



WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI

LABORATORIUM DETEKCJI SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH

GRUPA:

.....

PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr

Temat ćwiczenia:

Zdalne pomiary temperatury za pomocą pirometru

Skład podgrupy nr

1.

2.

3.

4.

5.

6.

Data wykonania
ćwiczenia

.....

Prowadzący ćwiczenie

.....

Ocena

.....

Podpis prowadzącego ćw.

.....

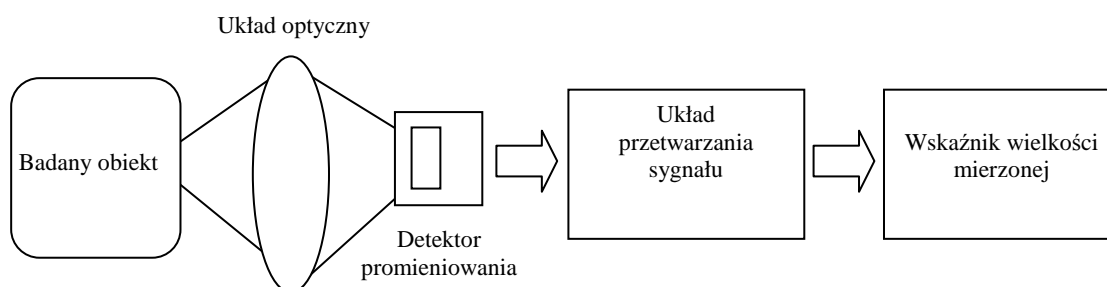
Tab. 1. Dane urządzeń pomiarowych

Lp.	Nazwa urządzenia	Marka/Typ	Numer	Podstawowe dane techniczne
1				
2				
3				
4				
5				
6				

1. Wprowadzenie

Pomiaru temperatury ciał stałych możemy dokonać metodą stykową oraz bezstykową. Metody bezstykowe polegają na tym, że ośrodek, którego temperaturę próbujemy ustalić nie ma bezpośredniego kontaktu z przyrządem pomiarowym, a czujnik pomiarowy reaguje na wartość natężenia emitowanego promieniowania temperaturowego badanego ośrodka.

Przykładem przyrządu pomiarowego, który umożliwia bezstykowy pomiar temperatur jest pirometr optyczny. Pirometry to przyrządy, które pochłaniają promieniowanie termiczne emitowane przez badane ciała. Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy pirometru. Składa się on z trzech zasadniczych elementów: układu optycznego, detektora promieniowania i układu pomiarowego z wyświetlaczem.



Rys. 1. Schemat blokowy pirometru

Układ optyczny skierowany na badany obiekt zbiera promieniowanie temperaturowe (radiacja) i skupia je na powierzchni detektora. Detektor przetwarza otrzymaną energię cieplną na sygnał elektryczny, a następnie informacja o mierzonej wielkości podawana jest na wyświetlaczu.

Zaletą pirometrów jest fakt, że dokonując bezstykowo pomiaru temperatury nie zaburzamy pola temperaturowego badanego ośrodka, jednocześnie możemy mierzyć temperaturę ciał w trudno dostępnych lub niebezpiecznych miejscach, a sam pomiar jest szybki.

Ze względu na zasadę działania wyróżniamy pirometry:

- promieniowania całkowitego (radiacyjne),
- fotoelektryczne (pasmowe),
- monochromatyczne,
- dwubarwowe.

Wyżej wymienione pirometry są omówione w punkcie 3 tego ćwiczenia.

W pomiarach laboratoryjnych zastosowany jest pirometr PYR8828 firmy ABTRONIC. Przyrząd ten umożliwia pomiar temperatury z zakresu $-50 \sim +1000$ °C i charakteryzuje się rozdzielczością optyczną 12:1.

Pozostałe istotne parametry: współczynnik emisyjności $\epsilon=0.95$, czas reakcji poniżej 1s, dokładność przyrządu w zakresie $-20 \div 200$ °C jest równa 1,5%, zakres wid mowy 8~14µm.

Na rysunku 2 przedstawiono fotografię pirometru użytego w ćwiczeniu.



Rys. 2. Pirometr 8828 zastosowany w ćwiczeniu

Przed przystąpieniem do pomiaru w pierwszej kolejności należy orientacyjnie ustalić emisyjność badanego materiału. Następnie należy się upewnić, aby badana powierzchnia była większa od plamki pomiarowej. Im mniejszy obiekt tym bliżej powinien znajdować się pirometr.

Nie wolno kierować strumienia lasera w kierunku oczu ludzi i zwierząt.

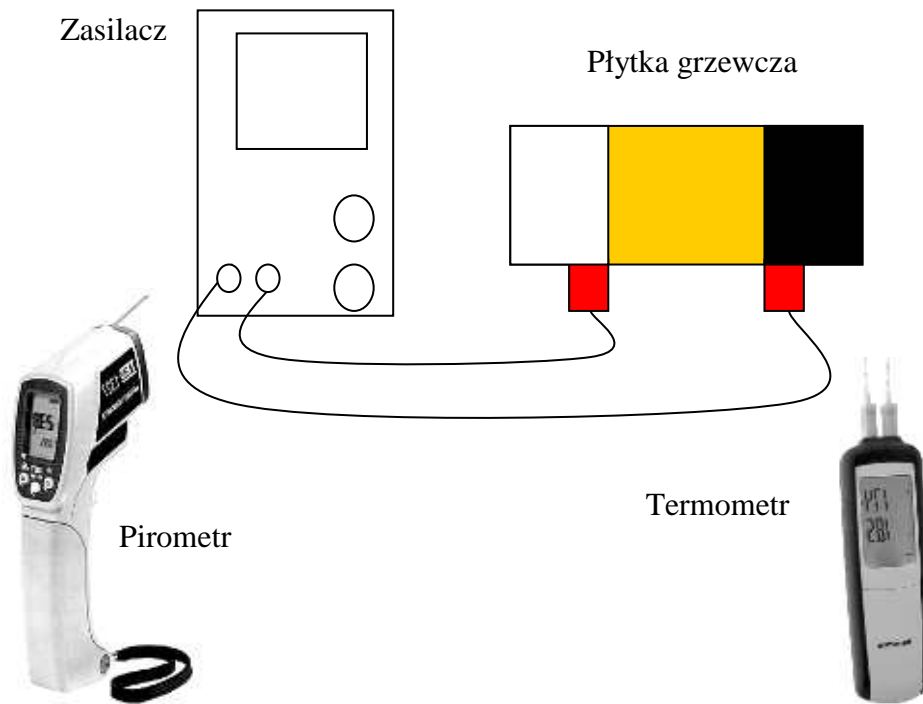
W celu przeprowadzenia pomiaru należy: skierować urządzenie na badany obiekt, pociągnąć i przytrzymać spust, odczytać wynik z wyświetlacza.

