

TEMPERATURA

- Jeden ze parametrów stanu termodynamicznego układu charakteryzujący stopień jego ogrzania.
- Skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca stan równowagi termodynamicznej układu makroskopowego.
- Stan cieplny ciała
- Miara energii kinetycznej ruchu cząsteczek

SKALE TERMOMETRYCZNE

Do określenia skali temperatur potrzebne są stałe punkty termometryczne, odpowiadające odtwarzalnym stanom równowagi międzyfazowej np. temperatura topnienia lodu 0°C ($p=1\text{atm.}$) czy temperatura wrzenia wody 100°C ($p=1\text{atm.}$).

SKALE

- Celsjusza 1°C ,
- Farenheita 1°F $t_F = 9/5t_C + 32$

TERMODYNAMICZNA (BEZWZGLĘDNA) SKALA TEMPERATUR

Temperatura zera bezwzględnego:

- ✓ zanika ruch cieplny cząstek,
- ✓ sprawność silnika w cyklu Carnota równa się jeden $T_1 = T_2 \cdot (1 - \eta)$,
- ✓ najniższy stan kwantowy cząstek $\Delta S=0$, $\Delta Q=0 \Rightarrow T=0$

Przyjęto, za podstawę termodynamicznej skali temperatur punkt potrójny wody równy **$273,16\text{ K (Kelvin)}$** .

SKALE

- **Kelvina** $1\text{K}=1/273,16$ części temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody. Jednostka układu SI,
 $T_K = t_C + 273,16$
- Rankine'a 1R $T_R = t_F + 459,67$ $T_R = 9/5T_K$

MIĘDZYNARODOWA PRAKTYCZNA SKALA TEMPERATUR

(przyjęta przez XIII Generalną Konferencję Miar 1967/1968)

Jest najlepszym jak na dzień dzisiejszy przybliżeniem skali bezwzględnej.

Jednostką temperatury w tej skali jest **kelwin (1K) - T**

lub stopień **Celsjusza (1°C) - t**.

$$t = T - 273,16K$$

MPST-68 jest wyznaczona przez wiele punktów stałych i określa przyrządy wzorcowe umożliwiające interpolację temperatury między punktami stałymi.

Punkty stałe definicyjne	T [K]	T [°C]
1. potrójny wodoru	13,81	-259,34
2. wrzenia wodoru	20,28	-252,87
3. potrójny tlenu	54,361	-218,789
4. potrójny wody	273,15	+0,01
5. wrzenia wody	373,15	100
6. krzepnięcia złota	1337,58	1064,43

Przyrządy wzorcowe:

13,81K-630,74°C platynowy termometr rezystancyjny

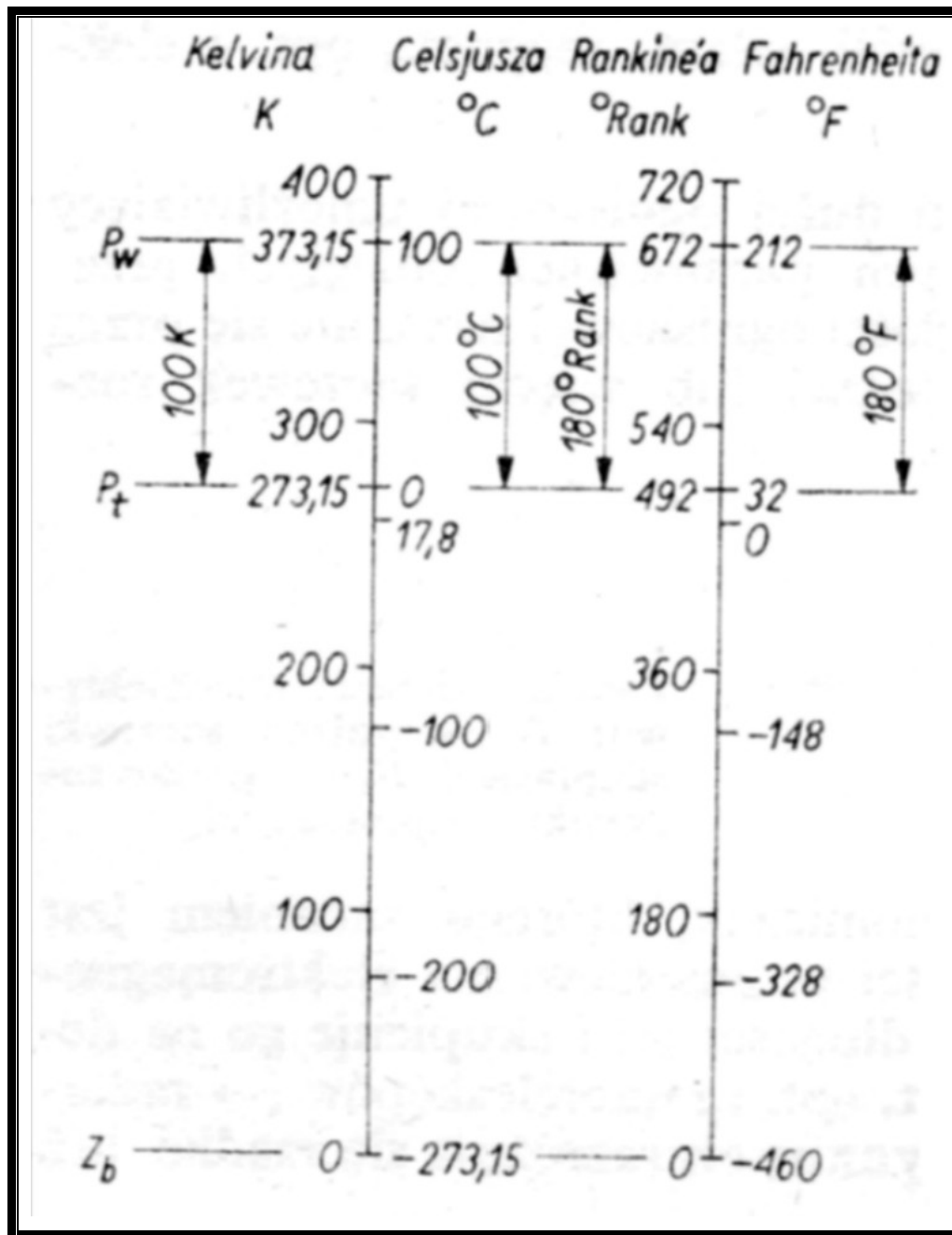
630,74°C-1064,43°C termometr termoelektryczny PtRh10-Pt

>1064,43°C temperaturę określa się na podstawie promieniowania ciała

**PONIEWAŻ PRAWIE WSZYSTKIE WŁAŚCIWOŚCI CIAŁ
ZALEŻĄ OD TEMPERATURY (OBJĘTOŚĆ, GĘSTOŚĆ,
REZYSTANCJA, DŁUGOŚĆ) ISTNIEJE OGROMNA
RÓŻNORODNOŚĆ PRZYRZĄDÓW DO POMIARU
TEMPERATURY.**

doskonale czarnego

PORÓWNANIE SKAL TEMPERATUR



Opis:

P_w - punkt wrzenia wody przy ciśnieniu normalnym
($p=1 \text{ atm}=1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$),

P_t - punkt topnienia lodu przy ciśnieniu normalnym,

Z_b - zero bezwzględne

PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW DO POMIARU TEMPERATURY

I. STYKOWE - TERMOMETRY

- Nieelektryczne

- Cieczowe, ✦ Manometryczne cieczowe,
- Dylatacyjne, ✦ Manometryczne gazowe i parowe,

