

19– ROZSZERZALNOŚĆ TERMICZNA. PRZEMIANY FAZOWE

Rozszerzalność termiczna objętościowa i liniowa

$$V = V_o(1 + \alpha\Delta T)$$

$$l = l_o(1 + \lambda\Delta T)$$

V_o, l_o – odpowiednio objętość początkowa i długość początkowa

V, l – odpowiednio objętość końcowa i długość końcowa

α, λ – odpowiednio współczynnik rozszerzalności objętościowej i współczynnik rozszerzalności liniowej

ΔT – przyrost temperatury

Dla ciał izotropowych (gdy właściwości fizyczne ciała nie zależą od kierunku) $\alpha=3\lambda$

$\alpha = \frac{\frac{V - V_o}{V_o}}{\Delta T}$ jednostka – $[\alpha] = \frac{1}{K}$ Współczynnik rozszerzalności objętościowej jest to względny przyrost objętości przypadający na jednostkowy przyrost temperatury. PRZYKŁAD $\alpha=0,0004 \text{ 1/K}, V_o=100 \text{ dm}^3$ Po ogrzaniu o 1 K, $V= 100,04 \text{ dm}^3$ Po oziębieniu o 1 K, $V= 99,96 \text{ dm}^3$ Po ogrzaniu o 10 K, $V= 100,4 \text{ dm}^3$ Po ogrzaniu o 100 K, $V= 104 \text{ dm}^3$ Po oziębieniu o 10 K, $V= 99,6 \text{ dm}^3$ Po oziębieniu 100 K, $V= 96 \text{ dm}^3$	$\lambda = \frac{\frac{l - l_o}{l}}{\Delta T}$ jednostka – $[\lambda] = \frac{1}{K}$ Współczynnik rozszerzalności liniowej jest to względny przyrost długości przypadający na jednostkowy przyrost temperatury. PRZYKŁAD $\lambda=0,0001 \text{ 1/K}, l_o=2 \text{ m}$ Po ogrzaniu o 1 K, $l= 2,0002 \text{ m}$ Po oziębieniu o 1 K, $l= 1,9998 \text{ m}$ Po ogrzaniu o 10 K, $l= 2,002 \text{ m}$ Po ogrzaniu o 100 K, $l= 2,02 \text{ m}$ Po oziębieniu o 10 K, $l= 1,998 \text{ m}$ Po oziębieniu 100 K, $l= 1,98 \text{ m}$
---	--

ZADANIA

Zadanie 1

Ile powinna wynosić przerwa dylatacyjna między dwoma szynami kolejowymi o długości $l_o=10 \text{ m}$ zmierzonej w dzień letni w temperaturze $t_o=20^\circ\text{C}$, jeżeli przewiduje się, że w skrajnej sytuacji pogodowej temperatura zimowa może zmaleć do -20°C , a letnia wzrosnąć do 40°C ? Współczynnik

rozszerzalności liniowej stali $\lambda=0,12 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$? Ile będzie wynosiła przerwa dylatacyjna takiego dnia z wspomnianą minimalną temperaturą?

Odp: 2,4 mm ; 7,2 mm

DANE DO ZADAŃ 2 I 3

Tablice fizyczno-astronomiczne Wydawnictwo Adamantan Warszawa 2002 r.		
temperatura	współczynnik rozszerzalności objętościowej [$\cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$]	gęstość [kg / m ³]
-45°C	-102,6	
-30°C	-12,5	
-10°C	-2,86	
0°C	-0,69	999,84
3,9834°C	0,00	1000,00
5°C	0,16	999,97
10°C	0,88	999,70
15°C	1,5	999,10
20°C	2,07	998,21
25°C	2,57	997,04
30°C	3,03	995,65
40°C	3,85	992,22
50°C	4,48	988,03
60°C		983,22
70°C		977,78
80°C		971,82
90°C		965,35
100°C	7,50	958,40

Zadanie 2

Jaka część bryły polietylenowej o gęstości $\rho=920 \text{ kg/m}^3$ w temperaturze 20 °C znajduje się nad powierzchnią wody w temperaturze 20°C. O ile zmieni się zanurzenie w temperaturze 70°C? Współczynnik rozszerzalności liniowej polietylenu wynosi $\lambda=1,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$, a odnosi się on do objętości początkowej w temperaturze 20°C. Polietylen jest ciałem amorficznym. Skorzystaj z tabeli powyżej.

