



Podręcznik – zeszyt ćwiczeń dla uczniów

Kalorymetria



1 Ciepło

Niniejsze e-doświadczenie poświęcone zostało zagadnieniom związanym z wymianą ciepła pomiędzy substancjami. Poruszane zagadnienia związane są z takimi wielkościami fizycznymi jak ciepło właściwe, pojemność cieplna, ciepło topnienia i ciepło parowania. Przybliżone zostaje także pojęcie kalorii.

Temperatura Temperatura określa stan ogrzania ciała. W skali mikro temperatura jest zależna od średniej prędkości ruchu cząsteczek danej substancji. Im cieplejsze jest ciało, tym szybciej drgają jego cząsteczki.

Liczby, którymi określamy daną temperaturę, zależą od wyboru używanej skali temperatur. Używane są obecnie trzy skale temperatur: skala Celsjusza, skala Fahrenheita oraz skala Kelwina.

Skala Celsjusza Powszechnie używaną skalą temperatur jest skala Celsjusza. Skala ta została podana przez szwedzkiego uczonego Andersa Celsiusa¹ w 1742 roku i początkowo była nazywana skalą stustopniową. Była skalą alternatywną do istniejącej już skali Fahrenheita. Skala ta została opracowana w oparciu o własności wody, gdzie 0 stopni przypisano temperaturze zamarzania wody, zaś 100 stopni przypisano temperaturze wrzenia wody (pod ciśnieniem normalnym, 755 mmHg).

Skala Fahrenheita Skala Fahrenheita² powstała w 1725 roku, a więc 17 lat wcześniej

¹Anders Celsius (1701–1744) urodził się w Uppsali. W wieku 29 lat został profesorem astronomii na Uniwersytecie w Uppsali. Był jednym z pierwszych uczonych, którzy stwierdzili, że zjawisko zór polarnych ma charakter magnetyczny. Opublikował katalog jasności około 300 gwiazd. Brał udział w ekspedycji, która potwierdziła spłaszczenie Ziemi w okolicach biegunów. W historii fizyki zapisał się głównie dzięki opracowaniu stustopniowej skali temperatur.

²Daniel Gabriel Fahrenheit był niemieckim fizykiem i inżynierem żyjącym w latach 1686–1736. Urodził się w Gdańsku i we wczesnym okresie życia mieszkał w kamienicy rodziny Fahrenhejtów na ulicy Ogarnej 95. Odkrył zjawisko przechłodzenia wody oraz stwierdził zależność temperatury wrzenia wody od ciśnienia. Opracował termometryczną skalę Fahrenheita. Zajmował się wyrobem ze szkła, między innymi termometrów, barometrów oraz wysokościomierzy. Jako pierwszy zastosował w termometrach rtęć, która rozszerza się liniowo wraz z temperaturą. Wynaleziony przez niego termometr był układem zamkniętym, a przez to pierwszym termometrem, którego wskazania nie zależały od ciśnienia atmosferycznego. Dotychczas używanym termometrem był termoskop Ga-

niż skala Celsjusza. Skala ta została opracowana na potrzeby wyskalowania wynalezionej przez Fahrenheita pierwszego termometru rtęciowego. Jest skalą używaną do dziś w krajach anglosaskich (z wyjątkiem samej Anglii). Punktami charakterystycznymi skali są: temperatura mieszaniny wody, lodu i soli (zero stopni Fahrenheita) oraz temperatura mieszaniny wody z lodem (32 stopnie Fahrenheita), czyli temperatura zamarzania wody. Pierwotnie drugim punktem charakterystycznym poza 0°F było, podawane przez autora, 100 stopni, które miało odpowiadać temperaturze ciała chorej żony Fahrenheita. Mówi się też czasem, że 0 stopni miało być minimalną temperaturą w Gdańsku w 1709 roku. Związek między temperaturą w stopniach Fahrenheita T_F , a temperaturą Celsjusza T_C jest następujący:

$$T_F = 32 + \frac{9}{5}T_C. \quad (1.1)$$

Zauważ, że przyrost temperatury w skali Fahrenheita, nie odpowiada skali Celsjusza zaś stopień Fahrenheita jest w przybliżeniu dwukrotnie mniejszy niż stopień Celsjusza. W skali Fahrenheita temperatura zamarzania wody wynosi 32°F, zaś temperatura wrzenia wody 212°F.

Skala Kelwina Skala Kelwina jest skalą używaną w nauce. Za zero stopni w skali Kelwina³ przyjmuje się temperaturę zera bezwzględnego ($-273,15^\circ\text{C}$). W tej temperaturze zamiera wszelki ruch cząsteczek substancji. Chociaż zgodnie z mechaniką kwantową⁴ nawet w temperaturze zera bezwzględnego cząsteczki wykonują niewielkie drgania (tzw. drgania zerowe). Skala Kelwina powstała w oparciu o własności gazów. W czasie schładzania gazu maleje jego ciśnienie oraz objętość. Istnieje zatem pewna minimalna, graniczna temperatura, tzw. zero bezwzględne, odpowiadająca zerowemu ciśnieniu i zerowej objęto-

lileusza. Wadą tej konstrukcji było jednak to, iż otwarty układ termoskopu reagował nie tylko na zmiany temperatury, ale również na wahania ciśnienia atmosferycznego.

³William Thomson Kelvin pierwszy Baron Largs znany bardziej jako lord Kelvin (1824–1907) był fizykiem, matematykiem oraz przyrodnikiem pochodzenia irlandzkiego. Sformułował drugą zasadę termodynamiki oraz podał bezwzględną skalę temperatur. Swoimi badaniami w dziedzinie elektryczności i magnetyzmu stworzył podwaliny pod teorię elektromagnetyzmu Maxwella. W latach 1857–1858 był głównym konsultantem podczas układania pierwszego kabla na dnie Atlantyku. Wniósł nieoceniony wkład w badania wieku Ziemi, a także badania w zakresie hydrodynamiki.

⁴Mechanika kwantowa to dział fizyki opisujący prawa ruchu cząstek mikroświata o bardzo małych rozmiarach i masach (atomów i cząstek elementarnych). Mechanika klasyczna nie opisuje poprawnie zjawisk na poziomie atomowym.