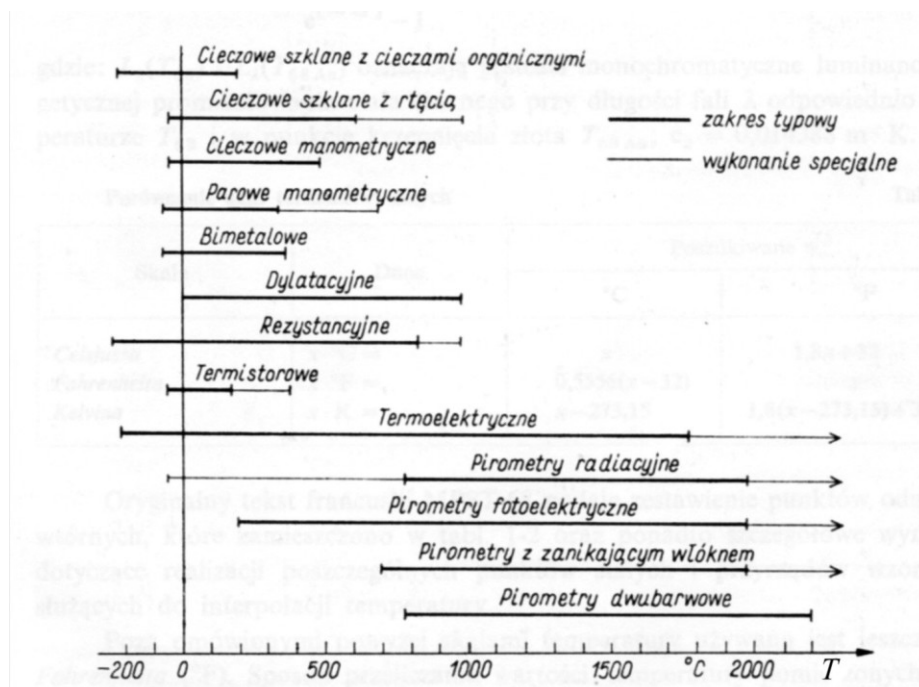
- Elektryczne

- Termoelektryczne (termopary),
- Rezystancyjne (metalowe i półprzewodnikowe),

II. BEZSTYKOWE (PIROMETRY)-podział w zależności od długości fal wykorzystywanego promieniowania temperaturowego,

- Radiacyjne (całkowitego promieniowania),
- Pasmowe,
- Monochromatyczne (z zanikającym włóknem),
- Dwubarwowe (stosunkowe),

Zakres stosowania przyrządów do pomiaru temperatury



TERMOMETRY

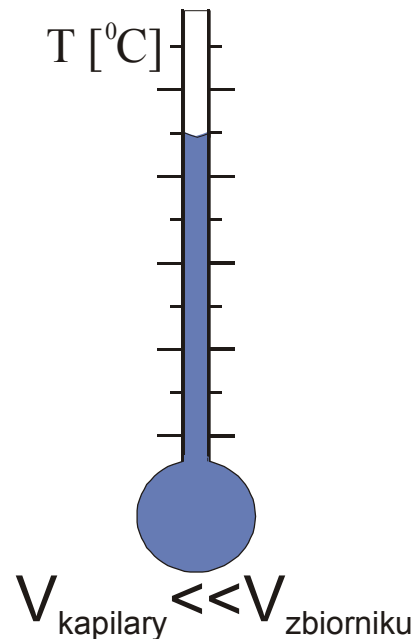
A) CIECZOWE (-200÷750°C)

Wykorzystują zjawisko rozszerzalności objętościowej cieczy pod wpływem temperatury.

$$\Delta V = V_b \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Ciecze:

- Rtęć -38÷750°C (bardzo dobra, bo w małym stopniu zwilża szkło),
- Pentan -200÷30°C
- Toluol -70÷100°C



B) DYLATACYJNE (0÷1000°C)

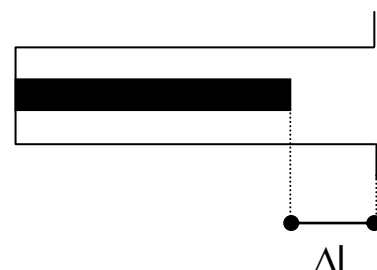
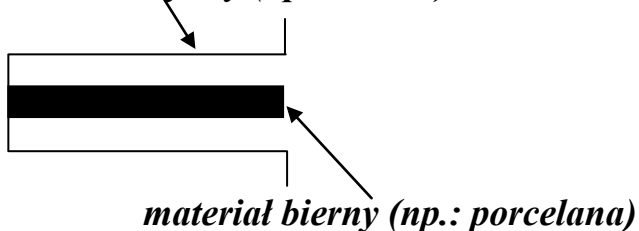
Wykorzystują zjawisko różnicy cieplnej rozszerzalności liniowej dwóch różnych materiałów.

✓ termometr rurkowy

$$\Delta l = l_0 \cdot (\alpha_{cz} - \alpha_b) \cdot \Delta T$$

$$\alpha_{\text{materiału biernego}} \ll \alpha_{\text{materiału czynnego}}$$

materiał czynny (np.: Ni, Cu)



C)

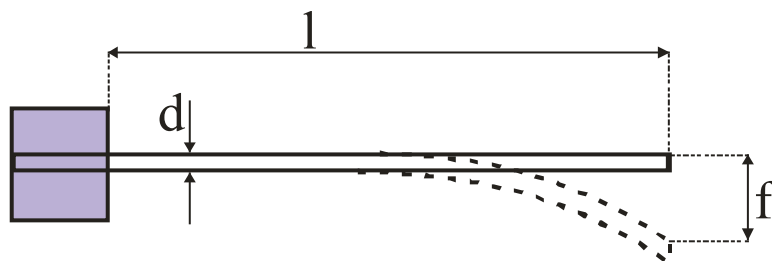
BIMETALOWE (-40÷400°C)

Wykorzystują zjawisko różnicy cieplnej rozszerzalności liniowej dwóch różnych metali.

metal o dużym α - **metal czynny**, zaś metal o małym α - **metal bierny**

➤ taśmowy płaski,

$$f = K \cdot \frac{\Delta T \cdot l^2}{10^4 \cdot d}$$



gdzie: f – przesunięcie (ugięcie),

➤ taśmowy spiralny,

$$\beta = K \cdot \frac{2\Delta T \cdot l}{10^4 \cdot d}$$



gdzie: β – kąt skręcenia,

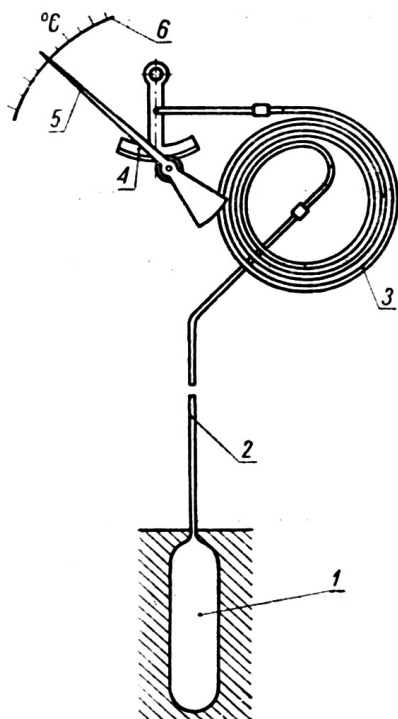
TERMOMETRY BARDZO TRWAŁE, ALE MAŁO DOKŁADNE!

D)

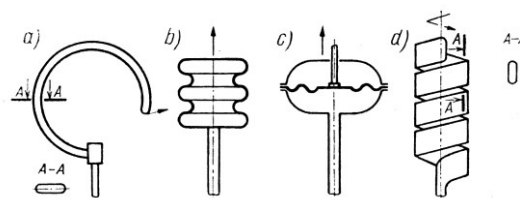
MANOMETRY (-30÷600⁰C)

CIECZOWE

Zasada działania opiera się na zmianie objętości cieczy termometrycznej pod wpływem zmian temperatury. Zmiany objętości powodują zmiany objętości czyli odkształcenie elementu sprężystego połączonego z wskaźnikiem temperatury.



- 1) zbiornik cieczy termometrycznej
- 2) kapilara
- 3) element sprężysty



- a) rurka Bourdona
 - b) mieszek
 - c) membrana
 - d) płaska rurka zwinięta walcowo
- 4) dźwignia
 - 5) wskaźnik wartości mierzonej

$$\Delta V = V_c \cdot (\beta - 3\alpha) \cdot \Delta T$$

PAROWE

Zasada działania opiera się na zmianie ciśnienia pary nasyconej pod wpływem zmian temperatury. Wnętrze układu wypełnione jest częściową cieczą a częściową jej parą nasyconą.

GAZOWE

Zasada działania opiera się na zmianie ciśnienia gazu pod wpływem zmian temperatury.

E) ELEKTRYCZNE (do 1000°C)

rezystancyjne metalowe

$$\alpha = \frac{1}{R_{0^\circ C}} \cdot \frac{R_{100^\circ C} - R_{0^\circ C}}{100}$$

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha T + \beta T^2)$$

Wzrost temperatury powoduje wzrost rezystancji.

Metale: **Cu** – -50÷150°C w atmosferze otoczenia i obojętnej,

Pt – -200÷1000°C w atmosferze obojętnej (czujnik wzorcowy),

Ni – -60÷150°C w atmosferze utleniającej

(ma największy cieplny współczynnik zmiany rezystancji)

Termometry o największej czułości ~10⁻⁴K

w zakresie temperatury pokojowej.

rezystancyjne półprzewodnikowe TERMISTORY

(-80÷300(max. 1200)°C)

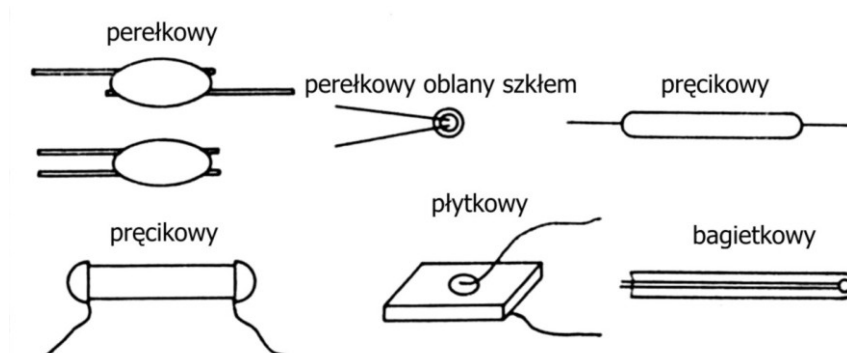
$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{\alpha_{T_0} \cdot \Delta T \cdot \frac{T}{T_0}}$$

Wzrost temperatury powoduje spadek rezystancji.

Do pomiarów temperatury zwykle są stosowane termistory z ujemnym cieplnym współczynnikiem zmian rezystancji NTC.

Materiały to tlenki, siarczki, krzemiany metali: Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ti, Co

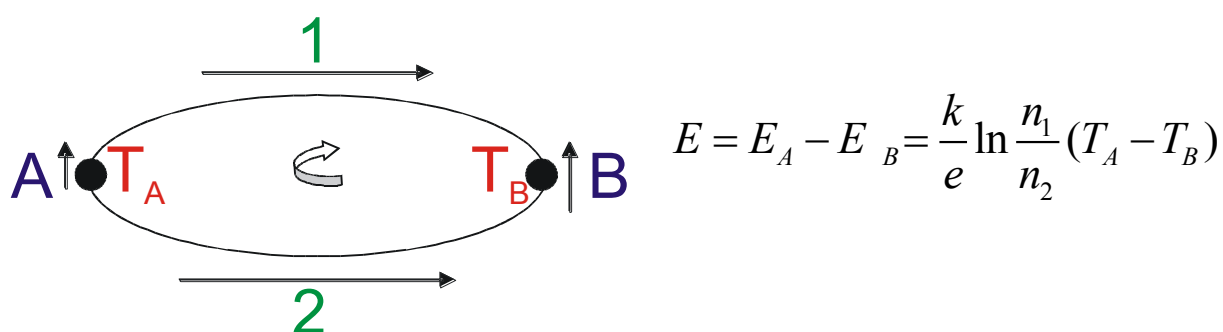
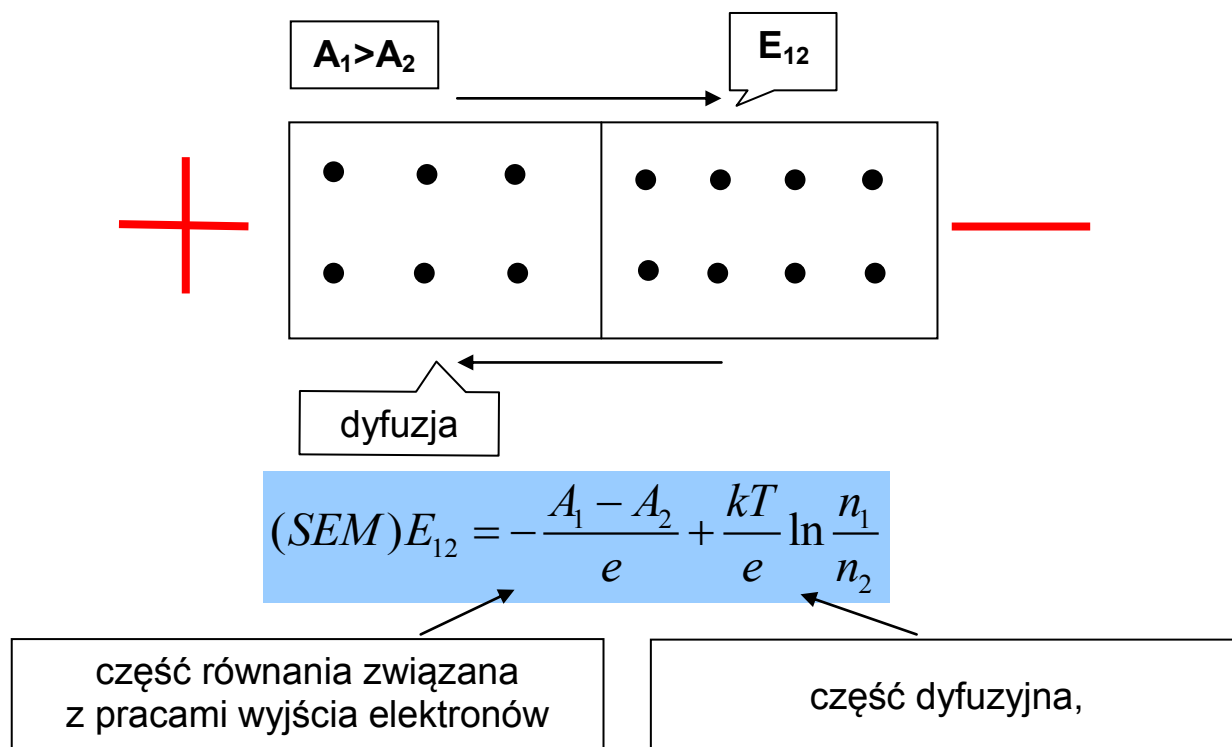
Małe wymiary, ale nieliniowa zależność rezystancji od temperatury.



termoelementy (termopary)

Zjawisko **Peltiera** (1834r.) to występowanie siły termoelektrycznej w miejscu styku dwóch różnych metali, zaś zjawisko **Thomsona** (1854r.) to występowanie siły termoelektrycznej na długości poszczególnych przewodów obwodu zamkniętego.

