



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet nr 3: Ciepło i silniki – instrukcje dla uczniów

dr Małgorzata Wysocka-Kunisz

*Instytut Fizyki,
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach,
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce*

Wersja UJK/1.0

Niniejszy tekst dotyczy realizacji pakietu na UJK. Materiał będzie aktualizowany w miarę poszerzania bazy aparaturowej pracowni uczelnianych.



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Potencjalne zagrożenia, zasady BHP

Przy wykonywaniu wielu ćwiczeń konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności i przestrzeganie zasad bezpieczeństwa. Przy posługiwaniu się źródłami zasilania sieciowego, łatwopalnymi materiałami (np. denaturat lub nafta), grzałkami, gorącymi cieczami występuje zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia. Przy wykonywaniu ćwiczeń w pracowniach należy przestrzegać obowiązującego w nich regulaminu BHP. Wykonywanie niektórych doświadczeń w domu jest możliwe, ale tylko po konsultacji z nauczycielem i pod nadzorem osoby dorosłej.

W związku z powyższym zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

- 1) Nie wolno włączać zasilania sieciowego ani uruchamiać przyrządów doświadczalnych bez zgody prowadzącego zajęcia.
- 2) Elementy zestawów ćwiczeniowych należy łączyć zgodnie ze schematami podanymi w instrukcjach, szczególną uwagę zwracając na poprawność połączeń obwodów elektrycznych.
- 3) Wszystkie przyrządy i urządzenia należy stosować zgodnie z ich przeznaczeniem i zasadami ich stosowania (podanymi w instrukcjach obsługi). W razie potrzeby stosować rękawice, odzież ochronną lub inne niezbędne środki ochrony osobistej.
- 4) Należy zachować szczególną ostrożność podczas pracy z:
 - a) grzejnikami i ciałami podgrzаныmi do wysokiej temperatury,
 - b) cieczami łatwopalnymi i odczynnikami chemicznymi,
 - c) ostrymi narzędziami lub przedmiotami - w miarę potrzeby stosować rękawice ochronne,
 - d) przedmiotami ciężkimi, kruchymi albo łatwo tłukącymi się,
 - e) laserem - nie dopuścić do wprowadzenia wiązki światła do nieosłoniętego oka,
 - f) izotopami promieniotwórczymi - preparaty należy prawidłowo umieszczać pod licznikiem.
- 5) Doświadczenia należy wykonywać w pomieszczeniach, w których jest zapewniona właściwa wentylacja.
- 6) O powstałych w czasie wykonywania ćwiczeń wątpliwościach należy informować prowadzącego zajęcia.



Taka ikonka znajduje się przy ćwiczeniach wymagających zachowania ostrożności.

Czy wszystkie ciała stałe jednakowo przewodzą ciepło?

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Naczynia z różnych materiałów o podobnej wielkości: szklanka, kubki: metalowy, plastikowy, porcelanowy, styropianowy, wrząca woda, termometr.

 Wrzątek - możliwość poparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Naczynia napełniamy taką samą ilością wrzątku.
- Po około 15 sekundach dotykamy kolejno każdego z nich i ustawiamy w kolejności od najbardziej gorącego w dotyku do najchłodniejszego.
- Po 15 minutach powtarzamy czynności.
- Mierzmy temperaturę w każdym z naczyń, notujemy wyniki.

Wyniki

Obserwacja po 15 sekundach.

Wypisz kolejno naczynia od najbardziej gorącego w dotyku do najchłodniejszego.

Czy po 15 minutach kolejność naczyń jest taka sama? Jeśli nie, to zapisz tę kolejność.

W którym kubku woda ma najwyższą temperaturę?

Naczynie						
Temperatura						

Który z materiałów, z jakich wykonane są naczynia wykazuje największe, a który najmniejsze przewodnictwo cieplne?

Czy wszystkie metale jednakowo przewodzą ciepło?

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Pręty o jednakowej średnicy i długości: mosiężny, aluminiowy, stalowy, palnik spirytusowy.



Wysoka temperatura - możliwość poparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zapalamy palnik spirytusowy.
- Bierzemy w jedną rękę drut stalowy, a w drugą – aluminiowy, trzymając w tej samej odległości od końca drutu.
- Przeciwnie końce drutów wkładamy jednocześnie do płomienia i wskazujemy drut, który zacznie parzyć szybciej niż drugi.
- Po pewnym czasie postępujemy podobnie z drugą parą drutów - aluminiowym i mosiężnym. Drut aluminiowy musi mieć ponownie temperaturę pokojową. (Ewentualnie powtarzamy czynności z prętem stalowym i mosiężnym).
- Układamy druty w kolejności od najlepiej przewodzącego ciepło.

Obserwacje

Wypisz kolejność prętów zaczynając od tego, który ogrzewał się najszybciej.

Który z materiałów, z jakich wykonane są pręty najlepiej przewodzi ciepło?

Odszukaj informacji na temat przewodnictwa cieplnego. Zastanów się, o czym informuje nas wielkość współczynnika przewodnictwa cieplnego.

Sprawdź wartości współczynników przewodnictwa cieplnego dla substancji, z których wykonane są pręty?

Material	Przewodnictwo cieplne ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Temperatura (K)
Aluminium (czyste)	237	293
Mosiądz (Cu63%)	125	296
Brąz	42 ~ 50	296
Miedź	386.0	279
Złoto (czyste)	314 - 318	300
Żelazo (czyste)	71.8 - 80.4	300
Ołów (czysty)	34.7	293
Srebro (czyste)	406 - 418 - 429	300
Stal nierdzewna	16.3	296
Stal (normalna)	50.2	293
Tytan (czysty)	15.6 - 21.9	300

Czy ułożyłeś pręty w prawidłowej kolejności?

Jak ogrzewać wodę?

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Płaskodenna kolba, woda, kryształki nadmanganianu potasu KMnO_4 , źródło ciepła.



Wrzątek - możliwość poparzenia. Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Kolbę napełniamy wodą (więcej niż do połowy jej wysokości) i wrzucamy do niej kryształek nadmanganianu potasu.
- Kolbę stawiamy na płycie kuchenki elektrycznej (lub nad innym źródłem ciepła) i ogrzewamy zawartą w niej wodę, obserwując miejsce położenia kryształka nadmanganianu potasu.

Obserwacje

Naszkić przekrój pionowy kolby i tor ruchu zabarwionej wody.

Wyjaśnij przyczynę unoszenia się ogrzanych warstw wody.


Czy potrafisz odpowiedzieć na pytanie: w jaki sposób powinniśmy ogrzewać wodę?

Konwekcja w gazach

Cel ćwiczenia

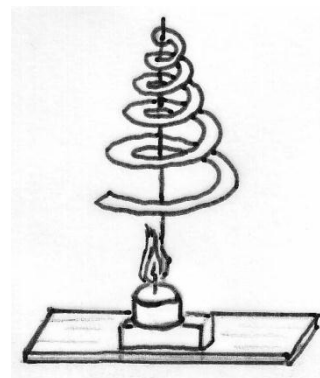
Niezbędne przedmioty i materiały

Spirala z papieru (cienkiego kartonu), patyczek do szaszłyków lub cienki drut o długości około 20 cm, plastelina lub pudełko po zapalniczkach, świeca lub lampka.

 Wysoka temperatura – możliwość zapalenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wycinamy z cienkiego kartonu lub kartki o średnicy ok. 8 cm wąską spiralę (papierowy ślimaczek).
- Zawieszamy spiralę na cienkim drucie (zaostrzonym patyczku), a drugi koniec wbijamy w pudełko lub plastelinę.
- Stawiamy pod spiralą zapaloną świeczkę (ostrożnie, aby spirala się nie zapaliła) i obserwujemy jej zachowanie.



Obserwacje

Opisz zachowanie spirali i wyjaśnij je.

Wyjaśnij, dlaczego kaloryfery umieszczane są pod oknami.

Narysuj prądy konwekcyjne w pokoju. Użyj kredki niebieskiej i czerwonej odpowiednio dla prądów zimnego i ciepłego powietrza.

Jaką rolę odgrywają parapety okienne umieszczane nad grzejnikami centralnego ogrzewania?

Wyjątkowa rozszerzalność cieplna wody

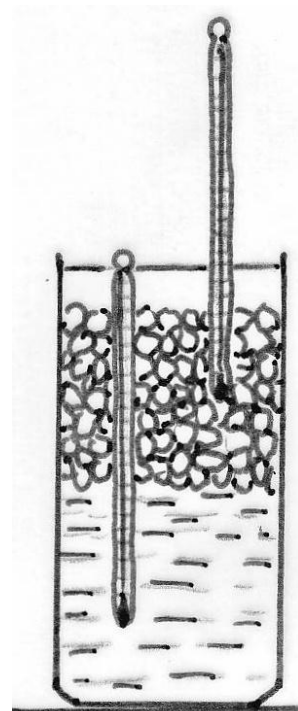
Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Duży szklany słoik lub wysoka zlewka, woda, lód, dwa termometry laboratoryjne, statyw, sznurek, linijka.

Przebieg ćwiczenia

- Do szklanego słoja nalewamy wody (do około połowy wysokości) o temperaturze pokojowej i nasypujemy drobno potłuczonego lodu (tak, aby stanowił co najmniej kilkucentymetrową warstwę).
- Zanurzamy termometr przymocowany nitką do statywu tak, aby jego naczynko znajdowało się w warstwie lodu, blisko powierzchni wody i odczytujemy wskazania termometru.
- Drugi termometr zanurzamy stopniowo poniżej lodu. Określamy położenie zbiorniczka termometru (przyjmujemy, że zero linijki znajduje się na dnie słoika) i notujemy wskazania termometru. Sporządzamy tabelę i zapisujemy wynik odczytu temperatury.
- Przesuwamy zbiorniczek termometru o 1-2 cm w dół i ponownie odczytujemy wskazania termometru (w każdym położeniu czekamy, aż słupek termometru przestanie się ruszać).
- Ostatni pomiar wykonujemy na dnie słoika (poziom 0) i ponownie odczytujemy temperaturę lodu, jaką wskazuje zawieszony termometr.



Obserwacje

Narysuj przekrój zlewki i zaznacz na rysunku odczytaną temperaturę wody.

Jaka jest gęstość lodu w porównaniu z gęstością wody? Na podstawie jakiej obserwacji tak sądzisz?

Woda o jakiej temperaturze ma największą gęstość?


Czy woda się rozszerza, gdy jest ogrzewana od 0 do 4⁰C? Jak nazywamy to zjawisko?

Zmiany stanów skupienia

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Zlewka izolowana termicznie z pokruszonym lodem o masie około 0.5 kg, termometr, mała grzałka, duże płaskie naczynie, drewniana łyżka.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zlewkę wstawiamy do dużego naczynia.
- Do zlewki z lodem wkładamy termometr i ewentualnie czekamy, aż temperatura wzrośnie do 0°C.
- Włączamy grzałkę i ogrzewamy lód zwracając uwagę, aby termometr nie dotykał grzałki. Niestopiony lód dociskamy drewnianą łyżką do grzałki.
- Notujemy temperaturę co 15 sekund.
- Po stopieniu lodu dalej ogrzewamy wodę powstałą z lodu i dalej odczytujemy temperatury.
- Gdy woda zacznie wrzeć, wciąż odczytujemy temperatury do czasu, aż część wody odparuje.
- Sporządzamy wykres zależności temperatury od czasu ogrzewania.

