Do czego w praktyce przydaje się bilans cieplny

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film (standardowy)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Czy to nie ciekawe?

W tablicach fizykochemicznych można znaleźć wartości różnych stałych takich, jak ciepło topnienia, ciepło parowania, czy ciepła właściwe różnych substancji. Po co wyznacza się te stałe i gdzie się je wykorzystuje? Otóż stałe te są na przykład wykorzystywane w technologii chemicznej, która zajmuje się metodami przekształcania różnorodnych surowców w użyteczne produkty, takie jak sztuczne nawozy, lekarstwa, tekstylia i wiele, wiele innych. Jak wyznacza się te stałe? Wykorzystuje się do tego pojęcie bilansu cieplnego, który polega na porównaniu energii przekazywanych w postaci ciepła wewnątrz izolowanego układu. W tym e-materiale pokażemy, jak te stałe można wyznaczyć w warunkach szkolnego laboratorium.

Rys. a. Fotografia przedstawia różne rodzaje szklanych naczyń laboratoryjnych zwanych kolbami. Kolby służą do prowadzenia reakcji chemicznych, przechowywania odczynników, destylacji i wielu innych procesów prowadzonych z ciekłymi materiałami. Ich kształt i materiał z jakiego są wykonane mają duże znaczenie. Współczesne kolby wykonywane są ze szkła boro-krzemianowego, które charakteryzuje się dużą (jak na szkło) odpornością mechaniczną, zwłaszcza przy nagłych zmianach temperatury.

Twoje cele

Dzięki temu materiałowi:

- dowiesz się, czym jest bilans cieplny,
- wyjaśnisz bilans cieplny jako zasadę zachowania energii,
- zrozumiesz, jaki może być skutek pobrania lub oddania ciepła przez ciało,
- zastosujesz bilans cieplny do doświadczalnego wyznaczania stałych fizycznych,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz wyniki sfilmowanego eksperymentu, w którym wyznaczana jest wartość ciepła właściwego aluminium,
- przeanalizujesz niepewności pomiarowe w eksperymencie wyznaczania ciepła topnienia lodu.

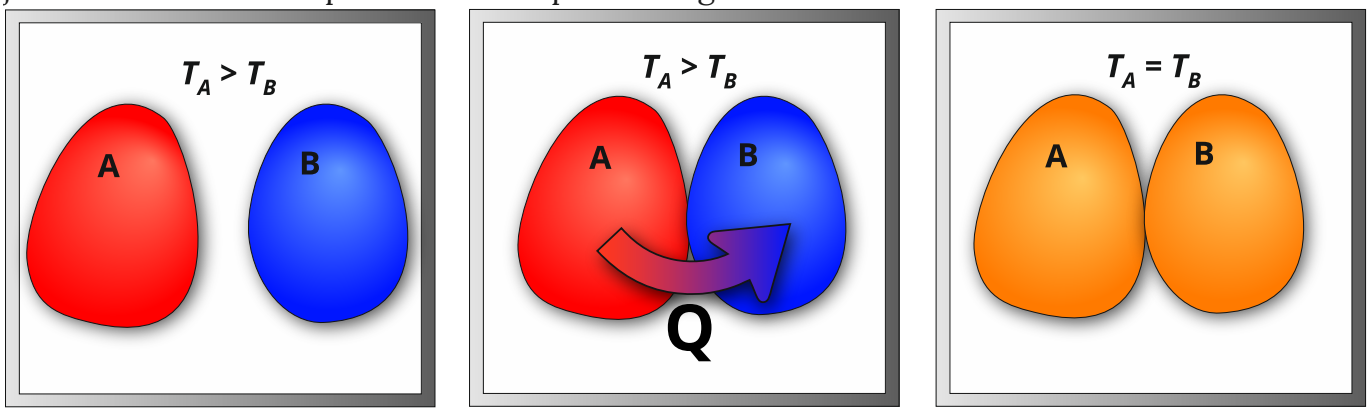
Przeczytaj

Warto przeczytać

Bilans cieplny: Co to takiego?

Jeśli zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to po pewnym czasie ich temperatury wyrównają się. Powiemy wówczas: „Ciepło przepłynęło z ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze”. To stwierdzenie jest jednym ze sformułowań drugiej zasady termodynamiki, którą nie bez przyczyny zalicza się do najważniejszych zasad fizyki, ponieważ określa ona kierunek, w jakim zachodzą spontaniczne procesy fizyczne.

Prawdą jest zatem, że ciepło zawsze przekazywane jest od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze (Rys. 1.). Temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Cząsteczki dwóch stykających się ze sobą ciał zderzają się i w zderzeniach energia przekazywana jest przez cząsteczki o większej energii cząsteczkom o mniejszej energii kinetycznej. W ten sposób energia „przepływa” od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze. Taki sposób przekazywania energii nazywamy właśnie przepływem ciepła. Zgodnie z zasadą zachowania energii, ciepło pobrane przez jedno ciało jest zawsze równe ciepłu oddanemu przez drugie ciało.