Błędne wskazania przyrządu mogą być spowodowane:

- błędną nastawą wartości emisyjności badanego materiału,
- promieniowaniem odbitym od otaczających powierzchni,
- pochłanianiem promieniowania przez atmosferę,
- emisją własną zanieczyszczonych atmosfery,
- pochłanianiem promieniowania przez okno wziernika,
- obecnością ciał stałych, przesłaniających drogę promieni wewnątrz stożka widzenia pirometru,
- temperaturą otoczenia pirometru,
- ruchem ciała badanego,
- promieniowaniem rozproszonym spoza stożka widzenia pirometru,
- dużą wilgotnością powietrza.

2. Schemat układu pomiarowego

Na rysunku 3 przedstawiono schemat układu pomiarowego. Składa się on z pirometru PYR8828 firmy ABTRONIC, płytki grzewczej, zasilacza oraz termometru stykowego. Szczegółowe informacje nt. przyrządów pomiarowych używanych w ćwiczeniu zamieszczono w punkcie 1.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego

3. Porównanie pomiaru temperatury za pomocą pirometru i termometru wzorcowego

UWAGA: w trakcie pomiarów nie kierować pirometru bezpośrednio w stronę oświetlenia sztucznego i słonecznego.

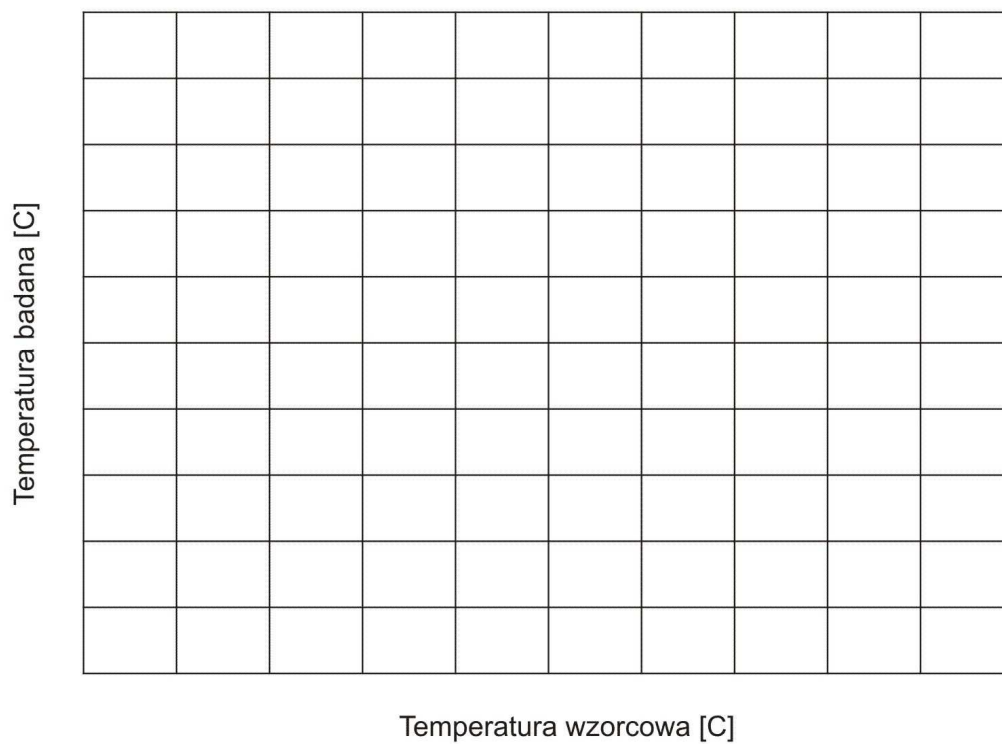
1. Przed rozpoczęciem pomiaru temperatury płytki grzewczej należy włączyć zasilanie. W zasilaczu należy ustawić ograniczenie prądu zwarcia na wartości 5A.
2. Ustawić pirometr w odległości 10cm od elementu grzewczego.
3. Zmierzyć temperaturę wybranej powierzchni płytki grzewczej za pomocą pirometru i termometru wzorcowego dla 10 wartości temperatur. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 1.
4. Na podstawie wyników pomiarów, ze wzoru 8, wyznaczyć emisyjność.

Tab. 2. Wartości temperatur zmierzonych za pomocą termometru i pirometru

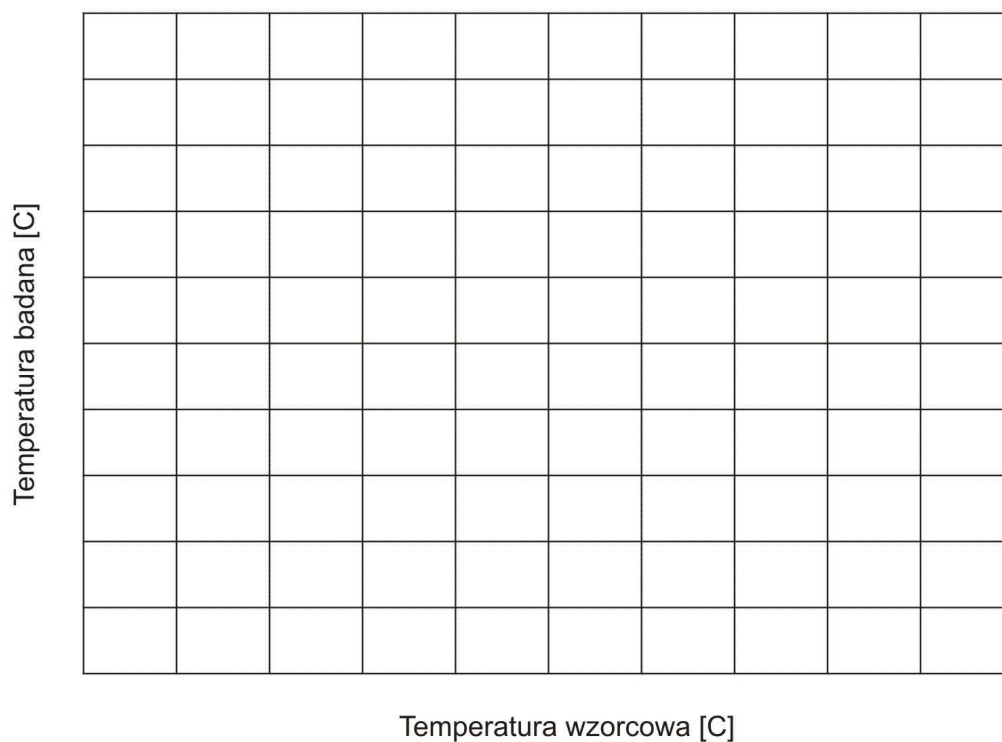
$T_{\text{termometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{pirometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{termometr}} [^{\circ}\text{K}]$	$T_{\text{pirometr}} [\text{K}]$	Emisyjność [-]

Na podstawie wyników pomiaru:

- a) wyznaczyć współczynnik emisyjności obiektu i wpisać do tabeli,
- b) narysować zależności temperatury badanej pirometrem od temperatury wzorcowej badanej termometrem dla:
 - niskich temperatur (rys.4),
 - wysokich temperatur (rys.5).



