



Równanie stanu gazu doskonałego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

The image shows a close-up of a gas stove burner with a bright blue flame. A semi-transparent grid is overlaid on the entire image. In the center, there is a dark rectangular box containing white text.

Równanie stanu gazu doskonałego

Czy to nie ciekawe?

Ustaloną ilość gazu doskonałego opisują trzy parametry: temperatura, ciśnienie i objętość. W przemianach gazowych te parametry mogą się zmieniać w różny sposób. Najłatwiej opisać takie przemiany, w których jeden z parametrów jest stały, czyli izotermiczną (stała temperatura), izobaryczną (stałe ciśnienie) i izochoryczną (stała objętość). Prawa rządzące tymi przemianami poznano już w XVII w. Czy można opisać dowolną przemianę, w której zmieniają się wszystkie parametry gazu? W przypadku rozrzedzonych gazów taki opis jest możliwy dzięki tzw. **równaniu Clapeyrona**, które w literaturze jest również znane jako **równanie stanu gazu doskonałego**, gdyż opisuje wszystkie możliwe stany termodynamiczne takiego gazu.



Rys. a. Benoit Clapeyron (1799–1864).

Twoje cele

Dzięki lekturze tego materiału:

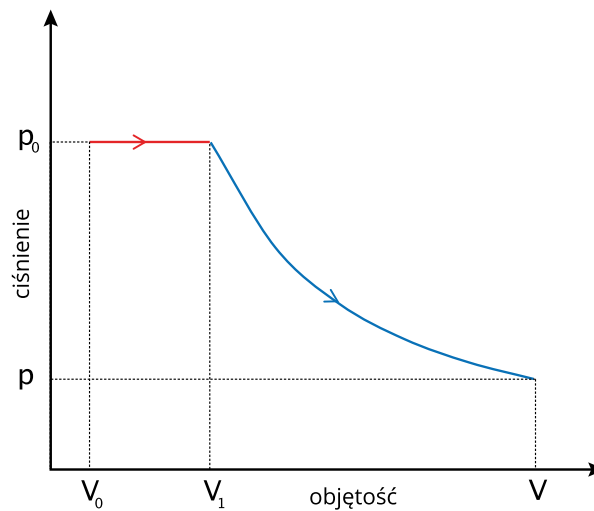
- dowiesz się, czym jest równanie stanu gazu doskonałego,
- poznasz postać równania Clapeyrona przy ustalonej liczbie moli albo masie gazu,
- zrozumiesz, że parametry gazu w danym stanie nie są od siebie niezależne,
- zastosujesz równanie Clapeyrona do wyznaczanie parametrów termodynamicznych gazu,
- przeanalizujesz równanie Clapeyrona w przypadkach, gdy jeden z parametrów gazu jest stały i zinterpretujesz otrzymane związki między pozostałymi parametrami jako prawa przemian gazowych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Podczas przemian gazowych parametry gazu doskonałego takie, jak: ciśnienie p , objętość V i temperatura T , mogą się zmieniać, jednak nie są od siebie niezależne – są ze sobą związane tzw. równaniem stanu.

Założmy, że gaz doskonały znajduje się w stanie określonym przez parametry p_0 , T_0 i V_0 . Po dwóch kolejnych przemianach: izobarycznej i izotermicznej, parametry gazu wynoszą p , T i V (Rys. 1.).



Rys. 1. W wyniku następujących po sobie przemian izobarycznej i izotermicznej zmieniają się trzy parametry gazu p , T i V

Korzystając z praw rządzących przemianą izobaryczną i izotermiczną, znajdziemy związek między parametrami początkowymi i końcowymi w tych dwóch przemianach.