Obserwacje

Wpisz wyniki do tabeli obserwacji

15 s	30 s	45 s	1 min	75 s	90 s	105 s	2 min	135 s	150 s
0°C									
165 s	3 min	195 s	210 s	225 s	4 min	255 s	270 s	285 s	5 min
315 s	330 s	345 s	6 min	375 s	390 s	405 s	7 min	7 min 15s	7 min 30s

7 min 45s	8 min	8 min 15s	8 min 30s	8 min 45s	9 min	9 min 15s	9 min 30s	9 min 45s	10min
10min15s	10min30s	10min45s	11min				12min		
	13min				14min				15min

Co zaobserwowałeś podczas ogrzewania? Jak zmieniała się temperatura i jakie procesy zachodziły w tym czasie?

Sporządź wykres zależności temperatury wody od czasu ogrzewania.

Zjawisko topnienia i krzepnięcia naftalenu

Cel ćwiczenia

Topnienie substancji zachodzi w określonej temperaturze, przy czym dostarczane ciepło nie powoduje podniesienia temperatury substancji, lecz zmianę jej stanu skupienia ze stałego w ciekły. Temperaturę, w której zachodzi ta przemiana, nazywamy temperaturą topnienia (bądź krzepnięcia, w procesie odwrotnym); zależy ona od rodzaju substancji i od działającego na nią ciśnienia zewnętrznego. Substancje, jak parafina, szkło, tłuszcze, nie mają jednoznacznie określonej temperatury topnienia, ale cały przedział temperatur.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kilka kulek naftaliny (potoczna, handlowa nazwa naftalenu), duża zlewka, woda, probówka, termometr laboratoryjny o zakresie do 100°C, statyw z uchwytem na probówkę, palnik gazowy lub kuchenka elektryczna, zegarek z sekundnikiem lub stoper.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Przygotowujemy próbkę naftalenu. Umieszczamy kilka kulek naftaliny w probówce i całość ogrzewamy w kąpeli wodnej do chwili, aż cała naftalina ulegnie stopieniu.
- Do probówki ze stopionym naftalenem wkładamy termometr i całość odstawiamy do schłodzenia do temperatury pokojowej (naftalen krzepnie).
- Do około $\frac{3}{4}$ wysokości zlewki nalewamy wodę i ustawiamy na kuchence lub nad palnikiem.
- Probówkę z naftalenem i termometrem mocujemy w statywie i zanurzamy w wodzie tak, aby cały naftalen znajdował się poniżej poziomu wody w zlewce.
- Rozpoczynamy ogrzewanie (temperatura kuchenki nie powinna być duża lub mały płomień palnika) i co 30 sekund odczytujemy i notujemy w Tabeli 1 temperaturę

naftalenu wskazywaną przez termometr. Obserwujemy naftalen. Pomiary wykonujemy do uzyskania przez naftalen temperatury około 90°C.

Tabela 1. Ogrzewanie naftalenu.

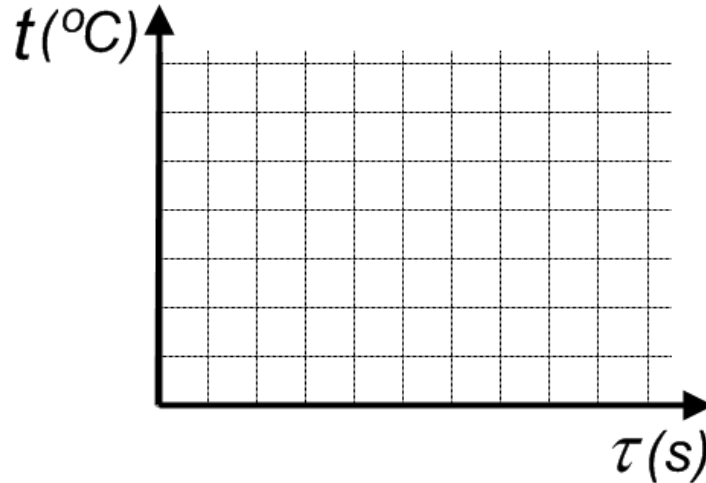
Czas τ od początku ogrzewania (s)	Temperatura t (°C)
0	
30	
60	
90	

- Probówkę z roztopionym naftaleniem wyjmujemy ze zlewki i co 30 sekund odczytujemy i notujemy w Tabeli 2 temperaturę naftalenu wskazywaną przez termometr, do chwili uzyskania przez naftalen temperatury około 60°C. Obserwujemy naftalen.

Tabela 2. Ostyganie naftalenu.

Czas τ od początku ostygania (s)	Temperatura t ($^{\circ}\text{C}$)
0	
30	
60	
90	

- Szacujemy i notujemy niepewności wyznaczenia temperatury Δt oraz czasu $\Delta \tau$ (możemy przyjąć, że dominują niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów).
- Wyniki pomiarów wraz z prostokątami niepewności przedstawiamy w postaci wykresu w układzie współrzędnych $t(\tau)$.



- Sporządzamy dwa oddzielne wykresy dla danych z Tabeli 1 i danych z Tabeli 2.
- Znajdujemy na wykresie krzywej ogrzewania naftalenu punkty pomiarowe (τ, t) ułożone w granicach niepewności wzdłuż prostej równoległej do osi czasu. Ich współrzędne czasowe wyznaczają przedział czasu, w którym naftalen się topi.
- Wyznaczamy temperaturę topnienia naftalenu t_{top} jako średnią arytmetyczną wartości temperatur dla tak znalezionych punktów pomiarowych.
- Obliczamy niepewność wyznaczonej wartości temperatury:

$$\Delta t_{top} = \frac{t_{max} - t_{min}}{2},$$

gdzie t_{max} i t_{min} to odpowiednio największa i najmniejsza spośród wartości temperatur dla punktów pomiarowych odpowiadających topnieniu naftalenu.

- Wyznaczamy temperaturę krzepnięcia naftalenu (korzystając z wykresu sporządzonego na podstawie Tabeli 2), postępując analogicznie jak podczas wyznaczania temperatury topnienia.
- Porównujemy otrzymane wartości $t_{top} \pm \Delta t_{top}$ oraz $t_{krz} \pm \Delta t_{krz}$. Zgodnie z teorią pomiarów dwie wartości wielkości fizycznych $t_{top} \pm \Delta t_{top}$ oraz $t_{krz} \pm \Delta t_{krz}$ uznajemy za równe (w granicach niepewności pomiarowych), jeśli spełniają warunek:

$$| t_{top} - t_{krz} | \leq \Delta t_{top} + \Delta t_{krz}$$

- Na podstawie otrzymanych wyników i przeprowadzonych obliczeń udzielamy odpowiedzi na pytanie: czy temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia naftalenu są sobie równe?

Temperatura krzepnięcia wody i wodnego roztworu soli

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie zlewki o pojemności około 250 ml, 0,25 kg soli, woda, termometr (najlepiej dwa), duży pojemnik na mieszaninę oziębiającą, do którego można wstawić dwie zlewki, lód (przygotowany w plastikowych pojemnikach o objętości ok. 1 l), szmatka, młotek.

Przebieg ćwiczenia

- Przygotowujemy mieszaninę oziębiającą. Wyjmujemy lód z pojemników, owijamy szmatką i rozbijamy młotkiem na małe kawałki. Wsypujemy do dużego pojemnika, posypujemy solą i dokładnie mieszamy.
- Mierzymy temperaturę mieszaniny oziębiającej i myjemy termometr.
- Do zlewek nalewamy wody w temperaturze pokojowej do $\frac{1}{4}$ ich wysokości.
- Do jednej wrzucamy niewielką ilość soli (szczyptę) i wstawiamy obie zlewki do mieszaniny oziębiającej.
- Do obu zlewek wstawiamy termometry i odczytujemy temperatury co 2 minuty. (Jeśli mamy jeden termometr pomiarów temperatury dokonujemy na przemian, myjąc termometr po każdym pomiarze w słonej wodzie).
- Wyniki zapisujemy w tabeli.

Wyniki

Temperatura mieszaniny oziębiającej wynosi:

Woda czysta

Czas (min)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Temperatura (°C)									

Czas	20	...							
------	----	-----	--	--	--	--	--	--	--

Temperatura (°C)									
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Woda z solą

Czas (min)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Temperatura (°C)									

Czas (min)	20	...							
Temperatura (°C)									

W jakiej temperaturze krzepnie czysta woda?

W jakiej temperaturze krzepnie wykonany przez ciebie roztwór soli?

Narysuj wykres zależności temperatury wody i wody z solą od czasu.

Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia odpowiedz na pytanie: co spowodowało dodanie soli do lodu i do wody. Podaj przykłady sytuacji z życia codziennego, w których się to robi i w jakim celu?


Ciepło właściwe wody

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Grzałka 500 W, termometr, zlewki z wodą 0,2 kg, 0,4 kg, 0,6 kg o tej samej temperaturze początkowej, stoper (zegarek z sekundnikiem), wata lub lignina, gumki recepturki.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zlewki z wodą owijamy ligniną i przytrzymujemy recepturką.
- Ogrzewamy wodę w zlewkach o około 30°C, notując czas, w którym woda osiąga określoną temperaturę co 5°C.
- Otrzymane wyniki umieszczamy w tabelach.

Zlewka z wodą 0,2 kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

Zlewka z wodą 0,4 kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

Zlewka z wodą 0,6 kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

- Przedstawiamy, na wykresie zależności temperatury wody w zlewce od czasu ogrzewania, wyniki dla poszczególnych mas wody.
- Wiedząc, że grzałka o mocy 500 W dostarcza wodzie 500 J energii w ciągu każdej sekundy, obliczamy, o ile wzrosła energia wewnętrzna 0,2 kg wody w czasie, w którym jej temperatura wzrosła o 20°C. Czas odczytujemy z wykresu lub tabeli.

$$\Delta E_w = 500 \text{ W} \cdot t$$

- Obliczamy ciepło właściwe wody c korzystając ze wzoru dla powyższych danych

$$c = \frac{\Delta E_w}{m \cdot \Delta T}$$

- Powtarzamy dwukrotnie obliczenia dla innej masy wody i czasu, w którym woda osiągnęła temperaturę wyższą np. o 15°C i 25°C.
- Liczymy wartość średnią ciepła właściwego wody.
- Odczytujemy wartość ciepła właściwego wody z tablic matematyczno-fizycznych i porównujemy z otrzymaną wartością.
- Dyskutujemy, co mogło wpłynąć na wynik pomiaru.

Obliczenia

Ostygnięcie ciał

Cel ćwiczenia

Każde ciało, znajdujące się w ośrodku o niższej temperaturze, traci ciepło przez przewodnictwo, promieniowanie i konwekcję. Prędkość ostygnięcia zależy od własności ciała stygnącego i ośrodka oraz od różnicy ich temperatur. Newton zauważył, że ilość ciepła tracona przez stygnące ciało w określonym czasie, jest proporcjonalna do różnicy temperatur stygnącego ciała i ośrodka, w którym się ono znajduje. Prawo jest spełnione, gdy różnica ta nie jest zbyt duża.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kalorymetr z osłoną, termometr, statyw, naczynie do ogrzewania wody, woda, zegarek z sekundnikiem.



Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- W środku wewnętrznego naczynia kalorymetru, około 1 cm poniżej brzegu, robimy ołówkiem kreskę i nalewamy wody w temperaturze wrzenia do tego poziomu.
- Nieosłonięty kalorymetr stawiamy na środku stołu i umieszczamy wewnątrz niego zawieszony na statywie termometr.
- Co minutę, przez około 30 minut, odczytujemy temperaturę i wyniki zapisujemy w tabeli (siedzimy w pewnej odległości, nie dmuchamy, nie dotykamy kalorymetru, aby nie wpływać na szybkość ostygnięcia). Wyliczamy spadek temperatury przypadający na jedną minutę.

Tabela 1. Woda w kalorymetrze nieosłoniętym.

Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)	Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

- Sporządzamy wykres odmierając na osi x odcinki proporcjonalne do czasu w minutach, a na osi y odcinki proporcjonalne do temperatury w °C.

- Następnie powtarzamy czynności. Napełniamy ponownie kalorymetr wrzącą wodą do tego samego poziomu, ale umieszczamy go wewnątrz osłony. Zamykamy pokrywę z otworem na termometr.
- Co minutę odczytujemy temperaturę i wyniki zapisujemy w Tabeli 2.

Tabela 2. Woda w kalorymetrze osłoniętym.

Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)	Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

- Rysujemy nową krzywą na tym samym wykresie i porównujemy przebieg obu.

Na podstawie przebiegu obu krzywych odpowiedz na pytanie: czy spełnione jest prawo Newtona?

Jak różnica temperatur między cieczą i otoczeniem wpływa na szybkość stygnięcia?


Czy chcąc mieć dłużej ciepłą kawę, śmietankę należy dolać od razu po zalaniu kawy wrzątkiem, czy bezpośrednio przed rozpoczęciem picia?

Czy rodzaj powierzchni ciała ma wpływ na ostygnięcie?

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie szklane kolby o pojemności około 100 ml, dwa termometry, dwa statywy, świeca, folia aluminiowa, naczynie do ogrzewania wody, woda o temperaturze około 80°C, zegarek z sekundnikiem.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Bańkę jednej kolby okopcamy nad płomieniem świecy, a drugiej oklejamy folią aluminiową.
- Do jednej i do drugiej kolby wlewamy pełną bańkę (aż po szyjkę) jednakowe ilości gorącej wody.
- Do kolbek wstawiamy termometry ujęte w łapki statywów.
- Co np. dwie, trzy minuty odczytujemy temperatury wody w kolbach i wyniki zapisujemy w tabeli.

Czas (min)	Temperatura wody w	
	kolbie czarnej (°C)	kolbie srebrnej (°C)

- Przedstawiamy na wykresie otrzymane wyniki.

Jak wyjaśnisz różnicę wskazań termometrów?


Przewodnictwo ciepłe metalu i szkła

Cel ćwiczenia

.....

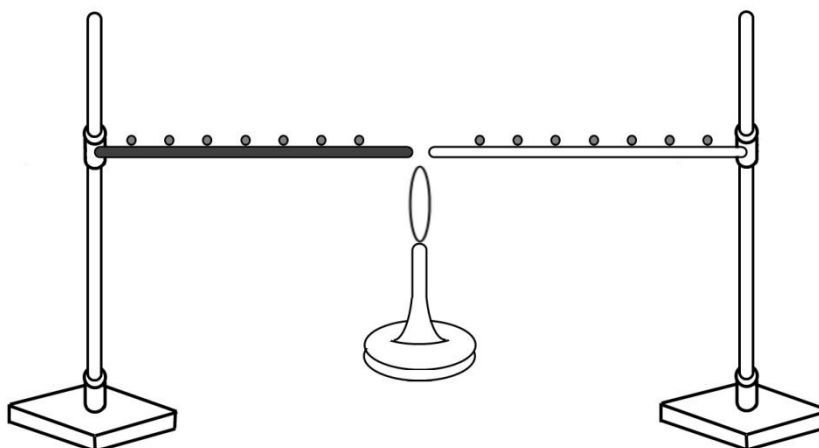
Niezbędne przedmioty i materiały

Statyw, metalowy i szklany pręt, plastelina, palnik spirytusowy lub świeczka.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Przyklejamy małe kulki z plasteliny do metalowego i szklanego pręta (co kilka centymetrów, przyklejamy delikatnie).
- Mocujemy w statywie końce prętów: metalowego i szklanego, a drugie umieszczamy w płomieniu palnika.
- Obserwujemy zachowanie kulek z plasteliny.



Obserwacje

Po jakim czasie spadła pierwsza kulka i z którego pręta?

W jakiej kolejności spadały kulki?

Wyjaśnij procesy zachodzące w doświadczeniu.

Na czym polega przewodnictwo cieplne? Czym spowodowane są różnice w zachowaniu kulek na obu prętach?

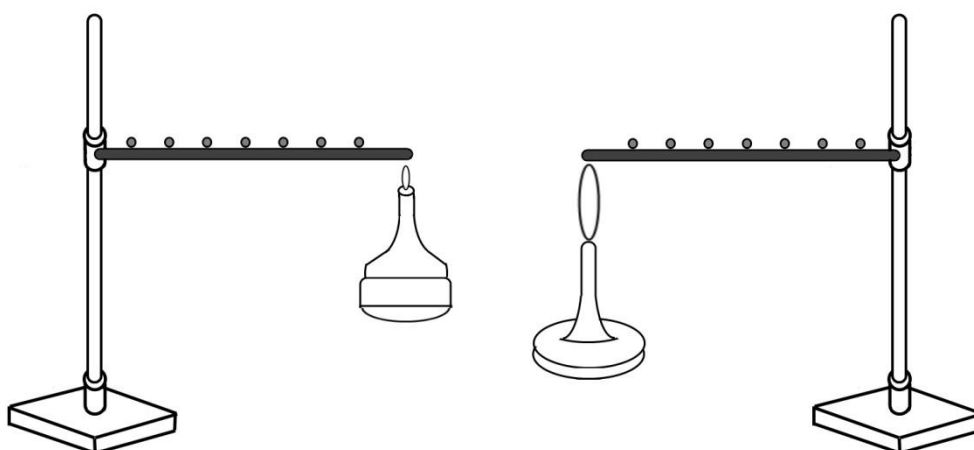
Badanie przewodnictwa ciepłego metalu

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa jednakowych rozmiarów miedziane lub mosiężne pręty, dwa statywy, palnik spirytusowy, palnik gazowy, plastelina.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

- Mocujemy na dwóch statywach końce dwóch metalowych prętów tak, by ustawione były poziomo na tej samej wysokości.
- Do każdego z prętów doklejamy od spodu lub z góry małe kulki z plasteliny, w jednakowej odległości od siebie i od końca prętów.
- Zapalamy palnik gazowy i spirytusowy i jednocześnie podstawiamy pod wolne końce prętów. Ogrzewanie rozpoczynamy jednocześnie.

Obserwacje

Z którego pręta, w tym samym czasie, spadła większa liczba kulek?

Czym spowodowane są różnice w zachowaniu kulek na obu prętach?

Przewodnictwo ciepłe drewna i metalu

Cel ćwiczenia

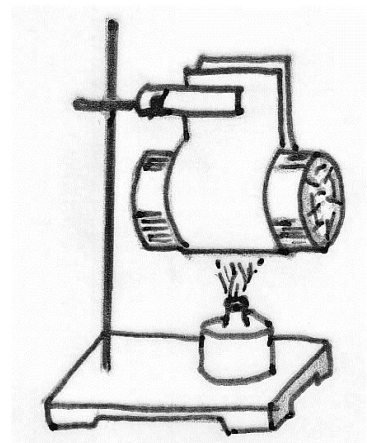
Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa walce (o jednakowych średnicach): drewniany i metalowy, kartka papieru, statyw, palnik spirytusowy lub świeca.

⚠ Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Materiał łatwopalny, grozi zapaleniem.

Przebieg ćwiczenia

- Nad płomieniem palnika spirytusowego umieszczamy ściśle owinięty w papier walec drewniany zawieszony na statywie za końce papieru. Obserwujemy, co się dzieje.
- Te same czynności wykonujemy dla walca metalowego.



Obserwacje

Co dzieje się z papierem ogrzewanym na walcu drewnianym?

Co dzieje się z papierem ogrzewanym na walcu metalowym?


Jak wytłumaczysz zjawiska zachodzące w doświadczeniu?

Przewodnictwo ciepłe wody i powietrza

Cel ćwiczenia

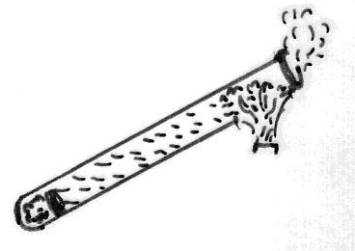
Niezbędne przedmioty i materiały

Probówka z wodą, palnik spirytusowy lub świeczka, kawałek lodu i metalowa nakrętka.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Napełniamy probówkę wodą.
- Wrzucamy do probówki kawałek lodu, a na niego metalową nakrętkę tak, aby lód pozostał na dnie.
- Ogrzewamy górną część probówki w ogniu, w miejscu gdzie kończy się woda, przez około 3 minuty, trzymając dolną jej część w ręku.

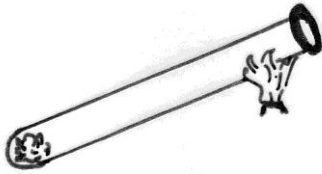


Obserwacje

Opisz przebieg doświadczenia.

Dlaczego obserwujesz takie zjawisko?

- Powtarzamy czynności od drugiego punktu dla probówki bez wody.



Obserwacje

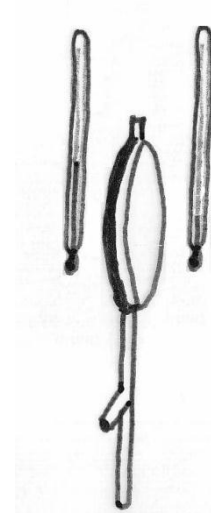
Czy powietrze jest dobrym przewodnikiem ciepła?

Emisja i absorpcja promieniowania

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Aktywnometr (zbiornik z dwiema powierzchniami: gładką wypolerowaną i poczernioną), gorąca woda, zimna woda, świeczka, dwa termometry, źródło ciepła (np. lampka, suszarka), stoper lub zegarek z sekundnikiem.



⚠ Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Jedną z powierzchni aktywnometru okopcamy nad świecą, a następnie nalewamy do środka gorącej wody.
- W jednakowej odległości od aktywnometru, z dwóch jego stron, umieszczamy jednakowe termometry i po pewnym czasie odczytujemy temperaturę, jaką pokazują.

Rodzaj powierzchni aktywnometru	Temperatura, jaką pokazuje termometr (°C)
---------------------------------	---

Powierzchnia gładka, wypolerowana	
Powierzchnia chropowata, poczerniona	

Obserwacje

Która powierzchnia lepiej emituje promieniowanie?

- Do aktynometru nalewamy zimnej wody i odczytujemy jej temperaturę.
- Zbliżamy źródło ciepła od strony chropowatej, poczernionej i notujemy, o ile wzrosła temperatura wody po np. pięciu minutach ogrzewania.
- Ponownie zbliżamy źródło ciepła, na tę samą odległość, teraz od strony gładkiej, wypolerowanej i po takim samym czasie odczytujemy, o ile wzrosła temperatura wody wewnątrz aktynometru.

