepiej izoluje przed jego stratami. Oznacza to, że w tych samych warunkach więcej ciepła przepłynie przez substancję o większej przewodności cieplnej.

### **Termopara:**

**Termopara** – element obwodu elektrycznego składający się z dwóch różnych przewodników, wykorzystujący zjawisko Seebecka, zachodzące na ich styku. Termopara jest wykorzystywana jako czujnik temperatury, rzadziej jako źródło zasilania o bardzo niskim napięciu i relatywnie wysokim prądzie.

Termopara składa się z pary różnych metali zwykle w postaci przewodów, spojonych na obu końcach. Jedno złącze umieszczane jest w miejscu pomiaru, podczas gdy drugie utrzymywane jest w stałej temperaturze odniesienia (np. mieszanina wody z lodem), co nazywa się termostatyzacją. Gdy nie jest wymagana duża dokładność (dopuszczalny błąd rzędu kilku stopni), jako temperaturę odniesienia traktuje się np. temperaturę wnętrza szafy sterowniczej maszyny przemysłowej, mierzoną z pomocą innego czujnika (jest to tzw. *sztuczne zero*). Pod wpływem różnicy temperatury między złączami (pomiarowym i odniesienia) powstaje różnica potencjałów (siła elektromotoryczna), zwana w tym przypadku *siłą termoelektryczną*, proporcjonalna do różnicy temperatur.

Spoina pomiarowa może znajdować się w obudowie o dużym przewodnictwie cieplnym. Instaluje się ją w miejscu pomiaru temperatury. Złącze odniesienia może być umieszczane w ściśle określonej temperaturze odniesienia, np. topniejącym lodzie. Może nie być złączem bezpośrednim, a zamknięcie obwodu odbywa się poprzez zaciski miernika.

## [L2] Cebo-Rudnicka

### Zagadnienia oficjalne:

[https://drive.google.com/open?id=1IBXnkQWAAx8W\\_JhnCWGbAGcc5-P91d1o](https://drive.google.com/open?id=1IBXnkQWAAx8W_JhnCWGbAGcc5-P91d1o) - pdf z materiałami

*// ogólnie daje różne pytania ale wszystkie z zagadnień, raczej nie będzie niespodzianek ~Carlos*

*//przecież warunków brzegowych nie było w wymaganiach a też daje XD ~Gregorios*

*//to prawda z warunkami brzegowymi dojechała ~Carlitos*

*//pora wytoczyć beczkę ~Gragas*

- konwekcyjna wymiana ciepła: podział
- liczby kryterialne stosowane do opisu konwekcyjnej wymiany ciepła (wzory, definicje)
- teoria warstwy przyściennej (hydrodynamicznej i termicznej).
- warunki brzegowe też były pomimo że nie ma w wymaganiach

### Pytania z kolosów:

- opisać konwekcje (sztuczna, naturalna, **przestrzeń w jakiej występuje (wtf)**, przykłady)
- dynamiczna warstwa przyścienna (chodziło tutaj o hydrodynamiczną warstwę przyścienną)
- jakich warunków brzegowych używaliśmy do przeprowadzenia doświadczenia na labach (czyli do chłodzenia pręta w powietrzu) - **podobno 1 i 3**
- liczby określające konwekcję wymuszoną:

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot (d/L)$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \text{ - liczba Nusselta (charakteryzująca podobieństwo kinetyczne}$$

czyli intensywność przepływu ciepła na granicy płyn – ścianka),

$\alpha$  - współczynnik wnikania ciepła [ $W/m^2 \cdot K$ ],

$d$  – średnica przewodu [m],

$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła [ $W/m \cdot K$ ]

$$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta} \text{ - liczba Reynoldsa (charakteryzująca podobieństwo}$$

hydrodynamiczne),

$u$  – średnia liniowa prędkość przepływu płynu [m/s],

$\rho$  - gęstość płynu [ $kg/m^3$ ],

$\eta$  - współczynnik lepkości dynamicznej płynu [ $Pa \cdot s$ ]

**Re charakteryzuje rodzaj przepływu płynu przez rurociąg:**

**Re < 2100** – przepływ laminarny (uwarstwiony),

**2100 < Re < 3000** – przepływ przejściowy,

**Re > 3000** – przepływ burzliwy

$$Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda} \text{ - liczba Prandtl'a (charakteryzująca pod względem właściwości}$$

fizykochemicznych płynu),

$c$  – ciepło właściwe płynu [ $J/kg \cdot K$ ],

$L$  – długość przewodu [m]

$d/L$  – **simpleks geometryczny (liczba podobieństwa geometrycznego)**,



liczby określające konwekcją naturalną:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

gdzie:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \text{ - liczba Nusselta,}$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho^2}{\eta^2} \cdot \beta \cdot \Delta t \text{ - liczba Grashofa (charakteryzuje}$$

oddziaływanie wzajemne sił tarcia wewnętrznego i sił wyporu, spowodowane różnicą gęstości w poszczególnych punktach płynu),

$$Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda} \text{ - liczba Prandtla.}$$