W przemianie izobarycznej (dla $p = p_0 = \text{const}$ na Rys. 1.) objętość jest wprost proporcjonalna do temperatury w skali Kelvina, czyli iloraz objętości i temperatury jest stały:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T},$$

natomiast w przemianie izotermicznej (dla $T = \text{const}$ na Rys. 1.) ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości, czyli iloczyn ciśnienia i objętości jest stały:

$$p_0 V_1 = pV.$$

Z równania (1) wyznaczmy V_1 :

$$V_1 = V_0 \frac{T}{T_0}$$

i podstawmy do równania (2), otrzymując:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}.$$

Otrzymaliśmy ważny rezultat – dla ustalonej ilości gazu, w każdym jej stanie termodynamicznym, iloczyn ciśnienia p i objętości V podzielony przez temperaturę w skali bezwzględnej T jest stały:

$$\frac{pV}{T} = \text{const},$$

przy czym stała występująca po prawej stronie tego równania ma wymiar:

$$\left[\frac{pV}{T} \right] = \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{K}} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3}{\text{K}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{K}} = \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Równanie (5), wiążące ciśnienie, objętość i temperaturę gazu doskonałego, nazywamy **równaniem stanu gazu**.

Obliczmy, jaką wartość ma wyrażenie $\frac{pV}{T}$ dla 1 mola gazu w warunkach normalnych, czyli w temperaturze $t = 0^\circ\text{C}$ i przy ciśnieniu $p = 101325 \text{ Pa}$. Objętość 1 mola gazu w warunkach normalnych wynosi $V = 22,4 \text{ dm}^3$.

Zauważ, że we wzorze (5) mamy temperaturę w skali Kelvina, musimy więc zamienić jednostki temperatury: $T = 273,15 \text{ K}$. Wstawiamy te wartości do równania stanu gazu doskonałego i otrzymujemy:

$$\frac{pV}{T} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 0,0224 \text{ m}^3}{273,15 \text{ K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Zgodnie z powyższymi obliczeniami, równanie stanu (5) dla 1 mola gazu możemy zapisać w postaci

$$\frac{pV}{T} = 1 \text{ mol} \cdot R,$$

gdzie

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

jest uniwersalną stałą gazową.

A jak będzie wyglądało równanie stanu dla n moli gazu? Jeśli zmieni się tylko liczba moli gazu przy tej samej temperaturze i ciśnieniu, to objętość gazu wzrośnie n razy. Skoro lewa

strona równania jest teraz n razy większa, to i prawa strona też musi wzrosnąć n razy.

Ważne!

Równanie stanu gazu dla n moli gazu, zwane też **równaniem Clapeyrona**, ma postać:

$$\frac{pV}{T} = nR.$$

Liczbę moli można wyrazić przez iloraz masy gazu m i masy molowej M ,

$$n = \frac{m}{M}.$$

Jeśli dana jest masa gazu, równanie Clapeyrona przybierze postać:

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M}R.$$

Równanie Clapeyrona wyprowadziliśmy, korzystając z praw opisujących gaz doskonały, które zostały ustalone eksperymentalnie w XVII w. W takiej kolejności prawa gazowe pojawiły się w historii fizyki.

Można też postąpić odwrotnie i z równania Clapeyrona wywnioskować prawa rządzące przemianami, w których jeden z parametrów jest stały. Takie podejście jest bardzo wygodne, bo wystarczy znać jeden wzór zamiast czterech.

Ważne!

Jeśli pomnożymy obie strony równania (9) przez T , to otrzymamy równanie:

$$pV = nRT.$$

Jest to **najczęściej spotykana postać równania stanu gazu doskonałego**.

Prawo: Boyle'a-Mariotte'a

W przemianie izotermicznej temperatura T i liczba moli n nie zmieniają się, dlatego prawa strona równania (12) jest stała. Wynika z tego, że również lewa strona równania musi być stała. W ten sposób otrzymujemy prawo Boyle'a-Mariotte'a:

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

które mówi, że w przemianie izotermicznej ciśnienie i objętość są do siebie odwrotnie proporcjonalne: (zob. materiał pt. *Czym jest przemiana izotermiczna gazów?*).