Rys. 4. zależności temperatury badanej pirometrem od temperatury wzorcowej badanej termometrem dla niskich temperatur



Rys. 5. zależności temperatury badanej pirometrem od temperatury wzorcowej badanej termometrem dla wysokich temperatur

4. Pomiar wpływu zmian współczynnika emisyjności na wskazania pirometru

Dokonać pomiaru temperatury elementu grzewczego składającego się z obszarów o różnych kolorach.

Przy wyłączonym zasilaniu, gdy płytka będzie się schładzać dokonać pomiaru temperatury elementu grzewczego składającego się z obszarów o różnych kolorach. Pomiar przeprowadzić za pomocą pirometru oraz za pomocą termometru wzorcowego.

Dla każdego obszaru określić współczynnik emisyjności. Wyniki zapisać w tabeli 3.

Tab. 3. Zmierzone wartości temperatur dla obszarów o różnych barwach

Obszar	$T_{\text{termometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{pirometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{termometr}} [\text{K}]$	$T_{\text{pirometr}} [\text{K}]$	Emisyjność [-]
Biały					
Miedziany					
Czarny					

5. Pomiar wpływu rozdzielczości przestrzennej pirometru na pomiar temperatury.

Dokonać pomiaru temperatury elementu grzewczego dla różnych odległości pirometr-element.

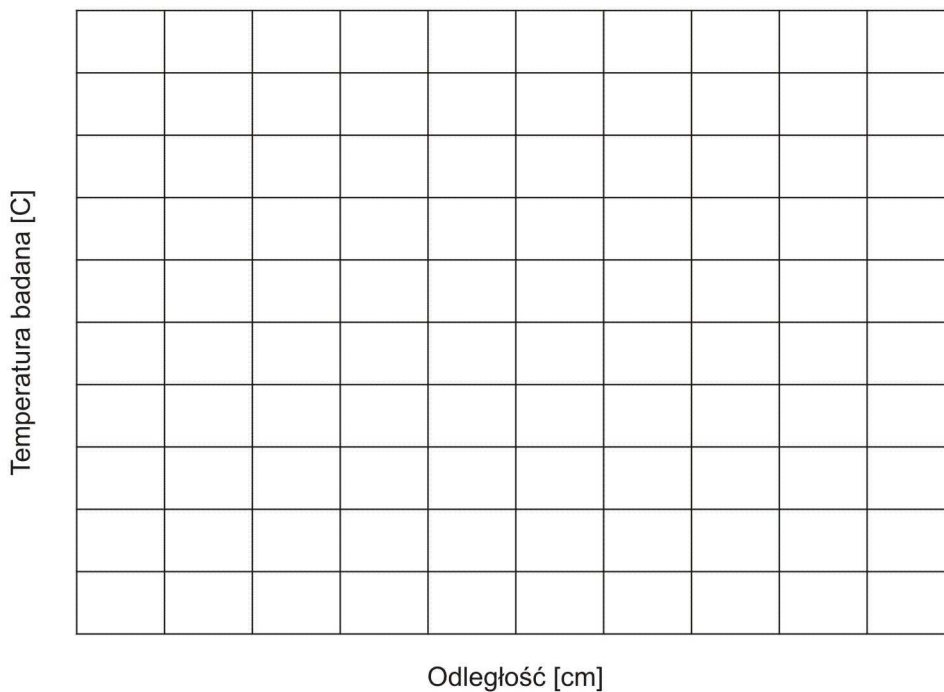
Wyniki zapisać w tabeli 4.

Tab. 4. Zmierzone wartości temperatur w zależności od odległości

Ogległość [cm]	$T_{\text{termometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{pirometr}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{termometr}} [\text{K}]$	$T_{\text{pirometr}} [\text{K}]$	Emisyjność [-]
5,0					
15,0					
30,0					

Na podstawie wyników pomiaru:

- a) wyznaczyć współczynnik emisyjności obiektu,
- b) narysować charakterystykę zmian wskazań temperatury zmierzonej pirometrem w funkcji odległości.



Rys. 6. Wykres zależności temperatury od odległości

6. Wnioski

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Wiadomości teoretyczne dotyczące zdalnych pomiarów temperatury

7.1. Podstawowe prawa promieniowania cieplnego

Max Planck opisał rozkład widmowy promieniowania ciała czarnego, czyli gęstość widmową egzytancji energetycznej ciała doskonale czarnego następującym wyrażeniem

$$M_{\lambda}(T) = \frac{2\pi hc_0^2}{\lambda^5 (e^{hc_0/\lambda kT} - 1)} [W/(m^2 \mu m)], \quad [1]$$

przy czym h – stała Plancka $\approx 6,626 \cdot 10^{-34}$ [J·s], k – stała Boltzmana $\approx 1,381 \cdot 10^{-23}$ [J/K], T - temperatura bezwzględna ciała czarnego [K], λ – długość fali [μm].

Równanie to nosi nazwę wzoru Plancka lub prawa Plancka. Wprowadzając oznaczenia:

$c_1 = 2\pi hc_0^2$ – pierwsza stała promieniowania (pierwsza stała Plancka),

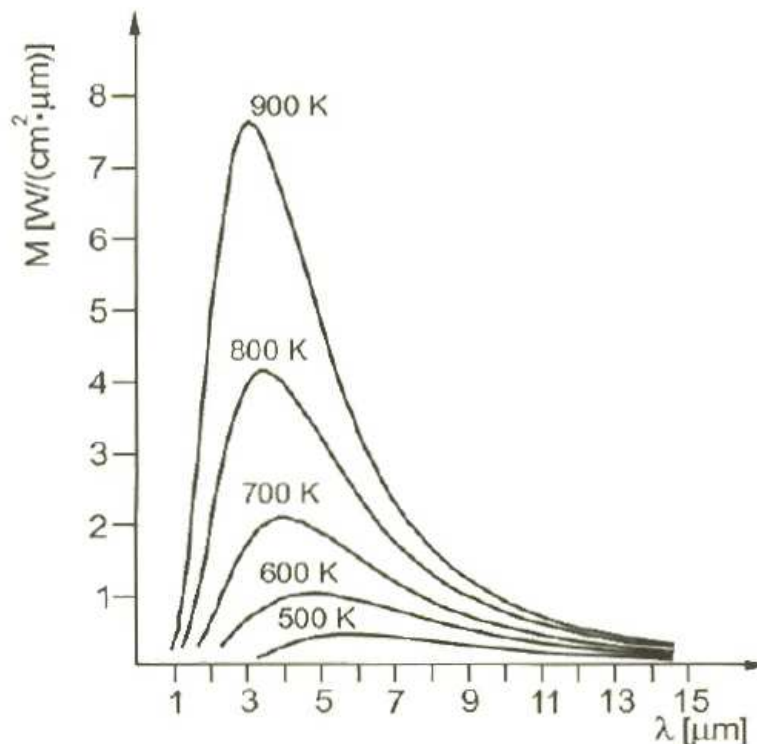
$c_2 = hc_0 / k$ - druga stała promieniowania (druga stała Plancka),

wyrażenie (1) przyjmuje postać

$$M_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1}, \quad [2]$$

gdzie: $c_1 = 3,7417749 \cdot 10^8$ [W·m⁻² · μm^4], $c_2 = 4387,69$ [$\mu m \cdot K$].