ZJAWISKO PELTIERA

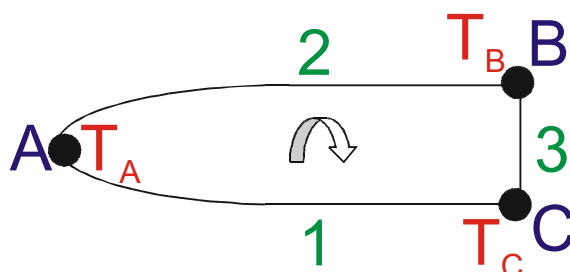


Pomijamy zjawisko Thomsona.

Zakładamy temperaturę jednej ze spoin np. T_B za stałą, jest to spoina odniesienia. Spoina pomiarowa to spoina T_A .

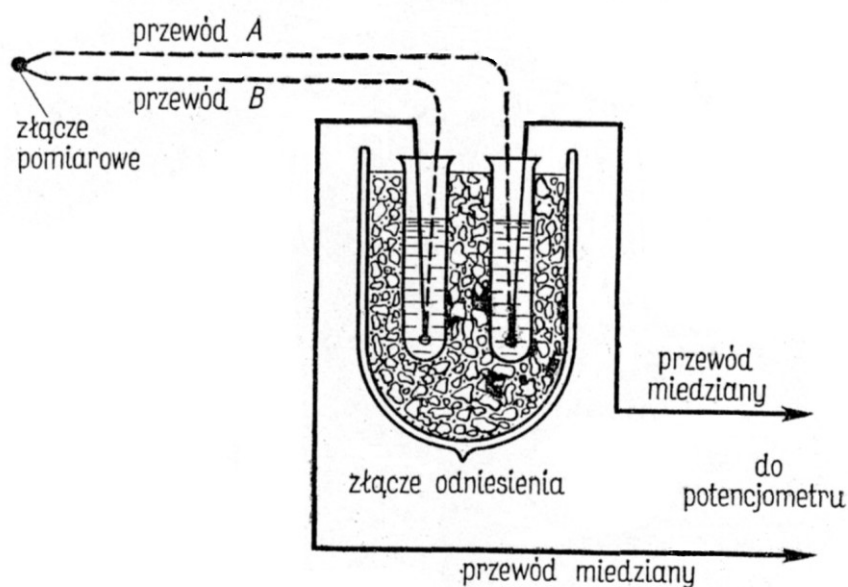
PRAWO TRZECIEGO METALU

Jeżeli wprowadzimy w obwód metal, którego końce będą miały tą samą temperaturę, co spoiny to nie będzie to miało wpływu na siłę termoelektryczną.



BUDOWA TERMoeLEMENTU:

- **spoina pomiarowa** umieszczona w osłonie (metalowej, ceramicznej, łączonej),
- **termoelektrody** (przewody termoelementu),
- **wolne końce (spoina odniesienia)** do których przytwierdzone są przewody kompensacyjne służące do utrzymania stałej temperatury spoiny odniesienia,
- **urządzenie pomiarowe** (miliwoltomierz wyskalowany w stopniach °C lub K),



RODZAJE TERMEOLEMENTÓW:

Termoelement	Typ	Zakres temperatur użytkowania	Atmosfera użytkowania
Cu-CuNi miedź – konstantan	T	-200÷500 ⁰ C	obojętna
NiCr-CuNi chromel - kopel	E	-270÷800 ⁰ C	redukcyjna bez siarki
Fe-CuNi żelazo - konstantan	J	do 600 ⁰ C	redukcyjna bez S, H ₂ O _(g) , N ₂
NiCr-NiAl chromel - alumel	K	do 1100 ⁰ C	utleniająca i redukcyjna
PtRh10-Pt platynarod - platyna	S	do 1300 ⁰ C	utleniająca, redukcyjna, obojętna bez Si, Fe, S, C b.kruchy
PtRh30-PtRh6		do 1800 ⁰ C	utleniająca
TERMEOLEMENTY WYSOKOTEMPERATUROWE			
W-Mo; W-MoW		do 2400 ⁰ C	redukcyjna
W-WRe		do 2300 ⁰ C	redukcyjna, obojętna, próżnia
Ir-IrRh		do 2000 ⁰ C	utleniająca
Grafit-SiC		do 1800 ⁰ C	redukcyjna
Grafit-W		do 2400 ⁰ C	nawęglająca
C-C(0,1-0,2%Be)		do 2600 ⁰ C	redukcyjna, obojętna, próżnia

Czułość termoelektryczna [$\mu\text{V/K}$]

$$E(SEM) = \frac{k}{e} (T_A - T_B) \ln \frac{n_1}{n_2} = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \alpha = \frac{E}{\Delta T} \left[\frac{\mu\text{V}}{\text{deg}} \right]$$

Szereg termoelektryczny wzgl. Platyny:

Ni, K, Na, **Pt**, Au, Pb, Ag, W, Fe, Ge, Si

—

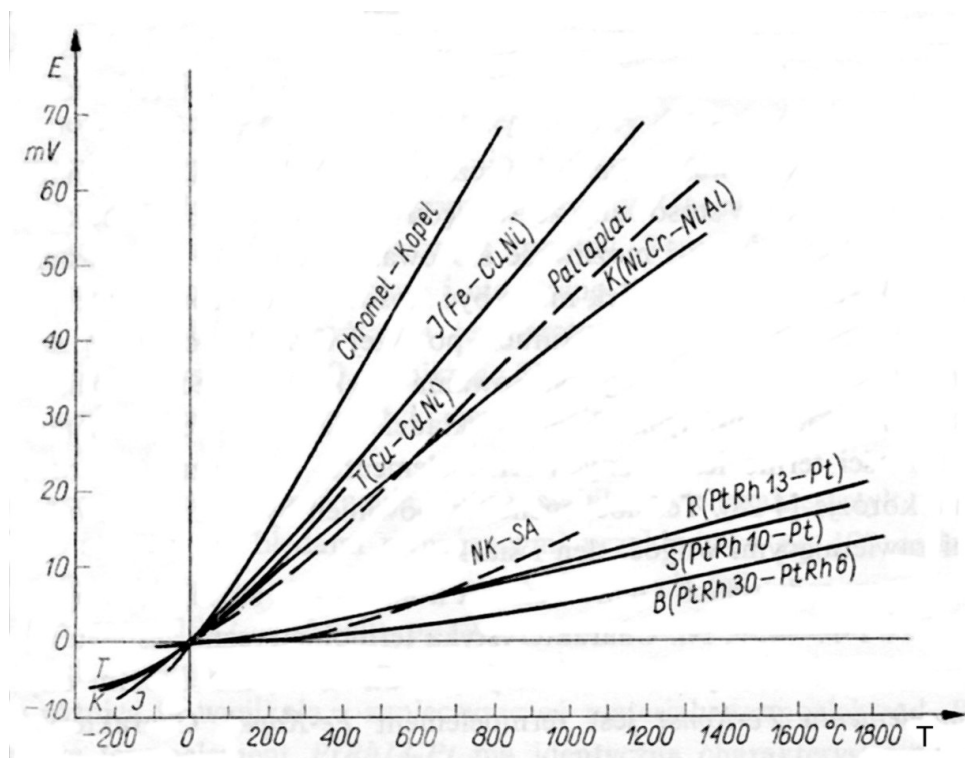
+

Np. termoelement Pt-Pt $\alpha=0[\mu\text{V/K}]$, zaś Pt-Tellur $\alpha=210 [\mu\text{V/K}]$