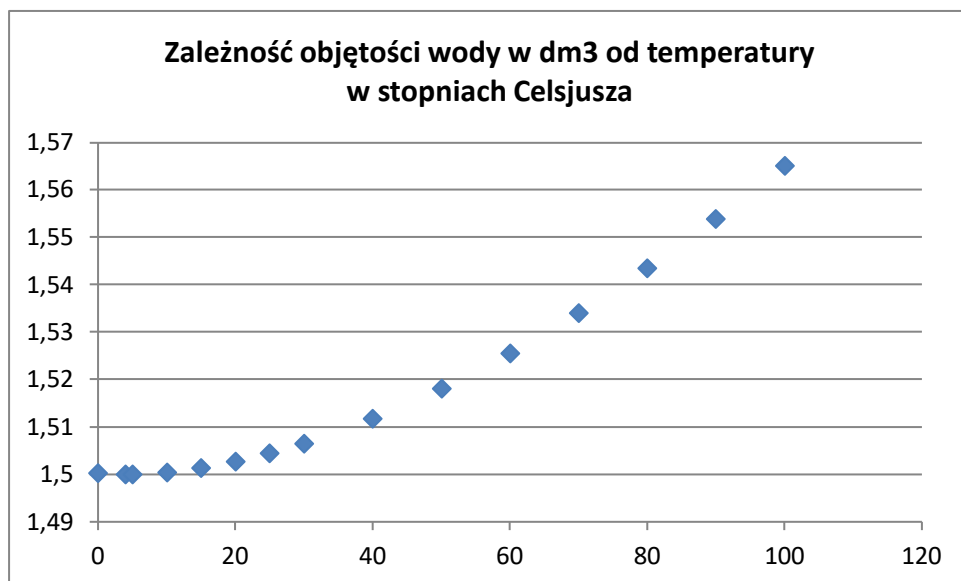
Odp: w 20°C nad powierzchnią pływa 7,84 % bryły, a w 70°C 7,98 %. Zatem zanurzenie zmaleje o 0,14 %

Zadanie 3

W laboratorium, gdzie panowała temperatura $t=20^{\circ}\text{C}$ zważono wodę znajdującą się w cylindrze. Masa tej wody wynosiła 1,5 kg. Na podstawie danych z tabeli przedstaw wykres zależności objętości tej wody od temperatury.

Uwaga: Ja do zadania zastosowałem Excela, ale naprawdę należałoby to zrobić na papierze milimetrowym. Kolumna z objętością jest właściwie zadaniem rozwiązującym zadanie i tylko ze względu na czas nie zmuszam, ale proponuję przyjąć, ewentualnie sprawdzić prawdziwość obliczeń objętości

temp [$^{\circ}\text{C}$]	gęstość [kg/m^3]	objętość [dm^3]
0	999,84	1,500240038
3,9834	1000	1,5
5	999,97	1,500045001
10	999,7	1,500450135
15	999,1	1,501351216
20	998,21	1,502689815
25	997,04	1,504453181
30	995,65	1,506553508
40	992,22	1,511761505
50	988,03	1,518172525
60	983,22	1,525599561
70	977,78	1,534087423
80	971,82	1,543495709
90	965,35	1,553840576
100	958,4	1,565108514



Ciepło w procesie ogrzewania (oziębiania)

$$Q=mc\Delta T$$

Ciepłem właściwe jest to ilość ciepła jaką należy dostarczyć jednostce masy (jaka jest oddawana przez jednostkę masy) substancji w celu ogrzania jej (oziębiania jej) o jeden stopień

ciepło właściwe wody $c=4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, lodu $c=2100 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Ciepło topnienia (krzepnięcia)

$$Q=mL$$

L - ciepło topnienia

Ciepło topnienia jest to ilość ciepła jaką należy dostarczyć jednostce masy danej (jaka jest oddawana przez jednostkę masy) substancji w procesie topnienia (krzepnięcia) bez zmiany temperatury.