ści gazu doskonałego⁵. Zero bezwzględne jest doświadczalnie nieosiągalne, zaś temperaturę zera bezwzględnego można określić poprzez przedłużenie wyników pomiaru ciśnienia gazu do zera i odczytanie temperatury odpowiadającej zerowemu ciśnieniu⁶. Określając temperatury w skali Kelwina nie mówimy jeden stopień Kelwina, tylko jeden kelwin. Przyrost temperatury o jeden kelwin jest równoważny przyrostowi temperatury o jeden stopień Celsjusza.

Przykład obiektu lub procesu	Temperatura (K)
Helowa reakcja termojądrowa	10^8
Wnętrze Słońca	10^7
Powierzchnia Słońca	6×10^3
Zamarzanie wody	$2,7 \times 10^2$
Skraplanie helu (ciśnienie 1 atmosfera)	4,2

Tablica 1.1: Przykładowe temperatury różnych ciał i procesów

Ciepło Ciepło związane jest ze zmianą energii ciał, a więc ilością energii przenoszonej między ciałami pod wpływem różnicy ich temperatur. Jednostką ciepła podobnie jak jednostką energii jest dżul [J]. Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka Jamesa Joule'a⁷.

Cieplny przepływ energii następuje spontanicznie między ciałami o różnych temperaturach. Przepływ energii następuje zawsze od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Stykając ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, ciało cieplejsze (o wyższej temperaturze) ochładza się, zaś ciało zimniejsze (o niższej temperaturze) ogrzewa się. Przepływ energii ustaje gdy temperatury obu ciał wyrównują się. Jest to stan równowagi termodynamicznej.

Przepływ energii na poziomie cząsteczkowym polega na tym, iż

⁵Gaz doskonały to taki gaz, którego cząsteczki są punktami materialnymi. Między chaotycznie poruszającymi się cząsteczkami nie zachodzą żadne oddziaływania.

⁶Operacja taka w matematyce nazywa się ekstrapolacją. Zależność temperatury od ciśnienia jest zależnością liniową (tzn. punkty pomiarowe leżą na prostej), a więc łatwo jest przedłużyć tę zależność w kierunku małych lub dużych ciśnień (przedłużyć prostą).

⁷James Prescott Joule (1818–1889) urodził się w Salford koło Manchesteru w rodzinie piwowara. Jego nauczycielem był inny znany fizyk John Dalton. W roku 1837 Joule, jako 19-letni fizyk-amator i pracownik browaru, ogłosił swoją pracę opisującą silnik elektryczny własnego pomysłu. Prace Joule'a dotyczyły takich zagadnień jak ciepło, temperatura, energia, termodynamika, elektromagnetyzm. Odkrył prawo przemiany prądu elektrycznego na ciepło (zwane prawem Joule'a), a także obok Juliusa Mayera i Hermanna Helmholtza był odkrywcą zasady zachowania energii.

część energii termicznej drgań cząsteczek substancji o wyższej temperaturze, jest przekazywana cząsteczkom drugiej substancji o temperaturze niższej. W ten sposób energia drgań cząsteczek pierwszej substancji maleje, zaś energia termiczna drgań cząsteczek drugiej substancji rośnie.

Transport energii termicznej (cieplnej) między ciałami może zachodzić poprzez: promieniowanie, przewodnictwo i konwekcję.

Promieniowanie Wszystkie ciała wysyłają promieniowanie elektromagnetyczne (zwane promieniowaniem termicznym lub potocznie promieniowaniem cieplnym). Ciała cieplejsze (o wyższej temperaturze) wysyłają promieniowanie elektromagnetyczne, które może być odebrane przez ciała chłodniejsze (o niższej temperaturze) (np. słońce ogrzewające zbiornik z wodą). Zauważmy, że promieniowanie to nie potrzebuje ośrodka aby się rozchodzić, przesyłane może być również w próżni.

Przewodzenie W ciałach stałych cząsteczki są związane i mogą drgać jedynie w ustalonych granicach wychylenia. Wzrost temperatury związany jest ze wzrostem prędkości drgań cząsteczek, który jest przekazywany między sąsiednimi cząsteczkami.

Konwekcja W cieczech i gazach cząsteczki poruszają się swobodnie. Podczas ogrzewania substancji rośnie odległość między cząsteczkami i ich prędkość. Ogrzana ciecz lub gaz rozszerza się i unosi do góry, zaś chłodniejsza ciecz lub gaz opada w dół. Ruch ten nazywamy konwekcją. Zjawisko to nie jest związane z ruchem pojedynczych cząsteczek, ale z ruchem makroskopowych ilości substancji w polu grawitacyjnym.

Temperatura, która się ustali w wyniku przepływu ciepła pomiędzy ciałem cieplejszym oraz zimniejszym, zależy nie tylko od różnicy ich temperatur, ale także od pojemności cieplnych tych ciał.

Pojemność cieplna Pojemność cieplną K określa się jako ilość ciepła Q , którą należy dostarczyć ciału, aby podnieść jego temperaturę o jeden kelwin. Możemy to zapisać następującym wzorem:

$$K = \frac{Q}{\Delta T}, \quad (1.2)$$

gdzie ΔT to zmiana temperatury ciała.

Używanie wielkości, jaką jest pojemność cieplna dla ciała wykonanego z jednego lub z połączenia kilku różnych materiałów, jest często wygodna, gdyż nie musimy uwzględniać rodzaju materiałów

oraz mas składników, z których zbudowane jest dane ciało.

Ciepło właściwe Ciepło właściwe w odróżnieniu od pojemności cieplnej jest wielkością charakteryzującą daną substancję. Określa jej zdolność do pobierania lub oddawania ciepła. Ciepło właściwe c_w definiuje się jako ilość ciepła Q , którą trzeba dostarczyć danej substancji, aby podnieść temperaturę jednego kilograma tej substancji o jeden kelwin. Możemy to zapisać następującym wzorem:

$$c_w = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad (1.3)$$

gdzie m to masa substancji, zaś ΔT to zmiana temperatury substancji.