Prawo Plancka można łatwiej zrozumieć, jeżeli dla różnych temperatur ciała doskonale czarnego wartość gęstości widmowej egzytancji energetycznej przedstawimy w postaci graficznej (rys. 7).



Rys. 7. Gęstość widmowa egzytancji energetycznej ciała doskonale czarnego wyrażona przez prawo Plancka

Jeżeli składnik $e^{c_2/\lambda T} \gg 1$ to wzór Plancka można uprościć do postaci

$$M_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T}} \quad [3]$$

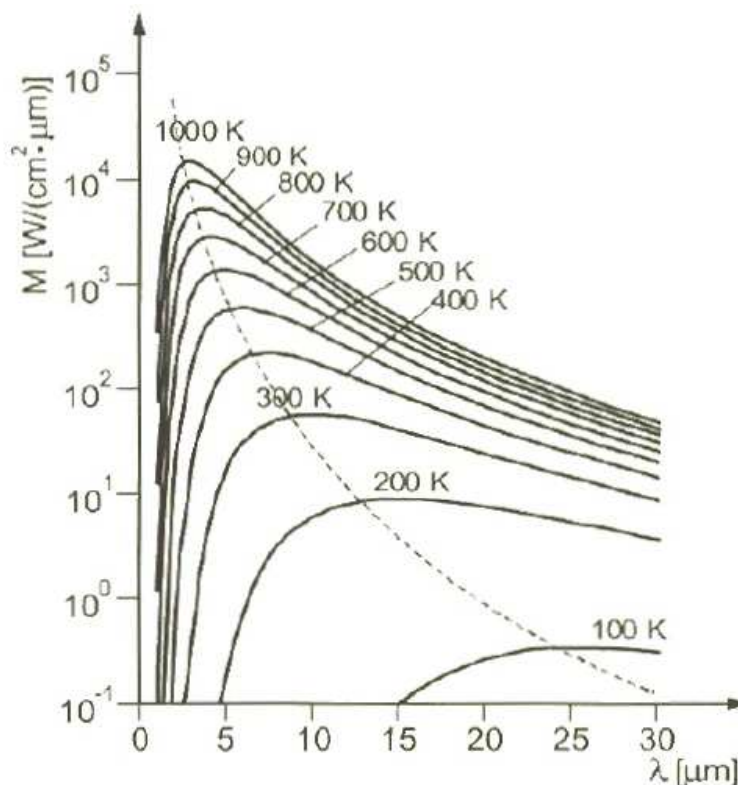
Powyższy wzór, dla $\lambda T < 3000$ [$\mu\text{m}\cdot\text{K}$], daje błędy mniejsze od 1% i nazywany jest wzorem Wiena. Różniczkując wzór (2) względem λ i wyznaczając maksimum pochodnej otrzymujemy

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}] \quad [4]$$

Powyższe wyrażenie zwane jest prawem Wiena (lub prawem przesunięć Wiena). Prawo to określa długość fali, dla której widmowa egzytancja ciała doskonale czarnego osiąga wartość maksymalną. Podstawiając (4) do wzoru Plancka otrzymuje się

$$M_{\lambda}(T) = 1,286 \cdot 10^{-15} \cdot T^5 [W / (cm^2 \mu\text{m})] \quad [5]$$

Zależność (5) wskazuje, że egzytancja ciała doskonale czarnego odpowiadająca długości fali o maksymalnej wartości promieniowania, rośnie w przybliżeniu z piątą potęgą temperatury bezwzględnej ciała czarnego (rys. 8). Oznacza to, że jeśli podwoimy bezwzględną temperaturę ciała czarnego, to w obszarze maksimum egzytancji wzrośnie ona aż 32-krotnie. Prawo Wiena pozwala projektantowi na proste określenie zakresu widmowego, optymalnego dla rozpatrywanego zastosowania.



Rys. 8. Krzywa Plancka w zakresie od 100 do 1000°K. Linia kropkowana reprezentuje miejsce występowania maksimum egzytancji dla każdej temperatury, zgodnie z prawem przesunięć Wiena

Całkując wzór Plancka w granicach od $\lambda=0$ do $\lambda=\infty$, otrzymujemy całkowitą egzytancję (emitancję) ciała czarnego

$$M_B = \sigma T^4 [W / m^2], \quad [6]$$

przy czym

$$\sigma = \frac{\pi^4}{15} \cdot \frac{c_1}{c_2^4} = 5,66943 \cdot 10^{-8} [W / (m^2 K^4)]. \quad [7]$$

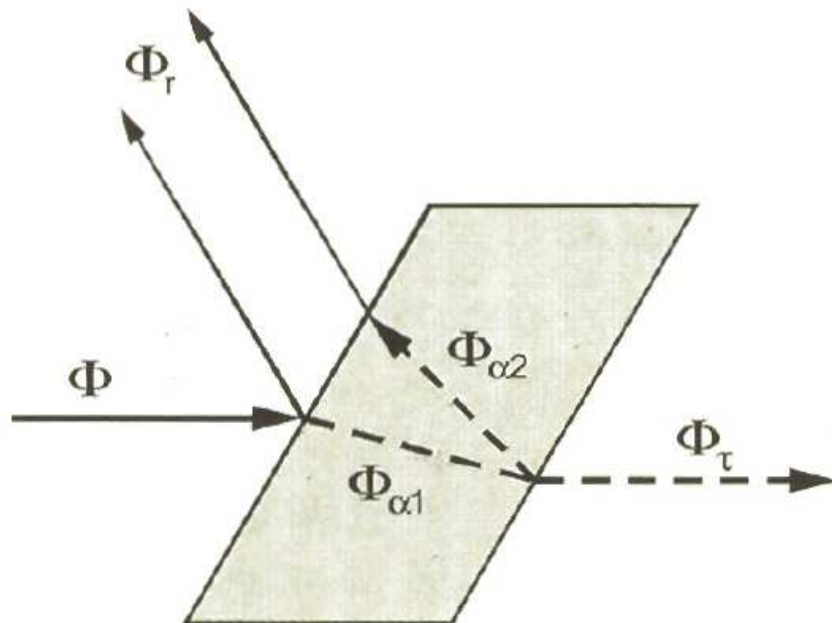
Jest to wzór Stefana-Boltzmana, z którego wynika, że całkowita moc emitowana przez ciało doskonale czarne jest proporcjonalna do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej. W interpretacji graficznej M_B jest to pole pod krzywą Plancka dla danej temperatury.

7.2. Promieniowanie obiektów rzeczywistych

Rozważania przedstawione w poprzednim podrozdziale dotyczyły wyidealizowanego ciała czarnego. W rzeczywistości (w przyrodzie) ciała stałe częściowo pochłaniają, częściowo odbijają i częściowo przepuszczają promieniowanie elektromagnetyczne (czyli promieniowanie ciepłe również).

