zajęcia otwarte z fizyki

BADANIE PRZEMIAN GAZOWYCH – PRZEMIANA IZOTERMICZNA

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem tego ćwiczenia jest badanie przemiany izotermicznej powietrza dla różnej ilości gazu zamkniętego w naczyniu, sprawdzenie w jakim zakresie ciśnień powietrze może być traktowane jak gaz doskonały oraz wyznaczenie liczby moli gazu zamkniętego w naczyniu.

Gaz doskonały jest to abstrakcyjny, matematyczny model fizyczny gazu, spełniający następujące warunki:

- brak oddziaływań międzycząsteczkowych z wyjątkiem odpychania w momencie zderzeń cząsteczek,
- znikomą objętość cząsteczek w stosunku do objętości gazu,
- doskonale sprężyste zderzenia między cząsteczkami gazu,
- ciągły, chaotyczny ruch cząsteczek gazu.

Gaz taki w mechanice klasycznej opisuje równanie Clapeyrona (równanie stanu gazu doskonałego):

$$pV = nRT,$$

gdzie p, V, T i n oznaczają odpowiednio ciśnienie, objętość, temperaturę i liczbę moli gazu, natomiast $R = 8{,}31446261815324$ J/(mol · K) jest stałą gazową.

Gaz doskonały to model, słuszny w pełni jedynie dla bardzo rozrzedzonych gazów. W rzeczywistych gazach wzrost ciśnienia powoduje, że zmniejszają się odległości między cząsteczkami oraz pojawiają się oddziaływania międzycząsteczkowe. Oddziaływania te odgrywają coraz większą rolę gdy maleje temperatura gazu zbliżając się do temperatury skraplania. Z drugiej strony, w bardzo wysokich temperaturach zderzenia przestają być sprężyste. W praktyce model gazu doskonałego może być stosowany do niemalże wszystkich gazów w warunkach zbliżonych do normalnych. W niższych temperaturach czy wyższych ciśnieniach nie jest to już dobre przybliżenie gazów doskonałych. W wysokich ciśnieniach objętość gazu rzeczywistego jest często znacznie większa niż gazu doskonałego, natomiast w niskich temperaturach ciśnienie gazu rzeczywistego jest często znacznie niższe niż gazu doskonałego. Również w przypadku większości ciężkich gazów (np. pary wodnej) model ten nie może być stosowany.

Stan równowagi termodynamicznej trwa niezmiennie, chyba że zostanie przerwany przez impuls energetyczny, który zapoczątkowuje przemianę termodynamiczną. Przemiana termodynamiczna to **każda**, **dowolna** zmiana stanu termodynamicznego układu fizycznego, które klasyfikuje się ze względu na stałość określonych wartości funkcji stanu początkowego i końcowego przemiany. I tak najczęściej dyskutowane przemiany termodynamiczne to:

- przemiana izobaryczna (stałe ciśnienie $p = \text{const.}$)
- przemiana izotermiczna (stała temperatura $T = \text{const}$)
- przemiana izochoryczna (stała objętość $V = \text{const}$)
- przemiana adiabatyczna (brak wymiany ciepła z otoczeniem $\Delta Q = 0$).

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Do dyspozycji masz:

- strzykawkę o pojemności 60 ml z zamontowanym wewnątrz termistorem;
- bezprzewodowy czujnik odczytu temperatury;
- bezprzewodowy czujnik ciśnienia;
- tablet z oprogramowaniem pozwalającym na odczyt w czasie rzeczywistym temperatury i ciśnienia z czujników.

Pamiętaj, że każdą przemianę definiuje stan początkowy i końcowy, który powinien być stanem stacjonarnym. Dlatego przed każdym odczytem parametrów gazu staraj się osiągnąć stan stacjonarny, tzn. taki stan w którym parametry gazu się nie zmieniają. Czasem może być to praktycznie niemożliwe, wówczas musisz przynajmniej doprowadzić do sytuacji w której parametry gazu zmieniają bardzo powoli.

Nigdy nie przekraczaj tłokiem strzykawki położenia poniżej 25 ml. Może to spowodować uszkodzenie sondy temperatury znajdującej się w strzykawce.

Do odczytu ciśnienia i temperatury gazu będziesz używał bezprzewodowych czujników PS-3222 i PS-3203 firmy PASCO. Zwróć uwagę na numery czujników którymi dysponujesz tak aby podczas pomiaru połączyć się z nimi (a nie na przykład z czujnikami kolegów czy koleżanek pracującymi na innych stanowiskach). Są to numery w formacie xxx-xxx widoczne na każdym z czujników obok ikony ᛒ. Jeśli czujnik sygnalizuje rozładowaną baterię w przypadku czujnika ciśnienia podłącz go do ładowarki, a w przypadku czujnika temperatury poproś asystenta o wymianę baterii.