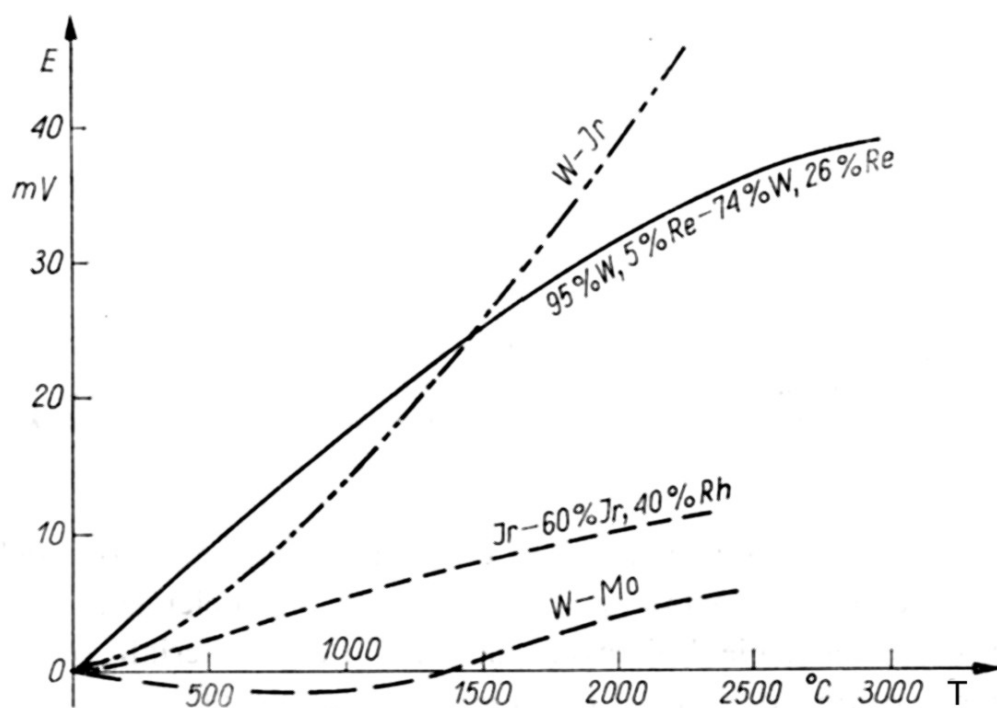
Zatem wzrost temp. o 1K powoduje wzrost SEM

tego termoelementu o 210 μV

Charakterystyki termometryczne najczęściej stosowanych termoelementów



Charakterystyki termometryczne termoelementów wysokotemperaturowych



INNE WSKAŹNIKI TEMPERATURY

1. STOŻKI PIROMETRYCZNE (Stożki Segera) 600÷2000°C

Są to trójsieczne ostrosłupy ścięte o określonych wymiarach wykonane z tak dobranego materiału, że przy ogrzaniu do określonej temperatury ulegają ugięciu. Stopniowane są, co 15 do 40°C. Błąd pomiaru wynosi $\pm 10-15K$.

2. KRAŻKI PIROMETRYCZNE

Określenie temperatury przy pomocy krążków pirometrycznych polega na pomiarze średnicy krążka i przeliczeniu jej na temperaturę przy pomocy tabel wzorcowych. Pomiaru średnicy krążka dokonuje się mikrometrami cyfrowymi lub numerycznymi. Zakres ich stosowania waha się od 970 do 1750°C.

3. FARBY TERMOMETRYCZNE 120÷400(1350)°C

Pod wpływem temperatury następuje zmiana barwy farby. Farby mogą zmieniać barwę jednokrotnie lub kilkakrotnie, w kilku temperaturach. Ponadto istnieją farby odwracalne lub nieodwracalne. Czas konieczny do ustalenia się barwy w temperaturze przemiany wynosi 30minut. Błąd pomiaru wynosi $\pm 5K$.

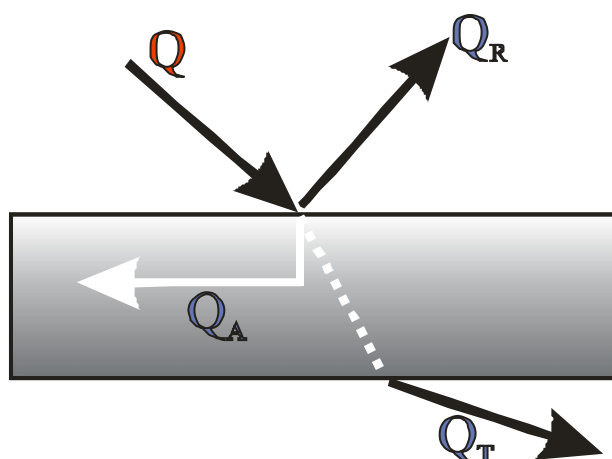
4. KREDKI TERMOMETRYCZNE 65÷670°C

Zasada pomiaru temperatury w przypadku kredek jest taka sama jak w przypadku farb termometrycznych. Przy czym zmiana barwy kredki w temperaturze przemiany następuje po czasie 1-2 sekund. Kredki stopniowane są co 10 do 100°C.

5. WSKAŹNIKI NAKLEJANE

W przypadku wskaźników naklejanych następuje zmiana ich barwy na barwę czarną. Zakres ich stosowania wynosi od 30 do 260°C a stopniowane są co 3 do 10°C. Błąd pomiaru wynosi $\pm 1\%$.

PIROMETRY



$$Q = Q_A + Q_R + Q_T \quad /: Q$$

$$1 = Q_A/Q + Q_R/Q + Q_T/Q$$

czyli

$$1 = a + r + t$$

CIAŁO SZARE

najczęściej

$$a + r = 1$$

CIAŁO DOSKONAŁE CZARNE – $a=1$; $r=0$ i $t=0$

CIAŁO DOSKONAŁE PRZEZROCZYSTE – $t=1$; $a=0$ i $r=0$

CIAŁO DOSKONAŁE BIAŁE – $r=1$; $t=0$ i $a=0$

a = współczynnik absorpcji (pochłaniania) = Q_A/Q

r = współczynnik refleksji (odbicia) = Q_R/Q

t = współczynnik transmisji (przepuszczenia) = Q_T/Q

Nagrzane ciało zaczyna świecić już od 550°C . Barwa zmienia się od ciemnoczerwonej do niebieskiej ($>1500^{\circ}$). Zakres promieniowania temperaturowego zawiera się w granicach od $0,4$ do $40\ \mu\text{m}$ (**zakres promieniowania widzialnego $0,4-0,8\ \mu\text{m}$ i podczerwonego $0,8-40\ \mu\text{m}$**).