$l$  – charakterystyczny wymiar liniowy [m],

$\nu$  – lepkość kinematyczna płynu [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],

$\beta$  – współczynnik rozszerzalności objętościowej [ $1/\text{K}$ ],

$\Delta t$  – różnica temperatur między temperaturą powierzchni ściany a temperaturą ośrodka [K].

wartości współczynnika  $C$  i wykładnika  $n$  zależą od iloczynu  $Gr \cdot Pr$

- konwekcja (naturalna, sztuczna) - proces przekazywania ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w gazie, cieczy lub plazmie

Wyróżnia się:

- Konwekcję swobodną – ruch płynu jest wywołany różnicami gęstości (ciśnienia), wywołanymi różnicą temperatur.
- Konwekcję wymuszoną – występuje ruch płynu niewynikający z konwekcji, wywołany przez czynniki zewnętrzne (urządzenia wentylacyjne, wiatr itp.)

Warstwa Przyścienna:

W przypadku przepływu płynu wzdłuż ściany (płyty) o temperaturze wyższej od temperatury otaczającego płynu przy powierzchni tworzy się warstwa przyścienna, w której następuje ogrzewanie się płynu. Cechuje się zmienną temperaturą płynu i zmienną prędkością płynu. Tworzy się przy omywaniu płynem ciał stałych (przy powierzchni)

Warstwa przyścienna hydrodynamiczna:

prędkość w kierunku prostopadłym zmienia się od 0 (płyn lepki) do prędkości płynu

Warstwa przyścienna termiczna:

temperatura w kierunku prostopadłym od powierzchni zmienia się od temperatury ciała stałego do temperatury płynu

## [L3] Jerzak

### Zagadnienia oficjalne:

<https://drive.google.com/open?id=1IZeMduoNVoaMD0RRjzetSzBpHrHxuHxl> - pdf z materiałami

<https://docs.google.com/document/d/1IMlfb1hLHcoWYSiqJke9CFnmEQlnR-Xbed-V1gT7Sq/edit?usp=sharing> - to co niżej tylko elektronicznie

*// ogólnie ziomek lubi dać coś spoza zagadnień ze skryptu więc jest możliwość, że będzie zdziwko ~Carlos*

- absorpcyjność i przepuszczalność ośrodka
- ciało doskonale czarne
- prawo Plancka;
- prawo promieniowania Wiena i prawo przesunięć Wiena;
- prawo Stefana-Boltzmann
- emisyjność
- parametry decydujące o emisyjności ośrodka;
- rodzaje, zastosowanie, budowa i zasada działania pirometrów;
- podział detektorów promieniowania wykorzystywanych w kamerach termowizyjnych
- okna pomiarowe pirometrów

### Pytania z kolosów:

- EMITANCJA ELO
- podział pirometrów i zastosowanie (wszystkich)
- prawo Stefana-Boltzmann dla ciał szarych (wzór + opisać)
- co to jest emisyjność całkowita
- prawo Kirchhoffa
- okno pomiarowe
- jaki pirometr z jakiego prawa korzysta
- współczynniki mające wpływ na emisyjność
- elementy budowy kamery termowizyjnej
- prawo Wiena i przesunięcie
- z jakiego prawa korzysta pirometr monochromatyczny
- rodzaje detektorów do kamer termowizyjnych
- prawo Plancka
- $a+r+p=1$  opisać i co to jest
- Działanie pirometrów
- emisyjność monochromatyczna

### Opracowanie:

**Absorpcyjność** - proces pochłaniania energii fali elektromagnetycznej przez substancję. Część promieniowania zaabsorbowanego przez ciało zanika, co powoduje wzrost jego energii wewnętrznej.

### **a+r+p=1 opisać i co to jest?**

Są to parametry opisujące co dzieje się z falami elektromagnetycznymi padającymi na ciało.

a-absorpcyjność

r-refleksyjność (odsetek odbitej energii)

p-przepuszczalność

**Emitancja** - wyraża zdolność emisyjną ciała wysyłającego promieniowanie elektromagnetyczne.

### **Prawo Stefka dla Ciała szarego:**

Prawo Stefana-Boltzmann dla ciała szarego przyjmuje postać:

$$\Phi = A \cdot \sigma T^4$$

gdzie:

$\Phi$  – strumień energii wypromieniowywany w kierunku prostopadłym do powierzchni ciała W/m<sup>2</sup>

$\sigma$  – stała Stefana-Boltzmann.

Ciało, którego emisyjność monochromatyczna zachowuje stałą wartość określana jest mianem ciała szarego.