Ciepło topnienia lodu – $L = 332\,000 \text{ J/kg}$

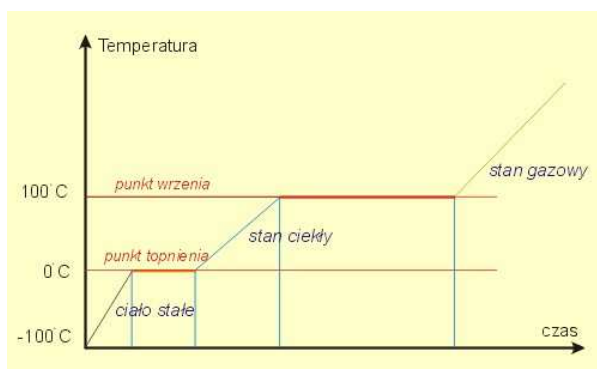
Ciepło parowania (skraplania)

$$Q=mR$$

R - ciepło parowania

Ciepło parowania jest to ilość ciepła jaką należy dostarczyć jednostce masy danej (jaka jest oddawana przez jednostkę masy) substancji w procesie parowania (skraplania) bez zmiany temperatury.

Ciepło parowania wody – $R = 2\,257\,000 \text{ J/kg}$



Obliczmy ile ciepła należy dostarczyć, aby masę $m_L = 1 \text{ kg}$ lodu o temperaturze $t_L = -10^\circ\text{C}$ zamienić w parę wodną o temperaturze $t_W = 100^\circ\text{C}$. Jaki udział w całym procesie mają poszczególne jego fazy?

ciepło właściwe lodu $c_L = 2100 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

ciepło topnienia lodu $L = 332\,000 \text{ J/kg}$

ciepło właściwe wody $c_W = 4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

ciepło parowania wody $R = 2\,257\,000 \text{ J/kg}$

$$Q = Q_{\text{ogrzewania lodu}} + Q_{\text{topnienia lodu}} + Q_{\text{ogrzewania wody}} + Q_{\text{parowania wody}}$$

$$Q = m_L \cdot c_L \cdot (0^\circ\text{C} - t_L) + m_L \cdot L + m_L \cdot c_W \cdot (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) + m_L \cdot R$$

1. Ogrzewanie lodu

$$Q_{\text{ogrzewania lodu}} = m_L \cdot c_L \cdot (0^\circ\text{C} - t_L) = 1 \text{ kg} \cdot 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 10^\circ\text{C} = 21\,000 \text{ J}$$

2. Topnienie lodu

$$Q_{\text{topnienia lodu}} = m_L \cdot L = 1 \text{ kg} \cdot 332\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 332\,000 \text{ J}$$

3. Ogrzewanie wody

$$Q_{\text{ogrzewania wody}} = m_L \cdot c_W \cdot (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 1 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 100^\circ\text{C}$$

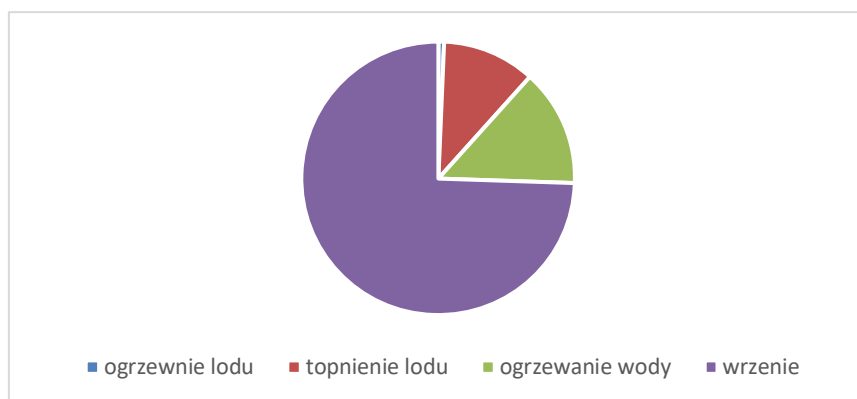
$$Q_{\text{ogrzewania wody}} = 420\,000 \text{ J}$$

4. Parowanie wody w temperaturze 100°C (wrzenie)

$$5. \quad Q_{\text{parowania wody}} = m_L \cdot R = 1 \text{ kg} \cdot 2\,257\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 2\,257\,000 \text{ J}$$

RAZEM

Ogrzewanie lodu	21 000 J	ok. 0.69 %
Topnienie lodu	332 000 J	ok.10,96 %
Ogrzewanie wody	420 000 J	ok. 23,86 %
Parowanie wody w temperaturze 100°C (wrzenie)	2 257 000 J	Ok. 74,49 %
RAZEM	3 030 000 J	Razem 100,00 %



Zadanie 4

Do naczynia styropianowego nalano 300 g wody o temperaturze 50 °C i 100 g alkoholu etylowego o temperaturze 20°C. Ciepła właściwe wody i alkoholu wynoszą odpowiednio 4200 J/kg·K i 2100 J/kg·K. Jaka będzie temperatura końcowa mieszaniny?

Odp: 45,7 °C

Zadanie 5

Jaka masa rozżarzonego do temperatury 500 °C żelaza stopi 1 kg lodu o temperaturze początkowej 0 °C? Ciepło topnienia lodu wynosi 332 000 J/kg, ciepło właściwe żelaza wynosi 460 J/kg·K

Odp: 1,44 kg

Jaka masa tegoż żelaza stopi 1 kg lodu o temperaturze początkowej -20 °C? Ciepło właściwe lodu wynosi 2100 J/kg·K.

Odp: 1,63 kg

Jaka masa tegoż żelaza stopi 1 kg lodu o temperaturze początkowej -20 °C i zamieni go w wodę o temperaturze 50 °C? Ciepło właściwe wody wynosi 4200 J/kg·K.

Odp: 2,82 kg

Jaka masa tegoż żelaza stopi 1 kg lodu o temperaturze początkowej -20 °C i zamieni go w parę wodną o temperaturze 100 °C? Ciepło parowania wody wynosi 2 257 000 J/kg.

Odp: 16,58 kg

Zadanie 6

Do wody o masie $m_w=1$ kg w temperaturze $t_w=20$ °C wpuszczono $m_p=50$ g pary wodnej w temperaturze $t=100$ °C. Oblicz temperaturę końcową wody. Ciepło właściwe wody $c_w=4200$ J/kg·K, ciepło parowania wody $R=2\,257\,000$ J/kg.

Odp: ok. 49,4°C

Zadanie 7

Na podstawie doświadczenia wykonanego w pewnej szkole oblicz ciepło topnienia lodu.

http://labfiz.uwb.edu.pl/labfiz/siec/info/bialystok_24_04_2004/prace/WYZNACZANIE_CIEPLA_TOPNIENIA_LODU.htm

WYKONANIE DOŚWIADCZENIA.