Rodzaj powierzchni aktynometru	Temperatura początkowa	Temperatura końcowa	Przyrost temperatury
Powierzchnia gładka, wypolerowana			
Powierzchnia chropowata, poczerniona			

Obserwacje

Która powierzchnia lepiej pochłania (absorbuje) promieniowanie?

Sprawdzenie punktów stałych termometru w skali Celsjusza

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Termometr Celsjusza, rurka szklana, napełniona inną cieczą do pewnej wysokości, z której usunięto powietrze - termoskop, lód, woda, zlewka, kolba z korkiem z otworem na termometr i rurkę odprowadzającą parę wodną, źródło ciepła (kuchenka elektryczna lub palnik gazowy).



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zbiorniczek termometru zanurzamy do topniejącego lodu umieszczonego w zlewce i po krótkim czasie odczytujemy wskazania termometru.
- Następnie ten sam termometr umieszczamy tuż nad powierzchnią wrzącej wody znajdującej się w kolbie, umieszczonej na kuchence i ponownie odczytujemy jego wskazania.
- Te same czynności powtarzamy z termoskopem, zaznaczając paskami taśmy lub gumy miejsca zatrzymania się cieczy w lodzie i wrzącej wodzie.

Obserwacje

Porównaj skalę na termometrze i wskazania na termoskopie.

Co otrzymałbyś po podzieleniu odległości pomiędzy paskami na 100 części?

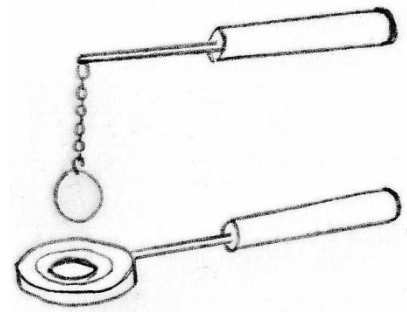
Jak zachowują się ciała stałe przy ogrzewaniu?


Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Metalowa kulka i metalowy pierścień (pierścień Gravesanda), palnik spirytusowy lub świeczka, naczynie z wodą.



 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Sprawdzamy, czy kulka przechodzi swobodnie przez pierścień.
- Ogrzewamy kulkę w płomieniu palnika (świeczki) przez kilka minut.
- Sprawdzamy, czy teraz przechodzi przez pierścień.
- Studzimy kulkę w wodzie i sprawdzamy, czy przechodzi przez pierścień.

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Jakie zjawisko obserwujemy?

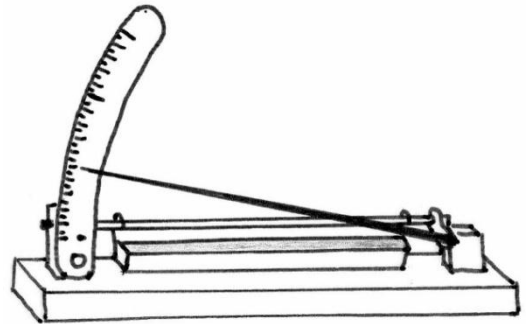
Wyjaśnij to zjawisko w oparciu o budowę materii.

Jak zachowują się metalowe pręty przy ogrzewaniu?

Cel ćwiczenia

.....

.....



Niezbędne przedmioty i materiały

Dylatoskop, pręty metalowe, denaturat, zapałki.

! Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Ciecze łatwopalne, możliwość zapalenia.

Przebieg ćwiczenia

- Badany pręt metalowy wkładamy w uchwyty dylatoskopu i unieruchamiamy za pomocą śruby jeden z jego końców.
- Do znajdującej się pod prętem rynienki nalewamy denaturatu i zapalamy go. Uwaga! Dla pręta aluminiowego nalewamy nieco mniej denaturatu.
- Zapisujemy w tabeli rodzaj pręta i maksymalne wychylenie wskazówki.
- Po pewnym czasie od wygaszenia płomienia zmieniamy pręt (możemy użyć drugiego dylatoskopu z zamocowanym innym prętem).

Pręt	Maksymalne wychylenie wskazówki

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Wyjaśnij zasadę działania dylatoskopu.

Co dzieje się z powietrzem i wodą podczas ogrzewania?

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba z szeroką szyjką (butelka) z korkiem z długą, wąską rurką, zabarwiona np. fluoresceiną woda, naczynie z gorącą wodą.



Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Do połowy wysokości kolby nalewamy zabarwionej cieczy.
- Kolbę zatykamy korkiem z długą, wąską rurką. Rurkę przesuwamy tak, aby jej koniec znajdował się w cieczy, a ciecz znalazła się w rurce.
- Kładziemy dłoń na kolbie, nad powierzchnią cieczy i obserwujemy poziom cieczy w rurce.
- Dolewamy zabarwionej cieczy do kolby tak, aby pod korkiem z rurką nie pozostało powietrze. Możemy użyć tak przygotowanej drugiej kolby.
- Kładziemy dłoń na kolbie z cieczą, a następnie wkładamy kolbę do naczynia z ciepłą wodą. Za każdym razem obserwujemy poziom cieczy w rurce.

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.


Podaj przykłady wykorzystania obserwowanego zjawiska.

Bimetal

Cel ćwiczenia

Niezbędne przedmioty i materiały

Bimetal (stop np. inwaru i mosiądzu) z uchwytem lub taśma bimetalowa, palnik spirytusowy, zapałki.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Ogrzewamy bimetal nad płomieniem palnika lub zapałki i obserwujemy jego zachowanie.

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Czy potrafisz wskazać metal o mniejszej rozszerzalności cieplnej?

Czy woda wrze tylko w temperaturze 100°C?

Cel ćwiczenia

.....

Niezbędne przedmioty i materiały

Pompa próżniowa (mechaniczna, elektryczna, pojemnik próżniowy), zlewka z wodą o temperaturze 70°C-90°C (w zależności od rodzaju użytej pompy próżniowej), termometr.

Przebieg ćwiczenia

- Do zlewki nalewamy wody o określonej wyżej temperaturze.
- Zapisujemy temperaturę zmierzoną przy użyciu termometru.
- Zlewkę z wodą umieszczamy pod kloszem pompy próżniowej.
- Wypompowujemy powietrze spod klosza i obserwujemy wodę w zlewce.
- Następnie otwieramy zawór, zdejmujemy klosz (otwieramy pojemnik) i szybko mierzymy temperaturę wody w zlewce.

Obserwacje

Temperatura wody przed włożeniem jej pod klosz pompy próżniowej

Temperatura wody po wyjęciu jej spod klosza pompy próżniowej

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Dlaczego obserwujemy zmianę temperatury wody?

Jak wyznaczyć wysoką temperaturę?

Cel ćwiczenia

Jednym ze sposobów wyznaczania wysokich temperatur jest metoda kalorymetryczna. Korzystając z zasady zachowania energii możemy wyznaczyć temperaturę palnika gazowego. Nakrętkę z trudno topliwego metalu (np. żelazną), o znanym cieple właściwym, ogrzewamy do badanej temperatury, a następnie wrzucamy do kalorymetru zawierającego znaną, niewielką ilość wody o wyznaczonej temperaturze. Z bilansu energii, w którym po jednej stronie mamy ciepło oddane przez ogrzane ciało, a po drugiej ciepło pobrane przez wodę i kalorymetr, wyznaczamy temperaturę ciała ogrzanego, w chwili wprowadzania go do kalorymetru, a stąd w przybliżeniu temperaturę badaną.

Ciepło oddane przez gorącą nakrętkę o masie m_n , która oziębia się od temperatury t_n do temperatury t_k :

$$Q_{oddane} = c_n \cdot m_n \cdot (t_n - t_k)$$

Ciepło pobrane przez zimną wodę o masie m_2 i kalorymetr o masie m_1 , które ogrzewają się od temperatury t_p do temperatury t_k :


$$Q_{pobrane} = (c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)$$

skąd

$$t_n = \frac{(c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)}{c_n \cdot m_n} + t_k$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Palnik gazowy i spirytusowy, kalorymetr, woda, termometr, metalowy haczyk (uchwyt) z drewnianą rączką, menzurka, waga laboratoryjna lub elektroniczna.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę nakrętki.
- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetrycznego.
- Odmierzamy niewielką ilość wody (np. 50-150 g) i wlewamy do naczynia kalorymetrycznego.
- Po pewnym czasie wyznaczamy temperaturę wody, a tym samym kalorymetru.
- Mały pierścień żelazny (nakrętkę) zawieszamy na haczyku i umieszczamy w płomieniu palnika.
- Trzymamy tam około 10 minut.
- Zbliżamy kalorymetr i szybkim ruchem wrzucamy do niego nakrętkę.
- Mieszamy mieszadłem wodę i mierzymy temperaturę końcową.
- Uzupełnimy tabelę i wyliczymy temperaturę palnika gazowego ze wzoru

$$t_n = \frac{(c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)}{c_n \cdot m_n} + t_k$$

Odczytywane i mierzone wielkości	Palnik spirytusowy	Palnik gazowy
Ciepło właściwe wody (J/kg·°C)	$c_2 = 4190$	$c_2 = 4190$
Ciepło właściwe aluminium (kalorymetr aluminiowy) (J/kg·°C)	$c_1 = 896$	$c_1 = 896$
Ciepło właściwe żelaza (nakrętki) (J/kg·°C)	$c_n = 465$	$c_n = 465$
Masa nakrętki (kg)	$m_n =$	$m_n =$
Masa naczynia kalorymetrycznego (kg)	$m_1 =$	$m_1 =$
Masa wody (kg)	$m_2 =$	$m_2 =$
Temperatura początkowa wody i kalorymetru (°C)	$t_p =$	$t_p =$
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i nakrętki (°C)	$t_k =$	$t_k =$
Temperatura początkowa nakrętki (°C)	$t_n =$	$t_n =$

Obliczenia:

- Dyskutujemy, jakie procesy fizyczne mogły wpłynąć na wynik doświadczenia i jakich założeń dokonujemy wykonując go.

Ciepło topnienia lodu

Cel ćwiczenia

Jeżeli ciało stałe o budowie krystalicznej ogrzewamy, to jego temperatura początkowo wzrasta, aż do temperatury topnienia. Dalsze ogrzewanie ciała nie zmienia jego temperatury, a jedynie powoduje jego stopniowe topnienie. Całe ciepło dostarczane do ciała jest zużywane na zmianę energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania cząsteczek. Ich energia kinetyczna a więc i temperatura, nie zmienia się. Ciepło topnienia informuje nas, jaką ilość ciepła należy dostarczyć ciału o masie jednego kilograma, aby je całkowicie stopić bez zmiany temperatury. Jeżeli całe ciało stałe przejdzie już w stan ciekły, to przy dalszym dostarczaniu ciepła jego temperatura zaczyna wzrastać.

Jeżeli do kalorymetru z wodą o znanej masie m_w i temperaturze początkowej t_p , wrzucimy masę m_l topniejącego lodu (w temperaturze 0°C), lód roztopi się i ustali się temperatura końcowa t_k . Z jednej strony woda i kalorymetr oddają ciepło, z drugiej ciepło to zostaje pobrane najpierw na stopienie lodu, a następnie podgrzanie powstałej z niego wody, aż do ustalonej temperatury końcowej t_k . Możemy więc napisać bilans cieplny:

$$(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) = m_l q_l + m_l c_w (t_k - 0^\circ\text{C}),$$

gdzie m_k i c_k są masą i ciepłem właściwym kalorymetru, a q_l jest ciepłem topnienia lodu.