Natężenie promieniowania cieplnego:

$$E = Q/A \cdot \tau = \phi/A \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

gdzie: ϕ - moc promieniowania cieplnego (temperaturowego) $\phi = Q/\tau$,

Monochromatyczne natężenie promieniowania cieplnego:

$$E_{\lambda} = dE/d\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$$

PRAWO PLANCKA

Mówi o energii promieniowania emitowanej przez jednostkową powierzchnię ciała doskonale czarnego, w jednostce czasu, w temperaturze T dla całego zakresu długości fal lub jednej długości fali.

$$E_0 = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{(c_2/\lambda T)} - 1} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$$

gdzie:

c_1, c_2 - stałe odpowiednio wynoszące: $3,7415 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2$, $14388 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

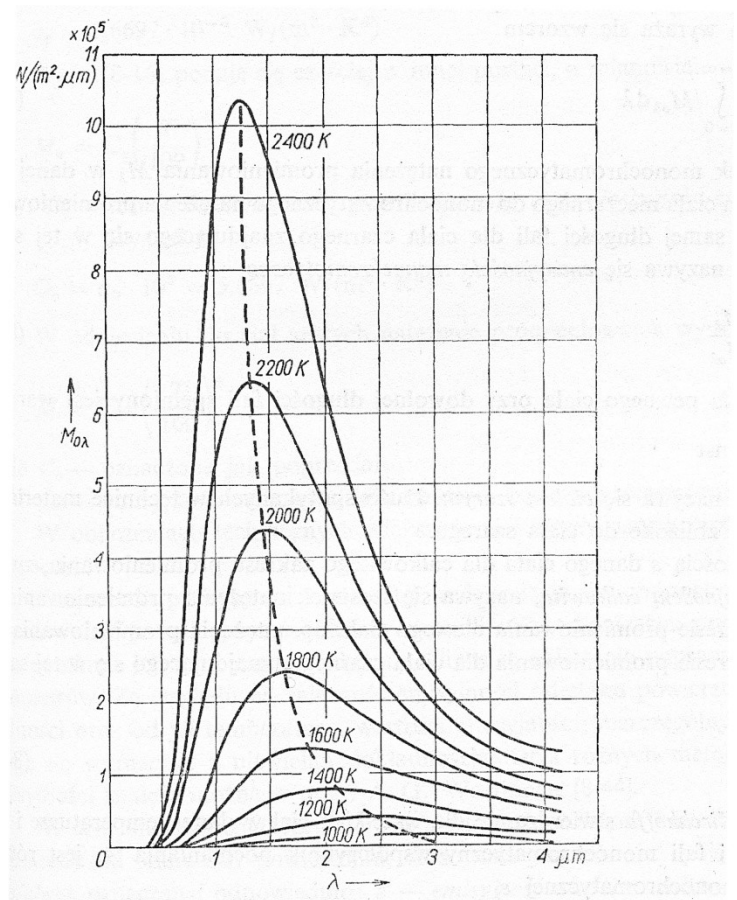
Dla zakresu fal od λ_1 do λ_2 otrzymujemy:

$$E_{0, \lambda_1 - \lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{(c_2/\lambda T)} - 1} d\lambda$$

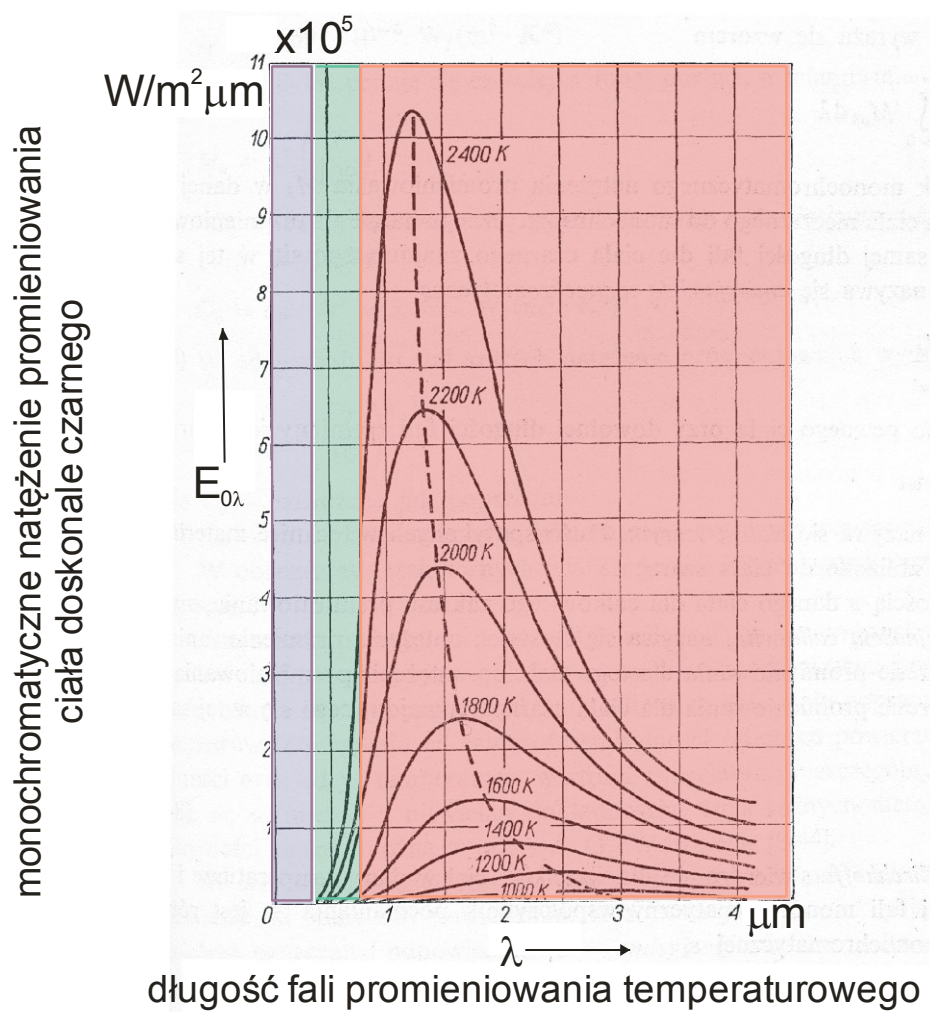
Dla małego iloczynu λT otrzymujemy **PRAWO WIENA**

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{(c_2/\lambda T)}}$$

Zależność monochromatycznego natężenia promieniowania w funkcji długości fali przedstawia rysunek. Pole pod krzywą odpowiada całkowitej energii promieniowania dla $A=1\text{m}^2$ i $t=1\text{s}$ dla całego widma. Maksima wskazują, dla jakiej długości fali przypada w widmie maksymalne natężenie energii. **Gdy temperatura wzrasta $E_{\lambda 0}$ przesuwa się w kierunku krótszych fal.**



GRAFICZNA INTERPRETACJA PRAWA PLANCKA



zakres
podczerwieni

zakres
światła widzialnego

zakres
nadfioletu

$\lambda_{\max}$ w danej temperaturze T możemy wyznaczyć z

PRAWA PRZESUNIĘĆ WIENA:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2896 \mu m \cdot K$$

PRAWO STEFANA-BOLTZMANA

Rozwiązanie prawa Plancka daje prawo Stefana-Boltzmana, które głosi, że natężenie promieniowania ciała doskonale czarnego jest proporcjonalne do czwartej potęgi temperatury bezwzględnej tego ciała.

