

Pracownia dydaktyki fizyki

T e r m o d y n a m i k a

Instrukcja dla studentów

Tematy ćwiczeń:

I. Pokazy:

Zjawisko menisku, włoskowatości, napięcia powierzchniowego.
Zjawisko konwekcji, rozszerzalności cieczy, ciał stałych, gazów.
Zjawisko przewodnictwa cieplnego ciał
Zjawisko ruchów Browna

II. Doświadczenia kalorymetryczne

Doświadczenie 1. Wyznaczanie ciepła właściwego wybranej substancji (stali, aluminium)
Doświadczenie 2. Wyznaczanie ciepła właściwego wody
Doświadczenie 3. Wyznaczanie ciepła parowania wody
Doświadczenie 4. Badanie stałości temperatury przejść fazowych- wrzenia i topnienia przy stałym ciśnieniu

III. Hydrostatyka

Doświadczenie 5. Wyznaczenie gęstości wybranych ciał stałych o regularnym i nieregularnym kształcie.
Doświadczenie 6. Badanie siły wyporu

IV. Przemiany gazowe

Doświadczenie 7. Przemiana izobaryczna
Doświadczenie 8. Przemiana izotermiczna

II. Doświadczenia kalorymetryczne

Doświadczenie 1. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych (stali, aluminium, ołowiu)

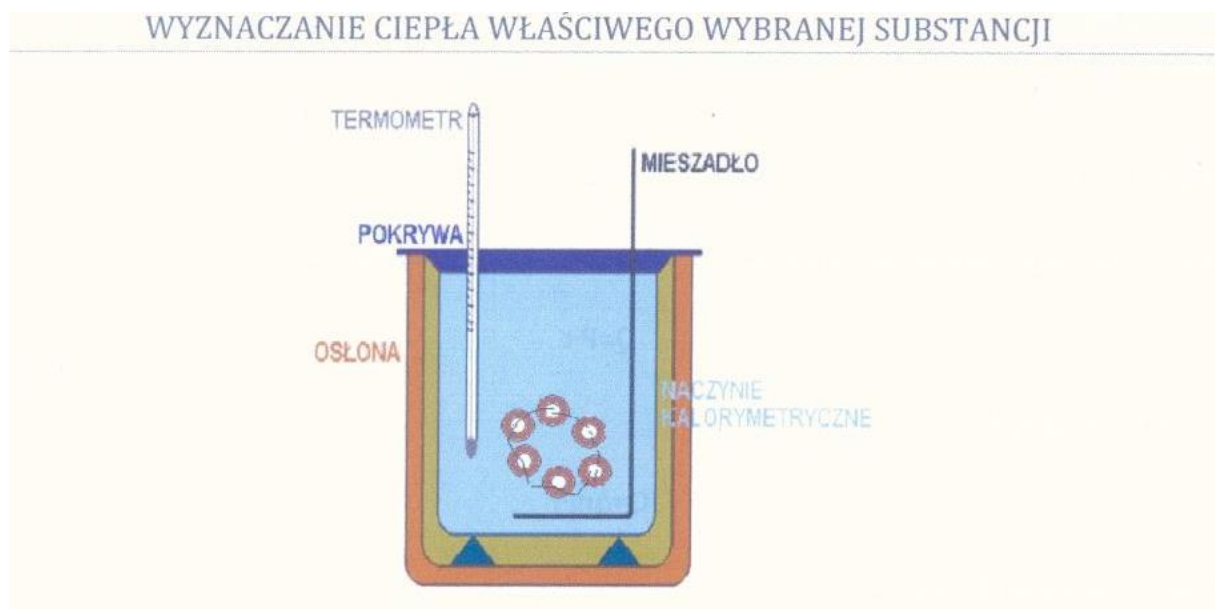
Celem doświadczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego wybranej substancji z bilansu cieplnego ułożonego dla wymiany energii pomiędzy tym ciałem ogrzanym do temperatury wrzenia, a kalorymetrem napełnionym wodą o niższej temperaturze.

Ciepłem właściwym nazywamy ilość energii potrzebną do zmiany temperatury 1 kilograma substancji o 1 kelwin

$$c_w = J / \text{kg K}$$

Energią wewnętrzną nazywamy wielkość charakteryzującą stan ciała lub układu ciał, która jest równa sumie wszystkich rodzajów energii cząstek i atomów tworzących ten układ.

