zajęcia otwarte z fizyki

BADANIE PRZEMIAN GAZOWYCH – PRZEMIANA IZOCHORYCZNA

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem tego ćwiczenia jest badanie przemiany izochorycznej powietrza dla różnej ilości gazu zamkniętego w naczyniu oraz wyznaczenie liczby moli gazu zamkniętego w naczyniu oraz temperatury zera bezwzględnego.

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:

- sferę miedzianą o promieniu 2 cali 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;
- naczynie termiczne;
- wodę i lód;
- czajnik elektryczny do zagotowania wody.

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.

Po wyjęciu sfery z gorącej wody nie dotykaj jej powierzchni, gdyż może to grozić poparzeniem.

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 stopniach Celsjusza a ciśnienie w kPa**.

W naczyniu termicznym przygotuj wodę o jak najniższej możliwej temperaturze. W tym celu wymieszaj wodę o temperaturze pokojowej z lodem, po schłodzeniu się wody wyjmij z niej resztki lodu. Zanurz sferę do naczynia z zimną wodą, dopilnuj aby cała sfera była zanurzona w wodzie. Podłącz do sfery czujnik temperatury oraz czujnik ciśnienia. W tabeli pomiarowej

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

zapisz ciśnienie i temperaturę gazu wewnątrz sfery. Nie wyciągając sfery z wody dolewaj do naczynia gorącej wody, tak aby stopniowo zwiększać temperaturę kąpieli wodnej. W trakcie zbieraj kolejne punkty pomiarowe aż osiągniesz temperaturę 80-90°C. Przy dolewaniu wody uważaj aby nie lać jej bezpośrednio na sferę, gdyż spowoduje to jej lokalne nagrzanie i wydłuży czas potrzebny do ustabilizowania się temperatury. W przypadku gdy wody w naczyniu będzie za dużo wylej jej nadmiar pilnując jednak aby w każdym momencie w naczyniu było tyle wody aby sfera była przynajmniej częściowo zanurzona. W rezultacie powinieneś zebrać kilka punktów pomiarowych (par odczytów ciśnienia i temperatury gazu).

Seria 1		*Seria 2*	
T [°C]	p [kPa]	T [°C]	p [kPa]

Po skończeniu pomiarów, gdy sfera jest ciągle zanurzona w gorącej wodzie odłącz czujnik ciśnienia, poczekaj aż ciśnienie w sferze wyrówna się z ciśnieniem atmosferycznym, a następnie ponownie podłącz czujnik. W ten sposób zmieniłeś ilość gazu zamkniętego w sferze. Wykonaj ponownie zależności ciśnienia od temperatury gazu zapisując kolejne pomiary w tabeli pomiarowej.

Dla obu serii, na jednym wykresie wykreśl zależność $p(T)$. Początek osi ciśnienia rozpocznij od zera, natomiast osi temperatury rozpocznij od -300°C. Głównym zadaniem jakie jest postawione podczas analizy wyników pomiarów jest badanie czy obserwowana przemiana jest przemianą izochoryczną gazu doskonałego. Czy wykonany wykres pozwalają to ocenić?

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

W przypadku gdy temperatura gazu jest mierzona w stopniach Celsjusza, równanie stanu gazu doskonałego można zapisać w postaci

$$p = \frac{nR}{V}(T - T_0) = \frac{nR}{V}T - \frac{nR}{V}T_0 = aT + p_0$$

gdzie $a = \frac{nR}{V}$ oraz $p_0 = -\frac{nR}{V}T_0$.

W zakresie gdzie uznałeś, że model gazu doskonałego dobrze opisuje zmierzony przez Ciebie gaz, dopasuj zależność liniową $p = a \cdot T + p_0$ i wyznacz wartość współczynników a i p_0 i wyniki wpisz do tabeli poniżej.

Promień sfery wynosi $R = 2$ cale $= 5{,}08$ cm. Oblicz objętość sfery i wynik również wpisz do tabeli poniżej.

Wyznacz liczbę moli gazu n oraz temperaturę dla której ciśnienie jest równe zeru (T_0).

Pamiętaj aby w tabeli wpisać również jednostki w jakich te wartości są wyznaczone.

	Seria 1	Seria 2
a [ ]		
p_0 [ ]		
V [ ]		
n [ ]		
T_0 [ ]		

Czy otrzymane wyniki są zgodne z przewidywaniami?

NIEPEWNOŚCI POMIAROWE

Zgodnie ze specyfikacją użytych czujników dokładność pomiaru ciśnienia wynosi $u_p = 2$ kPa, natomiast dokładność pomiaru temperatury wynosi $u_T = 0{,}5$ K $= 0{,}5$°C. Nanieś na wykresy niepewności pomiarowe i postaraj się oszacować niepewności parametrów dopasowanych prostych

	Seria 1	Seria 2
u_a [ ]		
u_{p0} [ ]		

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

Liczba moli wyraża się przez zależność $n = a\frac{V}{R}$. Zakładając, że promień sfery, a w konsekwencji jej objętość znamy dokładnie, niepewność wyznaczenia liczby moli można obliczyć

$$u_n = \frac{1}{2}\left|n|_{a+u_a} - n|_{a-u_a}\right| = \frac{1}{2}\left|(a+u_a)\frac{V}{R} - (a-u_a)\frac{V}{R}\right| = u_a\frac{V}{R}$$

Temperatura zera bezwzględnego wyraża się wzorem $T_0 = -\frac{Vp_0}{nR}$, gdzie zarówno liczba moli n jak i parametr p_0 są wyznaczone z pewną niepewnością. W związku z tym niepewność temperatury bezwzględnej można obliczyć:

$$u_{T_0} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

gdzie u_1 jest związane z niepewnością wyznaczenia liczby moli i wyraża się:

$$u_1 = \frac{1}{2}\left|T_0|_{n+u_n} - T_0|_{n-u_n}\right| = \frac{1}{2}\left|-\frac{Vp_0}{(n+u_n)R} + \frac{Vp_0}{(n-u_n)R}\right| = \frac{1}{2}\left|-\frac{1}{n+u_n} + \frac{1}{n-u_n}\right|\frac{Vp_0}{R}$$
$$= \frac{1}{2}\left|\frac{-(n-u_n)+n+u_n}{(n+u_n)(n-u_n)}\right|\frac{Vp_0}{R} = \frac{Vp_0}{R}\frac{u_n}{(n+u_n)(n-u_n)} \xrightarrow{u_n \ll n} \frac{Vp_0}{R}\frac{u_n}{n^2}$$

natomiast u_2 jest związane z niepewnością wyznaczenia parametru p_0 i wyraża się:

$$u_2 = \frac{1}{2}\left|T_0|_{p_0+u_{p_0}} - T_0|_{p_0-u_{p_0}}\right| = \frac{1}{2}\left|-\frac{V(p_0+u_{p_0})}{nR} + \frac{V(p_0-u_{p_0})}{nR}\right| = \frac{Vu_{p_0}}{nR}$$

Oblicz niepewności u_n i u_{T_0}.

	Seria 1	Seria 2
u_n [ ]		
u_1 [ ]		
u_2 [ ]		
u_{T_0} [ ]		

Opracowanie:
A. Drabińska

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