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

gdzie:

σ_0 - stała promieniowania $5,6697 \cdot 10^{-8} [W/m^2 \cdot K^4]$

$$E_0 = C_0 \cdot (T/100)^4$$

dla ciał szarych $E = C_0 \cdot \varepsilon \cdot (T/100)^4 = C \cdot (T/100)^4$

$$C_0 = \sigma_0 \cdot 10^8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

gdzie: ε - stopień czarności ciała czyli emisyjność,

EMISYJNOŚĆ CAŁKOWITA – stosunek natężenia promieniowania ciała szarego do natężenie promieniowania ciała doskonale czarnego w temperaturze T

$$\varepsilon = E/E_0 = \frac{C(T/100)^4}{C_0(T/100)^4}$$

PRAWO KIRCHHOFFA

Ustala związek pomiędzy natężeniem promieniowania (emisyjności) i pochłaniania (absorpcji).

$$a_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \text{ lub } a = \varepsilon$$

W stanie równowagi termicznej natężenie promieniowania (emisji) i absorpcji są jednakowe dla danego ciała (szarego lub czarnego). Inaczej ciało szare emituje tyle energii promienistej ile zaabsorbowałoby ciało doskonale czarne w tej samej temperaturze $E_1 = a \cdot E_0$ lub $E_1 = \varepsilon \cdot E_0$.

MONOCHROMATYCZNY WSPÓŁCZYNNIK ABSORPCJI (EMISJI) CIAŁA SZAREGO

$$a_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} = E_{\lambda} / E_{\lambda 0}$$

ciała szare: $\varepsilon_{\lambda} = \text{const}$

ABSORPCJA LUB EMISJA CAŁKOWITA

$$a = \varepsilon = E / E_0 = \frac{C(T/100)^4}{C_0(T/100)^4}$$

Ciało doskonale czarne jest doskonałym źródłem promieniowania ($\varepsilon=1$).

Ciało doskonale białe nie absorbuje energii i jej nie emituje.

LUMINACJA czyli JASKRAWOŚĆ

Jest to natężenie światła odniesione do jednostkowej powierzchni emitowane w danym kierunku.

$$L = \frac{dE}{dA \cdot \cos \phi}$$

Luminancja decyduje o nasileniu subiektywnego wrażenia jasności.

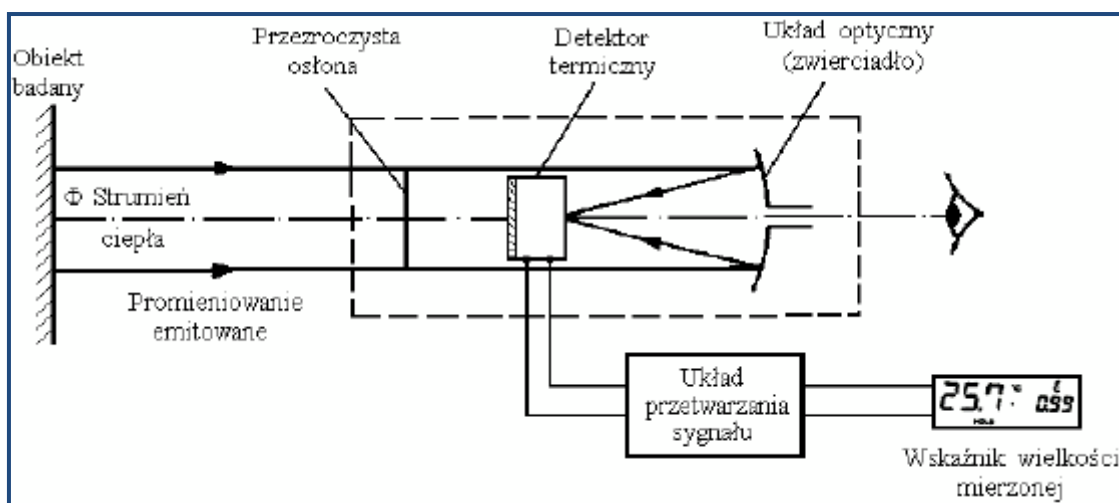
RODZAJE PIROMETRÓW

Każdy pirometr składa się z:

1. układ optyczny skupiający promieniowanie na detektorze (soczewki, zwierciadła, światłowody)
2. detektor promieniowania (termiczny, fotoelektryczny, oko ludzkie),
3. układ przetwarzania sygnału,
4. wskaźnik wielkości mierzonej,

Pirometry radiacyjne (całkowitego promieniowania) ARDOMETRY

400-2000°C



Pierwszy pirometr radiacyjny skonstruował Fery w 1902r. Zasada ich działania opiera się na prawie Stefana-Boltzmana. Istnieje zależność pomiędzy temperaturą ciała badanego i temperaturą absorbera pirometru. Mierzona różnica temperatur pomiędzy ciałem badanym a absorberem pirometru przy założeniu, że temperatura obudowy jest stała, odzwierciedla całkowite natężenie promieniowania emitowane przez badane ciało. Temperatura obiektu badanego jest określana na podstawie mocy promieniowania w całym paśmie od podczerwieni po

nadfiolet. Jako układy skupiające promieniowanie stosuje się: soczewki (szkło, kwarc, sztuczny szafir, fluoryt), zwierciadła i światłowody. Natomiast jako detektory promieniowania stosuje się:

- ✓ **termoelementy połączone w termostoty** – termoelementy w bańkach próżniowych lub wypełnionych gazem szlachetnym (wzrost czułości),
- ✓ **bolometry termistorowe i metalowe** - cienkowarstwowe, $R=1-5\text{ M}\Omega$, $R=f(T)$.

Błędy pomiaru:

- ✓ sygnał musi mieć odpowiednią moc ($>800^\circ\text{C}$)
- ✓ inne ciała na drodze pomiaru,

PIROMETRY FOTOELEKTRYCZNE

(H. E. Ives, 1923r)

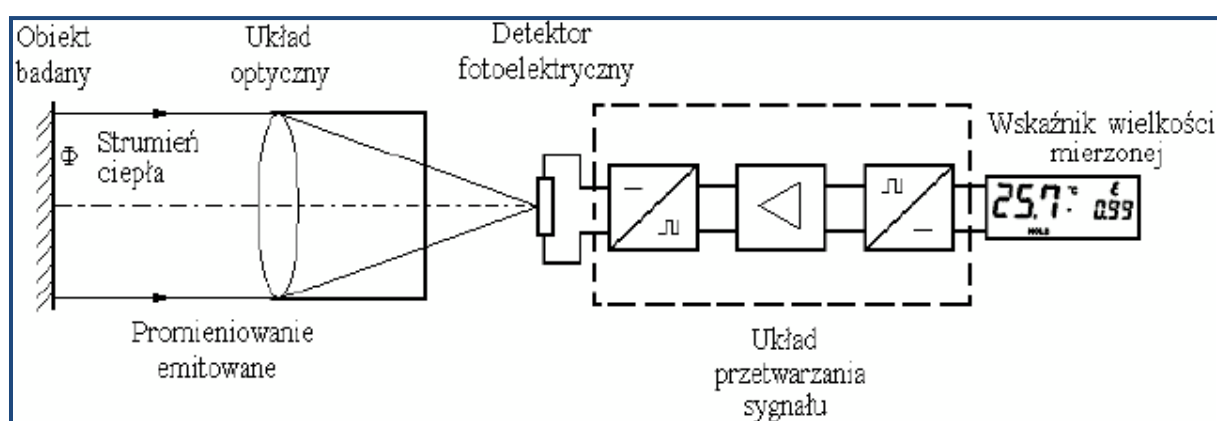
Wykorzystują prawo Plancka. Układy skupiające promieniowanie są identyczne jak w przypadku pirometrów radiacyjnych. Natomiast detektorami promieniowania są fotoelementy:

detektory fotoprzewodzące (fotorezystory wykonane z cienkich warstw siarczku ołowiu, selenku ołowiu, tellurku ołowiu, siarczku kadmu umieszczane na podłożu szklanym lub fotodiody)

detektory fotowoltaniczne (fotoogniwa pod wpływem naświetlania pomiędzy dwiema warstwami metalowymi powstaje różnica potencjałów proporcjonalna do natężenia padającego promieniowania: selen, krzem, antymonek indu i selenek indu)

detektory fotoemisyjne (fotopowielacze, wykorzystywane jest tu zjawisko emisji elektronów z powierzchni metalicznej fotokatody, na którą pada promieniowanie podczerwone),

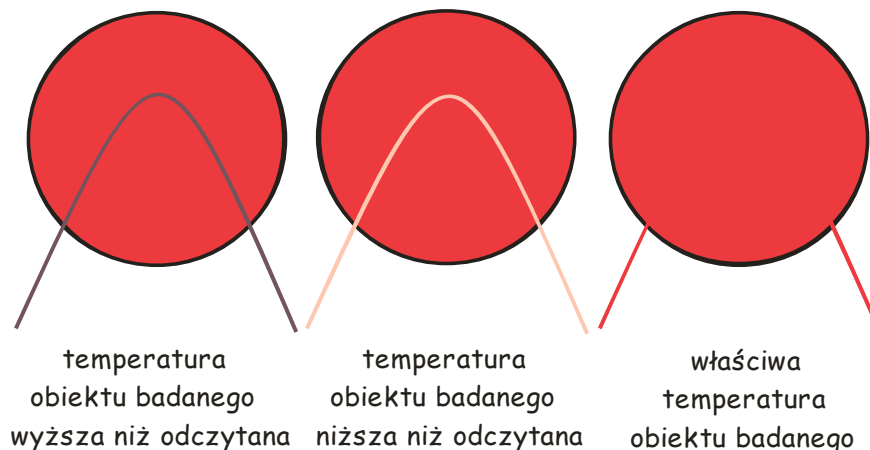
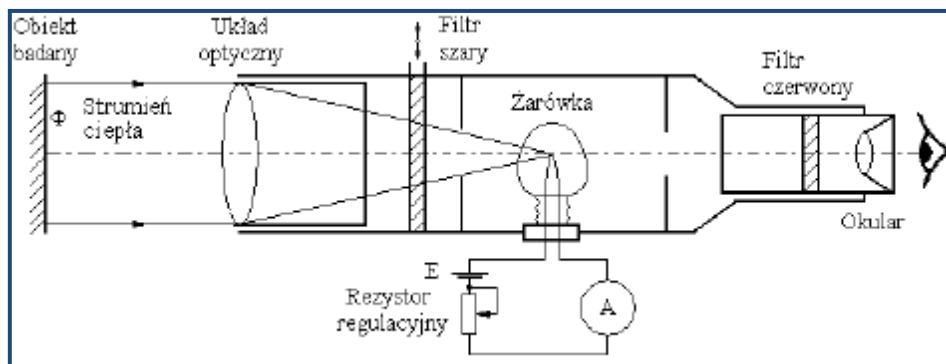
które ów sygnał przetwarzają na sygnał elektryczny. Zależność zakresu promieniowania wykorzystywanego w danym pirometrze zależy od czułości **fotoelementu**, przepuszczalności widmowej fotoelementu lub filtru.



Pirometry pasmowe

W tym przypadku do określenia temperatury wykorzystywany jest zakres długości fal od λ_1 do λ_2 (pasmo). Głównie skupiane jest promieniowanie podczerwone (0,7 do 40 μm) dzięki czemu istnieje możliwość pomiaru temperatury od wartości ujemnych do ok. 3000°C. Wszystkie ciała występujące na drodze pomiaru zaburzają pomiar. Jednakże można dostosować wybór pasma do warunków pomiaru.

Pirometry monochromatyczne (z zanikającym włókem 600-1400°C(5000°C))

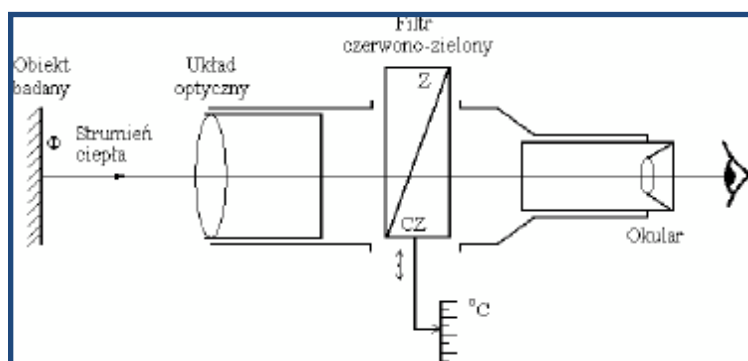


Zgodnie z prawem Plancka można stwierdzić, że istnieje zależność temperatury ciała i natężenia promieniowania w funkcji długości fali. Dlatego w w/w pirometrach porównuje się luminancję włókna żarówki i badanego obiektu przy jednej długości fali, czyli w jednej barwie, bez

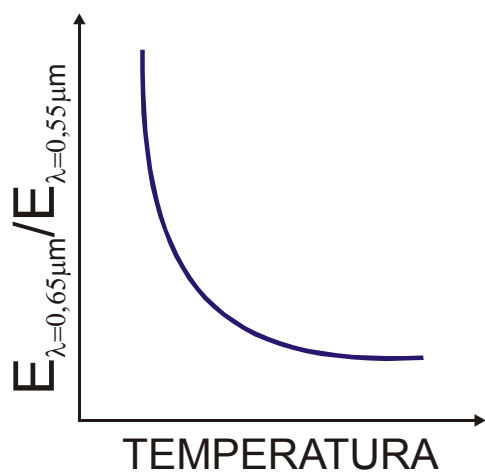
wpływu oceny barwy na wyniki pomiaru. Obserwacja przy jednej długości fali eliminuje błędy ludzkiego oka. Do selekcji długości fali stosuje się filtr czerwony, przepuszczający światło czerwone o długości fali $0,65\mu\text{m}$, umożliwia to pomiar możliwie niskich temperatur. Luminacje obiektu badanego i żarówki zgrywa się za pomocą rezystora lub stopniowanego filtra szarego. Filtr szary stosowany jest w każdym rozwiązaniu konstrukcyjnym gdyż w temperaturach wyższych osłabia luminancję obiektu badanego, dzięki czemu chronione jest włókno żarówki i rozszerzany zakres pomiarowy.

$$L_{\lambda} = c \cdot E_{\lambda 0}$$

Pirometry dwubarwowe (stosunkowe) ($700\text{--}3500^{\circ}\text{C}$)



Także wykorzystują prawo Plancka. Pomiar polega na pomiarze stosunku natężenia promieniowania dwóch barw (lub dwóch długości fali promieniowania temperaturowego) wysyłanych przez badane ciało. Najczęściej detektorami promieniowania są fotoelementy. Zwykle wybieramy stosunek natężenia promieniowania barwy czerwonej do zielonej. W miarę wzrostu temperatury ten stosunek maleje. Pomiar temperatury polega na skierowaniu pirometru na ciało badane i ustawieniu w taki sposób filtru szarego aby obserwator widział barwę szarą, utworzoną z dwóch dopełniających się barw przy równości natężeń. Jest to jedyny pirometr nieczuły na ciała obce (kurz, dym, para wodna) występujące na drodze pomiaru.



$\lambda_{\text{czerwonej}} - 0,65 \mu m$

$\lambda_{\text{zielonej}} - 0,55 \mu m$