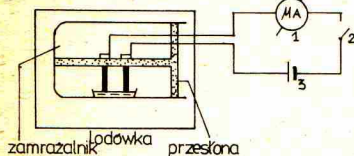
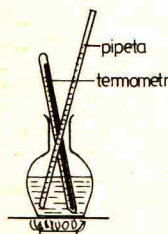
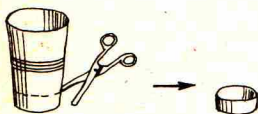


Zainteresowany się propozycją zbadania zależności czasu zamrażania wody od jej temperatury początkowej, zamieszczoną w marcowym numerze „Delt”, przeprowadziłem doświadczenie potwierdzające przedstawione tam tezy.

Istotą metody pomiarowej, którą się posłużyłem, było przewodnictwo elektryczne wody (wodociągowej), a w szczególności brak tego przewodnictwa, gdy woda zamieni się w lód. Do pomiaru czasu zamrażania posłużyłem się stoperem, zaś rolę sygnalizatora pokrywania się powierzchni wody lodem pełnił obwód złożony z baterii 4,5 V, amperomierza, klucza i dwóch elektrod węglowych. Elektrody ustawiłem tak, by dotykały powierzchni wody w naczyniu, w którym zamarza. Zamykając obwód mogłem sprawdzać, czy zachodzi przepływ prądu w wodzie obserwując wskazania amperomierza. Jeżeli woda w naczyniu pokrywała się lodem, przepływ prądu ustawał.



1. Mikroamperomierz ($\pm 0,1 \mu A$)
2. Klucz
3. Bateria 4,5V



Proponowany przeze mnie sposób wykonania doświadczenia nie jest z pewnością tak doskonały jak metoda polegająca na posługiwaniu się przy pomiarze temperatury wody termoparą. Nie pozwala on bowiem obserwować w czasie trwania pomiaru zmian temperatury, sygnalizuje jednak, że powierzchnia wody pokrywa się lodem. Podstawowe niedoskonałości tej metody są następujące:

1. Do doświadczenia możemy używać tylko wody lekko zasolonej (wodociągowej), co nie pozwala nam zbadać, jak zachowuje się w omawianej sytuacji woda destylowana.
2. Czas zamrażania mierzony jest do chwili pokrycia się lodem całej powierzchni wody, a nie, jak Redakcja sugerowała, do osiągnięcia przez wodę temperatury $0^{\circ}C$. Zamrażanie powierzchni wody jest procesem dosyć przypadkowym, zachodzącym w sposób nieregularny. Dlatego metoda wymaga dużej liczby pomiarów w celu zmniejszenia błędów doświadczalnych.
3. Do doświadczenia używamy równych objętości wody, a nie równych mas, co w zakresie temperatur 0° — $100^{\circ}C$ powoduje pewne różnice mas zamrażającej wody.

Poza tym jednak metoda ta, wydaje mi się, spełnia wymagania postawione w artykule.

Doświadczenie przeprowadzamy w zamrażalniku lodówki domowej. Ponieważ poszczególne pomiary trwają dosyć długo (około 20 min.), dobrze jest dysponować dłuższym okresem, aby wykonać je w jednej długiej serii. Im czas trwania takiej serii jest krótszy, tym zmiana warunków panujących w zamrażalniku jest mniejsza. Chodzi tu głównie o oszronienie ścianek zamrażalnika, które może spowodować zmianę temperatury panującej w zamrażalniku. Naczynie użyte do doświadczenia powinno mieć jak najmniejszą masę, aby jego stygnięcie nie zakłócało przebiegu zjawiska. Użyłem do tego celu naczynia z lekkiego, cienkiego tworzywa sztucznego, zrobionego z kubka, jakiego używa się zwykle do napojów chłodzących.

Aby skład chemiczny i zawartość gazów we wszystkich porcjach wody użytych do doświadczenia były takie same, przed doświadczeniem gotujemy większą ilość wody, co usuwa z niej rozpuszczony chlor i tą samą wodą posługujemy się w całym doświadczeniu.

Szybkość parowania w zamrażalniku lodówki można uznać za stałą dla danej temperatury wody, gdyż nie odbywają się tam większe ruchy powietrza.

