

# Wyznaczanie ilości ciepła wydzielanego z organizmu człowieka przy oddychaniu

## Wprowadzenie teoretyczne

Kalorymetria zajmuje się metodami pomiaru ciepła wydzielanego bądź pochłanianego w trakcie różnych procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych (np. zamiana pracy na ciepło, ciepło reakcji chemicznych) oraz parametrów charakteryzujących termiczne właściwości ciał (np. ciepło właściwe, przewodność cieplna).

**Ciepło właściwe** jest ilością ciepła potrzebną do ogrzania 1 kg dowolnego ciała o jeden Kelwin. Jednostką ciepła właściwego jest  $J \cdot kg^{-1}K^{-1}$ . Ciała stałe lub ciecze, które pobierają energię w postaci ciepła nie muszą zwiększać swojej temperatury. Zamiast tego substancja może zmienić swój stan (fazę). Przykładem takiej przemiany fazowej jest topnienie lodu - zmiana stanu stałego na ciekły. Ilość energii, którą w postaci ciepła należy dostarczyć 1 kg substancji aby uległa ona przemianie fazowej jest nazywana **ciepłem przemiany** (ciepłem topnienia  $c_t$  lub ciepłem parowania  $c_p$ ).

## Opis doświadczenia

W wyniku przemiany materii o organizmach żywych powstaje ciepło, które jest zużywane przez organizm na endotermiczne reakcje chemiczne, pracę mechaniczną, energię elektryczną oraz energię fal elektromagnetycznych. Część ciepła zostaje odprowadzona na zewnątrz (m. in. przez oddychanie), dzięki czemu możliwe jest utrzymanie optymalnej temperatury organizmu. Powietrze wdychane ma temperaturę otoczenia, a zawarta w nim para wodna jest najczęściej nienasycona. Wewnątrz dróg oddechowych powietrze wraz z zawartą w nim parą podgrzewa się do temperatury ciała ludzkiego. Dodatkowo para uzyskuje stan nasycenia w wyniku parowania wody ze ścian przewodów oddechowych. Procesy te odbywają się kosztem ciepła pobranego z organizmu. Ciepło to można wyznaczyć przeprowadzając doświadczenie, w którym powietrze jest wdychane do kalorymetru wypełnionego lodem.

Ciepło wydzielone podczas wydychania powietrza  $Q_1$  jest zużywane na proces topnienia lodu:

$$Q_1 = (m_w[II] - m_w[I]) \cdot c_t$$

$m_w[I]$  - masa wody powstała z lodu w kalorymetrze [I] bez wydychania powietrza,

$m_w[II]$  - masa wody powstała z lodu w kalorymetrze [II] podczas wydychania powietrza,

$c_t$  - ciepło topnienia lodu

$Q_1$  jest równe ciepłu, jakie straciłby organizm przez oddychanie, gdyby oddychanie odbywało się w temperaturze topnienia lodu  $T_0 = 0^\circ C$ . Ponieważ doświadczenie jest przeprowadzane w temperaturze pokojowej  $T_p$  można obliczyć z proporcji:

$$Q = Q_1 \frac{T_c - T_p}{T_c - T_0}$$

$T_c$  - temperatura normalna ciała ludzkiego ( $36,6^\circ C$ )

## Zestaw pomiarowy

2 kalorymetry, pojemnik na lód, lód, wąż gumowy, ustnik

## Przebieg ćwiczenia

1. Zważyć puste i wysuszone naczynie wewnętrzne kalorymetrów I i II.
2. Wypełnić pojemnik z tworzywa sztucznego (dziurkowany od spodu) drobno potłuczonym i możliwie suchym lodem całość umieścić w osłonie i szczelnie zamknąć pokrywą. W otworze w pokrywie umieścić gumowy wąż. Kalorymetr pozostawić na 10 minut.
3. Po upływie 10 minut szybko wyjąć wewnętrzny pojemnik z tworzywa zawierający lód, otrząsnąć lód z nadmiaru wody do naczynia wewnętrznego kalorymetru i umieścić pojemnik w wewnętrznym naczyniu kalorymetru II. W otworze w pokrywie umieścić gumowy wąż. Przez 10 minut wydychać powietrze do kalorymetru II (za pomocą węża i ustnika). Oddech powinien być jak najbardziej zbliżony do normalnego a całe powietrze powinno zostać wtłoczone do kalorymetru. Po skończeniu wydychania natychmiast otworzyć kalorymetr i wyjąć z niego pojemnik wraz z pozostałością lodu po uprzednim otrząśnięciu wody.
4. Zważyć naczynie wewnętrzne kalorymetru I wraz z wodą i odejmując masę pustego naczynia obliczyć masę wody powstałej ze stopienia lodu pod wpływem ciepła zawartego w kalorymetrze oraz dopływającego z zewnątrz.
5. Zważyć naczynie wewnętrzne kalorymetru II wraz z wodą i odejmując masę pustego naczynia, obliczyć masę wody powstałej podczas wydychania powietrza i skraplania się pary wodnej.

## Opracowanie wyników

1. Wyniki umieścić w tabeli:

kalorymetr I			kalorymetr II			$m_{wp}$	$T_0$	$T_c$	$T_p$	$c_t$	$Q_1$
$m_k$	$m_{kw}$	$m_w$	$m_k$	$m_{kw}$	$m_w$						
						3,3 g	0°C	36,6°C		335 kJ · kg <sup>-1</sup>	

2. Całkowite ciepło  $Q_1$  stracone przez wydychanie powietrza przy ochłodzeniu się do temperatury  $T = 0^\circ\text{C}$  obliczyć ze wzoru:

$$Q_1 = (m_w[II] - m_w[I] - m_{wp})c_t$$

3. Obliczyć ciepło wydychania  $Q$ , uwzględniając poprawkę według wzoru:

$$Q = Q_1 \frac{T_c - T_p}{T_c - T_0}$$

## Rachunek błędów

Jako błąd pomiaru wartości  $m$  i  $T$  przyjąć błąd systematyczny (dokładność przyrządu). Błąd końcowy obliczamy korzystając z różniczki zupełnej.

## Literatura

1. Z. Józwiak, G. Bartosz, Biofizyka. Wybrane zagadnienia wraz z ćwiczeniami., PWN, Warszawa 2005