Stąd mamy następującą zależność między pojemnością cieplną ciała, a jego ciepłem właściwym, jeżeli ciało jest wykonane z jednego materiału:

$$K = mc_w. \quad (1.4)$$

Rodzaj substancji	ciepło właściwe ($\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$)
woda	4186
lód	2100
aluminium	896
stal	455
rtęć	139

Tablica 1.2: Przykładowe wartości ciepła właściwego różnych substancji

2 Mieszaniny

Mieszając ze sobą dwie substancje o różnych temperaturach, substancja o wyższej temperaturze przekazuje pewną ilość ciepła substancji o niższej temperaturze. Wymiana ciepła trwa do momentu wyrównania się temperatur obydwu ciał.

Bilans cieplny, czyli zasada zachowania energii

Zasada zachowania energii mówi o tym, że ciepło oddane Q_{odd} przez substancję (czyli zmiana energii substancji) o wyższej temperaturze jest równe ciepłu pobranemu (zmianie energii) Q_{pobr} przez substancję o niższej temperaturze. Można to zapisać symbolicznie poniższym wzorem:

$$Q_{odd} = Q_{pobr}. \quad (2.1)$$

W ogólności zasada ta obowiązuje dla dowolnej ilości ciał stykających się ze sobą.

Kalorymetr

Kalorymetr to naczynie służące do pomiaru temperatur mieszanych substancji. Wnętrze kalorymetru musi być dobrze odizolowane od otoczenia, tak aby przepływ ciepła następował jedynie pomiędzy badanymi substancjami. Sam kalorymetr mając pewną pojemność cieplną oraz określoną temperaturę początkową, także bierze udział w wymianie ciepła między substancjami. Pojemność cieplną kalorymetru należy uwzględnić w bilansie cieplnym. Kalorymetry często wykonane są z aluminium, z uwagi na małą wartość ciepła właściwego oraz małą gęstość aluminium.

Mieszanie substancji zimnej z substancją ciepłą

Zapiszmy bilans cieplny dla mieszaniny dwóch różnych substancji o różnych temperaturach początkowych. Do kalorymetru o pojemności K i temperaturze T_0 wlewamy masę m_1 zimnej substancji o niższej temperaturze T_1 i o cieple właściwym c_{w1} , a następnie dodajemy masę m_2 substancji cieplej o wyższej temperaturze T_2 i o cieple właściwym c_{w2} . Temperatura mieszaniny, która się ustali to T_k .

Ciepło pobrane przez substancję zimną:

$$Q_1 = m_1 c_{w1} (T_k - T_1). \quad (2.2)$$

Ciepło pobrane przez kalorymetr:

$$Q_2 = K (T_k - T_0). \quad (2.3)$$

Ciepło oddane przez substancję ciepłą:

$$Q_3 = m_2 c_{w2} (T_2 - T_k). \quad (2.4)$$

Z zasady zachowania energii otrzymujemy

$$Q_1 + Q_2 = Q_3, \quad (2.5)$$

zatem:

$$m_1 c_{w1} (T_k - T_1) + K (T_k - T_0) = m_2 c_{w2} (T_2 - T_k). \quad (2.6)$$

Przekształcając (2.6) można wyznaczyć pojemność cieplną kalorymetru:

$$K = \frac{m_2 c_{w2} (T_2 - T_k) - m_1 c_{w1} (T_k - T_1)}{T_k - T_0}. \quad (2.7)$$

Jeżeli znamy pojemność cieplną kalorymetru, możemy wyznaczyć na przykład ciepło właściwe jednej z substancji przekształcając odpowiednio wzór (2.6). Wzór (2.7) uprości się w przypadku mieszania dwóch jednakowych substancji ($c_{w1} = c_{w2}$) oraz, gdy temperatura zimnej substancji jest równa temperaturze kalorymetru ($T_1 = T_0$). TemperatURY w powyższych wzorach można podstawiać w kelwinach lub w stopniach Celsjusza. Mieszając większą ilość substancji o różnych temperaturach w równaniu (2.5) należałoby uwzględnić dodatkowe człony związane z ciepłem pobranym lub oddanym przez dane substancje.

Ćwiczenie 1 Wyznaczanie pojemności cieplnej kalorymetru

- ✓ Po włączeniu e-doświadczenia na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”. Masz do wyboru trzy rodzaje pomiarów: „Mieszanie”, „Pomiar ciepła parowania wody” i „Bomba kalorymetryczna”. Domyślnie po włączeniu e-doświadczenie jest ustawione w trybie „Mieszanie”.
- ✓ Masz do dyspozycji dwa kalorymetry, więc dla porównania możesz przeprowadzić dwa pomiary jednocześnie. Do kalorymetru możesz wlać maksymalnie 400 ml cieczy. Temperatura kalorymetru jest temperaturą pokojową i wynosi 20°C. Podobnie wszystkie substancje mają początkową temperaturę pokojową. Wyjątek stanowią kostki lodu w lodówce o temperaturach -10°C, -5°C i 0°C. Substancje można podgrzewać za pomocą palnika. Wlewanie wody i oleju odbywa się poprzez przesuwanie suwaka po prawej stronie naczynia. Podgrzewanie substancji na palniku odbywa się poprzez przesuwanie suwaka po prawej stronie palnika.

✓ Pomiar pojemności cieplnej kalorymetru wykonamy w sposób „tradycyjny” mieszając wodę zimną z wodą ciepłą. W ogólności możesz przeprowadzić pomiar pojemności cieplnej mieszając dowolne substancje.

✓ Do wlewania wody do kalorymetru używa się zlewki na wodę ustawionej pod kranem. Określ masę pustej zlewki za pomocą wagi. Wlej do zlewki np. 200 g zimnej wody o temperaturze pokojowej 20°C. Zawartość zlewki wlej do kalorymetru.

✓ Następnie do kalorymetru wlej dodatkowo 200 g wody ciepłej o temperaturze np. 80°C. Aby się upewnić jakie substancje wlałeś do kalorymetru, wystarczy ustawić kursor myszki na kalorymetrze.

✓ Naciśnij przycisk URUCHOM. Pokrywa kalorymetru się zamyka, a na termometrze ustali się temperatura końcowa mieszaniny. Odczytaj i zapisz uzyskaną temperaturę.

✓ Policz pojemność cieplną kalorymetru używając wzoru (2.6). Wartość ciepła właściwego wody znajdziesz w „Tablicach Fizycznych”.

Do policzenia pojemności cieplnej kalorymetru możesz wykorzystać tabelę. Używanie tabeli i edytowanie wzorów w tabeli opisano poniżej. Jeżeli nie chcesz używać tabeli, możesz tę część ominąć.

✓ Możesz powtórzyć ten pomiar dla różnych mas i temperatur początkowych mieszanych substancji.

Używanie tabeli

✓ Na pasku Narzędzi wybierz Tabelę, a następnie kliknij zakładkę DODAJ KOLUMNĘ. Spójrz na wzór (2.7).

✓ Następnie kliknij „Wybierz tryb” i kolejno „Ręcznie”. Wpisz nazwę wielkości fizycznej np. masę „m1” oraz jednostkę „kg”. Kliknij OK. W tej kolumnie wpisywać będziesz wartości masy jednej z substancji. Pamiętaj, aby wartości masy wpisywać w kilogramach.

✓ Analogicznie dodaj kolejne kolumny, do których będziesz wpisywać: masę drugiej substancji, temperatury początkowe substancji oraz temperaturę końcową mieszaniny.

✓ Dodaj kolejną kolumnę. Kliknij „Wybierz tryb” i kolejno „Wzór”. Tutaj wprowadzisz wzór (2.7) na pojemność cieplną.

Edytowanie wzoru

✓ Wprowadź wzór. W polu po lewej stronie znaku „=” wpisz K. Poniżej wpisz jednostkę J/K.

✓ Aby wprowadzić wzór przeciągaj myszką odpowiednie operacje matematyczne nad szare pole po prawej stronie znaku „=” . Zacznij od przeciągnięcia ułamka, następnie do licznika przeciągnij nawias. W nawiasie, tam gdzie występują wielkości fizyczne, umieszczaj puste prostokątne pola (znajdują się powyżej nawiasów). Do wzoru przeciągaj kolejno także operacje mnożenia, odejmowania, itd.

✓ Następnie w odpowiednie szare pola we wzorze możesz wpisy-

wać wartości ręcznie z klawiatury. Masy substancji i temperatury wprowadź klikając na strzałkę w prawym dolnym rogu szarego pola. Wybierz Tabela, Tabela1 oraz „m1” dla masy pierwszej substancji. Podobnie do wzoru wczytasz kolejne wielkości fizyczne. Wartości ciepła właściwego substancji możesz pobrać automatycznie klikając na strzałkę w prawym dolnym rogu, a następnie Tablice fizyczne, Ciepło właściwe i nazwa substancji (np. woda).

✓ Aby zakończyć edycję wzoru, kliknij OK. Wówczas w tej kolumnie powinny się pojawić wartości pojemności cieplnej kalorymetru pod warunkiem, że wpisane zostały masy i temperatury we wcześniej zdefiniowanych kolumnach.

Zastanów się Jaka jest dokładność odczytu temperatury na skali termometru? Jak to wpływa na wynik końcowy wartości pojemności cieplnej kalorymetru? Sprawdź, jaką zmianę wartości pojemności cieplnej powoduje zmiana temperatury końcowej o pół stopnia Celsjusza? Czy do wyznaczenia pojemności cieplnej kalorymetru wystarczyłoby wlać do kalorymetru tylko jedną substancję? Jeżeli tak, to czy jej temperatura mogłaby być dowolna?

Zastanów się Zastanów się czy należy brać pod uwagę ogrzanie powietrza wewnątrz kalorymetru? Oszacuj, ile ciepła zostanie oddane na ogrzanie powietrza w kalorymetrze. Przyjmij gęstość powietrza równą $0,0012 \text{ g}/(\text{cm}^3)$.

Ćwiczenie 2

Badanie wpływu ciepła właściwego i pojemności cieplnej kalorymetru na temperaturę końcową mieszanin

✓ Jeżeli na stole widzisz dwa kalorymetry możesz przystąpić do wykonywania doświadczenia. W innym przypadku na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Mieszaniny”. Jeżeli właśnie włączyłeś e-doświadczenie, to jest już ono domyślnie ustawione w trybie „Mieszaniny”. W „Tablicach fizycznych” znajdziesz wartości ciepła właściwego dostępnych w e-doświadczeniu substancji.

✓ Do jednego z kalorymetrów wlej 200 ml wody o temperaturze 90°C . Do drugiego kalorymetru wlej 200 ml oleju lnianego o temperaturze 90°C .

Wlewanie wody i oleju odbywa się poprzez przesuwanie suwaka po prawej stronie naczynia. Podgrzewanie na palniku odbywa się poprzez przesuwanie suwaka po prawej stronie palnika.

✓ URUCHOM doświadczenie i czekaj cierpliwie aż ustalą się temperatury.

✓ Dlaczego temperatura płynów się obniżyła? Na którym termometrze ustali się wyższa temperatura? Wyjaśnij, dlaczego tak jest?

✓ Do jednego z kalorymetrów włóż 30 g gwoździ o temperaturze 90°C . Do drugiego kalorymetru włóż 60 g gwoździ o temperaturze 90°C .

✓ Na którym termometrze ustali się wyższa temperatura? Wyjaśnij, dlaczego tak jest?

✓ Do jednego z kalorymetrów włóż 100 g stalowych gwoździ o temperaturze 90°C . Do drugiego kalorymetru włóż 100 g aluminiowych śrubek o temperaturze 90°C .

✓ Na którym termometrze ustali się wyższa temperatura? Wyjaśnij, dlaczego tak jest?

✓ Do jednego z kalorymetrów wlej 40 ml wody o temperaturze 20°C . Do kalorymetru dołóż 40 g gwoździ o temperaturze 90°C . Do drugiego kalorymetru wlej 40 ml wody o temperaturze 90°C . Dołóż 40 g gwoździ o temperaturze 20°C .

✓ Jak myślisz, czy temperatury, które się ustalą w obydwu kalorymetrach, będą takie same czy różne? URUCHOM doświadczenie i sprawdź swoje przypuszczenia. Zinterpretuj otrzymane wyniki.

- ✓ Do obydwu kalorymetrów wlej taką samą ilość wody (np. 100 ml) o tej samej temperaturze (np. 20°C). Do jednego z kalorymetrów dołóż 100 g aluminiowych śrubek o temperaturze 90°C. Do drugiego kalorymetru dołóż 100 g miedzianych nakrętek o temperaturze 90°C.
- ✓ Na którym termometrze ustali się wyższa temperatura? Powtórz to samo doświadczenie dla wody o temperaturze 90°C oraz śrubek i nakrętek o temperaturze 20°C. Zinterpretuj otrzymane wyniki.
- ✓ Do jednego z kalorymetrów wlej 40 ml wody o temperaturze 20°C. Następnie dodaj 40 ml wody o temperaturze 90°C. Do drugiego z kalorymetrów wrzuć 40 g miedzianych nakrętek o temperaturze 20°C. Następnie dodaj 40 g miedzianych nakrętek o temperaturze 90°C.
- ✓ Na którym termometrze ustali się wyższa temperatura? Dlaczego ustaliły się różne temperatury?

Ćwiczenie 3 Wyznaczanie temperatury końcowej mieszanin

- ✓ Jeżeli na stole widzisz dwa kalorymetry możesz przystąpić do wykonywania doświadczenia. W innym przypadku na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Mieszaniny”. Jeżeli właśnie włączyłeś e-doświadczenie, to jest już ono domyślnie ustawione w trybie „Mieszaniny”.
- ✓ Do pustego kalorymetru wlej dowolną ilość wody o dowolnej temperaturze. Następnie dolej dowolną ilość oleju lnianego o dowolnej temperaturze. Maksymalna ilość płynu, którą można wlać do kalorymetru wynosi 400 ml.
- ✓ Zapisz temperatury i masy wlanych cieczy. Naciśnij przycisk URUCHOM, aby wyznaczyć temperaturę końcową mieszaniny.
- ✓ URUCHOM doświadczenie i czekaj cierpliwie aż ustali się temperatura. Zapisz temperaturę.
- ✓ Jeżeli nie wyznaczałeś pojemności cieplnej kalorymetru przyjmij $K = 89,6 \text{ J/K}$. Napisz bilans cieplny dla przeprowadzonego doświadczenia i policz teoretycznie temperaturę końcową mieszaniny. Porównaj wyniki.
- ✓ Możesz powtórzyć doświadczenie dla mieszaniny dwóch ciał stałych.

Ćwiczenie 4

Badanie zależności temperatury końcowej mieszaniny od ilości mieszanych substancji oraz ich temperatur początkowych

✓ Jeżeli na stole widzisz dwa kalorymetry, możesz przystąpić do wykonywania doświadczenia. W innym przypadku na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Mieszaniny”. Jeżeli właśnie włączyłeś e-doświadczenie, to jest już ono domyślnie ustawione w trybie „Mieszaniny”.

Podgrzewanie wody

- ✓ Wlej do kalorymetru 40 ml wody o temperaturze pokojowej. Dobierz ilość miedzianych nakrętek oraz ich temperaturę tak, aby po dołożeniu ich do kalorymetru podgrzać wodę do 25°C.
- ✓ Zapisz bilans cieplny dla powyższej mieszaniny.
- ✓ Powtórz doświadczenie mieszając 40 ml wody z gwoździami, śrubkami i olejem lnianym. Wszystkie wyniki zanotuj.

Zastanów się Której z dostępnych substancji użyjesz najmniej, a której najwięcej (pod warunkiem, że mają tę samą temperaturę początkową), aby podgrzać wodę do 25°C? Od czego to zależy?

Podgrzewanie kalorymetru

- ✓ Masz do dyspozycji nakrętki, gwoździe, śrubki. Wkładaj pojedynczo, do kalorymetru każdą z tych substancji. Dobierz tak masy i temperatury substancji, aby podgrzać kalorymetr do 40°C. Spróbuj przeprowadzić analogiczne doświadczenie dolewając wodę i olej lniany.

Zastanów się Wszystkie wyniki zanotuj. Której substancji wystarczy najmniejsza ilość, aby podgrzać kalorymetr do żądanej temperatury, a której należy dodać najwięcej?

- ✓ Zapisz bilans cieplny dla tego doświadczenia.

Ćwiczenie 5 Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych i oleju lnianego

- ✓ Jeżeli na stole widzisz dwa kalorymetry, możesz przystąpić do wykonywania doświadczenia. W innym przypadku na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Mieszaniny”. Jeżeli właśnie włączyłeś e-doświadczenie, to jest już ono domyślnie ustawione w trybie „Mieszaniny”.
- ✓ Do pustego kalorymetru wlej około 200 g wody o temperaturze pokojowej.
- ✓ Następnie wrzuć do kalorymetru trochę miedzianych nakrętek podgrzanych do dowolnej temperatury wyższej niż temperatura pokojowa. Pamiętaj o zważeniu nakrętek.
- ✓ URUCHOM doświadczenie i czekaj cierpliwie aż ustali się temperatura. Zapisz temperaturę.
- ✓ Aby wyznaczyć ciepło właściwe miedzi (c_{w2}) należy przekształcić wzór (2.6). Przekształcony wzór ma postać:

$$c_{w2} = \frac{m_1 c_{w1} (T_k - T_1) + K (T_k - T_0)}{m_2 (T_2 - T_k)}. \quad (2.8)$$

Jeżeli nie wyznaczałeś pojemności cieplnej kalorymetru w Ćwiczeniu 1 przyjmij $K = 89,6 \text{ J/K}$.

- ✓ Możesz powtórzyć pomiar ustalając inne masy i temperatury substancji.
- ✓ Wykonaj pomiar ciepła właściwego aluminiowych śrubek, stalowych gwoździ i oleju lnianego.
- ✓ W trakcie wykonywania doświadczenia z olejem lnianym wyznacz gęstość oleju. Wyznaczając masę oleju pamiętaj o odjęciu masy naczynia.

3 Pomiar ciepła topnienia lodu

Topnienie Topnienie to przejście substancji ze stanu stałego do stanu ciekłego. Dla ciał, które posiadają strukturę krystaliczną, topnienie zachodzi w stałej temperaturze nazywanej temperaturą topnienia. W temperaturze topnienia część substancji może być w stanie ciekłym, a część w stanie stałym. Podczas dostarczania ciepła substancji temperatura substancji wzrośnie dopiero po stopieniu całości substancji. Związane jest to z tym, iż w trakcie topnienia cała dostarczana energia zużywana jest na rozrywanie wiązań sieci krystalicznej.

Ciepło topnienia lodu Ciepło topnienia c_t to ilość ciepła Q potrzebna do zamiany pewnej masy lodu m_L o temperaturze zera stopni Celsjusza w wodę o tej samej temperaturze.

Bilans cieplny dla topnienia lodu Zapiszmy teraz bilans cieplny dla procesu topnienia lodu. Doświadczenie polega na wrzuceniu kostek lodu do kalorymetru z wodą. Ciepło potrzebne do ogrzania lodu od temperatury początkowej lodu T_L do temperatury topnienia lodu T_t jest równe:

$$Q_1 = c_w m_L (T_t - T_L). \quad (3.1)$$

Ciepło potrzebne do stopienia danej masy lodu m_L w stałej temperaturze T_t :

$$Q_2 = c_t m_L. \quad (3.2)$$

Ciepło potrzebne do ogrzania wody powstałej ze stopienia lodu od temperatury T_t do temperatury końcowej mieszaniny T_K :

$$Q_3 = c_w m_L (T_K - T_t). \quad (3.3)$$

Ciepło oddane przez wodę o masie m_w w wyniku czego woda obniża swoją temperaturę od temperatury początkowej T_{w0} do temperatury końcowej T_K :

$$Q_4 = c_w m_w (T_{w0} - T_K). \quad (3.4)$$

Ciepło oddane przez kalorymetr, w wyniku czego temperatura kalorymetru obniża się od temperatury T_{k0} do temperatury T_K (początkowe temperatury kalorymetru i wody w kalorymetrze nie muszą

być sobie równe):

$$Q_5 = K(T_{k0} - T_K). \quad (3.5)$$

Bilans cieplny dla tego doświadczenia przedstawia się następująco:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5. \quad (3.6)$$

Podstawiając wzory (3.1 – 3.5) do równania (3.6), z powstałej zależności można wyliczyć ciepło topnienia lodu c_t :

$$c_t = \frac{c_w m_w (T_{w0} - T_K) + K(T_{k0} - T_K)}{m_L} - c_w (T_K - T_t) - c_L (T_t - T_L). \quad (3.7)$$

W przypadku gdy temperatura lodu wynosi 0°C , wówczas ostatni człon we wzorze (3.7) jest równy zeru. W trakcie przeprowadzania doświadczenia należy pamiętać, iż niedostateczna ilość wody lub zbyt niska temperatura początkowa wody może spowodować, że tylko część lodu ulegnie stopieniu.

Ćwiczenie 6 Pomiar ciepła topnienia lodu

- ✓ Na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Mieszanie”. Jeżeli właśnie włączyłeś e-doświadczenie, to jest już ono domyślnie ustawione w trybie „Mieszanie”.
- ✓ Do pustego kalorymetru wlej 200 g wody o dowolnej temperaturze. Następnie zważ na wadze i wrzuć na przykład trzy kostki lodu o jednakowej temperaturze. Zapisz, jaką masę lodu wrzuciłeś do kalorymetru.
- ✓ URUCHOM doświadczenie i czekaj cierpliwie aż ustali się temperatura. Zapisz temperaturę.
- ✓ Używając wzoru (3.7) policz ciepło topnienia lodu. Do policzenia ciepła właściwego możesz wykorzystać tabelę (opis używania tabeli znajdziesz w Ćwiczeniu 1 lub Ćwiczeniu 7.)
- ✓ Do policzenia ciepła topnienia potrzebna będzie wartość pojemności cieplnej kalorymetru. Jeżeli nie wyznaczałeś wcześniej tej wielkości w Ćwiczeniu 1 możesz przyjąć wartość $K=89,6 \text{ J/K}$. Temperatura początkowa kalorymetru wynosi $T_{k0} = 20^\circ\text{C}$. Temperatura topnienia lodu wynosi $T_t = 0^\circ\text{C}$.
- ✓ Otrzymany wynik porównaj z wartością tablicową.

Zastanów się Jaka jest dokładność odczytu temperatury na skali termometru? Jak to wpływa na wynik końcowy wartości ciepła topnienia lodu? Sprawdź jaką zmianę wartości ciepła topnienia powoduje zmiana temperatury końcowej o pół stopnia Celsjusza? Wynik zapisz w procentach.

Ćwiczenie 7 Mieszanie substancji z lodem

Zamrażanie wody

Zastanów się Czy jesteś w stanie zamrozić niewielką ilość wody (minimalna ilość jaką można odmierzyć w e-doświadczeniu to 20 ml) w kalorymetrze wrzucając do niej kostki lodu? Spróbuj oszacować ilość energii potrzebną do zamiany wody w lód? Dlaczego zimą pomimo występowania temperatur powyżej zera, w niektórych miejscach zalega jeszcze śnieg?

✓ Przeprowadź doświadczenie dla mieszaniny kostek lodu o różnych temperaturach z ilością 20 ml wody w temperaturze pokojowej. Wyznacz temperaturę mieszaniny. Czy spodziewałeś się innego wyniku? Napisz bilans cieplny dla tego procesu i policz temperaturę końcową.

Całkowite stopienie lodu

✓ Do 20 ml wody dodaj 2 kostki lodu o temperaturze 0°C . Jaka powinna być minimalna temperatura wody, aby stopić całkowicie lód?

Zastanów się Jaki jest wpływ kalorymetru na proces topnienia lodu? Czy kalorymetr pomaga, czy przeszkadza w procesie topnienia? Jaka musiałaby być temperatura wody, aby stopić kostki lodu bez udziału kalorymetru?

✓ Powtórz doświadczenie dla kostek lodu o temperaturze -5°C oraz -10°C . Czy w porównaniu do wcześniejszego doświadczenia z kostkami lodu o temperaturze 0°C temperatura wody musi być odpowiednio wyższa o 5°C oraz 10°C ?

Schładzanie wody i innych substancji

✓ Do obydwu kalorymetrów wlej taką samą ilość wody (np. 100 ml) o tej samej temperaturze (np. 20°C). Do jednego z kalorymetrów włóż jedną kostkę lodu o temperaturze -10°C , a do drugiego kalorymetru dwie kostki lodu o temperaturze -5°C .

✓ Na którym termometrze ustali się niższa temperatura i dlaczego?

✓ Powtórz doświadczenie porównawcze mieszając 100 ml wody z dwoma kostkami lodu o temperaturze -5°C oraz w drugim kalorymtrze dwoma kostkami lodu o temperaturze -10°C (a także dodatkowo dla porównania dwoma kostkami lodu o temperaturze 0°C).

Zastanów się Czy chcąc efektywnie schłodzić wodę lepiej jest wrzucić więcej kostek lodu o wyższej temperaturze (np. 0°C), czy jedną kostkę lodu ale o niższej temperaturze? Porównaj ustalone w pomiarach temperatury i wyjaśnij dlaczego tak jest?

✓ Powtórz doświadczenie używając innych substancji zamiast wody (olej, gwoździe, śrubki i nakrętki). Którą substancję najłatwiej jest schłodzić kostkami lodu? Analizując temperatury końcowe mieszanin różnych substancji z lodem porównaj ich ciepła właściwe. Czy jest jakaś zależność od ciepła właściwego?

4 Pomiar ciepła parowania wody

Ciepło parowania Ciepło parowania L to ilość ciepła Q potrzebna do odparowania danej masy substancji m , czyli przejścia fazowego ze stanu ciekłego do stanu gazowego w stałej temperaturze:

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (4.1)$$

Należy pamiętać, iż proces parowania substancji zachodzi także w temperaturach niższych niż temperatura wrzenia. Jednak doświadczalne wyznaczenie ciepła parowania jest możliwe tylko w temperaturze wrzenia, gdyż wówczas cała dostarczana energia zużywana jest na zamianę cieczy w gaz (temperatura cieczy się nie zmienia). Należy zwrócić uwagę, że ciepła parowania różnych substancji są dużo większe niż ciepła właściwe. Obrazuje to jak dużo energii potrzeba aby dokonać przejścia fazowego. Na przykład ilość energii potrzebna do odparowania 1 kg wody, wystarczyłaby do podniesienia temperatury o jeden stopień masy około 540 kg wody. Aby przeprowadzić wodę w stan pary należy dostarczyć energię z zewnątrz podgrzewając wodę. Podczas skraplania pary wodnej (zamiany pary wodnej w wodę w temperaturze 100°C) następuje z kolei proces odwrotny – w trakcie przejścia fazowego para wodna oddaje energię cieplną do otoczenia.

Rodzaj substancji	ciepło parowania ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
aluminium	10500
woda	2257
metanol	1104
rtęć	301

Tablica 4.1: Przykładowe wartości ciepła parowania różnych substancji

Bilans cieplny dla pary skroplonej w kalorymetrze z wodą

W kalorymetrze początkowo znajduje się pewna ilość wody o temperaturze pokojowej. Para wodna skraplając się w temperaturze 100°C oddaje ciepło równe:

$$Q_1 = Lm_p, \quad (4.2)$$

gdzie m_p jest masą skroplonej pary.

Następnie woda, która powstała w wyniku skroplenia pary wodnej oddaje ciepło ochładzając się od temperatury $T_p=100^\circ\text{C}$ do temperatury końcowej T_k :

$$Q_2 = m_p c_w (T_p - T_k), \quad (4.3)$$

gdzie c_w to ciepło właściwe wody.

Ciepło w tym bilansie pobierane jest przez wodę w kalorymetrze oraz sam kalorymetr:

$$Q_3 = m_w c_w (T_k - T_0) + K (T_k - T_0), \quad (4.4)$$

gdzie m_w jest masą początkową wody przed skraplaniem, T_0 jest temperaturą początkową wody, zaś K jest pojemnością cieplną kalorymetru.

Zatem mamy:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (4.5)$$

i ostatecznie po przekształceniach otrzymujemy następujący wzór na ciepło parowania:

$$L = \frac{(m_w c_w + K)(T_k - T_0)}{m_p} - c_w (T_p - T_k). \quad (4.6)$$

Ćwiczenie 8 Wyznaczanie ciepła parowania

- ✓ Na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Pomiar ciepła parowania wody”.
- ✓ Ustawiając kursor myszki na kalorymetrze możesz odczytać wartość pojemności cieplnej kalorymetru (89,6 J/K) oraz początkową ilość wody w kalorymetrze (200 ml).
- ✓ Odczytaj i zapisz temperaturę początkową wody w kalorymetrze.
- ✓ Postaw kalorymetr z wodą na wadze. Odczytaj wskazanie wagi. Określ masę pustego kalorymetru oraz masę samej wody. Waga podaje masę w kilogramach.
- ✓ Aby przeprowadzić pomiar ciepła parowania wody należy doprowadzić wodę w kolbie do wrzenia. W tym celu naciśnij przycisk **PODGRZEJ WODĘ**.
- ✓ Gdy w wodzie pojawią się pęcherzyki pary wodnej umieść rurkę parownika w kolbie z wodą za pomocą przycisku **WŁÓŻ RURKĘ**.
- ✓ Od momentu umieszczenia rurki w kalorymetrze zaczyna się skraplać para wodna. Temperatura na termometrze zaczyna rosnąć.

Aby zakończyć proces skraplania pary naciśnij WYJMIJ RURKĘ. Ilość skroplonej pary wodnej zależy od czasu trwania procesu skraplania.

✓ Odczytaj i zapisz temperaturę, która ustaliła się na termometrze.

✓ Zważ ponownie kalorymetr i określ masę skroplonej pary wodnej.

✓ Używając wzoru (4.6) policz ciepło parowania wody. Powtórz ten pomiar dla innych czasów skraplania (odpowiadają im różne masy skroplonej pary). Do policzenia ciepła parowania możesz użyć funkcji tabeli (Patrz „Używanie tabeli” poniżej).

✓ W tablicy 6.6 sprawdź wartość ciepła parowania wody. Porównaj ten wynik z wynikiem swoich pomiarów.

Używanie tabeli ✓ Na pasku Narzędzi wybierz Tabelę, a następnie kliknij zakładkę DODAJ KOLUMNĘ. Spójrz na wzór (4.6).

✓ Następnie kliknij „Wybierz tryb” i kolejno „Ręcznie”. Wpisz nazwę wielkości fizycznej np. masę pary „mp” oraz jednostkę kg. Kliknij OK. W tej kolumnie wpisywać będziesz wartości masy skroplonej pary. Pamiętaj, aby wartości masy pary wpisywać w kilogramach.

✓ Analogicznie dodaj kolejną kolumnę. W tej kolumnie będziesz wpisywał wartości temperatury końcowej po skropleniu pary wodnej. Wpisz nazwę np. „Tk” oraz jednostkę C. Wartości temperatur możesz wpisywać w stopniach Celsjusza.

✓ Dodaj kolejną kolumnę. Kliknij „Wybierz tryb” i kolejno „Wzór”. Tutaj wprowadzisz wzór (4.6) na ciepło parowania.

Edytowanie wzoru ✓ Wprowadź wzór. W polu po lewej stronie znaku „=” wpisz L. Poniżej wpisz jednostkę J/kg.

✓ Aby wprowadzić wzór przeciągaj myszką odpowiednie operacje matematyczne nad szare pole po prawej stronie znaku „=”. Zaczynij od przeciągnięcia ułamka, następnie do licznika przeciągnij nawias. W nawiasie, tam gdzie będą wielkości fizyczne, umieszczaj puste prostokątne pola (powyżej nawiasów). Do wzoru przeciągaj kolejno także operacje mnożenia, dodawania, itd.

✓ Następnie w odpowiednie szare pola we wzorze możesz wpisywać wartości ręcznie z klawiatury. Masę pary i temperaturę wprowadź klikając na strzałkę w prawym dolnym rogu. Wybierz Tabela, Tabela1 oraz „mp” dla masy i „Tk” dla temperatury. Wartość ciepła właściwego wody możesz pobrać automatycznie klikając na strzałkę w prawym dolnym rogu, a następnie Tablice fizyczne, Ciepło właściwe i Woda.

✓ Aby zakończyć edycję wzoru kliknij OK. Wówczas w trzeciej

kolumnie powinny się pojawić wartości ciepła parowania wody pod warunkiem, że wpisane zostały masy i temperatury w kolumnach pierwszej i drugiej.

Zastanów się Czy otrzymane przez Ciebie wyniki różnią się od siebie? W jakim stopniu otrzymane przez Ciebie wyniki różnią się od wartości tablicowej ciepła parowania? Jak myślisz, który wynik jest najdokładniejszy, a który obarczony największym błędem? Czy na dokładność pomiaru ma wpływ ilość skroplonej pary wodnej? Jaka jest dokładność wagi użytej do pomiaru masy skroplonej wody? Sprawdź, jak zmieniłaby się wartość ciepła parowania przy zmianie masy pary o 0,1 g? Jaka jest dokładność odczytu temperatury na skali termometru? Jak to wpływa na wynik końcowy wartości ciepła parowania? Sprawdź, jaką zmianę wartości ciepła parowania powoduje zmiana temperatury końcowej o pół stopnia Celsjusza?

5 Bomba kalorymetryczna

Kaloria Kaloria (cal) jest jednostką energii. Nie jest jednostką układu SI. Używa jej się do opisu wartości energetycznych pokarmów. Jedna kaloria to ilość energii potrzebnej do ogrzania 1g wody o 1°C. W praktyce używa się jednak kilokalorii (1 kcal = 1000 cal). Jedna kilokaloria to ilość energii potrzebna do podgrzania 1 kg wody o 1°C. Przeciętne dzienne zapotrzebowanie energetyczne kobiety wynosi około 2000 kcal, a mężczyzny około 2500 kcal.

Bomba kalorymetryczna Bomba kalorymetryczna to rodzaj kalorymetru, do którego wiano 10 litrów wody. W wodzie umieszczone jest naczynie, w którym odbywa się spalanie produktów spożywczych. Energia cieplna wytworzona w wyniku spalania danego produktu, powoduje wzrost temperatury wody o pewną wartość. Podniesienie temperatury dziesięciu litrów (czyli 10 kg) wody o 1°C wymaga energii równej 10 kcal (porównaj z definicją kilokalorii).

Ćwiczenie 9 Wyznaczanie kaloryczności produktów

- ✓ Na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Doświadczenia”, a następnie zaznacz „Bomba kalorymetryczna”.
- ✓ Na półeczkach są produkty spożywcze, które możesz spalić, aby wyznaczyć ich kaloryczność. Przed spaleniem należy zważyć dany produkt i odczytać na termometrze temperaturę początkową wody w kalorymetrze.

Zastanów się Jak myślisz, który produkt na regale ma najwięcej kalorii? Który produkt ma najwięcej kalorii w przeliczeniu na jednostkę masy produktu?

- ✓ Sprawdź swoje przypuszczenie przeprowadzając doświadczenie. Twoim zadaniem będzie pomiar temperatury wody, która się ustali w wyniku spalania w kalorymetrze danego produktu. Czekaj cierpliwie na ustalenie się temperatury na termometrze.
- ✓ Po zważeniu danego produktu przeciągnij go do kalorymetru. Proces spalania rozpoczyna się przyciskiem URUCHOM. Zmie-

rzne dane możesz zapisywać w tabelach (opis używania tabeli znajduje się w Ćwiczeniu 7).

✓ Po odczytaniu temperatury naciśnij przycisk ZATRZYMAJ, a następnie POWTÓRZ. Teraz możesz wymienić produkt w kalorymetrze.

✓ Wyznacz ilość kalorii energii pobranej przez wodę. Skorzystaj z definicji kalorii. Pamiętaj, że w kalorymetrze znajduje się 10 litrów wody. Jaką masę ma 1 litr wody?

✓ Ustaw policzone wartości kaloryczne dla poszczególnych produktów spożywczych w szeregu od najbardziej kalorycznej do najmniej kalorycznej. Czy Twoje przypuszczenia się sprawdziły?

✓ Podziel otrzymane wartości kaloryczne przez masę danego produktu.

Zastanów się Jaki sens ma otrzymana wielkość? Zapisz jednostkę tej wielkości. Możesz porównać otrzymane wartości z wartościami z zakładki KALORIE w Tablicach fizycznych.

✓ Dla każdego produktu policz ilość ciepła potrzebną do podgrzania wody w zmierzonym zakresie temperatur korzystając ze wzoru (1.3). W jakich jednostkach zapisujemy otrzymaną wielkość fizyczną?

✓ Podaj przelicznik pomiędzy kalorią i dżulem. Napisz, ile kalorii (lub kilokalorii) to 1 J? Napisz, ile dżuli to 1 cal (lub 1 kcal)?

Zastanów się Ile sztuk danego produktu musiałbyś spożyć, aby zaspokoić swoje codzienne zapotrzebowanie energetyczne?



Gdańsk 2013