Emisyjność ciała szarego dla całkowitego zakresu promieniowania zwana jest emisyjnością całkowitą, która jest równa

ilorazowi natężenia promieniowania w pełnym zakresie dla ciała szarego i ciała doskonale czarnego znajdujących się w tej samej temperaturze:  $\epsilon = \frac{E}{E_0} < 1$

**Prawo przesunięć Wiena** - prawo opisujące promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez CDC.

$$\lambda_{max} T = \text{const}$$

$\lambda_{max}$  - długość fali maks. mocy wyrażona w metrach

$T$  - temperatura CDC

$b$  - stała Wiena

Określa zmianę położenia maksimum rozkładu natężenia promieniowania cieplnego przy zmianie temperatury.

Prawo promieniowania Wiena:

$$I(\nu) = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)}$$

$I(\nu)$  – radiancja spektralna częstotliwościowa

$C_1, C_2$  - stałe

**Emisyjność całkowita** - Emisyjność ciała szarego dla całkowitego zakresu promieniowania zwana jest emisyjnością całkowitą, która jest równa ilorazowi natężenia promieniowania w pełnym zakresie dla ciała szarego i ciała doskonale czarnego znajdujących się w tej samej temperaturze.  
(Jest to całkowita zdolność ciała do emitowania fal elektromagnetycznych o różnych długościach. )



**Prawo promieniowania cieplnego Kirchhoffa** – prawo, zgodnie z którym w ustalonej temperaturze stosunek zdolności emisyjnej ciała do jego zdolności absorpcyjnej jest uniwersalną funkcją, taką samą dla wszystkich ciał. Ze względów historycznych funkcję tę nazywa się **funkcją Kirchhoffa**. Ma ona postać

$$\frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = \varepsilon(\nu, T)$$

gdzie:

$E(\nu, T)$  – zdolność emisyjna ciała w dziedzinie częstości,

$A(\nu, T)$  – zdolność absorpcyjna ciała w dziedzinie częstości,

$\varepsilon(\nu, T)$  – uniwersalna funkcja Kirchhoffa.

### Jaki pirometr z jakiego prawa korzysta

- Radiacyjny - Stefana-Boltzmann
- Dwubarwowy - Wiena
- Monochromatyczny - Wiena
- Fotoelektryczny - CHUJ WIE

### Emisyjność:

Emisyjność jest cechą powierzchni i określa jak blisko dana powierzchnia zbliża się do ciała doskonale czarnego,  
dla którego  $\varepsilon = 1$ .

Promieniowanie cieplne jest emitowane przez każde ciało z temperaturą powyżej zera bezwzgl.

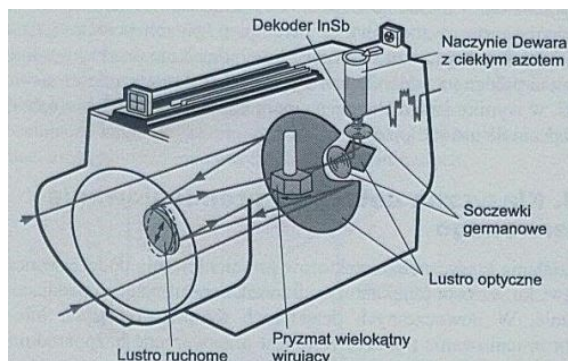
Poszczególne materiały różnią się zdolnością emitowania promieniowania podczerwonego. Dlatego wprowadza się współczynnik emisyjności, który określa zdolność przedmiotu do emisji tego promieniowania.

Punktem odniesienia jest CDC o emisyjności = 1 ( ogólny zakres to  $< 0,1 >$  )

Zależy od:

- a) rodzaju materiału
- b) powierzchni
- c) kierunku obserwacji
- d) długości fali

### Elementy budowy kamery termowizyjnej:



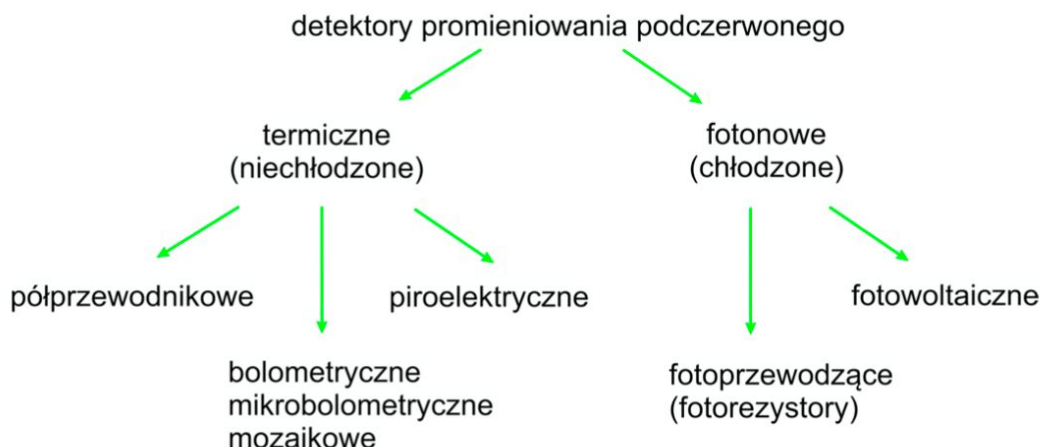
/\* Wykorzystuje metodę diagnostyczną polegającą na pomiarze promieniowania w paśmie zwanym podczerwienią. Ogólnie dają one większe możliwości niż pirometry, gdyż pozwalają na przestrzenne obrazowanie pola temperatury. Podobnie jak pirometry radiacyjne, wykorzystują przetwarzane jest na sygnał elektryczny promieniowania emitowane lub odbite z badanego obiektu.