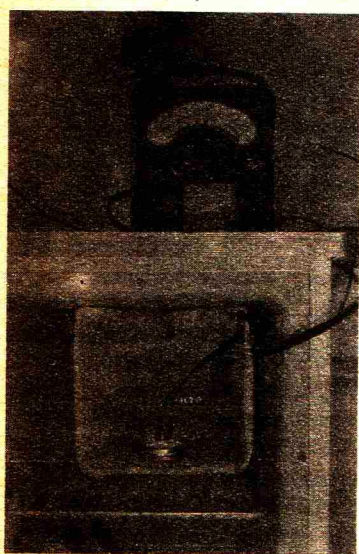
A oto dokładny opis przebiegu pomiaru:

1. W zamrażalniku lodówki zainstalowałem elektrody węglowe, a na zewnątrz zmontowałem obwód.
2. Kolbę z uprzednio przegotowaną wodą ogrzewałem na palniku gazowym lub oziębiałem w lodówce tak, by osiągnęła żądaną temperaturę.
3. Za pomocą pipety z podziałką ($\pm 0,05$ ml) nabierałem 5 ml wody do pomiaru. Pipetę trzymałem uprzednio w kolbie razem z wodą, aby miała ona tę samą temperaturę.
4. Wodę umieszczałem w plastikowym naczyniu, które wstawiłem do zamrażalnika lodówki tak, by elektrody węglowe dotykały powierzchni wody. Włączałem przy tym stoper mierzący czas zamrażania. Wylot zamrażalnika zamykałem przesłoną utrudniającą wymianę ciepła z otoczeniem zamrażalnika.
5. Za pomocą klucza zamykałem obwód. Oczywiście, przepływ prądu przez wodę powoduje wydzielanie się ciepła Joule'a-Lenza oraz elektrolizę wody. Toteż sprawdzwszy, że prąd płynie, natychmiast ponownie przerywałem przepływ prądu. Po kilku próbnych pomiarach można zauważyć, że woda nie zamarza szybciej niż np. po 15 minutach, wobec czego można przez ten okres czasu w ogóle obwodu nie zamykać. Dopiero później, gdy woda była już dostatecznie zimna, próby, czy prąd płynie, przeprowadzałem częściej. Natężenie prądu było już tak małe ($0,1$ — $0,2 \mu A$), że wydzielone ciepło ani rozkład elektrolityczny wody nie zakłócały pomiarów. Trudno jest dokładnie uchwycić moment, w którym prąd przestaje płynąć. Dlatego mierzyłem czas, w którym natężenie osiągnie wartość $0,1 \mu A$ (najmniejsza działka przyrządu), zakładając, że czas spadku natężenia do $0 \mu A$ był dla wszystkich pomiarów taki sam. Mierzenie czasu w ten sposób daje dokładność rzędu około 15 s., tj. 0,25 min.

Należy zauważyć, że prąd w czasie wszystkich prób przewodnictwa wody płynie przez około 10—15 s, co jest wielkością małą w porównaniu z czasem trwania całego pomiaru 15—20 min (około 1%).

Czas zamrażania wyznaczałem dla 11 temperatur początkowych:

0° , 10° , 20° , 30° , ..., 90° , $100^{\circ}C$. Pomiary wykonywałem w seriach po 5 dla każdej z tych temperatur.



Laboratorium
w domu

Oto wyniki dwóch serii pomiarowych.

Seria I była przeprowadzona z przerwami w dosyć długim okresie. Temperatura w zamrażalniku wynosiła -12°C .

Seria II jest dokładniejsza i dała lepsze wyniki. Przeprowadzona została w możliwie krótkim okresie (2 dni) tak, że zmiany warunków zewnętrznych były nieznaczne. Temperatura w zamrażalniku była w tej serii niższa i wynosiła -18°C .

Rachunek błędów prowadziłem obliczając średnią wartość czasu T dla danej temperatury;

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad n \text{ — liczba pomiarów, następnie wyznaczając odchylenie standardowe średniej:}$$

$$S_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n E_i^2}, \quad E_i \text{ — odchylenie } i\text{-tego pomiaru od wartości średniej,}$$

oraz uwzględniłem współczynnik Studenta α_n dla n pomiarów przy poziomie ufności $0,68 \approx 0,7$ (odchylenie standardowe): $S_{\bar{T}} = \alpha_n \cdot S_{\bar{T}}'$.