Ciepło topnienia lodu jest więc równe:

$$q_l = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) - m_l c_w (t_k - 0^\circ\text{C})}{m_l}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Kalorymetr, waga z zestawem odważników lub elektroniczna, termometr laboratoryjny o zakresie temperatur od 0°C (lub niższej) do około 50°C, bibuła lub ręcznik papierowy, zlewka, kilka kawałków lodu, woda.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę środkowego naczynia kalorymetru wraz z mieszadłem. Wynik umieszczamy w tabeli pomiarów.
- Do kalorymetru nalewamy wody (do około $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ wysokości kalorymetru) o temperaturze około 30-35°C.
- Wyznaczamy masę kalorymetru z wodą.
- Naczynie kalorymetru z wodą wkładamy do wnętrza kalorymetru.
- Obliczamy masę wody.
- Lód kruszymy na drobne kawałki, umieszczamy w zlewce i pozostawiamy do czasu, gdy zacznie się topić. Przyjmujemy, że temperatura lodu wynosi wówczas 0°C.
- Wkładamy termometr do wody w kalorymetrze i odczytujemy jej temperaturę (początkową).
- Wyjmujemy lód ze zlewki, osuszamy bibułą i szybko wrzucamy do kalorymetru. Ciepło topnienia lodu jest bardzo duże ($332 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$) więc wprowadzenie do kalorymetru lodu nawet z niewielką ilością wody powoduje duże błędy w bilansie cieplnym.
- Przykrywamy kalorymetr i starannie mieszamy mieszadłem wodę z lodem w kalorymetrze, aż do momentu całkowitego roztopienia się lodu. Co jakiś czas sprawdzamy, czy lód uległ stopieniu. **Staramy się jak najdokładniej uchwycić moment całkowitego roztopienia się lodu.**
- Odczytujemy wskazanie termometru, wyznaczając temperaturę końcową wody i kalorymetru.
- Ponownie ważymy kalorymetr z wodą w celu ustalenia masy wody powstałej z roztopionego lodu, a tym samym masy lodu.
- Pomiary powtarzamy 2-3 krotnie.

- Sporządzamy bilans cieplny i na jego podstawie wyznaczamy ciepło topnienia lodu

$$q_l = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) - m_l c_w(t_k - 0^\circ\text{C})}{m_l},$$

gdzie c_w i c_k oznaczają odpowiednio ciepło właściwe wody oraz ciepło właściwe aluminium, z którego wykonany jest kalorymetr.

Wielkość fizyczna	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
Ciepło właściwe wody c_w (J/kg·°C)	4190		
Ciepło właściwe aluminium c_k (J/kg·°C)	896		
Masa naczynia kalorymetrycznego m_k (kg)			
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą $m_k + m_w$ (kg)			
Masa wody m_w (kg)			
Temperatura początkowa wody i kalorymetru t_p (°C)			
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i wody powstałej z lodu t_k (°C)			
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą oraz wodą powstałą z lodu $m_k + m_w + m_l$ (kg)			
Masa lodu m_l (kg)			
Ciepło topnienia lodu q_l (J/kg)			

- Za niepewność wszystkich wykonywanych w doświadczeniu pomiarów prostych masy i temperatury przyjmujemy niepewność systematyczną pomiaru – wartość działki elementarnej wagi lub najmniejszego odważnika (w zależności od typu stosowanej wagi) oraz wartość działki elementarnej użytego termometru. Ciepło właściwe wody i aluminium przyjmujemy, że znamy dokładnie.
- Obliczamy niepewność maksymalną Δq_l ciepła topnienia lodu metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP).

Obliczenia:

Ciepło właściwe metalu

Cel ćwiczenia

.....

Ciało stałe o znanej masie m i nieznanym cieple właściwym c ogrzewamy we wrzątku do temperatury 100°C , a następnie wrzucamy do zimnej wody o masie m_w i temperaturze początkowej t_p znajdującej się w kalorymetrze o znanej masie m_k i cieple właściwym c_k . Zachodzi wymiana ciepła, w wyniku której ustala się temperatura końcowa t_k kontaktujących się substancji. Jeżeli nie ma strat ciepła na rzecz otoczenia, to spełniona jest zasada bilansu cieplnego. Ciepło oddane przez gorące ciało jest równe ciepłu pobranemu przez wodę i kalorymetr:


$$mc(100^{\circ}\text{C} - t_k) = (m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p),$$

skąd ciepło właściwe badanego ciała:

$$c = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p)}{m(100^{\circ}\text{C} - t_k)}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Niewielki przedmiot metalowy o masie około 100-200 g (np. mosiężny odważnik) na nitce, kalorymetr, cylinder miarowy lub menzurka, naczynie z wodą o objętości około 0,5 litra i grzałka elektryczna lub czajnik elektryczny bez automatycznego wyłącznika, waga laboratoryjna lub elektroniczna, termometr laboratoryjny.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru m_k oraz masę kalorymetru napełnionego zimną wodą (200 ml odmierzymy w cylindrze miarowym) i wyznaczamy masę m_w wody. Uzupełniamy tabelę pomiarów.

- Wyznaczamy masę badanego przedmiotu m (jeśli wykorzystujemy odważnik, przyjmujemy za znaną masę odważnika).
- Wlewamy wodę do kalorymetru i mierzymy temperaturę początkową wody t_p (i kalorymetru).
- Wkładamy metalowy przedmiot do naczynia z wodą, doprowadzamy wodę do wrzenia i czekamy kilka minut. Po tym czasie przyjmujemy, że przedmiot ma temperaturę 100°C .
- Chwytny przedmiot za nitkę i szybkim ruchem przekładamy metalowy przedmiot z wrzątku do kalorymetru.
- Czekamy, aż ustali się temperatura końcowa i odczytujemy ją.

Wielkość fizyczna	Wartość
Ciepło właściwe wody c_w (J/kg \cdot °C)	4190
Ciepło właściwe aluminium c_k (J/kg \cdot °C)	920
Masa naczynia kalorymetrycznego m_k (kg)	
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą m_k+m_w (kg)	
Masa wody m_w (kg)	
Masa przedmiotu m (kg)	
Temperatura początkowa wody i kalorymetru t_p (°C)	
Temperatura początkowa przedmiotu (°C)	
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i przedmiotu t_k (°C)	
Ciepło właściwe badanego ciała c (J/kg \cdot °C)	

- Sporządzamy bilans cieplny $Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$ i wyznaczamy ciepło właściwe badanego ciała:

$$c = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p)}{m(100^\circ\text{C} - t_k)}$$

Obliczenia:

Ciepło właściwe wody

Cel ćwiczenia

Zasada wyznaczenia ciepła właściwego cieczy metodą elektryczną opiera się na procesie zamiany pracy prądu elektrycznego na energię wewnętrzną, zgodnie z prawem Joule'a. Jeżeli spiralę grzejną zanurzymy w badanej cieczy to wydzielone podczas przepływu prądu ciepło Joule'a zostanie przekazane cieczy oraz naczyniu kalorymetrycznemu o pojemności cieplnej $W = m_k c_k$. Zaobserwujemy wzrost temperatury od początkowej t_1 do końcowej t_2 .

Ciepło wydzielone przez przepływający prąd w czasie τ wynosi:

$$Q_1 = U \cdot I \cdot \tau$$

Ciepło pobrane przez wodę i kalorymetr:

$$Q_2 = (m \cdot c_w + W)(t_2 - t_1)$$

gdzie m – masa cieczy, a c_w – ciepło właściwe cieczy.

Na podstawie bilansu cieplnego:


$$(m \cdot c_w + m_k \cdot c_k)(t_2 - t_1) = U \cdot I \cdot \tau$$

otrzymujemy wzór na ciepło właściwe cieczy:

$$c_w = \frac{UI\tau - m_k c_k (t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}$$

Niezbędne przedmioty i materiały

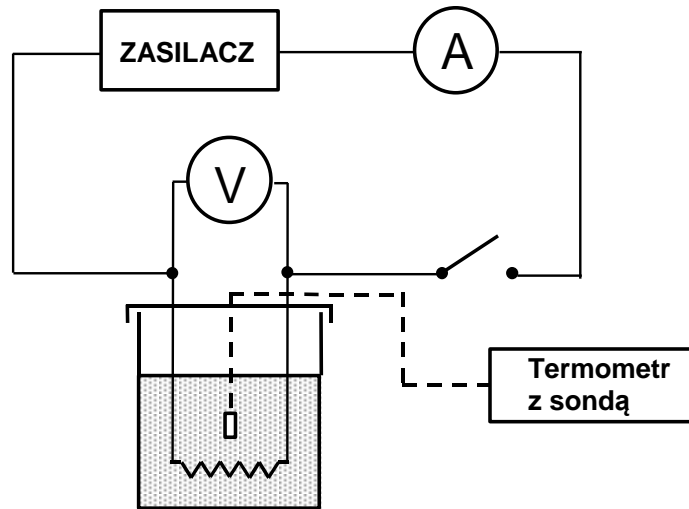
Kalorymetr ze spiralą grzejną, zasilacz, woltomierz, amperomierz, wyłącznik, termometr elektroniczny, waga elektroniczna, woda.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru oraz kalorymetru napełnionego do $\frac{3}{4}$ jego wysokości zimną wodą.

- Łączymy układ wg schematu:



- Włączamy termometr elektroniczny i zanurzamy jego sondę w wodzie w kalorymetrze. Czekamy, aż ustali się temperatura cieczy i zapisujemy jej wartość.
- Włączamy układ, ustalając wartość natężenia prądu na 1A (1,5A, lub 2A) i jednocześnie włączamy stoper.
- Notujemy czas, w jakim nastąpił przyrost temperatury o 10°C.
- Notujemy wartość napięcia na spirali grzejnej oraz natężenia prądu płynącego w obwodzie.
- Uzupełniamy tabelę:

Wielkość fizyczna	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
Masa kalorymetru m_k (kg)			
Masa kalorymetru z wodą $m_k + m$ (kg)			
Masa wody m (kg)			
Temperatura początkowa wody t_1 (°C)			
Temperatura końcowa wody t_2 (°C)			
Przyrost temperatury $t_2 - t_1$ (°C)			
Natężenie prądu I (A)			
Napięcie na spirali grzejnej U (V)			
Czas przepływu prądu τ (s)			
Ciepło właściwe wody $J/kg^\circ C$			

- Opisane czynności powtarzamy 2 ÷ 3 krotnie.
- Sporządzamy bilans cieplny $Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$ i wyliczamy wartość ciepła właściwego wody ze wzoru:

$$c_w = \frac{UI\tau - m_k c_k (t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}$$

- Określamy niepewności wszystkich wykonywanych w doświadczeniu pomiarów prostych przyjmując niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów. Niepewności pomiaru napięcia i natężenia prądu ΔU i ΔI określamy na podstawie zależności

$$\Delta(U, I) = \frac{\textit{klasa miernika} \cdot \textit{zakres}}{100}$$

- Obliczamy niepewność maksymalną Δc_w metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP).

Obliczenia:

Ciepło właściwe wody I

Cel ćwiczenia

Zasada wyznaczenia ciepła właściwego cieczy metodą elektryczną opiera się na procesie zamiany pracy prądu elektrycznego na energię wewnętrzną, zgodnie z prawem Joule'a. Jeżeli spiralę grzejną zanurzymy w badanej cieczy to wydzielone podczas przepływu prądu ciepło Joule'a zostanie przekazane cieczy oraz naczyniu kalorymetrycznemu o pojemności cieplnej $W = m_k c_k$. Zaobserwujemy wzrost temperatury od początkowej t_1 do końcowej t_2 .

Ciepło wydzielone przez przepływający prąd w czasie τ wynosi:

$$Q_1 = I^2 \cdot R \cdot \tau$$

Ciepło pobrane przez wodę i kalorymetr:

$$Q_2 = (m \cdot c_w + W)(t_2 - t_1)$$

gdzie m – masa cieczy, a c_w – ciepło właściwe cieczy.

Na podstawie bilansu cieplnego:


$$(m \cdot c_w + m_k \cdot c_k)(t_2 - t_1) = I^2 \cdot R \cdot \tau$$

otrzymujemy wzór na ciepło właściwe cieczy:

$$c_w = \frac{I^2 \cdot R \cdot \tau - m_k c_k (t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Kalorymetr ze spiralą grzejną, zasilacz, wyłącznik, termometr elektroniczny, waga elektroniczna, woda.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru oraz kalorymetru napełnionego do $\frac{3}{4}$ jego wysokości zimną wodą.

- Podłączamy zasilacz do elektrokolorymetru.
- Wkładamy termometr do kalorymetru. Czekamy, aż ustali się temperatura cieczy i zapisujemy jej wartość.
- Włączamy układ, ustalając wartość natężenia prądu na 1A (1,5A, lub 2A) i jednocześnie włączamy stoper.
- Notujemy czas, w jakim nastąpił przyrost temperatury o 10°C.
- Notujemy wartość natężenia prądu oraz oporu spirali grzejnej w obwodzie.
- Uzupełniamy tabelę:

Wielkość fizyczna	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
Masa kalorymetru m_k (kg)			
Masa kalorymetru z wodą $m_k + m$ (kg)			
Masa wody m (kg)			
Temperatura początkowa wody t_1 (°C)			
Temperatura końcowa wody t_2 (°C)			
Przyrost temperatury $t_2 - t_1$ (°C)			
Natężenie prądu I (A)			
Opór spirali R (Ω)			
Czas przepływu prądu τ (s)			
Ciepło właściwe wody $J/kg^\circ C$			

- Opisane czynności powtarzamy 2 ÷ 3 krotnie.

Obliczenia:

Sprawdzenie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą naczyń połączonych

Cel ćwiczenia

.....

W przemianie izotermicznej niezmiennym się parametrem jest temperatura. Korzystając z równania stanu gazu i uwzględniając, że $T = \text{const}$, otrzymujemy

$$pV = nRT = \text{const.}$$

Wynika stąd wniosek, że w przemianie izotermicznej gazu o stałej masie jego ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości. W tej przemianie średnia energia kinetyczna cząsteczek nie ulega zmianie, a przy zmniejszonej powierzchni ścian naczynia wynikającej ze zmniejszenia objętości, częstość uderzeń cząsteczek przypadająca na jednostkę powierzchni zwiększa się, co skutkuje wzrostem ciśnienia gazu.

Do sprawdzenia prawa Boyle'a-Mariotte'a potrzebujemy napełnionej wodą rurki, zamkniętej z jednej strony strzykawką z powietrzem (lub kapilarą z podziałką). Rurkę wyginamy w kształcie litery U i przesuwając w górę lub w dół strzykawkę lub otwarty koniec rurki, zmieniamy różnicę poziomów wody, a tym samym ciśnienie powietrza wewnątrz strzykawki. Jeżeli proces przeprowadzamy powoli, następuje wyrównanie temperatury powietrza w strzykawce z temperaturą otoczenia. Temperatura powietrza w strzykawce równa temperaturze otoczenia jest w trakcie doświadczenia stała. Gdy poziom wody w otwartym ramieniu rurki jest wyższy niż w strzykawce, ciśnienie p powietrza w strzykawce jest równe $p = p_{atm} + p_h$ (gdzie p_h oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa wody o wysokości h równej różnicy poziomów wody w strzykawce i w otwartym ramieniu rurki), gdy jest odwrotnie, to $p = p_{atm} - p_h$. Przyjmujemy, że jeśli poziom wody w rurce jest powyżej poziomu wody w strzykawce, wartość h jest dodatnia, a w przeciwnym przypadku ujemna i wtedy zależność ciśnienia powietrza w strzykawce od różnicy poziomów cieczy w obu ramionach manometru zapisujemy:

$$p = p_{atm} + \rho g h,$$

gdzie: ρ – gęstość wody, g - wartość przyspieszenia ziemskiego.

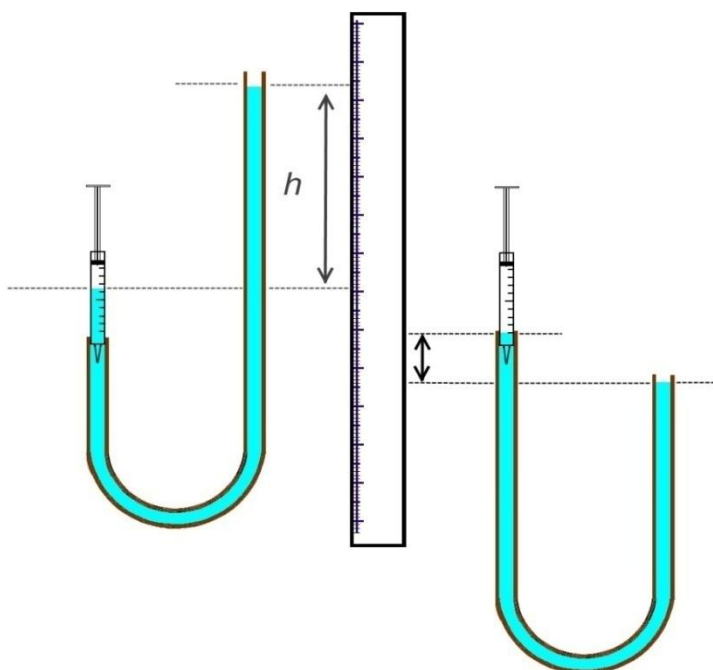
Korzystając z równania stanu gazu, możemy napisać:

$$\frac{nRT}{V} = p_{atm} + \rho gh, \quad \text{a stąd} \quad h = \frac{nRT}{\rho g} \frac{1}{V} - \frac{p_{atm}}{\rho g}.$$

Równanie to jest równaniem liniowym $y = ax + b$, gdzie $y = h$, $x = \frac{1}{V}$, $a = \frac{nRT}{\rho g}$,
 $b = -\frac{p_{atm}}{\rho g}$.

Niezbędne przedmioty i materiały

Wąska rurka z podziałką (kapilara, może być strzykawka o pojemności 1 ml), strzykawka jednorazowa o dużej pojemności (np. 20 ml), przezroczysty, plastikowy wężyk o długości około 2 m i średnicy wewnętrznej 5 mm lub większej tak dobranej, aby można go było szczelnie nałożyć na mniejszą strzykawkę lub jej końcówkę, taśma miernicza o długości 1,5 m (lub przymiar krawiecki), woda.

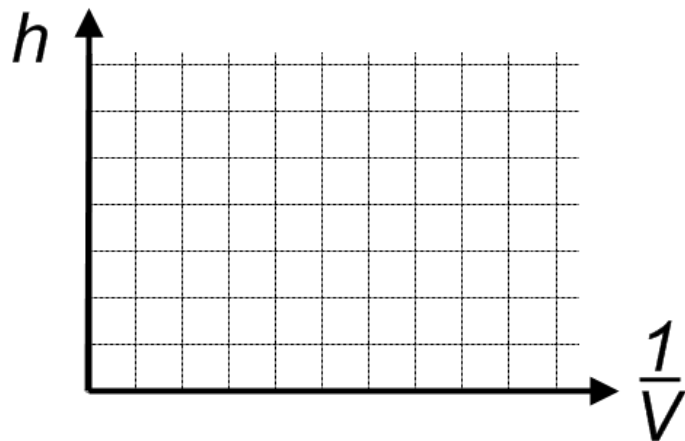


Przebieg ćwiczenia

- Wieszamy na ścianie lub szafie taśmę mierniczą (drewniany przymiar możemy trzymać).
- Dużą jednorazową strzykawką napełniamy wodą plastikowy wężyk (rurkę) tak, aby nie pozostały wewnątrz pęcherzyki powietrza.
- Koniec napełnionego wodą wężyka nakładamy na kapilarę (mniejszą strzykawkę) tak, aby wewnątrz strzykawki pozostało około $0,7 \text{ cm}^3$ powietrza więcej w przypadku kapilary.
- Wężyk wyginamy w kształcie litery U.
- Wykonujemy pomiar objętości V powietrza w strzykawce dla różnych wartości h równej różnicy poziomów wody w strzykawce i w otwartym ramieniu rurki. Różnicę wysokości h wyznaczamy za pomocą przymiaru. Objętość V powietrza w strzykawce wyznaczamy wykorzystując skalę kapilary (strzykawki).
- Określamy niepewności pomiarowe, obliczamy wartości $\frac{1}{V}$ wraz z niepewnościami (np. metodą NKP). Wyniki zapisujemy w tabeli.

$h \text{ (cm)}$	$\Delta h \text{ (cm)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$\Delta V \text{ (cm}^3\text{)}$	$\frac{1}{V} \left(\frac{1}{\text{cm}^3} \right)$	$\Delta \left(\frac{1}{V} \right) \left(\frac{1}{\text{cm}^3} \right)$

- Wyniki przedstawiamy na wykresie $h \left(\frac{1}{V} \right)$.



- Do punktów pomiarowych dopasowujemy graficznie prostą $y = ax + b$.
- Sprawdzamy, czy otrzymana prosta dobrze opisuje (w ramach niepewności pomiarowych) punkty pomiarowe, a zatem, czy badaną przemianę opisuje prawo Boyle'a-Mariotte'a $p(V) = \frac{\text{const}}{V}$.
- Analizujemy zjawiska fizyczne, które zachodzą podczas wykonywania eksperymentu oraz założenia, których dokonano.

Sprawdzenie prawa Boyle'a-Mariotte'a

Cel ćwiczenia

.....

W przemianie izotermicznej niezmiennym się parametrem jest temperatura. Korzystając z równania stanu gazu i uwzględniając, że $T = \text{const}$, otrzymujemy

$$pV = nRT = \text{const.}$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do sprawdzania prawa Boyle'a-Mariotte'a.

Przyrząd składa się z manometru i strzykawki połączonych szczelnie krótkim wężykiem i osadzonych na wspólnej podstawie.

Uwaga!

Należy pamiętać, że manometr wyskalowany jest względem ciśnienia próżni równego 0 bar. Ponieważ powietrze w strzykawce i wężyku jest ciśnieniem atmosferycznym, wskazanie „0” na manometrze będzie odpowiadało w rzeczywistości ciśnieniu atmosferycznemu równemu w przybliżeniu 1 bar. W związku z tym każdy wynik odczytany z tarczy manometru należy powiększyć o 1.

Aby uzyskać satysfakcjonującą weryfikację prawa, przy pomiarze objętości należy uwzględnić objętość resztkową w strzykawce, wężyku połączeniowym i wewnątrz manometru. Objętość ta zależy od długości odcinka łączącego. Jego wartość wynosi ok. 10ml. Wystarczy wówczas skorygować o tę wartość wskazanie odczytane z podziałki strzykawki, aby bezpośrednio odczytać wartość objętości uwięzionego gazu. Pomocne może być również naniesienie (przyklejenie) nowej skali.

Przebieg ćwiczenia

- Odczytujemy ciśnienie bezpośrednio ze skali manometru, a objętość gazu z podziałki strzykawki, natomiast temperaturę mierzymy termometrem.

- Odnotowujemy wartości początkowe (wskaźnik „i”): p_i oraz V_i
- Obliczamy liczbę moli „n” zawartych w strzykawce ze wzoru:

$$n = \frac{V_0}{22400},$$

(V_0 w ml) przy:

$$V_0 = \frac{V_i \cdot p_i \cdot T_0}{p_0 \cdot T_i}$$

Przy czym $T_0 = 273\text{K}$ (0°C) i $p_0 = p_i = 1 \text{ bar}$

- Mierzmy wielkości p i V oraz uzupełniamy tabelę:

p (bar)	p (hPa)	V (ml)

- Wykreślamy krzywą $p=f(V)$. Na tej podstawie możemy wyznaczyć współczynnik ściśliwości izotermicznej $(-\frac{1}{V}(\frac{V}{p})_T)$ w poszczególnych jej punktach.

Jeśli przyjmimy M' i M'' , dwa punkty leżące na stycznej w M izotermy, wówczas mamy:

$$-\frac{1}{V}(\frac{V' - V''}{p' - p''}) \text{ w bar}^{-1}$$

- Na podstawie zebranych wyników uzupełniamy nową tabelę :

p (bar)	p (hPa)	V (ml)	V^{-1}	pV

--	--	--	--	--

- Rysujemy wykres $p=f(V^{-1})$
- Nachylenie prostej pozwala odnaleźć wartość R – stałej gazów doskonałych. Może to posłużyć do sprawdzenia dokładności, z jaką przeprowadzono doświadczenia, wiedząc że stała ta wynosi:

$$R=8,31 \frac{J}{K \cdot mol}$$

- Rysujemy wykres $pV=f(p)$, który pozwala poznać odstępstwo badanego gazu od gazu doskonałego.

Sprawdzenie prawa Gay-Lussaca

Cel ćwiczenia

.....

W przemianie izobarycznej stałe pozostaje jego ciśnienie. Z równania stanu gazu wynika, że:

$$\frac{V}{T} = \frac{n \cdot R}{p} = \text{const},$$

skąd wniosek, że w izobarycznej przemianie gazu o stałej masie objętość zajmowana przez gaz jest wprost proporcjonalna do jego temperatury bezwzględnej. Wzrost temperatury gazu powoduje wzrost średniej energii kinetycznej jego cząsteczek. Ciśnienie pozostaje stałe, bo wzrost siły, którą cząsteczki działają na ścianki naczynia, rekompensowany jest wzrostem odległości między nimi, co powoduje zmniejszenie częstości uderzeń.

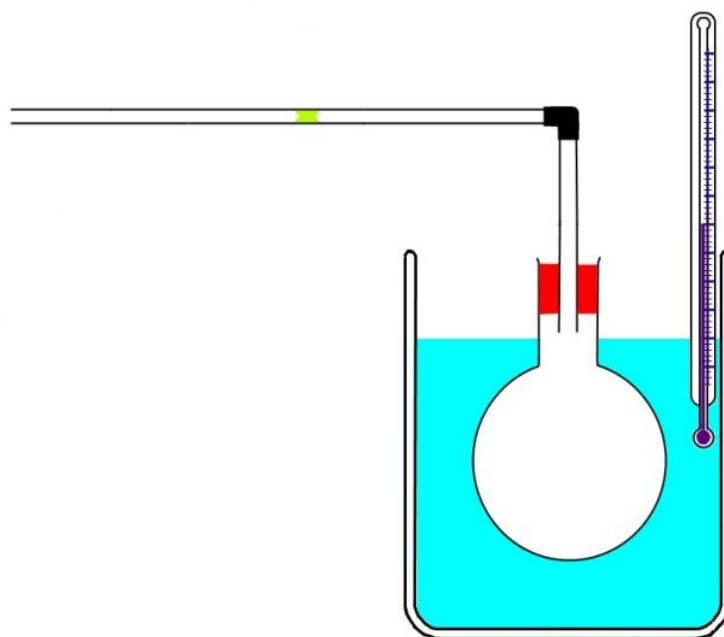
Prawo Gay-Lussaca sprawdzamy wykorzystując kolbę szklaną, zanurzoną w kąpeli wodnej, połączoną z wąską rurką szklaną w kształcie litery L. Do poziomego ramienia szklanej rurki wprowadzamy kroplę zabarwionej wody, zamykając w ten sposób powietrze w kolbie. Ciśnienie powietrza zamkniętego w rurce równe jest ciśnieniu atmosferycznemu i zakładamy, że pozostaje stałe w trakcie przeprowadzanego doświadczenia. Stopniowo podgrzewamy powietrze w kolbie. Określamy jego temperaturę i równocześnie położenie kropli zamykającej powietrze, a tym samym zmianę jego objętości.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba szklana, gumowy korek z otworem na szklaną rurkę, szklana rurka w kształcie litery L lub dwie rurki szklane połączone wężykiem silikonowym, naczynie z wodą, termometr, mieszadełko, suwmiarka, zabarwiona woda, strzykawka z długą rurką do wprowadzenia zabarwionej kropli, źródło ciepła np. palnik spirytusowy, mazak, linijka.



Wysoka temperatura - możliwość oparzenia.

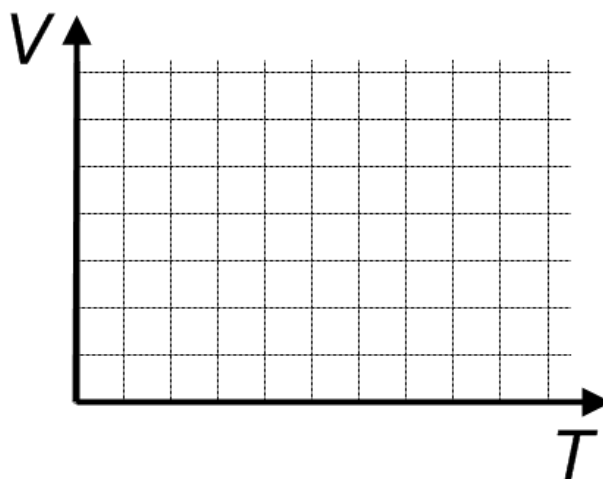


Przebieg ćwiczenia

- Kolbę szklaną zamykamy gumowym korkiem z otworem, przez który wprowadzamy do kolby wąską rurkę szklaną w kształcie litery L.
- Za pomocą suwmiarki mierzymy wewnętrzną średnicę szklanej rurki d i wyrażamy ją w cm.
- Obliczamy pole przekroju poprzecznego rurki $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, wyrażając wynik w cm^2 .
- Kolbę wstawiamy do naczynia z wodą, w której umieszczamy termometr i mieszadełko.
- Naczynie z wodą stawiamy na kuchence gazowej.
- Do poziomej rurki, za pomocą strzykawki z długą rurką, wprowadzamy kroplę zabarwionej wody, tak żeby zamknęła ona powietrze w kolbie i w rurce, w odległości około 20 cm od końca.
- Zaznaczamy mazakiem położenie kropli i odcytujemy temperaturę wody (powietrza zamkniętego w naczyniu).
- Zapalamy gaz i podgrzewamy powoli wodę w naczyniu, ciągle ją mieszając. Co dwa stopnie zaznaczamy położenie kropli.
- Wpisujemy do tabeli temperaturę t ($^{\circ}\text{C}$) i odpowiadające jej położenie kropli x (w cm), odczytane z użyciem linijki. Następnie przedstawiamy temperaturę w skali bezwzględnej w kelwinach.

Temperatura t ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura T (K)	Zmiana temperatury ΔT (K)	Położenie kropli x (cm)	Zmiana położenia kropli Δx (cm)	Zmiana objętości $\Delta x \cdot S$ (cm^3)

- Obliczamy zmianę objętości w cm^3 .
- Sporządzamy wykres $V(T)$. Wykonanie wykresu rozpoczynamy od naniesienia punktu o współrzędnych odpowiadających temperaturze początkowej powietrza i jego objętości początkowej (przy czym za objętość początkową możemy przyjąć objętość kolby z powietrzem (cm^3) lub nie określać jej wartości, traktując ją jako wielkość umowną, względem której obliczać będziemy objętość gazu zamkniętego w naczyniu).



- Określamy niepewności pomiarowe wyznaczanych wielkości, analizujemy zjawiska fizyczne, które zachodzą podczas wykonywania ćwiczenia.

Sprawdzenie prawa Charlesa

Cel ćwiczenia

.....

W przemianie izochorycznej, dla stałej masy gazu, stała pozostaje jego objętość, a ciśnienie

i temperatura ulegają zmianie. W tym przypadku równanie stanu gazu doskonałego wygląda następująco:

$$\frac{p}{T} = \frac{nR}{V} = \text{const}$$

Wynika stąd, że ciśnienie gazu jest wprost proporcjonalne do jego temperatury bezwzględnej. Jeśli zwiększymy temperaturę gazu, to zwiększy się średnia energia kinetyczna jego cząsteczek i ich średnia szybkość. Wzrośnie więc siła, którą cząsteczki gazu działają na ścianki naczynia podczas uderzeń, a więc i ciśnienie gazu.

Prawo Charlesa sprawdzamy wykorzystując dużą kolbę szklaną, zanurzoną w kąpielii wodnej, połączoną z manometrem. Początkowo doprowadzamy do stanu, w którym ciśnienie

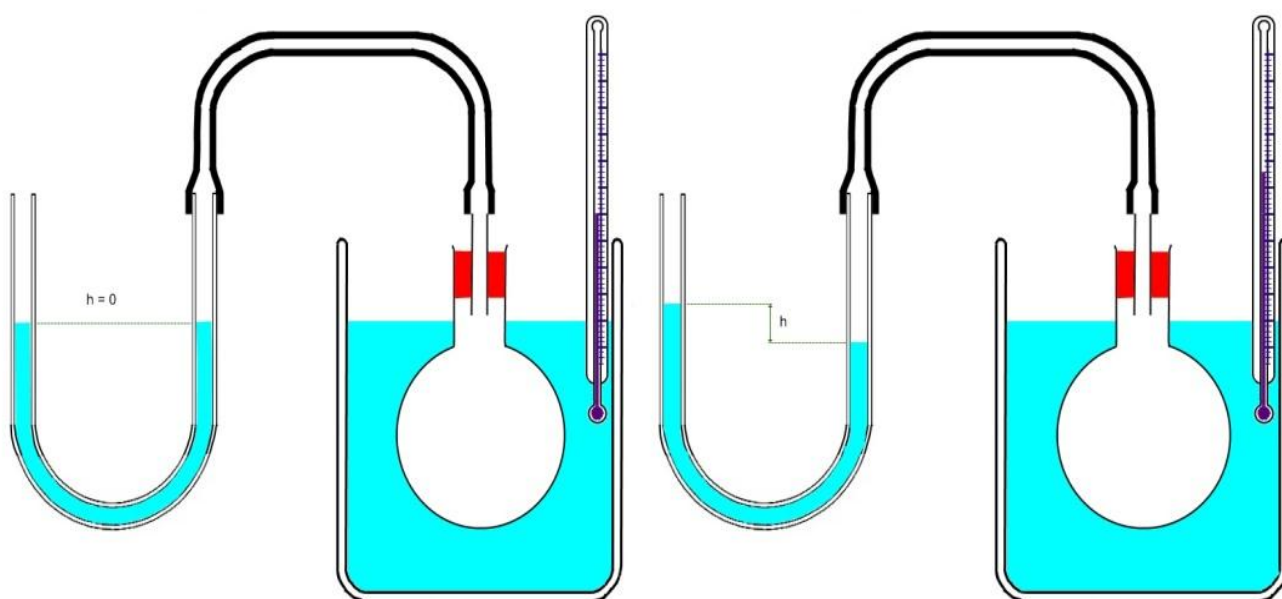
p wewnątrz kolby jest równe ciśnieniu atmosferycznemu p_{atm} . Ogrzanie wody w naczyniu powoduje wzrost temperatury t powietrza w kolbie, a w konsekwencji wzrost panującego

w cieczy ciśnienia p . Prowadzi to do powstania różnicy poziomów cieczy w ramionach manometru. Panujące w kolbie ciśnienie wzrasta do wartości $p = p_{atm} + p_h$, gdzie p_h oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy o wysokości h . Ze względu na mały przekrój użytej rurki, występująca przy zmianie poziomu cieczy w manometrze zmiana objętości powietrza jest pomijalnie mała w porównaniu z objętością zastosowanej kolby. Przyjmujemy więc, że objętość powietrza jest podczas doświadczenia stała, a przemiana gazu jest przemianą izochoryczną.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba szklana o pojemności około dwóch litrów z korkiem z przechodzącą przez niego krótką, szklaną rurką, wężyk gumowy lub plastikowy, duże naczynie, w którym swobodnie mieści się kolba, rurka szklana wygięta w kształcie litery U o długości ramion ok. 30 cm lub dłuższych (lub dwie rurki szklane połączone wężykiem silikonowym) i średnicy do 5 mm, podstawa do u-rurki lub statyw, ciężki statyw, zabarwiona woda lub inna ciecz o znanej gęstości, woda, barometr, termometr laboratoryjny, kuchenka elektryczna (palnik gazowy lub ciepła woda), linijka, mieszadełko, strzykawka z igłą.

 Wysoka temperatura - możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

- Do dużego naczynia nalewamy wody o temperaturze pokojowej.
- Do u-rurki przymocowanej do podstawki lub w statywie, która będzie pełniła rolę manometru, nalewamy zabarwionej wody lub innej cieczy do połowy jej wysokości.
- Kolbę zatykamy korkiem z rurką, mocujemy na ciężkim statywie i zanurzamy całą bańkę kolby w wodzie w dużym naczyniu. Statyw musi być ciężki, aby utrzymać w zanurzeniu kolbę, na którą działa siła wyporu.
- W wodzie umieszczamy termometr.
- Łączymy manometr z rurką wychodzącą z korka kolby za pomocą wężyka i doprowadzamy do stanu, w którym ciecz w obu ramionach manometru znajduje

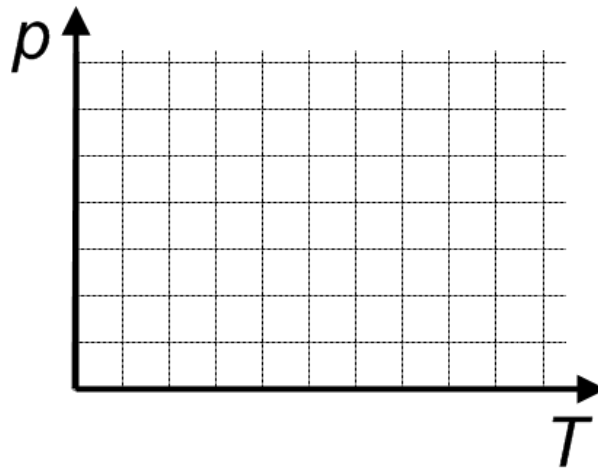
się na tym samym poziomie (np. poprzez zmianę ilości cieczy w manometrze lub za pomocą igły ze strzykawką umieszczonej w korku). Oznacza to, że ciśnienie p wewnątrz kolby równe jest ciśnieniu atmosferycznemu p_{atm} .

- Odczytujemy wartość ciśnienia atmosferycznego p_{atm} na barometrze.
- Odczytujemy temperaturę powietrza t w kolbie, równą temperaturze wody w naczyniu.
- Wartości t , h , $p = p_{atm}$ wpisujemy do tabeli obserwacji.

Temperatura t (°C)	Temperatura T (K)	Różnica poziomów h (cm)	Różnica poziomów h (m)	Ciśnienie powietrza w kolbie $p = p_{atm} + p_h$ (Pa)

- Zwiększamy temperaturę wody w naczyniu o około 1°C podgrzewając naczynie lub dolewając ciepłej wody. Mieszymy wodę w naczyniu i odczekujemy, aż temperatury wody w naczyniu i powietrza w kolbie wyrównają się. Oznacza to ustalenie się stabilnej różnicy poziomów cieczy h w ramionach manometru.
- Zapisujemy w tabeli temperaturę t i wartość h różnicy poziomów odczytaną z użyciem linijki.
- Pomiar różnicy h poziomów cieczy w ramionach manometru powtarzamy dla kolejno zwiększanej o około 1°C temperatury cieczy w naczyniu (powietrza w kolbie) i wyniki notujemy w tabeli. Pomiar prowadzimy do momentu wykorzystania pełnego zakresu manometru.
- Temperatura t (°C) zmierzona w skali Celsjusza, przedstawiamy w skali bezwzględnej w kelwinach T (K).

- Obliczamy ciśnienie $p = p_{atm} + p_h$ powietrza w kolbie, gdzie $p_h = \rho gh$ oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy o gęstości ρ i wysokości h . Wyniki umieszczamy w tabeli.
- Określamy niepewności pomiarowe Δt i Δh oraz obliczamy niepewność Δp .
- Otrzymane wartości wraz z prostokątami niepewności przedstawiamy w układzie T, p .



- Dopasowujemy do otrzymanych punktów pomiarowych prostą (metodą graficzną) i sprawdzamy, czy zgodnie z prawem Charlesa ciśnienie w przemianie izochorycznej jest proporcjonalne do temperatury gazu $p(T) = const \cdot T$. Czy prosta dobrze opisuje (w ramach niepewności pomiarowych) punkty pomiarowe?
- Analizujemy zjawiska fizyczne, zachodzące podczas wykonywania doświadczenia i znajdujemy czynniki, które mogą być przyczyną błędu systematycznego.

Współczynnik rozszerzalności liniowej metali

Cel ćwiczenia

.....

Zmianę objętości ciał pod wpływem zmian temperatury nazywamy rozszerzalnością temperaturową ciał. Zjawisko to związane jest z ich budową kinetyczno – molekularną. Zmianę liniowych wymiarów ciała stałego, takich jak długość, szerokość czy wysokość, nazywamy rozszerzalnością liniową.

Jeśli l_0 oznacza długość ciała w temperaturze t_0 , a l_t to jego długość w temperaturze t_t , to dla przyrostu temperatury $\Delta t = t_t - t_0$, przyrost długości $\Delta l = l_t - l_0$, możemy wyrazić zależnością:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$$


gdzie:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

nazywamy średnim współczynnikiem rozszerzalności liniowej w zakresie temperatur od t_0 do t_t . Podkreślenie badanego zakresu temperatur jest konieczne z powodu zależności współczynnika rozszerzalności liniowej od temperatury.

Niezbędne przedmioty i materiały

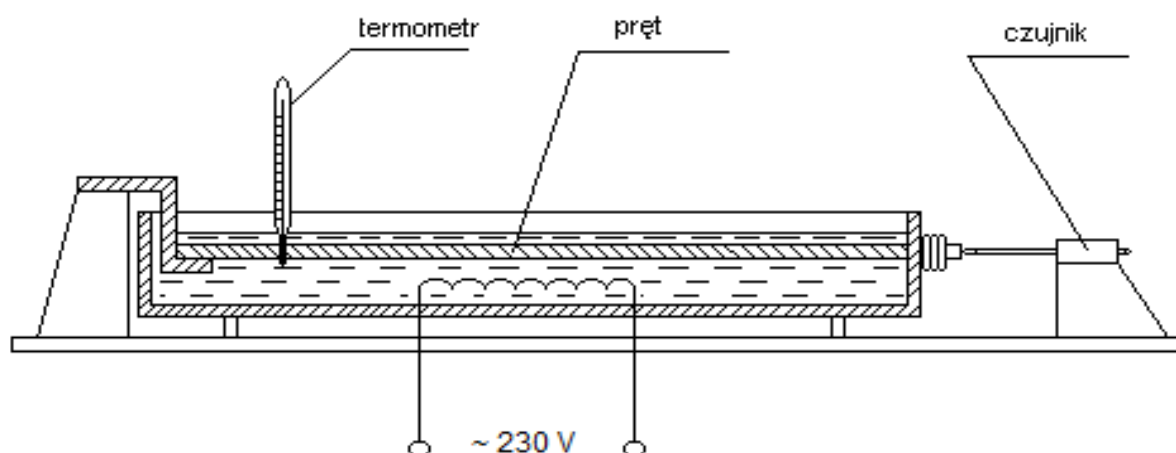
Przyrząd do badania współczynnika rozszerzalności liniowej w kąpielu wodnej, czujnik mechaniczny, termometr o zakresie do 100°C, przymiar metrowy, metalowe pręty, woda.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Mierzmy długość badanego pręta i wpisujemy do tabeli.
- Mocujemy pręt w piecu elektrycznym.

- Do rynienki pieca nalewamy tyle wody, aby pręt był całkowicie zanurzony.
- Wkładamy termometr w uchwyt w rynience.
- Odczytujemy temperaturę początkową wody i notujemy w tabeli.
- Sprawdzamy, czy wskazówka czujnika ustawiona jest na zerze, a układ pomiarowy wygląda według schematu:



- Włączamy piecyk do sieci i ogrzewamy wodę do temperatury ok. 70°C.
- Przy każdym wzroście temperatury o 5°C notujemy wskazania czujnika i uzupełniamy tabelę.

Nazwa materiału	Długość początk. l_0	Wskazanie czujnika		Przyrost długości	Temperatura		Przyrost temperatury	Średni współczynnik rozszerzalności
		przed ogrzaniem	po ogrzaniu		początkowa	po ogrzaniu		
Aluminium								
Mosiądz								
Miedź								

- Ostrożnie wylewamy gorącą wodę i ochładzamy wanienkę i pręt zimną wodą.
- Dla pozostałych prętów postępujemy identycznie, a uzyskane wyniki zapisujemy w tabeli.
- Dla każdego z prętów, dla kilku zakresów temperatur, wyliczamy średni współczynnik rozszerzalności liniowej ze wzoru:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

- Określamy niepewności wyznaczenia długości pręta i temperatury (przyjmujemy niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów).
- Sporządzamy wykres zależności długości pręta (lub przyrostów długości) od temperatury wraz z prostokątami niepewności.
- Na podstawie sporządzonych wykresów określamy, jaki jest charakter badanej rozszerzalności liniowej.

NOTATKI