\*/

Podstawowy podział kamer termowizyjnych wynika z pracy zastosowanych detektorów w jednym z podzakresów pasma promieniowania podczerwonego:

- bliska podczerwień (NIR – *Near Infrared*):  $0,8 \mu\text{m} \div 1 \mu\text{m}$ ,
- zakres krótkofalowy (SWIR – *Short Wave Infrared*):  $1 \mu\text{m} \div 3 \mu\text{m}$ ,
- zakres średnifalowy (MWIR – *Medium Wave Infrared*):  $3 \mu\text{m} \div 6 \mu\text{m}$ ,
- zakres długofalowy (LWIR – *Long Wave Infrared*):  $6 \mu\text{m} \div 15 \mu\text{m}$ .
- ekstremalnie długofalowy:  $15 \div 100 \mu\text{m}$ .

## Rodzaje detektorów:



## Prawo Plancka:

Opisuje emisję promieniowania elektromagnetycznego przez CDC będące w równowadze termodynamicznej i znajdujące się w danej temperaturze.

/\* Obraz uzyskany w wyniku rozłożenia światła niemonochromatycznego na składowe o różnych długościach fal ( różne barwy ) za pomocą pryzmatu lub siatki dyfrakcyjnej:

- a) emisyjne - rozszczepienie bezpośrednio ze źródła
- b) absorpcyjne - rozszczepienie po przejściu przez ośrodek absorbujący światło
- c) odbiciowe - rozszczepienie światła, które wcześniej zostało odbite

\*/

Planck założył, że cząsteczki ciała emitują fale elektromagnetyczne dla każdej częstotliwości ( $\nu$ ), ale tylko w określonych porcjach ( $h\nu$ ) zwanych kwantami, a więc:

$$u(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{\exp(\frac{h\nu}{kT}) - 1}$$

$u(\nu)$  - radiancja spektralna

$h$  - stała Plancka [ $J \cdot s$ ]

$k$  - st. Stefana-Boltzmanna

$T$  - temperatura

Teraz funkcja dla dużych częstotliwości zanika (mianownik szybko rośnie) i ma maksimum niezależne od temperatury.

## Podział pirometrów i zastosowanie:

Pirometr radiacyjny:

*Zastosowanie:* do pomiarów ciągłych i rejestracji temperatury ciał czarnych i nieczarnych. W warunkach przemysłowych do pomiaru wnętrza pieców elektrycznych i gazowych, powierzchni niemetalowych w przemyśle, przy nagrzewaniu w piecach przetłowych.

Pirometr monochromatyczny:

*Zastosowanie:* tylko do pomiarów dorywczych, kontrolnych i porównawczych, ponieważ wymagają obsługi ludzkiej. Znajdują szerokie zastosowanie w pomiarach laboratoryjnych.

Pirometr fotoelektryczny:

*Zastosowanie:* w miejscach, gdzie obecność pary wodnej, lub gazów silnie pochłaniających uniemożliwia stosowanie pirometrów radiacyjnych, rejestracja temperatur szybkozmiennych, lub temperatur przedmiotów znajdujących się w ruchu, np. w pomiarach wsadu nagrzewanego w piecach indukcyjnych lub oporowych.

Pirometr dwubarwny:

*Zastosowanie:* głównie tam, gdzie ze względu na pochłanianie promieniowania przez gazy, pary i dymy stosowanie innych pirometrów jest niemożliwe. Pirometry te mają również zastosowanie przy pomiarach temperatury ciał nieczarnych o zmiennej emisyjności.

## Okna pomiarowe pirometrów:

-p.radiacyjny 800-1600C

-p.monochromatyczny z zanikającym włóknem 800-1400C

-p.fotoelektryczny 500-900C

-p.dwubarwny ???

## Działanie pirometrów

Pirometr radiacyjny – zwany też piometrem całkowitego promieniowania wykorzystuje zależność natężenia promieniowania cieplnego emitowanego w szerokim zakresie długości fal od temperatury.

Pomiar temperatury z wykorzystaniem pirometru monochromatycznego z zanikającym włóknem polega na obserwacji włókna żarówki, przez które przepływa prąd elektryczny nastawiony za pomocą rezystora regulacyjnego.

Zasada działania pirometrów fotoelektrycznych polega na pomiarze sygnału elektrycznego powstającego w detektorze fotoelektrycznym, na którym jest skupione promieniowanie cieplne wysyłane przez badany obiekt.