Uruchom na tablecie program SparkVue i w menu wybierz **Eksperymenty…** a następnie z dostępnych eksperymentów wybierz eksperyment **C2 – Przemiany gazowe** znajdujący się w folderze PTP. W oknie programu Sparkvue powinny być jednocześnie widoczne cyfrowe odczyty sondy temperatury i czujnika ciśnienia oraz wykres przedstawiający odczyt ciśnienia i temperatury w funkcji czasu. Włącz czujniki temperatury i ciśnienia, a w menu czujników Bluetooth programu Sparkvue ustaw połączenie z posiadanymi czujnikami. Przed rozpoczęciem pomiarów sprawdź czy potrafisz swobodnie posługiwać się interfejsem programu, w tym uruchomić i zakończyć pomiar z automatycznym odczytem ciśnienia i temperatury z wybraną częstotliwością. Jeśli obsługa programu jest dla Ciebie nieintuicyjna skorzystaj z dostępnej na stanowisku instrukcji obsługi programu. Ustaw, aby **temperatura była mierzona w Kelwinach, a ciśnienie w kPa**.

Przy odłączonym czujniku ciśnienia ustaw tłok strzykawki w położeniu 60 ml i podłącz czujnik ciśnienia. Zanotuj początkowe wartości objętości, ciśnienia i temperatury gazu. Objętość gazu w strzykawce zmniejszaj powoli, tak aby zapewniona była skuteczna wymiana ciepła z otoczeniem i temperatura gazu w strzykawce była stała podczas przemiany. Jeśli temperatura gazu się zmieniła poczekaj aż gaz dojdzie do równowagi termicznej i jego temperatura powróci do wartości początkowej. Dla każdego położenia tłoka w tabeli zapisz objętość, ciśnienie i temperaturę gazu. Zwróć uwagę, że przy dużych ciśnieniach strzykawka może być nieszczelna.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne
Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Wówczas pomiary powinny być przeprowadzone w miarę sprawnie, tak aby zminimalizować zmiany ciśnienia wywołane nieszczelnością. W rezultacie powinieneś zebrać kilka punktów pomiarowych (odczytów objętości i ciśnienia).

T [K]	V [ml]	p [kPa]	$1/V$ [1/ml]

Narysuj wykresy prezentujące zależność $p(V)$ oraz $p(1/V)$. Początki obu osi rozpocznij od zera. Głównym zadaniem jakie jest postawione podczas analizy wyników pomiarów jest odpowiedź na pytanie, czy badany gaz może być opisany modelem gazu doskonałego lub ewentualnie w jakim zakresie ciśnień ten model dobrze opisuje dane pomiarowe. Czy wykonane wykresy pozwalają to ocenić?

W zakresie gdzie uznałeś, że model gazu doskonałego dobrze opisuje zmierzony przez Ciebie gaz, dopasuj zależność liniową $p = \frac{nRT}{V} = a \cdot \frac{1}{V}$ i wyznacz wartość współczynnika a, a następnie korzystając z równania gazu doskonałego wyznacz liczbę moli gazu n. **Podczas obliczania liczby moli gazu, zwróć uwagę na jednostki.** W szczególności zwróć uwagę, że jednostką objętości w układzie SI jest m^3, natomiast używana strzykawka wskazuje objętość w mililitrach, przy czym 1 l = 1 dm^3, czyli 1 ml = 1 cm^3 = 10^{-6} m^3. Pamiętaj również, aby temperaturę wyrażać w Kelwinach.

a = …….[ ] n = …….[ ]

Badanie kiedy dany gaz można traktować jak gaz doskonały, nie musi być ograniczony do przemiany termodynamicznej konkretnego typu i może być przeprowadzony niezależnie od przemiany jakiej jest poddany. Aby sprawdzić czy gaz zachowuje się jak gaz doskonały wystarczy sprawdzić, czy w każdych warunkach wielkość pV/T jest stała. W tym celu odłącz czujnik ciśnienia i ustaw położenie tłoka strzykawki w dowolnym położeniu (różnym niż 60 ml). Podłącz czujnik ciśnienia i zanotuj początkowe wartości objętości, ciśnienia i temperatury

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

gazu. Zmieniaj objętość gazu w strzykawce dość szybko dokonując jednocześnie odczytu ciśnienia i temperatury gazu. Zbierz w sumie kilka punktów pomiarowych (odczytów objętości, ciśnienia i temperatury gazu).

p [kPa]	V [ml]	T [K]	pV/RT [ ]

Dla każdego z punktów pomiarowych oblicz wielkość pV/RT. **Pamiętaj, aby temperaturę wyrażać w Kelwinach, a objętość w metrach sześciennych.** Na wykresie przedstaw zależność pV/RT od ciśnienia i oszacuj w jakim zakresie można przyjąć, że badany gaz można traktować jak gaz doskonały. W zakresie gdzie uznałeś, że model gazu doskonałego dobrze opisuje zmierzony przez Ciebie gaz, wyznacz liczbę moli tego gazu.