Rys. 1. Na rysunku pokazano dwa ciała, o różnych początkowych temperaturach, tworzące układ izolowany termodynamicznie, czyli taki, który nie może wymieniać materii ani energii z otoczeniem. Po zetknięciu tych ciał energia przepływa z jednego ciała do drugiego. Przepływ energii trwa dopóty, dopóki ich temperatury są różne. Po wyrównaniu się temperatur, tzn. po ustaleniu się stanu równowagi termodynamicznej, można podsumować bilans cieplny procesów, które zaszły w tym układzie: ciepło oddane przez ciało A jest równe ciepłu pobranemu przez ciało B.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Ważne!

Bilans cieplny polega na porównaniu ciepła oddanego i ciepła pobranego przez każde z ciał znajdujących się w układzie izolowanym, czyli takim, który nie wymienia ani ciepła ani materii z otoczeniem.

Pobranie lub oddanie ciepła przez ciało może mieć różne skutki. W najprostszym przypadku może spowodować **zmianę temperatury** ciała (Rys. 1.; zob. również Przykład 1. analizowany poniżej) bez zmiany jego makroskopowych własności, ale może też doprowadzić do **przemiany fazowej** (zob. Przykład 2. analizowany poniżej), polegającej na zmianie stanu skupienia ciała.

Przykładami zjawisk, którym towarzyszy pobranie ciepła są:

- **parowanie** lub **wrzenie**, czyli zmiana cieczy w stan gazowy,
- **topnienie**, czyli przemiana fazowa ciała stałego w ciecz.

Zaznaczmy tylko, że chociaż zjawiska parowania i wrzenia są do siebie podobne (dają podobne skutki), to należy pamiętać o tym, że wrzenie jest przemianą fazową, a parowanie nie (zob. materiał pt. *W jaki sposób odróżnić wrzenie od parowania powierzchniowego?*).

Przykładami zjawisk, którym towarzyszy oddanie ciepła są natomiast:

- **skraplanie**, czyli powstawanie cieczy ze stanu gazowego,
- **krzepnięcie**, czyli przemiana fazowa cieczy w ciało stałe.

W tabeli poniżej zostały podane wzory na wartości ciepła pobranego i oddanego w różnych procesach termodynamicznych:

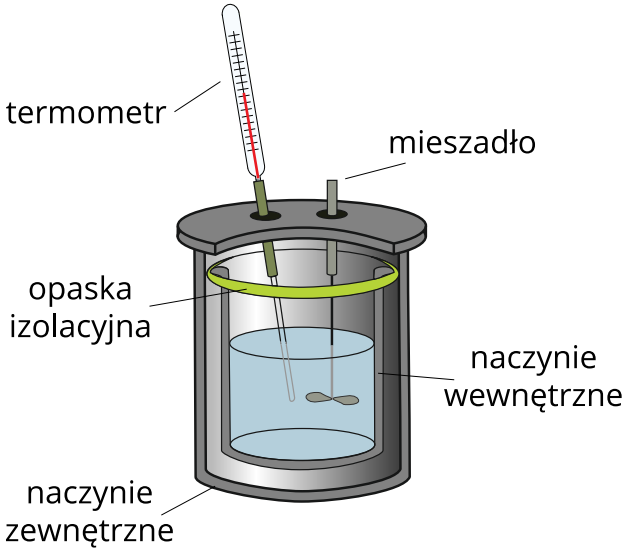
Ciepło pobrane	**Ciepło oddane**
Ciepło pobrane, w wyniku czego wzrosła temperatura ciała: $$mc_w(t_k - t_p),$$ m – masa ciała, c_w – ciepło właściwe substancji, z której wykonane jest ciało, t_p – temperatura początkowa, t_k – temperatura końcowa.	Ciepło oddane, w wyniku czego zmalała temperatura ciała: $$mc_w(t_p - t_k),$$ m – masa ciała, c_w – ciepło właściwe substancji, z której wykonane jest ciało, t_p – temperatura początkowa, t_k – temperatura końcowa.
Ciepło pobrane w procesie topnienia: $$mc_t,$$ m – masa ciała, c_t – ciepło topnienia.	Ciepło oddane w procesie krzepnięcia: $$mc_t,$$ m – masa ciała, c_t – ciepło topnienia.

Ciepło pobrane w procesie wrzenia lub parowania: $$mc_p$$ m – masa ciała, c_p – ciepło parowania.	Ciepło oddane w procesie skraplania: $$mc_p,$$ m – masa ciała, c_p – ciepło parowania.

Przykład 1. Doświadczalne wyznaczenie ciepła właściwego aluminium

Doświadczenie mające na celu wyznaczenie ciepła właściwego aluminium można wykonać w pracowni szkolnej.
Są do tego potrzebne następujące przyrządy:

- kalorymetr aluminiowy (Rys. 2.),
- termometr alkoholowy,
- waga elektroniczna,
- naczynie z grzałką do zagotowania wody,
- blaszki aluminiowe,
- szczypce do chwytania i przenoszenia gorących blaszek.



Rys. 2. Schemat konstrukcji **kalorymetru aluminiowego**. Kalorymetr składa się z naczynia (zewnętrznego), w którym znajduje się drugie, aluminiowe naczynie (wewnętrzne). Oba naczynia przedzielone są izolacją termiczną (na rysunku rolę izolacji pełni powietrze). Kalorymetr posiada przykrywkę z otworami na mieszadełko i otworem przeznaczonym dla termometru.
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Przed rozpoczęciem doświadczenia warto przygotować tabelę, w której będą zapisywane wyniki pomiarów. Tabela może być podobna to tej, która jest umieszczona poniżej:

Pomiar	Wartość
Masa kalorymetru m_k	
Masa blaszek aluminiowych m_{Al}	
Masa wody m_w	
Temperatura początkowa t_p	
Temperatura końcowa t_k	

Kolejne czynności wykonywane podczas tego doświadczenia to:

1. Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru aluminiowego, blaszki aluminiowe i wodę wlaną do kalorymetru. Zmierzone wartości zapisujemy w tabeli.
2. Wrzucamy blaszki do naczynia z wodą i grzałką, a następnie doprowadzamy wodę do wrzenia.
3. Mierzymy początkową temperaturę wody w kalorymetrze i zapisujemy ją w tabeli.
4. Wyjęte z gorącej wody, przy pomocy szczypiec, aluminiowe blaszki wrzucamy do kalorymetru.
5. Po ustaleniu się temperatury wody w kalorymetrze mierzymy jej temperaturę końcową i zapisujemy w tabeli.

Analiza bilansu cieplnego proponowanego doświadczenia jest następująca:

Gorące blaszki aluminiowe, gdy zostały wrzucone do wody w kalorymetrze, oddały ciepło, które zostało pobrane przez aluminiowe naczynie wewnętrzne i znajdującą się w nim wodę. Temperatura blaszek zmniejszyła się od t = 100°C do t_k. Temperatura wody i wewnętrznego naczynia kalorymetru zwiększyła się od t_p do t_k. Ciepło właściwe wody wynosi $c_w = 4200\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$. Celem jest wyznaczenie ciepła właściwego aluminium, które oznaczamy: c_{Al}.

Bilans cieplny tego doświadczenia można przedstawić w postaci równania:

$$\boxed{\text{Ciepło pobrane przez kalorymetr}} + \boxed{\text{Ciepło pobrane przez wodę}} = \boxed{\text{Ciepło oddane przez blaszki aluminiowe}}$$

$$m_k c_{Al}(t_k - t_p) + m_w c_w(t_k - t_p) = m_{Al} c_{Al}(t - t_k)$$

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Z powyższego równania bilansu można wyznaczyć ciepło właściwe aluminium c_{Al}:

$$c_{Al} = \frac{m_w c_w (t_k - t_p)}{m_{Al}(t - t_k) - m_k(t_k - t_p)}. \tag{1}$$

Interpretacja uzyskanych wyników: niepewność względna

Dla ustalenia uwagi załóżmy, że zmierzona wartość ciepła właściwego aluminium jest równa: $c_{Al} = 850 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$. Otrzymaną wartość można porównać z jej wartością tablicową: $c^t_{Al} = 900 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$. Oczywiście otrzymana w doświadczeniu wartość nie jest dokładnie równa wartości tablicowej, ponieważ każdy pomiar pośredni obarczony jest niepewnością pomiarową, wynikającą choćby z dokładności wykorzystanych przyrządów (tutaj: wagi i termometru). W takiej sytuacji warto przynajmniej policzyć, o ile procent uzyskany wynik zaniża wartość tablicową: $\frac{\Delta c_{Al}}{c^t_{Al}} = \frac{900-850}{900} \simeq 5,6\ \%$. W analizowanym przypadku zmierzona wartość ciepła właściwego aluminium różni się od 'prawdziwej' wartości tej wielkości o niecałe 6 %, co w realiach pracowni szkolnej jest bardzo dobrym wynikiem!

Przykład 2. Doświadczalne wyznaczenie ciepła topnienia lodu

Kolejne doświadczenie, które również można wykonać w pracowni szkolnej, ma na celu wyznaczenie ciepła topnienia lodu.
Do wykonania tego doświadczenia są potrzebne:

- stoper o dokładności 1 s,
- kuchenka elektryczna (lub dowolny palnik, a nawet świeczka),
- naczynie, które można podgrzewać,
- lód.

Doświadczenie polega na zmierzeniu czasu τ_1 ogrzewania lodu w naczyniu na kuchence elektrycznej do momentu roztopienia całego lodu. Na początku doświadczenia lód powinien mieć temperaturę t_1 = 0°C, co można uzyskać zostawiając lód w temperaturze pokojowej, aż zacznie się topić. Należy wtedy osuszyć lód i włożyć do naczynia. Po roztopieniu lodu nadal ogrzewamy powstałą wodę, aż zacznie wrzeć, czyli do momentu, gdy osiągnie temperaturę t_2 = 100°C. Mierzymy czas, τ_2, potrzebny na zwiększenie temperatury wody od 0°C do 100°C. Podczas całego doświadczenia moc P kuchenki musi być taka sama. Dzięki temu ciepło pobrane przez lód podczas topnienia i ciepło pobrane przez wodę do momentu, gdy zaczyna ona wrzeć będzie można wyrazić jako iloczyn mocy kuchenki P i zmierzonego czasu ogrzewania, odpowiednio: τ_1 i τ_2.
Analiza bilansu cieplnego w proponowanym doświadczeniu jest następująca:

1. Ciepło pobrane podczas topnienia lodu wynosi: $Q_1 = mc_t$. Ciepło to można również wyrazić korzystając z definicji mocy kuchenki: $Q_1 = P\tau_1$. Porównując obydwa wzory dostajemy:

$$mc_t = P\tau_1.$$

(2)

2. Podobnie - ciepło pobrane podczas ogrzewania wody: $Q_2 = mc_w(t_2 - t_1)$ i jednocześnie $Q_2 = P\tau_2$, a więc:

$$mc_w(t_2 - t_1) = P\tau_2.$$

(3)

3. Dzieląc otrzymane równania stronami, otrzymujemy:

$$\frac{mc_t}{mc_w(t_2 - t_1)} = \frac{P\tau_1}{P\tau_2},$$

(4)

skąd można łatwo wyznaczyć ciepło topnienia lodu:

$$c_t = c_w(t_2 - t_1)\frac{\tau_1}{\tau_2}.$$

(5)

4. Podsumowując, aby wyznaczyć ciepło topnienia lodu wystarczy zmierzyć czas topnienia lodu τ_1 i czas podgrzewania powstałej z niego wody τ_2.

Interpretacja uzyskanych wyników, niepewność pomiarowa $u(c_t)$

Pokażemy teraz, w jaki sposób można wyznaczyć niepewność pomiarową ciepła topnienia lodu, które zostanie zmierzone w tym doświadczeniu.

Wartość c_t wyznacza się ze wzoru (5). Jest to wielkość mierzona pośrednio, która zależy od dwóch wielkości mierzonych bezpośrednio: τ_1 i τ_2. Niepewności wielkości tablicowych: ciepła właściwego wody $c_w = 4200\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\cdot K}}$ oraz temperatur: topnienia lodu $t_1 = 0^\circ\mathrm{C} = 273\ \mathrm{K}$ i wrzenia wody $t_2 = 100^\circ\mathrm{C} = 373\ \mathrm{K}$ będziemy, jako bardzo małe, pomijać. Oznacza to, że wielkość $c_w(t_2 - t_1)$ we wzorze (5) będziemy traktowali jako stałą, którą dalej będziemy oznaczać dużą literą A:

$$A \overset{ozn.}{=} c_w(t_2 - t_1) = 4200\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\cdot K}} \cdot 100\ \mathrm{K} = 420\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}.$$

(6)

Formalnie będziemy zatem korzystali z następującego wzoru na c_t:

$$c_t = c_t(\tau_1, \tau_2) = A\frac{\tau_1}{\tau_2},$$

(7)

w którym wyraźnie zaznaczyliśmy, że mierzona pośrednio wielkość c_t zależy od dwóch innych: τ_1 i τ_2, które są mierzone bezpośrednio.

Dalej, dla ustalenia uwagi, będziemy zakładać, że zmierzony czas topnienia lodu wynosił $\tau_1 = 145$ s, a po kolejnych $\tau_2 = 181$ s woda zaczęła wrzeć. Po podstawieniu tych wartości do równania (7) dostajemy wartość ciepła topnienia lodu równą:

$$c_t = 4,2 \cdot 10^5 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} \cdot \frac{145\ \mathrm{s}}{181\ \mathrm{s}} = 336,464 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}.$$

(8)

Uzyskany wynik, podajemy z dokładnością do sześciu cyfr znaczących. Zaokrąglimy go dopiero wtedy, gdy obliczymy niepewność pomiarową $u(c_t)$.

Wyznaczanie niepewności pomiarowej wielkości mierzonej pośrednio, która zależy od dwóch wielkości zmierzonych bezpośrednio, jest realizowane w trzech krokach (zob. Algorytm 2. w materiale pt. *Niepewność wielkości mierzonej pośrednio*):

KROK 1. Wyznaczamy standardowe niepewności pomiarowe wielkości zmierzonych w sposób bezpośredni. W analizowanym przypadku mamy:

$$u(\tau_1) = u(\tau_2) = u(\tau),$$

(9)

przy czym

$$u(\tau) = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{3}} = \frac{2\ \mathrm{s}}{1{,}73} \simeq 1,156\ \mathrm{s},$$

(10)

gdzie wartość niepewności granicznej pomiaru czasu $\Delta\tau$ oszacowaliśmy na 2 s, jako sumę dokładności stopera (1 s) i czasu przeciętnej reakcji człowieka (1 s).

KROK 2. Obliczamy tzw. udziały niepewności: $u_1(c_t)$ i $u_2(c_t)$, jakie te bezpośrednio zmierzone wielkości wnoszą do niepewności wielkości wyjściowej c_t:

$$u_1(c_t) = \frac{1}{2}|c_t(\tau_1 + u(\tau_1), \tau_2) - c_t(\tau_1 - u(\tau_1), \tau_2)|,$$

(11)

$$u_1(c_t) = \frac{A}{2}\left|\frac{\tau_1 + u(\tau_1)}{\tau_2} - \frac{\tau_1 - u(\tau_1)}{\tau_2}\right|,$$

(12)

$$u_1(c_t) = A\frac{u(\tau_1)}{\tau_2} = 3,35\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}},$$

(13)

oraz

$$u_2(c_t) = \frac{1}{2}|c_t(\tau_1, \tau_2 + u(\tau_2)) - c_t(\tau_1, \tau_2 - u(\tau_2))|,$$

(14)

$$u_2(c_t) = A\frac{\tau_1 u(\tau_2)}{\tau_2^2 - u^2(\tau_2)} = 2,25\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}.$$

(15)

KROK 3. Wyznaczamy niepewność $u(c_t)$ jako sumę geometryczną obydwu udziałów $u_1(c_t)$ i $u_2(c_t)$:

$$u(c_t) = \sqrt{u_1^2(c_t) + u_2^2(c_t)},$$

(16)

$$u(c_t) = \sqrt{(3,35)^2 + (2,15)^2}\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \simeq 4,0\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}.$$

(17)

W końcu możemy zapisać ostateczny wynik pomiarów:

$$c_t = 336,5\ (4,0)\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}.$$

Tablicowa wartość ciepła topnienia lodu wynosi $333,55\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$, więc powyższy wynik można uznać za prawidłowy.

Słowniczek

Kalorymetr

(ang.: *calorimeter*) – przyrząd służący do pomiaru zmian temperatury podczas procesów termodynamicznych w warunkach dobrej izolacji cieplnej od otoczenia. Składa się na ogół z dwóch części: właściwego układu kalorymetrycznego, w którym przebiega badany proces, i z płaszcza, zapewniającego izolację cieplną.

Ciepło właściwe

(ang.: *specific heat*) – energia potrzebna do ogrzania 1 kg substancji o 1 K: $c_w = \frac{Q}{m\Delta T}$, gdzie Q ciepło pobrane przez ciało o masie m podczas zmiany temperatury o ΔT.

Ciepło topnienia

(ang.: *heat of fusion*) - energia potrzebna do stopienia 1 kg ciała. Ciepło topnienia wyraża się wzorem $c_t = \frac{Q}{m}$, gdzie Q – energia dostarczona podczas topnienia, m – masa ciała.

Ciepło parowania

(ang.: *heat of vaporization*) - energia potrzebna do wyparowania 1 kg ciała. Ciepło topnienia wyraża się wzorem $c_p = \frac{Q}{m}$, gdzie Q – energia dostarczona podczas parowania lub wrzenia, m – masa ciała.

Temperatura w skali Kelvina

(ang. *temperature in Kelvin scale*) lub w skali bezwzględnej – miara średniej energii kinetycznej cząsteczek. Temperaturę w skali Kelwina T obliczamy, dodając 273°C do temperatury w skali Celsjusza t, tj. $T = t + 273°C$.

Układ izolowany

(ang. *isolated system*) inaczej „układ termodynamicznie izolowany" – to taki układ termodynamiczny, który nie wymienia z otoczeniem ani materii, ani energii.

Pomiar bezpośredni

(ang.: *direct measurement*) to taki pomiar, który jest wykonywany przy użyciu jednego przyrządu dającego od razu gotowy wynik. Innymi słowy, podczas pomiarów bezpośrednich, wartość wielkości mierzonej uzyskuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń. Przykładami takich pomiarów są: pomiar długości przy użyciu linijki, pomiar średnicy pręta przy użyciu suwmiarki, pomiar czasu przy użyciu stopera, czy pomiar napięcia przy użyciu woltomierza.

Pomiar pośredni

(ang.: *indirect measurement*) polega na bezpośrednim zmierzeniu jednej lub kilku różnych wielkości fizycznych i obliczeniu wartości poszukiwanej wielkości na podstawie wzoru wiążącego wielkości mierzone bezpośrednio. Przykładami pomiarów pośrednich są: wyznaczenie pola powierzchni bocznej walca na podstawie pomiarów jego wysokości i średnicy podstawy, wyznaczenie rezystancji na podstawie pomiaru natężenia prądu i napięcia, czy wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego na podstawie długości i okresu drgań wahadła matematycznego.

Zasada zachowania energii

(ang. *law of conservation of energy*) empiryczne prawo fizyki, stwierdzające, że w układzie izolowanym suma wszystkich rodzajów energii układu jest stała w czasie.

Film (standardowy)

Czy można przeprowadzić bilans cieplny bez wagi i termometru?

Bilans cieplny kojarzy się z takimi wzorami jak

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_k - t_1) = -m_2 \cdot c_2 \cdot (t_k - t_2)$$

czy

$$m_x \cdot L + m_x (t_k - 0^\circ C) = -(m_p \cdot R + m_p (t_k - 100^\circ C))$$

Tak więc w najprostszym ujęciu przeprowadzenie eksperymentu z wykorzystaniem bilansu cieplnego powinno wymagać znajomości lub pomiaru temperatur (np. początkowych t_1 i t_2 oraz końcowej t_k) a także mas (m_1 i m_2 czy m_x i m_p) ciał uczestniczących w wymianie ciepła. Czy można dać sobie radę bez tych pomiarów? Odpowiesz, przekornie, że pewnie tak, bo inaczej fizyk by o to nie pytał. Proszę bardzo – ale jak to zrobić? Jak zorganizować pomiar ciepła topnienia lodu bez wagi i termometru?

Polecenie 1

Obejrzyj film edukacyjny, w którym pokazane są pomiary oraz podane ich wyniki.
Przygotuj się do wyznaczenia, na ich podstawie, ciepła topnienia lodu.
Zastanów się, w jaki sposób warunki eksperymentu i jego wyniki pozwalają zastąpić informacje typowo uzyskiwane za pomocą wagi i termometru. A może pozwalają z tych informacji zrezygnować?

Film dostępny pod adresem /preview/resource/RtYwZDNr4I69Y

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Zapoznaj się uważnie ze ścieżką lektorską filmu.

Uporządkuj informacje otrzymane podczas przeprowadzonego na filmie doświadczenia, uzupełnij je o niezbędne informacje teoretyczne i wyznacz ciepło topnienia lodu.
Na końcu przeprowadzisz analizę warunków, w których doświadczenie przebiegało i odniesiesz się do wiarygodności uzyskanego wyniku.

I. Przebieg i wyniki pomiarów.

Polecenie 2

W eksperymencie wyróżniono dwa zasadnicze etapy, których czasy trwania oznaczono jako τ_1 oraz τ_2.
Grecka litera τ (czytaj jako 'tau'; wymowa grecka to 'taf') służy w fizyce do oznaczania czasów.

Wskaż właściwy opis tych dwóch etapów:

Etap pierwszy to [ ]

Etap drugi to [ ]

- wrzenie i w konsekwencji parowanie wody powstałej oryginalnie z lodu.
- topnienie lodu, którego temperatura $t_1 = 0^\circ\mathrm{C}$ jest niezmienna.
- podgrzewanie wody powstałej z lodu od $t_1 = 0^\circ\mathrm{C}$ do $t_2 = 100^\circ\mathrm{C}$.
- podgrzewanie lodu przetrzymywanego wcześniej w zamrażarce, do temperatury $t_1 = 0^\circ\mathrm{C}$.

Polecenie 3

Czas trwania pierwszego etapu doświadczenia τ_1 = [ ].

Czas trwania drugiego etapu doświadczenia τ_2 = [ ].

135 s | 95 s | 30 s

II. Teoretyczny opis eksperymentu

Niech c_t oznacza ciepło topnienia lodu, c_w ciepło właściwe lodu, a m jego masę. Niech zaś P oznacza moc grzałki, jednakową w obu etapach.

Polecenie 4

Uzupełnij równania opisujące każdy z etapów doświadczenia oddzielnie.

W etapie 1.

$Q_1 = m \cdot$ ____

$Q_1 = P \cdot$ ____

W etapie 2.

$Q_2 =$ ____ $\cdot c_w \cdot$ ____

$Q_2 =$ ____ $\cdot \tau_2$

P | c_t | $\Delta\tau$ | m | Δt | τ_1

Polecenie 5

Rozwiąż układ równań uzyskany w poprzednim poleceniu względem ciepła topnienia lodu c_t. Skomentuj otrzymany wynik z punktu widzenia pytań z polecenia nr 1 oraz dalszego postępowania idącego w kierunku wyznaczenia ciepła topnienia lodu. Uwzględnij w komentarzu problematykę **dokładności**, z jaką znamy poszczególne wielkości niezbędne do wyznaczenia ciepła topnienia lodu.
Zapisz swoje wyprowadzenie oraz komentarze w przygotowanym polu i porównaj z odpowiedzią wzorcową.

III. Ciepło topnienia lodu

Polecenie 6

Oblicz uzyskaną wartość ciepła topnienia lodu c_t. Przedstaw wynik zgodnie z komentarzem z poprzedniego polecenia. Następnie porównaj swój wynik z wartością tablicową $c_{t0} = 334\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$, zaokrągloną do trzech cyfr znaczących.

Polecenie 7

Wskaż najbardziej trafną ocenę doświadczenia, w związku z uzyskanym wynikiem, jaką sformułuje fizyk.

- ○ Doświadczenie nie wyszło. Nie ma sensu dalej się nim zajmować, bo nie da to niczego ciekawego ani pożytecznego.
- ○ Doświadczenie nie wyszło. Można się zastanowić, dlaczego, ale to raczej niewiele zmieni.
- ○ Doświadczenie wyszło, choć wynik jest zaskakujący. Warto się nad nim zastanowić, by określić powód tego stanu rzeczy.
- ○ Doświadczenie wyszło. Mało tego, pokazuje dobitnie, że dotychczasowe wyobrażenia o wartości ciepła topnienia lodu były błędne. Należy możliwie szybko opublikować wynik, by doprowadzić do skorygowania błędu w danych tablicowych.

IV. Analiza wyniku

Polecenie 8

W filmie możesz doszukać się przyczyn uzyskania tak zawyżonej wartości ciepła topnienia. Obejrzyj go uważnie raz jeszcze. W porównaniu z klasycznym doświadczeniem kalorymetrycznym łatwo stwierdzisz trzy istotne różnice:

1. Naczynie stojące na kuchence jest metalowe i ma pojedynczą, cienką ściankę.
2. Naczynie, w którym podgrzewany jest lód, a następnie woda, nie ma pokrywki.
3. Naczynie jest silnie podgrzewane od spodu. Zatem po stopieniu pierwszych warstw lodu temperatura powstałej wody dość gwałtownie rośnie, zanim jeszcze stopi się reszta lodu - woda ta w sposób zauważalny paruje.

Każdy z tych czynników wpływa na czasy τ_1 oraz τ_2. Określ ten wpływ:

1. Słaba izolacja termiczna w ściankach naczynia powoduje skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_1 oraz skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_2.
2. Brak pokrywki na naczyniu powoduje skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_1 oraz skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_2.
3. Ogrzanie wody przed roztopieniem całego lodu powoduje skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_1 oraz skrócenie ☐ wydłużenie ☐ czasu τ_2.

Polecenie 9

Wartość ciepła właściwego obliczana była z wyrażenia wyprowadzonego w poleceniu 5.

$$c_t = c_w \cdot \Delta t \cdot \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

Czterokrotne zawyżenie wyniku (w porównaniu z wartością tablicową) nie może być skutkiem przyjęcia zawyżonych wartości c_w czy Δt - obie są wartościami tablicowymi. Pomyłka musi więc być związana z przeszacowaniem ilorazu $\frac{\tau_1}{\tau_2}$.

Przeprowadź i zapisz rozumowanie, w którym wykażesz, że na podstawie informacji, którymi dysponujesz:

a) nie da się rozstrzygnąć, czy słaba izolacja termiczna naczynia oraz brak pokrywki (czynniki 1 oraz 2 z polecenia 8.) przyczyniły się do zawyżenia wartości c_t;

b) można stwierdzić, że zagrzanie wody przed stopieniem całego lodu (czynnik 3 z polecenia 8.) spowodowało zawyżenie wartości c_t.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Połącz kafelki, aby otrzymać prawdziwe stwierdzenia.

Ciepło jest pobierane podczas

Ciepło jest oddawane podczas

- krzepnięcia substancji
- skraplania substancji
- zwiększania temperatury substancji
- topnienia substancji
- zmniejszania temperatury substancji
- parowania substancji

Ćwiczenie 2

Do kalorymetru z wodą o temperaturze 24°C wrzucono kawałek lodu o temperaturze -2°C. Które z poniższych stwierdzeń jest prawdziwe:

- Woda i kalorymetr oddały ciepło, a lód pobrał ciepło na ogrzanie do 0 °C, stopienie i ogrzanie powstałej z niego wody do temperatury końcowej o wartości zawartej między 0 °C a 24 °C.
- Woda i kalorymetr pobrały ciepło, a lód oddał ciepło na stopienie.
- Woda w kalorymetrze oddała ciepło, a lód pobrał ciepło na ogrzanie do 0 °C i stopienie.

Ćwiczenie 3

Do kubka wypełnionego wodą o temperaturze 16°C wrzucono łyżeczkę o temperaturze 100°C. Które z poniższych stwierdzeń jest prawdziwe:

- Łyżeczka oddała ciepło, a woda pobrała ciepło, co spowodowało zagotowanie się wody.
- Woda pobrała ciepło, a łyżeczka oddała ciepło. W rezultacie temperatura łyżeczki zmniejszyła się do wartości większej od 16°C i mniejszej od 100°C.
- Woda oddała ciepło, a łyżeczka pobrała ciepło. W rezultacie temperatura łyżeczki zmniejszyła się do 16°C.

Ćwiczenie 4

Do kalorymetru o masie m_k z wodą o masie m i temperaturze 20°C wpuszczono parę wodną o masie $M = 0,01m$ i temperaturze 100°C. Ciepło właściwe wody oznaczamy c_w, ciepło właściwe kalorymetru c_k, ciepło parowania wody c_p, temperaturę końcową wody w kalorymetrze t_k. Które z poniższych równań poprawnie opisuje bilans cieplny procesów zachodzących wewnątrz kalorymetru.

- $m_k c_k (20^\circ\mathrm{C} - t_k) + m c_w (20^\circ\mathrm{C} - t_k) = M c_p + M c_w (t_k - 100^\circ\mathrm{C})$
- $m_k c_k (t_k - 20^\circ\mathrm{C}) + m c_w (t_k - 20^\circ\mathrm{C}) = M c_p$
- $m_k c_k (t_k - 20^\circ\mathrm{C}) + m c_w (t_k - 20^\circ\mathrm{C}) = M c_p + M c_w (100^\circ\mathrm{C} - t_k)$

Ćwiczenie 5

W aluminiowym kalorymetrze o masie m_k znajduje się m_w wody o temperaturze t_p. Do kalorymetru wrzucono kawałek lodu o masie M i temperaturze t_0 = 0°C. Zapisz równanie bilansu cieplnego dla procesów termodynamicznych, które zachodzą wewnątrz kalorymetru. Załóż, że wartości ciepła właściwego wody c_w, aluminium c_{Al} oraz kalorymetru c_k, a także wartość ciepła topnienia lodu c_t są znane. Swoją odpowiedź zapisz w polu poniżej, a następnie porównaj ją z podaną odpowiedzią wzorcową.

Ćwiczenie 6

W celu wyznaczenia ciepła właściwego wody zmierzono czas ogrzewania wody za pomocą grzałki. Grzałka o mocy P = 2 kW podgrzała m = 0,22 kg wody od temperatury t_1 = 15°C do t_2 = 45°C w czasie τ = 14 sekund. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: _____ kJ·(kg·K)$^{-1}$.