W pirometrze barwowym wykorzystuje się długości fal znajdujące się w zakresie widzialnej części widma.

## [L4] Hadała

<https://drive.google.com/open?id=13SLPlhcWOLucYqt8fFD7HXAlgWPevf6Z> - pdf z materiałami, jeden anonim dostał z tego 4.5, a drugi i trzeci lufę więc średnio sprawdzony

### Zagadnienia oficjalne:

- Warunki jednoznaczności rozwiązania równania przewodzenia ciepła
- Warunki brzegowe wymiany ciepła (wymienić oraz szczegółowo omówić).
- Radiacyjny warunek brzegowy, złożone warunki brzegowe.
- Współczynniki konfiguracji.

### Pytania z kolosów:

- 3 warunek brzegowy
- Współczynnik konfiguracji (x2)
- Warunki jednoznaczności rozwiązania równania przewodzenia ciepła (x2)
- Warunki termofizyczne i warunek początkowy
- 2 warunek brzegowy (x2)
- Wzór na złożony warunek brzegowy (x2)
- 4 warunek brzegowy
- Radiacyjny warunek brzegowy

### Opracowanie:

[https://docs.google.com/document/d/1EnpMf36zWt4AI\\_oYbrUTj-5EroDiZrQ\\_GyskWIU1v\\_E/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/1EnpMf36zWt4AI_oYbrUTj-5EroDiZrQ_GyskWIU1v_E/edit?usp=sharing) //tylko zagadnienia oficjalne

Możliwe są do zdefiniowania 4 warunki brzegowe, ale do oceny ilości dostarczanego ciepła do powierzchni wystarczy znajomość jednego. Warunki brzegowe na powierzchni ciała stałego mogą być określone kilkoma sposobami. Największe zastosowanie praktyczne mają warunki brzegowe drugiego i trzeciego rodzaju. Warunki brzegowe drugiego rodzaju określone są przez rozkład gęstości strumienia ciepła na powierzchni brzegowej. Warunki brzegowe trzeciego rodzaju zakładają podanie łatwo mierzalnej temperatury atmosfery pieca oraz trudnego do wyznaczenia współczynnika wymiany ciepła na powierzchni wsadu. Jedną z metod umożliwiających wyznaczenie obu warunków brzegowych jest metoda opierająca się na rozwiązaniach zagadnienia odwrotnego równania przewodzenia ciepła. W tym przypadku gęstość strumienia ciepła lub współczynnik wymiany ciepła na powierzchni chłodzonego materiału jest określony z minimalizacji funkcji celu, która definiuje różnice

między zmierzonymi a obliczonymi wartościami temperatury. Dla wykorzystywanego na zajęciach programu, warunek brzegowy na powierzchni nagrzewanej poszukiwany będzie w postaci funkcji zależnej od czasu:

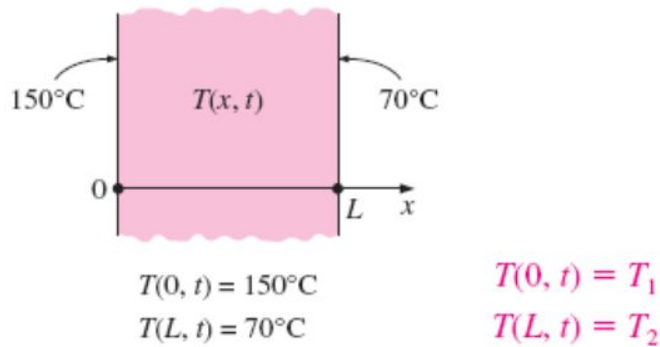
$$\dot{q}(\tau) = \alpha_{INV}(\tau) \left( T_p - T_s(\tau) \right)$$

Na wartość uzyskanego wyniku ma wpływ zarówno wymiana ciepła w wyniku promieniowania pomiędzy powierzchnią wewnętrzną przegród pieca a powierzchnią nagrzewanego materiału, jak również konwekcyjna wymiana ciepła pomiędzy atmosferą pieca (powietrze) a powierzchnią nagrzewanego materiału.



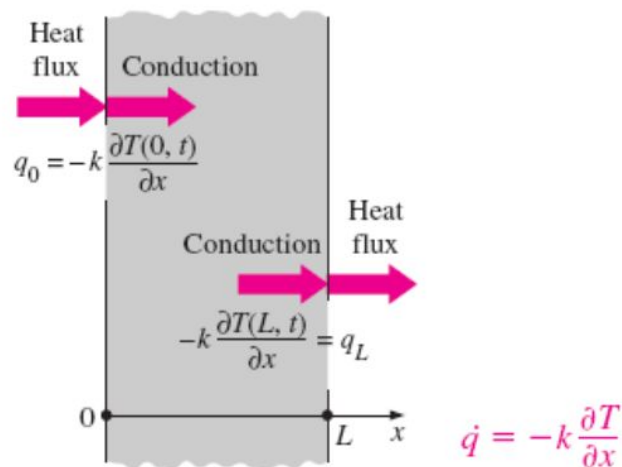
**Warunki brzegowe** opisują zachowanie się funkcji **na brzegu obszaru**. Wyróżnia się trzy rodzaje warunków brzegowych :

*warunek brzegowy pierwszego rodzaju (DIRICHLETA)* – znany jest rozkład temperatury we wszystkich punktach powierzchni ciała ( $T_s$ ).