Na rysunkach przedstawiających zależność czasu zamrażania od temperatury początkowej wody jako błąd pomiaru temperatury przyjąłem dokładność termometru, którym dysponowałem $\delta = \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Nie publikujemy szczegółowych wyników pomiarów i przebiegu obliczeń, zamieszczamy jedynie końcowe wykresy. Redakcja.)

Lukasz KALINOWSKI, Warszawa

Autor kończy sprawozdanie z eksperymentu próbą interpretacji wyników. Nie zamieszczamy jej. Chciałbym sprowokować dyskusję dotyczącą samego doświadczenia.

Mam kilka uwag krytycznych.

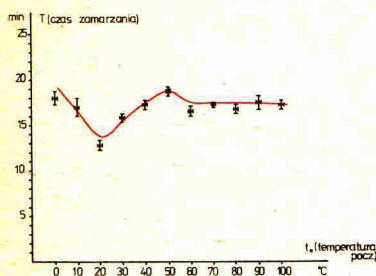
1. Zamrażanie wody wymaga odprowadzenia około 80 razy więcej energii na jednostkę masy niż obniżenie temperatury o 1°C . Stąd zastosowana metoda mierzenia czasu do chwili pokrycia się wody lodem może prowadzić do rezultatów trudnych do interpretacji. Jak uwzględnić zjawisko przechłodzenia wody?

2. Zastanawiający jest pomiar w II serii przy temperaturze zera stopni. Jest to wyraźnie pomiar czasu zamrażania. Być może jest to zjawisko dominujące.

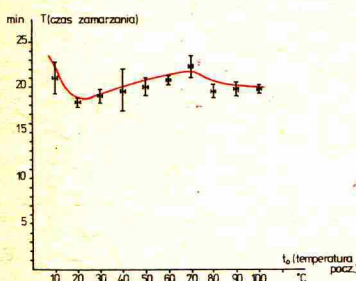
3. Dominowanie zjawiska zamrażania może tłumaczyć niezależność w pierwszym przybliżeniu czasu ostygnięcia i zamrażania od temperatury wyjściowej.

Wątpliwości tego typu można rozstrzygnąć tylko eksperymentalnie. Namawiam do podjęcia badań.

T.H.



Seria I
Otrzymana zależność czasu zamrażania od temperatury początkowej



Seria II
Otrzymana zależność czasu zamrażania od temperatury początkowej

Kącik filatelistyczny (8)

Dzisiaj przypomnimy dwóch matematyków i filozofów pierwszej połowy XVII wieku: Jungiusa i Kartezjusza.

Joachim Jungius (1587—1657) był botanikiem i lekarzem, a także filozofem i matematykiem (wykładał matematykę w Giessen). Już przed Kartezjuszem zwrócił uwagę na znaczenie matematyki dla filozofii, na możliwość ścisłego i logicznego formułowania pojęć przy pomocy języka matematycznego.

Poglądy te rozwinął René Descartes (1596—1650), zwany w Polsce Kartezjuszem, wybitny filozof i matematyk francuski. Był on jednym z czołowych racjonalistów. Głosił, że metoda ludzkiego myślenia powinna opierać się na wzorach rozumowań matematycznych.

W matematyce Kartezjusz wprowadził pojęcia wielkości zmiennej i funkcji, badał równania algebraiczne, może być też uważany za twórcę geometrii analitycznej. Z nazwiskiem jego spotykamy się w matematyce na każdym kroku — wymieńmy przestrzeń kartezjańską, kartezjański iloczyn zbiorów, kartezjański układ współrzędnych, krzywe Kartezjusza („liść” i „owal”) itd.

Kartezjusz zajmował się także badaniami fizycznymi, głównie optyką geometryczną, formułując m.in. prawa odbicia i załamania światła.

Przedstawiamy portret Joachima Jungiusa na znaczku NRD z roku 1957 (trzechsetna rocznica śmierci uczonego) oraz portret Kartezjusza na znaczku Francji z roku 1937. Przy okazji wydania tego ostatniego znaczka miała miejsce ciekawa historia:

projektant pomylił się w tytule przedstawionego w tle dzieła Kartezjusza „Rozprawa o metodzie”, pisząc „Discours sur la méthode” zamiast właściwego „Discours de la méthode”. Po zauważeniu błędu poczta francuska zdecydowała się powtórzyć nakład tego znaczka ze skorygowanym tytułem, tak, że znaczek ten istnieje w dwóch odmianach.

Jerzy Bartke