Zakładając, że na powierzchnię ciała o określonej grubości pada strumień energetyczny promieniowania Φ (ilość energii w jednostce czasu), z którego strumień Φ_α został pochłonięty, Φ_r odbity, Φ_τ przepuszczony, wprowadza się następujące określenia:

- współczynnik pochłaniania (absorpcji) $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi$,
- współczynnik odbicia (refleksyjności) $r = \Phi_r / \Phi$,
- współczynnik przepuszczania (transmisji) $\tau = \Phi_\tau / \Phi$.



Rys. 9. Rozkład strumienia promieniowania elektromagnetycznego Φ padającego na ciało częściowo przezroczyste

Zjawiska te ilustruje rys. 9, przy czym dla ciał częściowo przezroczystych występuje wielokrotne wewnętrzne odbicie oraz związane z tym wielokrotne pochłanianie promieniowania. Wyróżnia się następujące wyidealizowane przypadki:

- $\alpha=1, r=0, \tau=0$ – ciało czarne, tj. ciało, które pochłania całe padające nań promieniowanie,
- $\alpha=0, r=1, \tau=0$ – ciało białe, tj. ciało, które odbija całe padające nań promieniowanie,
- $\alpha=0, r=0, \tau=1$ – ciało przezroczyste, tj. ciało, które przepuszcza całe padające nań promieniowanie.

Dla każdego przypadku słuszna jest zależność opisana prawem Kirchoffa

$$\alpha + r + \tau = 1. \quad [8]$$

Relacja ta jest również słuszna dla promieniowania monochromatycznego, stąd zależność

$$\alpha_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1. \quad [9]$$

Wartości współczynników α , r oraz τ zależą od rodzaju materiału i stanu jego powierzchni, zaś współczynników α_λ , r_λ oraz τ_λ dodatkowo od długości fali. Należy dodać, że czasami współczynniki te mogą zależeć także od temperatury.

Dla materiałów nieprzezroczystych współczynnik $\tau=0$ i równanie (9) upraszcza się do postaci

$$\alpha_\lambda + r_\lambda = 1. \quad [10]$$

Jak wspomniano wcześniej, wszystkie ciała czarne, ciecze i gazy, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego wysyłają promieniowanie cieplne. Jednak emitowany strumień promieniowania cieplnego jest zazwyczaj różny dla wielu ciał pomimo, że ich temperatura jest taka sama. Dzieje się tak dlatego, że każde ciało ma określoną zdolność do emitowania promieniowania, którą to zdolność charakteryzuje się współczynnikiem zwanym emisyjnością.

7.3. Emisyjność

Emisyjność jest parametrem fizycznym charakteryzującym właściwości promienne ciał rzeczywistych. Wartość emisyjności obiektu zależy od jego parametrów fizyko-chemicznych. W szczególności są to: temperatura, skład chemiczny, stan fizyczny powierzchni (chropowatość, warstwy tlenków, fizyczne i chemiczne zanieczyszczenia). Większość z tych parametrów i cech fizycznych jest niepowtarzalna i charakterystyczna dla danego przedmiotu.

Oznacza to, że w przypadku technik pomiarowych opartych o wykorzystywanie mocy promieniowania emitowanego przez obiekt, niepewność określenia emisyjności decyduje o niepewności całego pomiaru.

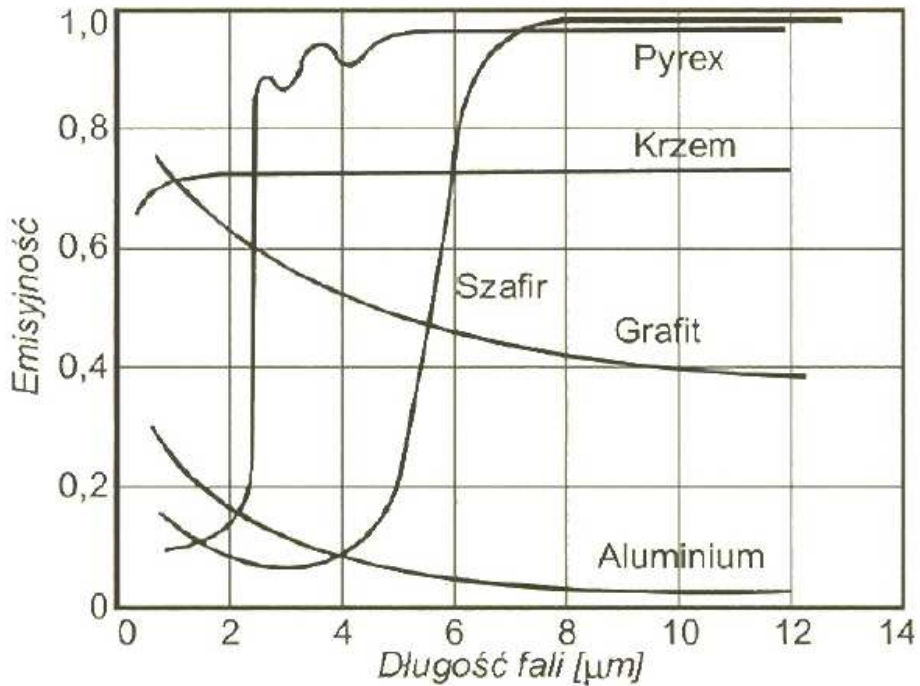
Pod względem zdolności do emitowania promieniowania, powierzchnie charakteryzowane są przez różnie zdefiniowane emisyjności.

Emisyjnością ε danego ciała dla całkowitego zakresu promieniowania, zwaną emisyjnością całkowitą, nazywa się stosunek egzytancji $M(T)$ powierzchni danego ciała do egzytancji $M_B(T)$ ciała czarnego, znajdującego się w tej samej temperaturze

$$\varepsilon = \frac{M(T)}{M_B(T)} \quad [11]$$

Stosunek gęstości widmowej egzytancji danego ciała do gęstości widmowej egzytancji ciała czarnego w tej samej temperaturze i dla tej samej długości fali nazywa się emisyjnością widmową (spektralną) (rys. 10)

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M_\lambda(\lambda, T)}{M_{B\lambda}(\lambda, T)} \quad [12]$$



Rys. 10. Zmiany emisyjności w funkcji długości fali dla wybranych materiałów

Tabela 5. Współczynnik emisyjności dla przykładowych materiałów

Materiał	Temperatura [°C]	ε
Aluminium: polerowanie powierzchnia szorstka utlenienie	225...575	0,039...0,057
	26	0,055
	200...600	0,11...0,19
Brąz: polerowny powierzchnia szorstka	50	0,1
	50...150	0,55
Miedź: polerowna handlowa obrobiona do połysku utleniona płynna	50...100	0,02
	22	0,072
	200...600	0,57...0,87
	1100...1300	0,13...0,15

Rozróżnia się trzy podstawowe rodzaje źródeł promieniowania, których egzytancja zależy od długości fali:

- ciało czarne, dla którego $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$,
- ciało szare, dla którego $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = \text{const.} < 1$,
- ciało promieniujące selektywnie, dla którego ε zależy od długości fali.

Powyżej stwierdzono, że emisyjność zależy od temperatury i długości fali. Należy również pamiętać, że emisyjność jest zależna od kąta obserwacji, a jej wartość dla rzeczywistego obiektu może zmieniać się w czasie.

Można więc zapisać, że emisyjność ε danego ciała jest funkcją kąta obserwacji Φ , długości fali λ , temperatury ciała T oraz czasu t

$$\varepsilon = f(\Phi, \lambda, T, t). \quad [13]$$

Zgodnie z prawem Kirchoffa dla dowolnego ciała emisyjność widmowa i widmowy współczynnik pochłaniania (dla jednakowej temperatury i długości fali) są sobie równe, a zatem

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda. \quad [14]$$

Należy zaznaczyć, że w przypadku promieniowania cieplnego, współczynnik pochłaniania jest równy emisyjności tylko wtedy, gdy promieniowanie to nie powoduje wzrostu temperatury ciała.

Dla ciała nieprzeźroczystego, zgodnie z (10) otrzymujemy

$$\varepsilon_\lambda + r_\lambda = 1, \quad [15]$$

czyli inaczej

$$\varepsilon_\lambda = 1 - r_\lambda. \quad [16]$$

Zależność ta jest szczególnie użyteczna, ponieważ często łatwiej jest zmierzyć współczynnik odbicia niż bezpośrednio zmierzyć emisyjność.

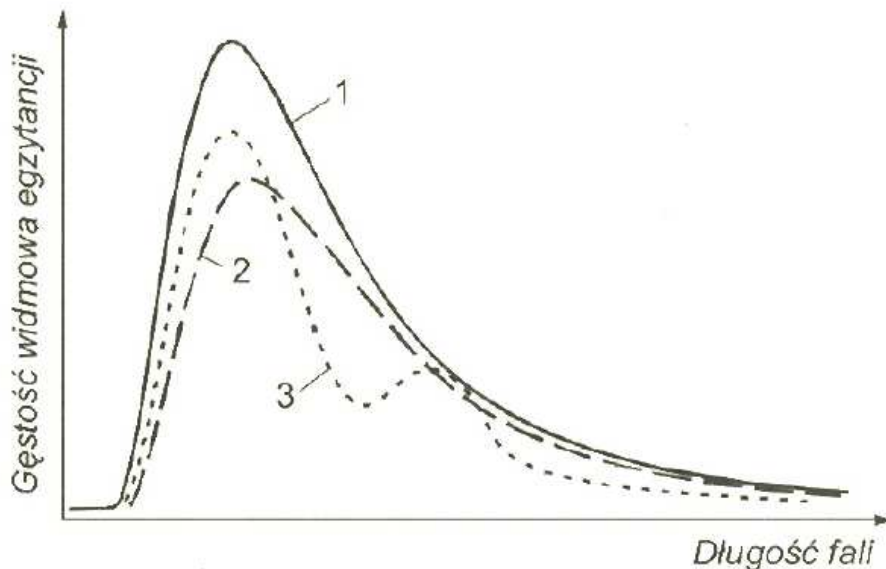
Dla ciał półprzeźroczystych współczynnik emisyjności można przedstawić wzorem

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1 - r_\lambda)(1 - \tau_\lambda)}{1 - r_\lambda \tau_\lambda}. \quad [17]$$

W stanie równowagi termodynamicznej natężenie promieniowania emitowanego musi być równe natężeniu promieniowania pochłoniętego przez dane ciało. Zatem żaden inny obiekt o takiej samej temperaturze jak ciało czarne nie może wypromieniować więcej energii niż ciało czarne. Dla ciał rzeczywistych, we wzorach na gęstość widmową egzytancji należy uwzględnić współczynnik emisyjności $\varepsilon(\lambda, T)$, który jest mniejszy od 1. Wzór Plancka przyjmie wtedy postać

$$M(\lambda, T) = \frac{\varepsilon(\lambda, T) \cdot c_1}{\lambda^5 \cdot \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]}. \quad [18]$$

Na rysunku 11 przedstawiono charakterystyki gęstości widmowej egzytancji, odpowiednio dla ciała czarnego, szarego oraz promieniującego selektywnie.



Rys. 11. Gęstość widmowa egzytancji dla ciała czarnego (1), szarego (2) oraz promieniującego selektywnie (3)

Po scałkowaniu wzoru (18) względem długości fali λ w granicach $0 \div \infty$, otrzymuje się zależność opisującą egzytancję ciała rzeczywistego zgodnie z prawem Stefana-Blotzmanna

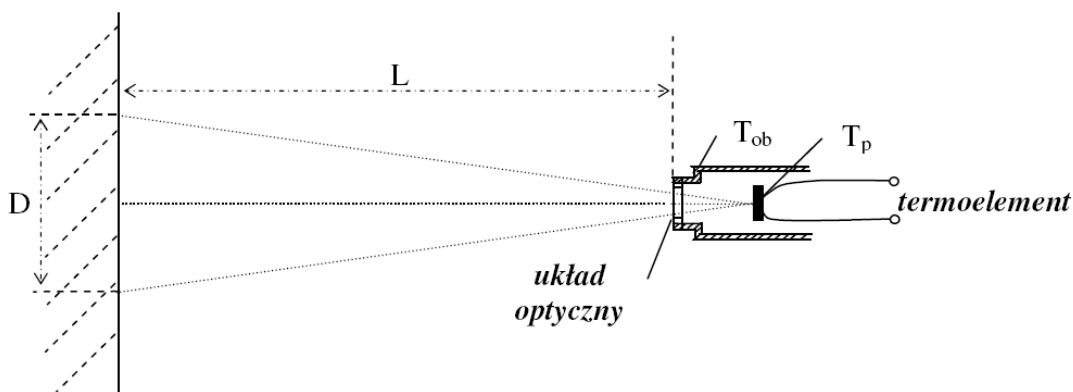
$$M(T) = \frac{\pi^4}{15} \frac{c_1}{c_2^4} \cdot \varepsilon(T) \cdot T^4 = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4. \quad [19]$$

Emisyjność ma prostą interpretację fizyczną, natomiast praktyka dowodzi, że jest to parametr trudny do określenia (pomiaru), ponieważ zależy ona od wielu czynników. Dokładność określenia emisyjności determinuje dokładność termowizyjnych pomiarów temperatury. Z względu na to prowadzone były – i są nadal – badania emisyjności różnych materiałów i powierzchni, a także jej modelowanie.

8. Rodzaje pirometrów

8.1. Pirometr radiacyjny

Pirometr radiacyjny, inaczej też zwany piometrem całkowitego promieniowania służy głównie do pomiarów temperatur większych niż 1000°C . Jednak dzisiejszy postęp technologiczny pozwala na użycie pirometrów do pomiarów w znacznie niższych temperaturach. Zasada działania tego typu pirometrów opiera się o zależność promieniowania cieplnego emitowanego w szerokim zakresie długości fal od temperatury. Całkowitą ilość energii wypromieniowanej w jednostce czasu i określonej temperaturze określa prawo Stefana-Boltzmana. Graficzna interpretacja tego prawa to pole pod krzywą emisji energii promienistej (prawo Plancka) dla danej temperatury. Schemat pirometru pracującego z zastosowaniem tej zasady przedstawiony jest na rys. 12.



Rys. 12. Uproszczony schemat poglądowy pirometru radiacyjnego

Sygnał wyjściowy pirometru, będący siłą termoelektryczną E termoelementu, jest zależny od różnicy temperatury detektora T_p (tzw. gorący koniec termoelementu) i temperatury obudowy T_{ob} (tzw. zimny koniec termoelementu), która tutaj jest temperaturą otoczenia.

Z punktu widzenia użytkownika bardzo ważnymi parametrami przy pomiarze pirometrycznym oprócz rozdzielczości i dokładności czujnika są: emisyjność badanej powierzchni oraz tzw. współczynnik odległościowy L/D . Zwykle ustalenie wartości ε jest podstawowym problemem przy pomiarze pirometrycznym, gdyż pomimo wielu tablic zamieszczonych w literaturze zawierający orientacyjne wartości współczynnika ε jego dokładna wartość nigdy nie jest znana. Zależność opisująca związek pomiędzy temperaturą wskazywaną przez pirometr T_m a temperatura rzeczywistą obiektu T określa wzór

$$T = T_m \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \quad [20]$$

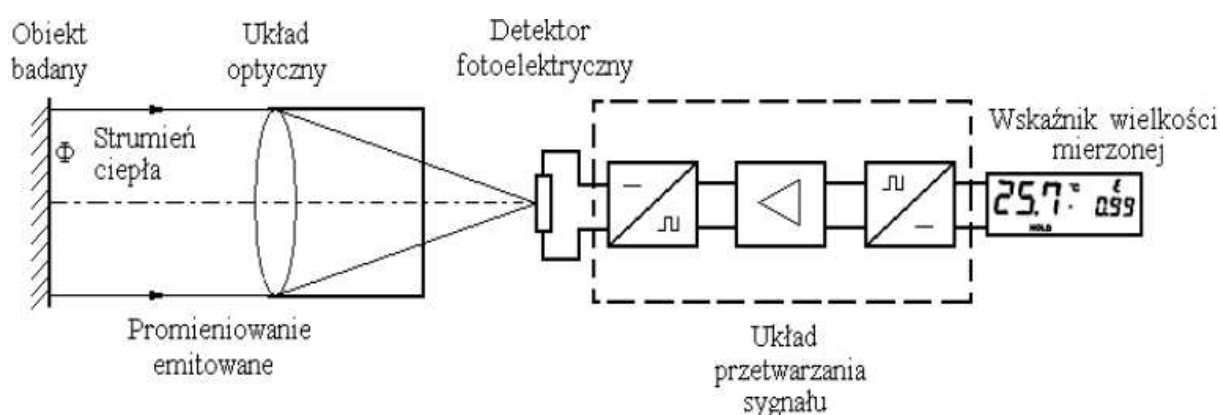
8.2. Pirometr fotoelektryczny

Kolejnym rodzajem pirometru jest pirometr fotoelektryczny. W tym przypadku do pomiaru temperatury wykorzystuje się zależność natężenia promieniowania cieplnego o wybranej długości fali od temperatury. Wykorzystywane długości fal λ zależą od typu zastosowanego detektora promieniowania. Jeśli detektor wykorzystuje tylko jedną określoną długość fali to mówimy wtedy o pirometrze monochromatycznym. Jako detektory promieniowania możemy spotkać fotorezystory, fotodiody krzemowe i germanowe. W przyrządach tego typu zwykle stosuje się detektory fotowoltaiczne. Promieniowanie emitowane przez ciało badane skupiane jest przy pomocy układu optycznego na powierzchni detektora. Powstały w detektorze sygnał jest wzmacniany i przesyłany do układu przetwarzania sygnału. Odpowiednio dobrane filtry ograniczają promieniowanie padające na detektor z określonego pasma $\Delta\lambda$. Odpowiedni dobór zakresu daje możliwość wyeliminowania zakłóceń spowodowanych np. parą wodną albo dwutlenkiem węgla. Typowy

zakres mierzonej temperatury dla tego rodzaju pirometru wynosi 320K-2270K. Zależność między temperaturą wskazaną przez pirometr T_w , a temperaturą rzeczywistą opisuje wzór

$$T = T_w \cdot \sqrt[n]{\frac{1}{\varepsilon}}, \quad [21]$$

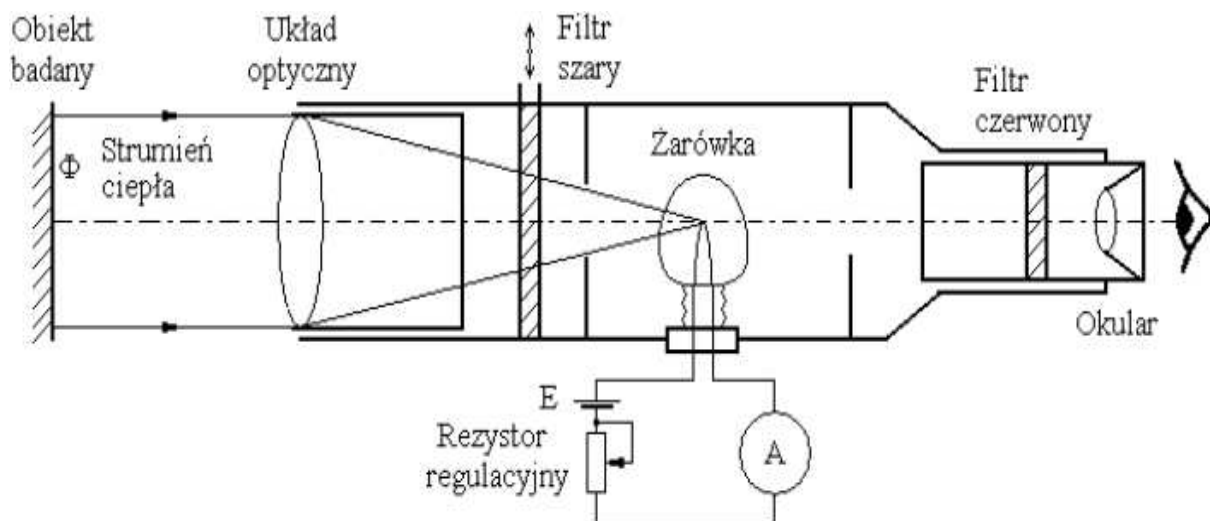
gdzie: T_w – temperatura wskazana przez pirometr [°C], T – temperatura rzeczywista obiektu [°C], ε – oznacza średnią wartość emisyjności obiektu w paśmie długości fal w których pracuje detektor, $n = 5 \div 12$ wykładnik, który rośnie wraz ze zmniejszaniem się szerokości wykorzystywanego pasma długości fal; jeśli $\lambda_1 - \lambda_2$ dąży do zera, to wtedy właściwości pirometru fotoelektrycznego zbliżają się do właściwości pirometru monochromatycznego a $n \rightarrow 12$. Na rysunku 13 przedstawiono schemat przykładowego pirometru fotoelektrycznego.



Rys. 13. Schemat pirometru fotoelektrycznego (pasmowego)

8.3. Pirometr monochromatyczny

Pirometr monochromatyczny to taki pirometr, który wykorzystuje zależność luminacji świetlnej badanej powierzchni od temperatury. Pomiar wykonujemy poprzez obserwację żarówki pirometrycznej z włóknem wolframowym na tle obiektu (rys. 14). Obserwacji dokonujemy poprzez filtr określający długość fali, którą wykorzystujemy do pomiaru. Filtr czerwony służy w tym przypadku do precyzyjnego pomiaru fali przy $\lambda=0,65\mu\text{m}$. Dla temperatur mniejszych od 800°C zalecane jest mierzenie bez tego filtra, ponieważ ma on duży udział w widmie wysyłanego promieniowania. Jeżeli filtr będzie na stałe zamontowany pomiar też będzie prawidłowy, lecz dla temperatur poniżej 800°C będzie obarczony pewnym błędem. Obecnie pirometry monochromatyczne są rzadko stosowane.

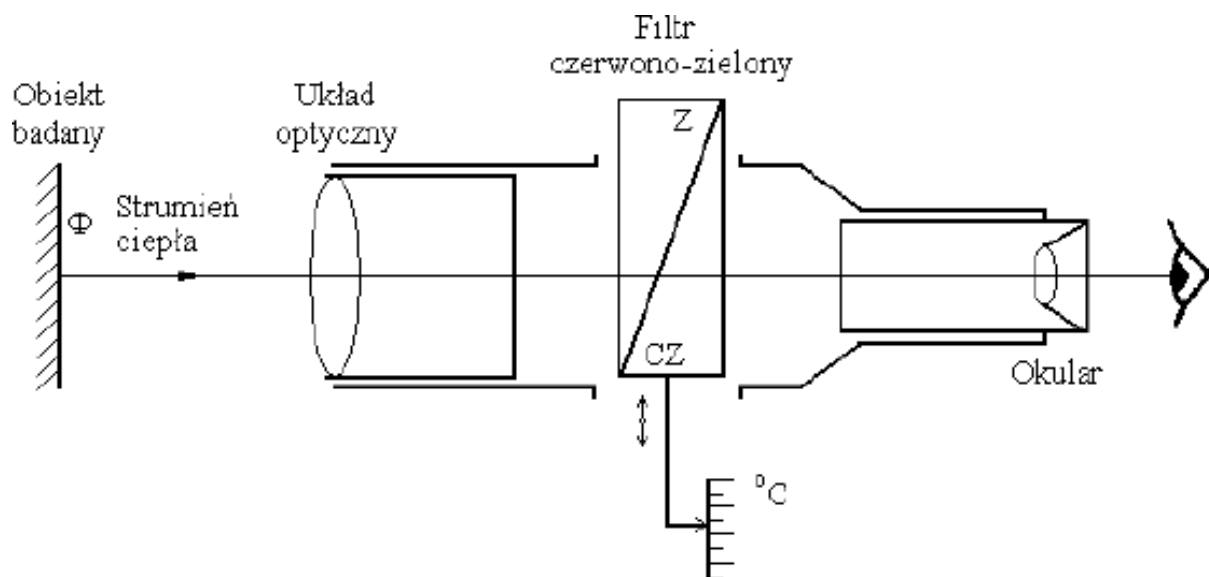


Rys. 14. Przykładowy schemat pirometry monochromatycznego.

8.4. Pirometr barwny

Kolejną grupą pirometrów stanowią pirometry barwne. Zasada ich działania polega na rejestracji mocy promieniowania dla dwóch lub trzech długości fali a następnie odtworzenie kształtu całego widma. Pirometr dwubarwowy mierzy stosunek wartości natężenia promieniowania wysyłanego przez badane ciało dla dwóch różnych długości fali. Stosunek wartości tych natężeń jest określany za pomocą ludzkiego oka. Mierząc temperaturę tą metodą badamy, jaki jest udział w całkowitym promieniowaniu promieniowania jednej z dwu określonych długości fal. Najczęściej porównuje się natężenie ciała badanego w barwie czerwonej i zielonej. Technicznie polega to na tym, aby dobrać odpowiedni filtr dwubarwny, w taki sposób żeby obserwowane przez ten filtr ciało wydawało się szare. Podstawową zaletą pirometrów dwubarwnych jest to, że dokładność ich wskazań nie zależy od emisyjności (jeśli są takie same dla obu długości fali), kierunkowości promieniowania, zakłóceń atmosferycznych oraz ograniczeń wielkości powierzchni. Typowy zakres dla tego rodzaju pirometrów wynosi $(900-3000)^{\circ}\text{C}$. Pirometrem dwubarwnym mierzymy temperaturę barwową (rys.15).

Podgrupę pirometrów barwnych stanowią pirometry wielobarwowe. Pozwalają na dokładną analizę temperatury powierzchni przy braku wstępnej informacji o emisyjności tej powierzchni. W skład tego typu mierników wchodzi układ podziału wiązki padającego promieniowania na sygnały odpowiadające mierzonym zakresom λ , układ równoległe działających detektorów dla pomiaru tych sygnałów oraz układ obliczeniowy, którego zadaniem jest wyznaczenie mierzonej temperatury.



Rys. 15. Schemat pirometru dwubarwnego.

9. Zastosowanie pirometrów

Pirometry znalazły zastosowanie w monitoringu procesów przemysłowych oraz w badaniach naukowych gdzie warunkiem jest rejestracja danych pomiarowych. Kontrola temperatury silników i napędów, łożysk i zaworów. Zbieranie informacji o temperaturze elementów sieci grzewczo-wentylacyjnej. Kontrola sprawności działania pieców i sieci dystrybucji pary. Pirometry są sprawdzonym, oszczędzającym czas narzędziem do wykrywania i zapobiegania awariom w instalacjach elektrotechnicznych. Pozwalają na bezpieczne wykrywanie problemów termicznych na złączach, bezpiecznikach, silnikach elektrycznych, uzwojeniach, izolatorach, przewodach i obudowach jeszcze przed wystąpieniem awarii. Innymi dziedzinami zastosowania pirometru jest rolnictwo czy zakłady zbiorowego żywienia, a także instalacje grzewcze (administracja obiektów) i wiele innych.

Typowe przykłady zastosowania pirometrów:

- zakłady zbiorowego żywienia (HACCP)



- pomiary instalacji hydraulicznych (elementy złączające)



- instalacje grzewcze (administracja obiektów)



- ruchome elementy maszyn i urządzeń



- warsztaty samochodowe (pomiar temperatury silnika układu wydechowego)



- nadzór towarów w obiektach magazynowych (HACCP)



- pomiary klimatyzacji i wentylacji (HVAC)



- kontrola ocieplenia budynków (mostki cieplne)



- pomiary instalacji elektrycznych (elementy załączające)



10. Literatura

- Pomiary termowizyjne w praktyce – Praca zbiorowa pod redakcją H. Madury, 2004

Ćwiczenie opracowała - mgr inż. Magdalena Gutowska