Przyrządy: kalorymetr, śrut ołowiany, nity aluminiowe lub stalowe nakrętki, waga, termometr, grzałka, naczynie z wodą



rys. 1 Schemat aparatury do wyznaczenia ciepła właściwego substancji

Przebieg doświadczenia:

- Wyznaczyć za pomocą wagi masę badanego ciała: nitów aluminiowych, śrutu ołowianego lub stalowych nakrętek.
- Wyznaczyć masę pustego kalorymetru (jego wewnętrznej części) oraz kalorymetru napełnionego do połowy wodą, wyznaczyć masę kalorymetru oraz wody.
- Do naczynia z wodą wrzucić badane ciało i podgrzewać w temperaturze wrzenia wody przez 5 minut.
- Zmierzyć temperaturę wody oraz kalorymetru t_p tuż przed wrzuceniem ogrzanych do temperatury wrzenia stalowych nakrętek (lub innego ciała).
- Temperatura wody w kalorymetrze będzie równa temperaturze kalorymetru, jeśli pomiaru dokonamy po kilku minutach (8-10) od wiania wody do kalorymetru.
- Wrzucić ogrzane ciało do wody w kalorymetrze i dokonać pomiaru temperatury po około 2 minutach.

- Sporządzić bilans cieplny dla wymiany energii pomiędzy rozgrzaniem ciałem a kalorymetrem wypełnionym wodą.

Tabela pomiarów:

Masa badanego ciała m_x	Masa kalorymetru m_k	Masa wody m_w	Temperatura początkowa t_p	Temperatura końcowa t_k	Ciepło właściwe wody c_w	Ciepło właściwe kalorymetru c_{Al}	C_x

Ilość energii oddana przez rozgrzane badane ciało o masie m_x o temperaturze t_{100} , ochłodzone od temperatury końcowej t_k jest równa $Q_1 = m_x \cdot c_x \cdot (t_{100} - t_k)$

Energia pobierana przez wodę jest równa: $Q_2 = m_w \cdot c_w \cdot (t_k - t_p)$

Energia pobierana przez kalorymetr jest równa $Q_3 = m_k \cdot c_k \cdot (t_k - t_p)$

zatem

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$m_x \cdot c_x \cdot (t_{100} - t_k) = m_k \cdot c_k \cdot (t_k - t_p) + m_w \cdot c_w \cdot (t_k - t_p)$$

stąd szukane ciepło właściwe c_x jest równe:

$$c_x = (m_k \cdot c_k + m_w \cdot c_w) (t_k - t_p) / m_x (t_{100} - t_k)$$

gdzie:

m_x – masa badanego ciała

m_w – masa wody w kalorymetrze

m_k – masa kalorymetru

t_k – temperatura końcowa wody, kalorymetru oraz badanego ciała

t_p – temperatura początkowa wody i kalorymetru

c_x – ciepło właściwe badanej substancji

c_k – ciepło właściwe substancji z której wykonany jest kalorymetr (z aluminium)

c_w – ciepło właściwe wody

Odszukać w tablicach fizycznych wartość ciepła właściwego dla badanej substancji, obliczyć błąd bezwzględny, względny oraz procentowy.

Doświadczenie 2. Wyznaczanie ciepła właściwego wody

Celem doświadczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego wody z wykorzystaniem prostych przyrządów.

Przyrządy: termometr, waga, stoper, grzałka o znanej mocy, naczynie z izolowanymi termicznie ściankami.

Przebieg doświadczenia:

- Wyznacz masę pustego naczynia
- Wyznacz masę naczynia z wodą i oblicz masę wody ... m
- Ogrzewaj wodę grzałką do temperatury 90°C
- Wykonuj pomiary temperatury co 10 sekund.
- Wykonaj wykres zależności temperatury od dostarczonego ciepła.
- Wyznacz tangens kąta nachylenia uzyskanej prostej.

Tabela pomiarów

Temperatura T							
Czas τ							

Ciepło pobrane przez wodę $Q = mc_w \Delta T$

Ciepło dostarczone przez grzałkę $Q = P\tau$

$$mc_w \Delta T = P\tau$$

$$c_w = \frac{P \tau \operatorname{tg} \alpha}{m}$$

Doświadczenie 3. Wyznaczanie ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia

Celem doświadczenia jest wyznaczenie ciepła parowania wody poprzez doprowadzenie jej do wrzenia za pomocą grzałki o znanej mocy.

Ciepło parowania c_p jest to ilość energii, która musi być doprowadzona do cieczy, aby jeden kilogram przeszedł w stan pary (w stałej temperaturze)

Przyrządy: wysoka, wąska zlewka z wodą, grzałka, waga laboratoryjna, minutnik

Przebieg doświadczenia:

- Wysoką zlewkę odizolować od otoczenia owijając ją rulonem z waty lub umieszczając w pojemniku ze styropianu.
- Wlać wodę do wysokiej zlewki i zważyć zlewkę z wodą.
- Doprowadź do wrzenia wodę za pomocą grzałki o znanej mocy w czasie $t = 5$ minut.
- Ponownie zważyć zlewkę z wodą.