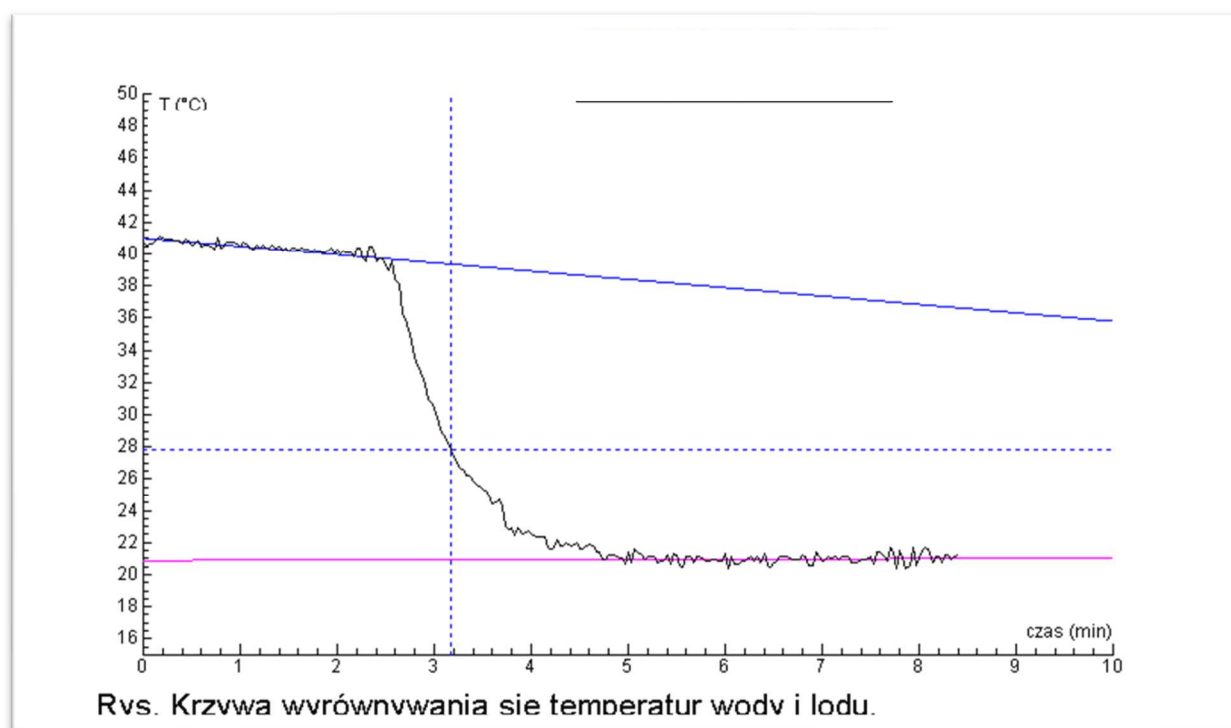


Rys. Układ doświadczalny.

1. Przygotuj zestaw komputerowy / połącz: komputer, interfejs pomiarowy i czujnik temperatury /.
2. Włącz program Coach i przygotuj go do pomiaru i rejestracji zmian temperatury od czasu.
3. Wykonaj ważenie pustego pojemnika styropianowego /masa m_1 /.
4. Przygotuj drobne kawałki lodu o temperaturze 0°C / lód wyjęty bezpośrednio z zamrażalnika ma temperaturę niższą od 0°C, natomiast lód współistniejący w wodzie posiada odpowiednią temperaturę /.
5. Przygotuj ciepłą wodę.

6. Wypełnij ok. $\frac{2}{3}$ objętości styropianowego pojemnika ciepłą wodą.
7. Wykonaj ważenie pojemnika z wodą /masa m_2 /.
8. Wprowadź przygotowany / zgodnie z punktem 1 / czujnik temperatury do wody w styropianowym pojemniku.
9. Zastartuj pomiary zmiany temperatury.
10. Po 3 minutach wrzuć drobne kawałki lodu do wody z czujnikiem temperatury / lód wyjęty z wody osusz chusteczką /.
11. Obserwuj zmiany temperatury i topnienie lodu. Zakończ dokonywanie pomiaru w momencie, gdy lód stopi się, a temperatura wody ustabilizuje się /co będzie widać na wykresie rysowanym na ekranie/.
12. Wykonaj ważenie pojemnika z wodą /masa m_3 /.
13. Wyznacz temperatury T_p i T_k .
14. Oblicz ciepło topnienia lodu.

WYNIKI



Masa styropianowego pojemnika $m_1 = 3g$.

Masa pojemnika z wodą $m_2 = 117g$.

Masa pojemnika z wodą /zawierająca wodę z lodu/ $m_3 = 138g$.

Obliczenia: