

# Ciało Doskonałe Czarne

Kacper Kłos

26 marca 2025

Abstract

# 1 Podstawy Teoretyczne

Jedną z podstawowych metod wymiany ciepła między ciałami jest promieniowanie. Promieniające ciało można opisać za pomocą 3 stałych:

- współczynnik absorpcji  $A$  - ułamek promieniowania jaki zostaje wchłonięty po padnięciu na ciało.
- współczynnik odbicia  $R$  - ułamek promieniowania jaki zostaje odbity po padnięciu na ciało.
- współczynnik transmisji  $T$  - ułamek promieniowania jaki zostaje przepuszczony przez ciało po padnięciu na nie.

Wszystkie stałe muszą sumować się do 1 ( $A+R+T = 1$ ). Przydatnym uogólnieniem jest ciało doskonale czarne które cechuje  $A = 1$  w całym zakresie widma promieniowania.

Wzory używane przy mówieniu o promieniowaniu to: Strumień promieniowania danej długości fali w zależności od temperatury dla ciała doskonale czarnego:

$$I(T, \lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1} \quad (1)$$

Oraz wynikające z niego prawo Stefana-Boltzmann'a będące sumą po wszystkich długościach fal wzoru 1:

$$J_{CDC}(T) = \sigma T^4 \quad (2)$$

Gdzie  $\sigma$  jest stałą Stefana-Boltzmann'a.

Wzór ten można uogólnić na ciała inne niż doskonale czarne wprowadzając stałą  $\epsilon$  definiującą zdolność emisyjną ciała, przekształcając wzór 2 na:

$$J(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

Korzystając z tych wzorów możemy znaleźć moc jaką będzie wypromieniowywać dana powierzchnia. Jako że ciało emituje promieniowanie przez swoją temperaturę ale zarazem przyjmuje promieniowania z otoczenia otrzymujemy wzór:

$$\delta P = AS\sigma(T^4 - T_{ot}^4) \quad (4)$$

W którym  $A$  - absorpcja,  $S$  - pole powierzchni ciała.

W przypadku ciał punktowych energia będzie izotropowo rozprowadzona na powierzchni sfery co prowadzi nas do wzoru na strumień mocy:

$$J(r) = \frac{AS\sigma(T^4 - T_{ot}^4)}{4\pi r^2} \quad (5)$$

## 2 Układ Doświadczalny

Podstawowym narzędziem z jakiego będziemy korzystać jest detektor promieniowania termicznego (PASCO TD-8553) dla którego zależność mierzonego napięcia od strumienia mocy jaki pada na miernik jest linowa:

$$U_d = \alpha J_{pad} - \beta \quad (6)$$

Detektor w pomiarach będzie podłączony do miernika uniwersalnego BRYMEN BM827s do pomiaru napięcia.

### 2.1 Kostka Lesliego

W pierwszej części doświadczenia zbadamy emisyjność różnych powierzchni kostki Lesliego (3B Scientific Physics U8498299-230). Kostka składa się z 4 powierzchni: czarnej, białej, metalowej matowej oraz metalowej błyszczącej, do tego kostka może zostać podgrzana od  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Detektor promieniowania kierujemy na kostkę i mierzymy promieniowania dla różnych powierzchni przy zmienianiu temperatury. Kluczowe jest zasłanianie detektora osłoną podczas oczekiwania na nagrzanie próbki aby nie nabrał temperatury zakłcającej pomiar. W trakcie doświadczenia musimy także zmierzyć napięcie jakie pokazuje detektor podczas bycia zasłoniętym a żeby móc zidentyfikować jaka część promieniowania pochodzi od ścian a jaka od otoczenia. Przy najwyższej temperaturze zbadamy co pokazuje detektor przy zasłonięciu ścianki czarnej przez szklany ekran.

Zdjęcie

### 2.2 Lampa Stefana-Boltzmana

W tej części przeprowadzimy walidację prawa Stefana-Boltzmana. Ustawiamy detektor i żarówkę na szynie z zaznaczonymi odległościami.

Zdjęcie

Na początku żarówka i detektor są ustawione blisko siebie żeby zmierzyć zależność strumienia mocy od temperatury. Żarówkę podłączamy do generatora i mierzymy napięcie oraz natężenie na żarówce za pomocą dwóch mierników BRYMEN BM805s. Zależność temperaturową możemy wyznaczyć wzorami [1]:

$$T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref} \quad (7)$$

We wzorze  $T_{ref} = 300\text{ K}$  a  $R_{ref} = 0,277\text{ }\Omega$ , a  $\alpha$  opisywane jest zależnością:

$$\alpha(K^{-1}) = 0,00407 \cdot \left(\frac{R}{R_{ref}}\right)^{0,11778}$$

Z mierzonych wartości opór otrzymujemy przez prawo ohma:

$$R = \frac{U}{I}$$

Przy pomiarze z najwyższą temperaturą sprawdzamy co się stanie gdy pomiędzy detektor a żarówkę wstawimy szklany ekran. Po wykonaniu pomiarów zależnych od temperatury, mierzymy zależność od odległości pozostawiając temperaturę stałą poprzez przesówanie detektora na szynie.

### 3 Wyniki Pomierów

We wszystkich pomiarach będziemy korzystać ze zmierzonej stałej temperatury pomieszczenia  $T_0 = 22^\circ C$ . Ważne też jest wspomnieć że w poniższej analizie błąd statystyczny zmiennej  $x$  oznaczamy  $s_x$ , błąd pomiarowy  $\delta x$  a błąd całkowity  $u(x)$ . Wzór na sumaryczny błąd z jakiego będziemy korzystać w momencie kiedy jest kilka punktów pomiarowych to:

$$u(x) = \sqrt{s_x^2 + (\frac{\delta x}{\sqrt{3}})^2} \quad (8)$$

Gdy pomiar jest pojedynczy to  $u(x) = \delta x$ .

Nadmiernie będziemy też korzystać z równania na propagację błędów:

$$\delta f(x) = \sqrt{\sum_{i=1} (\frac{df}{dx_i} \delta x_i)^2} \quad (9)$$

#### 3.1 Kostka Lesliego

Nr	$T [^\circ C]$	$U_{czarna} [mV]$	$U_{biała} [mV]$	$U_{metal\ blyszczący} [mV]$	$U_{metal\ matowy} [mV]$	$U_{otoczenie} [mV]$
1	50	2,05	2,05	0,17	0,53	0,15
2	55	2,56	2,56	0,18	0,63	0,15
3	60	2,94	2,93	0,23	0,71	0,15
4	65	3,45	3,41	0,25	0,80	0,17
5	70	3,89	3,89	0,26	0,95	0,21
6	75	4,43	4,40	0,29	1,04	0,19
7	80	4,97	4,94	0,32	1,16	0,17
8	85	5,43	5,41	0,34	1,28	0,14
9	90	5,95	5,85	0,38	1,39	0,14
10	95	6,52	6,48	0,42	1,53	0,17
11	100	7,12	7,06	0,45	1,71	0,19
12	105	7,66	7,63	0,50	1,85	0,21
13	110	8,34	8,32	0,54	2,06	0,24
14	115	8,87	8,85	0,58	2,15	0,26
15	120	9,52	9,52	0,63	2,34	0,25

Tablica 1: Pomiary napięcia dla różnych powierzchni w funkcji temperatury.

Na ekranie kostki Lesligeo widzieliśmy drobne zmiany temperatury dlatego jej błąd uznajemy jako  $\delta T = 1^\circ C$ . Podczas gdy błąd z jakim mierzyliśmy napięcie otrzymujemy z instrukcji multimetru [2] dla naszego zakresu wynosi  $\delta U = 0,0012 \cdot U + 0,02[mV]$ . Co pozwala nam wyznaczyć błąd dla  $U_{\text{otoczenie}}$

$$U_{\text{otoczenie}} = 0,186 [mv], \quad s_{U_{\text{otoczenie}}} = 0,039 [mv], \quad U_{\text{otoczenie}} = 0,021 [mv], \quad U_{\text{otoczenie}} = 0,04 [mV] \quad (10)$$

## 4 Podsumowanie

## Literatura

- [1] *Badanie Promieniowania Termicznego*, Uniwersytet Warszawski, Aneta Drabińska.
- [2] [brymen.eu/wp-content/uploads/biall/102091/102091.KARTA\\_EN..2015-07-08.1.pdf](http://brymen.eu/wp-content/uploads/biall/102091/102091.KARTA_EN..2015-07-08.1.pdf), miernik uniwersalny BRYMEN BM827s.