Tabela pomiarów:

<i>masa zlewki z wodą</i> m_1 [kg]	<i>masa zlewki z wodą po odparowaniu</i> m_2 [kg]	<i>masa pary</i> $\Delta m = m_1 - m_2$ [kg]	<i>moc grzałki</i> P [W]	<i>czas wrzenia</i> t [s]

Sporządź bilans cieplny związany z wymianą energii podczas wrzenia wody.

Energia wydzielona przez grzałkę

$$Q = P t, \text{ a}$$
$$Q = c_p m$$

gdzie P oznacza moc grzałki, a c_p ciepło parowania w temperaturze wrzenia,

stąd

$$c_p = P t / \Delta m$$

Porównać otrzymaną wartość z wartością w tablicach fizycznych, obliczyć błąd bezwzględny, względny i procentowy.

Doświadczenie 4. Badanie stałości temperatury przejść fazowych – wrzenia i topnienia przy stałym ciśnieniu.

Celem doświadczenia jest prześledzenie temperatury wrzenia wody i temperatury topnienia lodu.

Przyrządy: Termometr, izolowane naczynie, woda, grzałka, skruszony lód, zegar.

Przebieg doświadczenia:

Zbadaj zależność temperatury przejścia fazowego w funkcji czasu, dokonując pomiarów temperatury co 2 minuty przez 10 minut

III. Hydrostatyka

Doświadczenie 5. Wyznaczenie gęstości wybranych ciał stałych o regularnych i nieregularnych kształtach

Celem części 1 doświadczenia jest wyznaczenie gęstości substancji, z których wykonane są bryły o regularnych kształtach

Przyrządy : waga laboratoryjna, suwmiarka, klocek drewniany i metalowy, menzurka, kulka plasteliny

Przebieg doświadczenia:

- Przygotować wagę laboratoryjną do pomiaru.
- Wyznaczyć masę klocka drewnianego oraz masę klocka metalowego.
- Za pomocą suwmiarki wyznaczyć długość, szerokość oraz wysokość klocków w celu obliczenia objętości klocków.

Tabela pomiarów:
dla klocka drewnianego:

Długość cm	Szerokość cm	Wysokość cm	Objętość V cm ³	Masa m [g]	Gęstość $\rho = m/V$

dla klocka metalowego:

Długość cm	Szerokość cm	Wysokość cm	Objętość V cm ³	Masa m [g]	Gęstość $\rho = m/V$

Celem części 2 doświadczenia jest wyznaczenie gęstości substancji, z której wykonana jest bryła o nieregularnym kształcie np. kulki plasteliny.

Przebieg doświadczenia:

- Wyznaczyć masę bryłki plasteliny.
- Zanurzyć bryłkę plasteliny w menzurce z wodą odczytując wysokość słupa wody przed i po zanurzeniu.
- Obliczyć objętość bryłki plasteliny.

Tabela pomiarów:

Wysokość słupa wody przed zanurzeniem plasteliny	Wysokość słupa wody po zanurzeniu plasteliny	Objętość bryłki plasteliny V [cm ³]	Masa bryłki plasteliny [g]	Gęstość $\rho = m/V$

Pomiary należy wykonać dla kilku bryłek. Można również wykonać pomiary dla innych przedmiotów o nieregularnym kształcie i do tego niejednorodnych.

Doświadczenie 9. Badanie siły wyporu

Celem doświadczenia jest ustalenie zależności pomiędzy siłą wyporu a objętością zanurzonej w cieczy części ciała o regularnym kształcie- np. sześcianu lub prostopadłościanu.

Przyrządy: siłomierz o zakresie do 5N, zlewka z wodą, plastelina.

Przebieg doświadczenia:

Z plasteliny należy ukształtować prostopadłościan o polu podstawy kwadratu i o wysokości 10 cm. Zawiesić go na nitce i mierzyć siłomierzem ciężar

Tabela pomiarów:

Ciężar przedmiotu w powietrzu Q	Ciężar przedmiotu w wodzie F $F=Q- W$	Siła wyporu W	Objętość przedmiotu zanurzonej części

Ustalić zależność pomiędzy siłą wyporu a objętością zanurzonej części prostopadłościanu. Pokazać zależność siły wyporu od gęstości cieczy dokonując pomiarów w wodzie dobrze osolonej i w denaturacie.

IV. Przemiany gazowe

Doświadczenie 8. Badanie przemiany izobarycznej gazu

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności objętości stałej masy gazu od temperatury w przemianie izobarycznej.

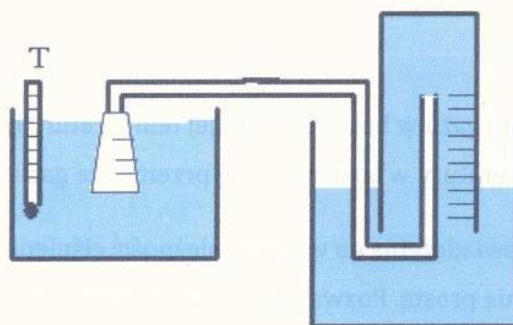
Przemiana izobaryczna to taki proces w którym pod stałym ciśnieniem wraz ze zmianą temperatury zmienia się objętość gazu.

Metoda: doświadczenie polega na mierzeniu zmian objętości odpowiadających kolejnym przyrostom temperatury. Przyrost objętości gazu jest równy ilości wody wypchniętej z menzurki.

Przyrządy:

menzurka, dwie duże zlewki, zakorkowana kolba(około 200 cm³), wąż gumowy, termometr

BADANIE PRZEMIANY IZOBARYCZNEJ: USTALENIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY OBJĘTOŚCIĄ I TEMPERATURĄ $V(T)$; $p = \text{constans}$



Schemat aparatury/urządzeń

rys .1 Schemat aparatury do badania przemiany izobarycznej gazu

Przebieg doświadczenia:

- Zbudować układ składający się z zakorkowanej kolby i dwu dużych zlewek. Kolba zamknięta jest gumowym korkiem ze szklaną rurką w środku.
- Przymocować jeden koniec kawałka węża gumowego do końca szklanej rurki a drugi wprowadzić do menzurki napelnionej wodą i zanurzonej w zlewce odwróconej do góry dnem.
- Gaz zamknięty w kolbie ogrzewać w kąpeli zmieniając temperaturę 6-7 razy.
- Przed pomiarem przyrostu objętości gazu należy odczekać około 3 minut, aby doszło do wymiany ciepła między wodą w zlewce, a powietrzem w kolbie.
- Zmiany temperatury powinny zawierać się w granicach $20-45^{\circ}$ ze względu na dużą rozszerzalność gazu.

Tabela pomiarów:

Temperatura T	Przyrost objętości ΔV	$V = V_1 + \Delta V$

Korzystając z danych zawartych w tabeli przedstawić wykres zależności objętości od temperatury $V(T)$. Punkty pomiarowe wyznaczają linię prostą.

Otrzymana prosta jest wykresem równania:

$$V = V_1 + V_1 \alpha t = V_1 (1 + \alpha t)$$

a α jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej gazu zależnym od rodzaju gazu. Sens fizyczny α - względny przyrost objętości przypadający na jednostkowy przedział temperatur, jednostką jest 1/K

$$\alpha = \Delta V / V_1 \Delta t$$

wartość αV_1 jest równa tangensowi kąta nachylenia prostej do osi OX.

Korzystając z wykresu, można wyznaczyć współczynnik α .

oraz odczytać temperaturę objętości gazu równej zero, jest ona równa w przybliżeniu - 273°C

Wnioski:

W przemianie izobarycznej stałej masy gazu objętość jest wprost proporcjonalna do temperatury.

Doświadczenie 9. Badanie przemiany izotermicznej gazu

Celem doświadczenia jest ustalenie związku pomiędzy ciśnieniem i objętością pewnej stałej masy gazu.

Metoda: ściskanie powietrza w strzykawce lekarskiej podczas przesuwania tłoka.

Przyrządy : sztywna listwa z podpórką, odważnik 1-2 kg, linijka, szklana strzykawka lekarska o pojemności 10-20 cm³

Przebieg doświadczenia:

- Zakorkować gumowym korkiem strzykawkę. Nad tłokiem została zamknięta pewna masa powietrza.
- Nacisnąć powoli tłok co spowoduje zmniejszenie objętości powietrza w strzykawce oraz zwiększenie ciśnienia.
- Odczytać objętość gazu na skali strzykawki.
- Pomiaru ciśnienia dokonujemy naciskając tłok strzykawki stawiając ją pionowo na wadze.

Objętość powietrza pod tłokiem wyliczamy z zależności:

$$V = l S,$$

gdzie l to długość słupka powietrza.

Tabela pomiarów:

F_i	p	l	V	pV

Nanieść wyniki pomiarów na wykres zależności ciśnienia od objętości $p(V)$
Otrzymana krzywa to hiperbola.

Wnioski:

W przemianie izotermicznej stałej masy gazu ciśnienie i objętość są do siebie odwrotnie proporcjonalne.

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

W izotermicznej przemianie ustalonej masy gazu iloczyn ciśnienia i objętości jest stały. Uzyskany związek pomiędzy ciśnieniem i objętością nazwany jest prawem Boyle'a i Mariotte'a od nazwisk pierwszych odkrywców.

Uwaga! można ciśnienie powietrza w kolbie odczytywać bezpośrednio na manometrze umieszczonym u ujścia kolby. Odczytujemy wówczas wartości przyrostu ciśnienia.