Dla obu serii pomiarowych, dla objętości odpowiadającej ciśnieniu atmosferycznemu (pierwszy punkt pomiarowy), oblicz objętość molową powietrza dla obu serii

$v_1 = \frac{V_1(p_{atm})}{n_1} =$..... [ ] $v_2 = \frac{V_2(p_{atm})}{n_2} =$..... [ ]

i porównaj ją z przewidywaną objętością molową gazu doskonałego w warunkach normalnych (22,415 l/mol).

NIEPEWNOŚCI POMIAROWE

Zgodnie ze specyfikacją użytych czujników dokładność pomiaru ciśnienia wynosi $u_p = 2$ kPa, natomiast dokładność pomiaru temperatury wynosi $ui_T = 0{,}5$ K. Niepewność odczytu objętości można przyjąć jako wielkość najmniejszej działki, czyli $u_V = 1$ ml.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Na wykresie $p\left(\frac{1}{V}\right)$ z pierwszej części ćwiczenia nanieś niepewności ciśnienia nanieś niepewności pomiarowe ciśnienia i postaraj się oszacować niepewność wyznaczenia współczynnika kierunkowego dopasowanej prostej.

Liczba moli wyraża się przez zależność $n = \frac{a}{RT}$, więc niepewność wyznaczenia liczby moli można obliczyć jako:

$$u_n = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

gdzie u_1 jest związane z niepewnością wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej i wyraża się:

$$u_1 = \frac{1}{2}\left|n|_{a+u_a} - n|_{a-u_a}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{a+u_a}{RT} - \frac{a-u_a}{RT}\right| = \frac{u_a}{RT}$$

a u_2 jest związane z niepewnością odczytu temperatury i wyraża się:

$$u_2 = \frac{1}{2}\left|n|_{T+u_T} - n|_{T-u_T}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{a}{R(T+u_T)} - \frac{a}{R(T-u_T)}\right| = \frac{1}{2}\frac{a}{R}\left|\frac{T-u_T-(T+u_T)}{(T+u_T)(T-u_T)}\right|$$
$$= \frac{a}{R}\frac{u_T}{(T+u_T)(T-u_T)} \xrightarrow{u_T \ll T} \frac{a}{R}\frac{u_T}{T^2}$$

Oblicz powyższe niepewności.

u_1 [ ]	u_2 [ ]	u_n [ ]

W drugiej części liczba moli gazu jest określana z zależności

$$n = \frac{1}{R}\frac{pV}{T}$$

gdzie zarówno ciśnienie, objętość jak i temperatura określane są z pewnymi niepewnościami. Niepewność tak wyznaczonej liczby moli gazu można obliczyć jako:

$$u_n = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

gdzie u_1 jest związane z niepewnością wyznaczenia ciśnienia i wyraża się:

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

$$u_1 = \frac{1}{2}\left|n|_{p+u_p} - n|_{p-u_p}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{(p+u_p)V}{RT} - \frac{(p-u_p)V}{RT}\right| = \frac{u_p V}{RT}$$

u_2 jest związane z niepewnością wyznaczenia objętości i wyraża się:

$$u_2 = \frac{1}{2}\left|n|_{V+u_V} - n|_{V-u_V}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{p(V+u_V)}{RT} - \frac{p(V-u_V)}{RT}\right| = \frac{p u_V}{RT}$$

a u_3 jest związane z niepewnością odczytu temperatury i wyraża się:

$$u_2 = \frac{1}{2}\left|n|_{T+u_T} - n|_{T-u_T}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{pV}{R(T+u_T)} - \frac{pV}{R(T-u_T)}\right| = \frac{1}{2}\frac{pV}{R}\left|\frac{T-u_T-(T+u_T)}{(T+u_T)(T-u_T)}\right|$$
$$= \frac{pV}{R}\frac{u_T}{(T+u_T)(T-u_T)} \xrightarrow{u_T \ll T} \frac{pV}{R}\frac{u_T}{T^2}$$

Dla kilku punktów pomiarowych oblicz powyższe niepewności i oszacuj niepewność wyznaczenia liczby moli dla każdego punktu pomiarowego w tej metodzie.

u_1 [ ]	u_2 [ ]	u_3 [ ]	u_n [ ]

Co jest większe, niepewności pomiarowe czy rozrzut danych pomiarowych?

Czy potrafisz określić wpływ tych niepewności na niepewność określenia objętości molowych?

Opracowanie:
A. Drabińska

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne
Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa