C5. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy metodą ostygania

Celem ćwiczenia *jest poznanie pojęć ciepła właściwego i pojemności cieplnej ciała, zjawiska transportu ciepła, prawa ostygania oraz doświadczalne wyznaczenie ciepła właściwego wybranych cieczy na podstawie badania kinetyki ich ostygania.*

Ciepło właściwe – to ilość ciepła potrzebna do tego, aby ciało o masie 1 kg podgrzać o 1K:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$$

Iloczyn ciepła właściwego *c* i masy ciała *m* nazywa się ***pojemnością cieplną ciała C:*** C = m·c [J/K].

Ciało gorące o temperaturze t_1, znajdujące się w otoczeniu o temperaturze niższej t_o, stygnie i po pewnym czasie przyjmuje temperaturę otoczenia. Ciało – ostygając - może tracić ciepło poprzez: ***konwekcję, przewodnictwo*** lub ***promieniowanie.***

Prawo ostygania Newtona mówi, że: *prędkość ostygania ciała jest proporcjonalna do różnicy temperatur między ciałem ostygającym t_1 i otoczeniem t_o ($A = t_1 - t_o$).*

W zapisie różniczkowym prawo to przyjmuje postać: $\frac{dA}{d\tau} = -aA$ (1), gdzie τ jest czasem ostygania, a ***dA/dτ - prędkością ostygania***, czyli ilością stopni, o jakie ostygnie ciało w ciągu 1 s, ***a*** - jest ***stałą ostygania***, zależną od ciała i jego otoczenia. Po scałkowaniu wzoru (1) otrzymujemy wykładniczą postać tego prawa: $A = A_o e^{-a\tau}$ (2).

Wykresem procesu ostygania jest krzywa wykładnicza, malejąca mniej lub bardziej stromo, zależnie od stałej ostygania *a* danej cieczy.

Okazuje się, że *stała ostygania* jest odwrotnie proporcjonalna do *pojemności cieplnej C ciała,* co można zapisać, jako: $a = \frac{h}{C}$ (3). Stała proporcjonalności *h* zależy tylko od rodzaju i powierzchni ciała ostygającego oraz od warunków otoczenia, a nie zależy od pojemności cieplnej ciała. Uwzględniając (3) otrzymamy prawo ostygania (2) w postaci:

$$A = A_o e^{-\frac{h}{C}\tau} \qquad (4).$$

Zależność tę wykorzystuje się do ***wyznaczenia ciepła właściwego c_c*** badanej cieczy tzw. *metodą ostygania*. W tym celu należy zmierzyć czas ostygania tej cieczy (τ_c) oraz cieczy wzorcowej (τ_w) o znanym cieple właściwym c_w, np. wody, w tym samym przedziale temperatur. Ponadto, obie ciecze muszą ostygać w tych samych warunkach zewnętrznych i mieć te same powierzchnie ostygania. Wówczas możemy napisać prawo ostygania dla obu z nich w postaci:

$$A_1 = A_o e^{-\frac{h}{C_w}\tau_w} \text{ (dla wody)} \quad \text{i} \quad A_1 = A_o e^{-\frac{h}{C_c}\tau_c} \text{ (dla cieczy badanej).} \qquad (5)$$

Po zlogarytmowaniu obu równań, dokonaniu pewnych przekształceń i podzieleniu stronami otrzymujemy: $\frac{\tau_w}{\tau_c} = \frac{C_w}{C_c}$ (6). Uwzględnienie następnie zależności: $C = m \cdot c$ oraz $m = \rho \cdot V$, gdzie ρ jest gęstością ciała, prowadzi do relacji:

$$\frac{\tau_w}{\tau_c} = \frac{c_w \cdot \rho_w \cdot V_w}{c_c \cdot \rho_c \cdot V_c} \qquad (7)\,.$$

Jeżeli w eksperymencie mamy taką samą objętość obu cieczy, to po uproszczeniu i przekształceniu (7) otrzymamy wzór na ciepło właściwe badanej cieczy w postaci:

$$c_c = c_w \frac{\tau_c \cdot \rho_w}{\tau_w \cdot \rho_c}\,. \qquad (8)$$

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz.19
2. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz. 14, 15

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki* (**https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/**) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

C5. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: dwie kolby miarowe, dwa termometry, czajnik elektryczny, stopery, badane ciecze.

1. Jedną kolbę miarową napełniamy badaną cieczą, a drugą – wodą, zachowując w każdym przypadku jednakową objętość przy jednakowym kształcie obu naczyń. W każdej kolbie umieszczamy termometr dbając o to, aby był on zanurzony prawie do dna.
2. Obie kolby z termometrami umieszczamy w czajniku z wodą i ogrzewamy do temperatury ok. 73°C. **UWAGA**: nie zagotowywać wody w czajniku! Czajnik wyłączyć gdy ciecze w kolbach osiągną żądaną temperaturę.
3. Wyjmujemy kolby ostrożnie z czajnika i stawiamy je na stole.
4. Indywidualny pomiar czasu stygnięcia każdej z cieczy rozpoczynamy włączając stoper w momencie osiągnięcia przez badaną ciecz temperatury 70°C.
5. Mierzymy całkowity czas ostygania badanej cieczy (τ_c) oraz czas ostygania wody (τ_w) w przedziale temperatur od 70°C do 50°C.
6. W trakcie procesu stygnięcia, co 30 sekund, dokonujemy odczytu temperatury zarówno cieczy badanej, jak i wody. Odczytane wartości zapisujemy w tabeli. Pomiary poszczególnych czasów ostygania kończymy dokładnie w chwili osiągnięcia przez każdą ze stygnących cieczy temperatury 50°C.

Opracowanie wyników

1. Na jednym układzie współrzędnych wykreślamy zależność temperatury ostygania (t_c) badanej cieczy oraz temperatury ostygania (t_w) wody w funkcji czasów ostygania (τ) tych cieczy.
2. Całkowite czasy ostygania badanej cieczy (τ_c) i wody (τ_w) podstawiamy do wzoru:

$$c_c = c_w \frac{\tau_c \cdot \rho_w}{\tau_w \cdot \rho_c}$$

   i obliczamy ciepło właściwe badanej cieczy c_c przyjmując, że ciepło właściwe wody c_w=4,19 $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$.

   Gęstości badanych cieczy: glikolu ρ_c = 1090 kg/m^3; płynu do chłodnic ρ_c = 1040 kg/m^3; gęstość wody ρ_w odczytujemy w tablicach fizycznych.
3. Błąd pomiarowy dla uzyskanej wartości ciepła właściwego obliczamy metodą różniczki logarytmicznej zgodnie z poniższym wzorem, z którego następnie wyliczamy wielkość błędu bezwzględnego Δc_c.

$$\frac{\Delta c_c}{c_c} = \left|\frac{\Delta \tau_c}{\tau_c}\right| + \left|\frac{\Delta \tau_w}{\tau_w}\right|$$

4. Otrzymane wyniki zestawiamy w postaci: $(c_c \pm \Delta c_c)\, jedn.SI$

Tabela

CIECZ BADANA ……		CIECZ WZORCOWA (woda)	
czas ostygania τ [s]	temperatura ostygania t_c [°C]	czas ostygania τ [s]	temperatura ostygania t_w [°C]
0	70	0	70
30		30	
60		60	
90		90	
120		120	
150		150	
180		180	
210		210	
240		240	
270		270	
300		300	
330		330	
360		360	
390		390	
420		420	
450		450	
480		480	
510		510	
540		540	
570		570	
600		600	
630		630	
660		660	
690		690	
720		720	
750		750	
780		780	
810		810	
840		840	
870		870	
900		900	
		930	
		960	
		990	
		1020	
		1050	
		1080	
Całkowity czas ostygania od 70°C do 50°C τ_c [s]		Całkowity czas ostygania od 70°C do 50°C τ_w [s]	