Ćwiczenie 7

W celu wyznaczenia ciepła topnienia ołowiu, do kalorymetru o masie m_k = 0,1 kg, zawierającego wodę o masie M = 0,25 kg i o temperaturze t_1 = 20°C, wlano roztopiony ołów o masie m = 0,085 kg. Temperatura płynnego ołowiu była równa jego temperaturze topnienia t_2 = 327,5°C. Końcowa temperatura wody w kalorymetrze wynosiła t_k = 25°C. Ciepło właściwe wody wynosi c_w = 4200 $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$, ciepło właściwe kalorymetru c_k = 900 $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$, ciepło właściwe ołowiu c_{Pb} = 130 $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$. Jaka będzie zmierzona w taki sposób wartość ciepła topnienia ołowiu? Wartość podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: _____ kJ/kg.

Ćwiczenie 8

Zaprojektuj doświadczenie, w którym wyznaczysz ciepło parowania wody. Masz do dyspozycji naczynie zawierające wodę, wagę, termometr, grzałkę i stoper.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Do czego w praktyce przydaje się bilans cieplny?**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne:** II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość. V. Termodynamika. Uczeń: 4) wykorzystuje pojęcie ciepła właściwego oraz ciepła przemiany fazowej w analizie bilansu cieplnego. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji. VI. Termodynamika. Uczeń: 5) wykorzystuje pojęcie ciepła właściwego oraz ciepła przemiany fazowej w analizie bilansu cieplnego.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. definiuje pojęcie bilansu cieplnego, 2. wyjaśnia bilans cieplny jako zasadę zachowania energii, 3. rozróżnia zjawiska i procesy termodynamiczne, którym towarzyszy pobranie ciepła przez ciało, od tych którym towarzyszy oddanie ciepła przez ciało, 4. stosuje pojęcie bilansu cieplnego do wyznaczenia ciepła właściwego różnych substancji, 5. planuje i przeprowadza eksperymenty mające na celu wyznaczenie ciepła topnienia i parowania różnych substancji.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów oraz odkrywanie rzeczywistości poprzez eksperymenty)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, przeprowadzenie doświadczenia lub pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w parach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	kalorymetr aluminiowy, termometr, waga, naczynie z grzałką do zagotowania wody, blaszki aluminiowe, szczypce, lub stoper, kuchenka elektryczna, naczynie, lód, komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały „Na czym polega bilans cieplny", „Jak definiujemy przemianę fazową", „Ciepło parowania", „Jak definiujemy ciepło właściwe", „Jak definiujemy ciepło przemiany fazowej?"
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?". Odwołanie do wiedzy uczniów o bilansie cieplnym.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel przypomina pojęcie bilansu cieplnego, podkreślając jego związek z zasadą zachowania energii. Następnie pyta uczniów, w jakich procesach ciepło jest pobierane, a w jakich oddawane. Uczniowie zgłaszają swoje pomysły. Nauczyciel proponuje wykonanie jednego z doświadczeń: wyznaczanie ciepła właściwego aluminium (doświadczenie sugerowane dla klas realizujących podstawowy zakres podstawy programowej) lub wyznaczanie ciepła topnienia lodu (doświadczenie sugerowane dla klas z rozszerzonym zakresem podstawy programowej). Nauczyciel przedstawia uczniom listę przedmiotów, służących do wykonania eksperymentu (jak w punkcie „Środki dydaktyczne"), a uczniowie w trakcie burzy mózgów planują, jak wykonać doświadczenie. Następnie uczniowie pod kierunkiem nauczyciela wykonują doświadczenie, zapisując wyniki pomiarów wraz z jednostkami w tabeli i wykonują obliczenia korzystając z pojęcia bilansu cieplnego.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie oceniają poprawność wykonanych doświadczeń, porównując wartości zmierzonych wielkości z wartościami tablicowymi. Obliczają, o ile procent zmierzone przez nich wartości różnią się od wartości tablicowych. Nauczyciel pyta uczniów, dlaczego uzyskane wartości się różnią i o ile. Uczniowie odpowiadają na to pytanie wskazując możliwe przyczyny rozbieżności. Nauczyciel porządkuje wiedzę uczniów przypominając pojęcia pomiarów bezpośrednich i pośrednich.	
Praca domowa:	
Dla uczniów realizujących podstawowy zakres podstawy programowej: obowiązkowo zadania 1- 3, do wyboru jedno z zadań 4 - 7. Dla uczniów realizujących rozszerzony zakres podstawy programowej nauczyciel może zadać wyznaczenie niepewności pomiarowej wykonanego w klasie pomiaru ciepła topnienia lodu, dla chętnych uczniów zadanie 8.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe można wykorzystać na dwa sposoby: 1. Można zlecić jego obejrzenie przed lekcją, aby uczniowie byli przygotowani do wykonania doświadczenia w czasie lekcji. 2. Jeśli nie można wykonać doświadczenia, film można obejrzeć na lekcji i ograniczyć się tylko do analizy i interpretacji jego wyników.