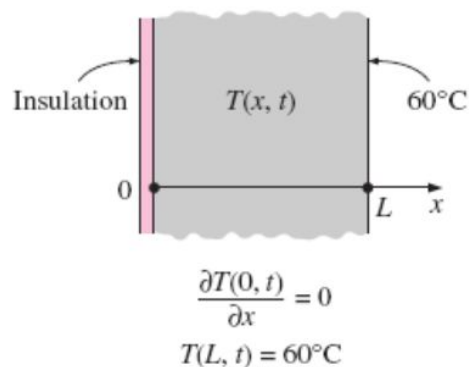
Rysunek 7. Przykład warunku brzegowego I rodzaju

*warunki brzegowe drugiego rodzaju (NEUMANA)* – znany jest rozkład gęstości strumieni ciepła  $q$ , we wszystkich punktach powierzchni ciała, nie znana jest temperatura ścianki  $T_s$ , inaczej mówiąc znany jest strumień na powierzchni (Prawo Fouriera).



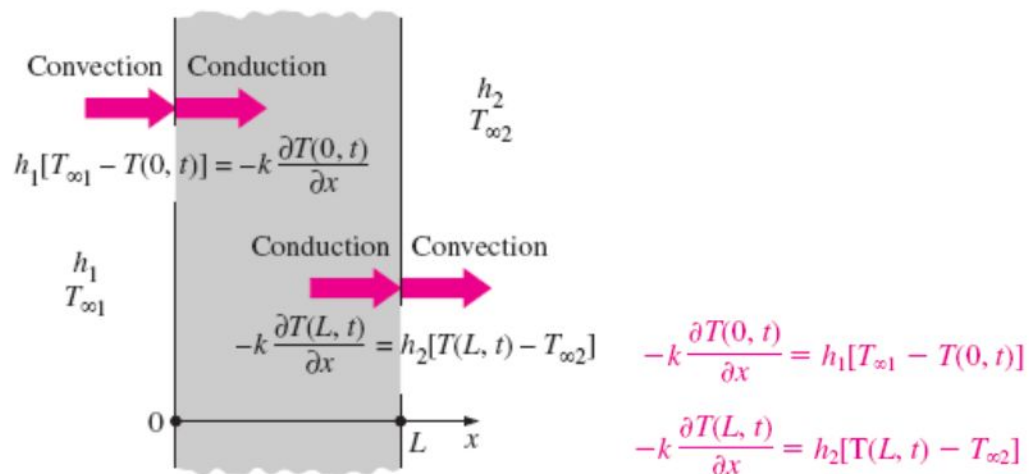
Rysunek 8. Przykład warunku brzegowego II rodzaju.

*Przypadek specjalny: izolowana powierzchnia:*



Rysunek 9. Specjalny przypadek warunku II rodzaju

**warunki brzegowe trzeciego rodzaju** – dana jest temperatura płynu  $T_p$  otaczającego ciało stałe oraz współczynnik przejmowania ciepła, nie znana jest temperatura powierzchni ścianki  $T_s$ , (konwekcja).



Rysunek 10. Warunek brzegowy III rodzaju

Warunki jednoznaczności: dodatkowe warunki charakteryzujące konkretny proces

- 1) Warunki geometryczne - kształt, wymiary ciała
- 2) warunki termofizyczne - własności fizyczne: przewodnictwo cieplne, ciepło właściwe, gęstość
- 3) warunki czasowe - opisują rozkład temperatury w ciele w początkowym momencie. W ogólnym przypadku dla  $t = 0$ , mamy  $T = f(x, y, z)$ , lub gdy rozkład jest równomierny, to  $T = T_0 = \text{const.}$

Warunki brzegowe:

I rodzaju - na powierzchni ciała zadana jest temperatura  $T$ . Dla jednowymiarowego przewodzenia ciepła w płytce o grubości  $L$  podajemy  $T(0; t) = T_1$ ,  $T(L; t) = T_2$  (Dirichleta)

II rodzaju - warunek formułuje się w postaci gęstości strumienia ciepła, znając energię cieplną dostarczoną lub odbieraną z powierzchni brzegowej

$$\dot{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

+ strumień skierowany zgodnie z kierunkiem osi

III rodzaju - sprowadza się do bilansu energii brzegowej

przewodzenie ciepła do powierzchni brzegowej w określonym kierunku = konwekcyjny strumień ciepła w tym samym kierunku

$$-\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha_1 [T_{\infty 1} - T(0, t)]$$

IV rodzaju - w układzie składającym się z wielu brył składających się ze sobą na granicy tych

ciał występuje uskok temperatury

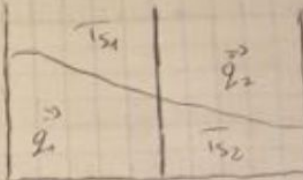
$$\gamma_s = \frac{\lambda}{\alpha_s}$$

Jeżeli opór można pominąć, stosowana jest inna postać warunku

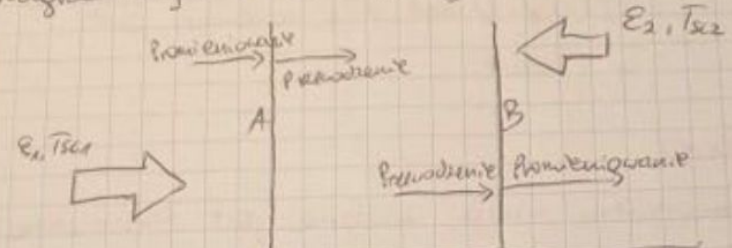
$$T_A(x_0, t) = T_B(x_0, t)$$

$$\dot{q}_s = -\lambda_A \frac{\partial T_A(x_0, t)}{\partial x} = -\lambda_B \frac{\partial T_B(x_0, t)}{\partial x}$$

**Podstawowy warunek:**

$$\dot{q}_s = \alpha_s [T_{s1} - T_{s2}]$$


**Radiacyjny warunek brzegowy**  
 Uważamy brakiem prądu w otoczeniu układu nagrzewanego i chłodzonego.



A)  $-\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \epsilon_1 \sigma [T_{sc}^4 - T(0, t)^4]$

B)  $-\lambda \frac{\partial T(L, t)}{\partial x} = \epsilon_2 \sigma [T(L, t)^4 - T_{sc}^4]$

$T_{sc}$  - temperatura powierzchni otaczających obiekt

### Złożone warunki brzegowe

Warunki I - IV opisują pojedyncze sposoby wymiany ciepła, w praktyce występują również ciepła złożone z przewodzenia, konwekcji i promieniowania. W takich sytuacjach warunki brzegowe wyprowadzane są z bilansu energii powierzchni brzegowej.

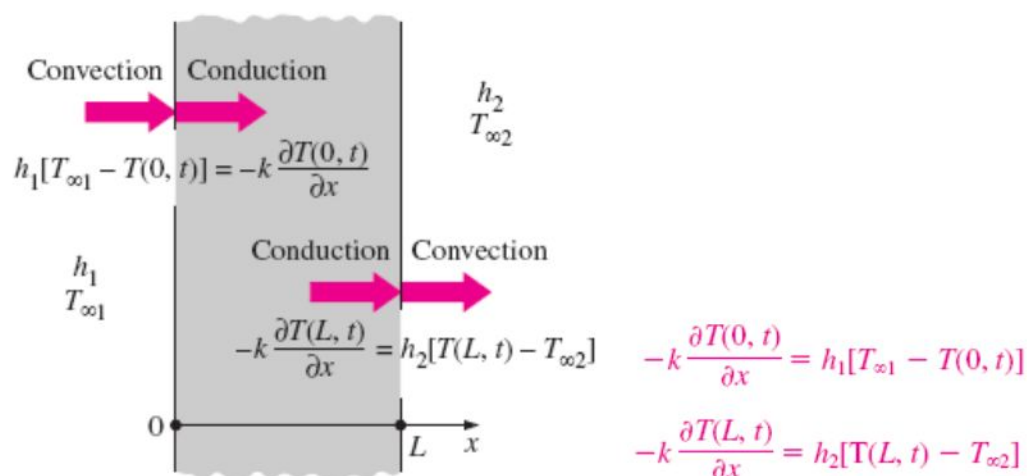
Jeśli wymiana ciepła występuje między płaszczyznami o skończonych wymiarach, to wprowadza się współczynnik opromieniowania (konfiguracji)  $\alpha$ , który określa część strumienia ciepła wypromieniowanego przez powierzchnię X, który pada na powierzchnię Y:

- przy wymianie ciepła przez promieniowanie między dwoma nieograniczonymi powierzchniami  $\alpha(X-Y) = \alpha(Y-X) = 1$

### Pytania z kolosów:

#### 3 warunek brzegowy

**warunki brzegowe trzeciego rodzaju** – dana jest temperatura płynu  $T_p$  otaczającego ciało stałe oraz współczynnik przejmowania ciepła, nie znana jest temperatura powierzchni ścianki  $T_s$ , (konwekcja).



Rysunek 10. Warunek brzegowy III rodzaju

### Współczynnik konfiguracji

Jeśli wymiana ciepła następuje między płaszczyznami o skończonych wymiarach, to wówczas wprowadza się współczynnik opromieniowania (inaczej: kierunkowy, kątowy lub konfiguracji)  $\varphi_{1-2}$ , zależny od kształtu powierzchni, ich wymiarów, wzajemnego położenia oraz odległości między nimi, który uwzględnia jaka część energii ciała 1 pada na ciało 2:

### Warunki jednoznaczności rozwiązania równania przewodzenia ciepła

Do warunków jednoznaczności rozwiązania różniczkowego nieustalonego przewodzenia należą:

- **Warunki geometryczne** - określają kształt i wymiary ciała
- **Warunki fizyczne** - określające właściwości fizyczne substancji, z której utworzone jest ciało
- **Rozkład wydajności** - wewnętrznych źródeł ciepła w czasie i przestrzeni
- **Warunki początkowe** - określające rozkład temperatury w początkowej chwili w szczególnym przypadku może to być warunek stałej temperatury w każdym punkcie ciała lub warunek periodycznej zmiany temperatury
- **Warunki brzegowe** - określające warunki wymiany ciepła na powierzchniach zewnętrznych ciała warunki początkowe i warunki brzegowe nazywane są łącznie warunkami granicznymi

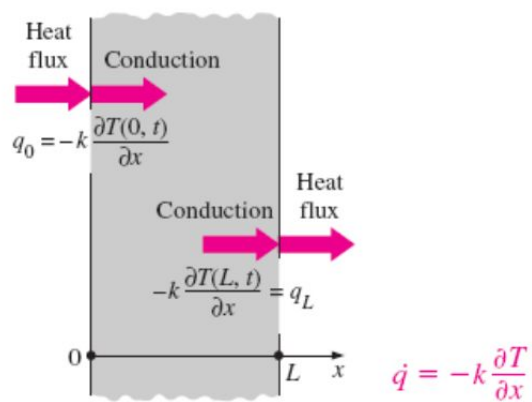
### Warunki termofizyczne i warunek początkowy

Warunki termofizyczne - własności fizyczne: przewodnictwo cieplne, ciepło właściwe, gęstość

Warunek początkowy definiuje stan układu w chwili początkowej. Stan musi być znany w każdym punkcie przestrzennym.

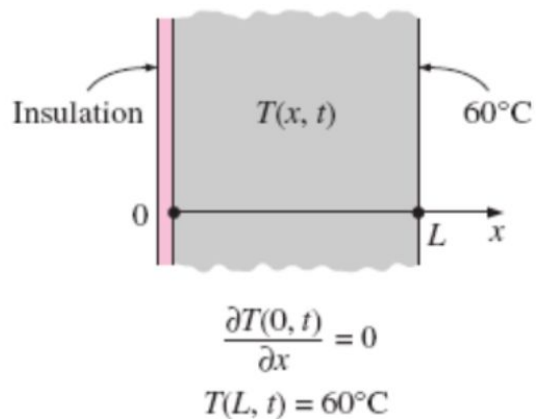
### 2 Warunek brzegowy

*warunki brzegowe drugiego rodzaju (NEUMANA)* – znany jest rozkład gęstości strumieni ciepła  $q$ , we wszystkich punktach powierzchni ciała, nie znana jest temperatura ścianki  $T_s$ , inaczej mówiąc znany jest strumień na powierzchni (Prawo Fouriera).



Rysunek 8. Przykład warunku brzegowego II rodzaju.

*Przypadek specjalny: izolowana powierzchnia:*



Rysunek 9. Specjalny przypadek warunku II rodzaju

**Wzór na złożony warunek brzegowy**



## Złożone warunki brzegowe

Wymienione dotychczas warunki brzegowe opisywały pojedyncze sposoby wymiany ciepła, w praktyce występuje również transport ciepła złożony z przewodzenia, konwekcji i promieniowania. W takich sytuacjach warunki brzegowe wyprowadzane są z bilansu energii powierzchni brzegowej.

## Złożone warunki brzegowe

Transport ciepła do powierzchni brzegowej wszystkimi sposobami



Odbieranie ciepła z powierzchni brzegowej wszystkimi sposobami

### 4 warunek brzegowy

➤ **WARUNEK BRZEGOWY IV RODZAJU** – WYSTĘPUJE, GDY PRZEWODZENIE CIEPŁA PO OBYDWU STRONACH POWIERZCHNI IDEALNEGO STYKU DWÓCH CIAŁ STAŁYCH JEST OPISYWANE PRZEZ PRAWO FOURIERA.

### Radiacyjny warunek brzegowy

#### 3. Radiacyjny warunek brzegowy

Jeżeli ilość energii wypromieniowanej jest różna od ilości energii pochłoniętej przez powierzchnię, to powstaje radiacyjna wymiana ciepła. Cechą charakterystyczną jest to, że nie odbywa się między ciałami stykającymi się, lecz między ciałami rozdzielonymi ośrodkiem przenikliwym dla promieniowania termicznego lub próżnią.

Może odbywać się również między bezpośrednio stykającymi się częściami o różnych temperaturach ośrodka emitującego, pochłaniającego i rozpraszającego promieniowanie.