Prawo: Guy-Lussaca

Podobnie, w przemianie izobarycznej ciśnienie p jest stałe, więc dla ustalonej ilości gazu, z równania (12) mamy:

$$\frac{V}{T} = \text{const},$$

co stanowi treść prawa Gay-Lussaca - przy stałym ciśnieniu objętość jest wprost proporcjonalna do temperatury w skali bezwzględnej (zob. materiał pt. *Czym jest przemiana izobaryczna gazów?*).

Prawo: Charles'a

Dla przemiany izochorycznej, przy stałej objętości V , mamy:

$$\frac{p}{T} = \text{const}.$$

Powyższa zależność jest znana jako prawo Charles'a, mówiące o tym, że przy ustalonej objętości ciśnienie jest wprost proporcjonalne do temperatury w skali bezwzględnej (zob. materiał pt. *Czym jest przemiana izochoryczna gazów?*).

Równanie stanu gazu jest bardzo użyteczne, gdy trzeba np. obliczyć, w jaki sposób zmieniły się parametry gazu w wyniku dowolnej przemiany, w której żaden z parametrów nie był stały. W takiej przemianie może się nawet zmieniać ilość gazu, jak wtedy, gdy gazu dopompujemy do zbiornika lub część gazu z niego ucieknie.

Słowniczek

Warunki normalne

(ang. *normal conditions for temperature and pressure, NTP*) - warunki, w których ciśnienie jest równe 1013,25 hPa, a temperatura jest równa 273,15 K, czyli 0°C.

1 mol

(ang. *mole*) - podstawowa w układzie SI jednostka liczności materii. Jeden mol zawiera dokładnie $6,02 \cdot 10^{23}$ obiektów elementarnych. Liczba ta jest nazywana [liczbą Avogadra](#).

Liczba Avogadra

(ang. *Avogadro number*) - liczba atomów lub cząsteczek substancji zawartych w jednym molu tej substancji, wynosi $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$.

Paskal (Pa)

(ang. *pascal*) - jednostka ciśnienia. 1 Pa to ciśnienie wywierane przez siłę 1 N na powierzchnię 1 m², czyli: $1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$.

Kelwin (K)

(ang. *kelvin*) - jednostka temperatury w skali bezwzględnej. 0 K (zero absolutne) oznacza najniższą, z teoretycznego punktu widzenia temperaturę, jaką może mieć ciało. Jest to

temperatura, w której, według fizyki klasycznej, ustałby wszelki ruch cząsteczek.

Przyrost temperatury o 1 K jest tożsamy z przyrostem o 1°C . Wartość temperatury w skali Kelvina (skali bezwzględnej), T , otrzymujemy dodając 273,15 do wartości temperatury w skali Celsjusza, t .

Grafika interaktywna

Równanie stanu gazu doskonałego

Umieszczona poniżej grafika interaktywna ilustruje przykładowe procesy termodynamiczne, jakie mogą zachodzić w gazie doskonałym, m.in. izotermiczne sprężanie, izobaryczne rozprężanie i izochoryczne ochładzanie. Klikając umieszczone na grafice napisy uzyskasz dodatkowe informacje o tych procesach. W szczególności wyświetlisz wykres ciśnienia w funkcji temperatury, na którym czarnymi liniami są zaznaczone izotermy gazu doskonałego (tj. krzywe, na których gaz ma ustaloną temperaturę), zaś czarnymi punktami są oznaczone granice przedziału makroskopowych parametrów gazu, między którymi możesz te parametry swobodnie zmieniać. Parametry gazu, które odpowiadają warunkom normalnym oznaczono w następujący sposób: $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$, $T_0 = 273,15 \text{ K}$, $V_0 = 22,4 \text{ dm}^3$.

Polecenie 1

Na dołączonej grafice interaktywnej pokazano, w jaki sposób zmieniają się parametry gazu doskonałego podczas jego sprężania i rozprężania, w warunkach stałej temperatury (proces izotermiczny) i stałego ciśnienia (proces izobaryczny). Uzupełnij stwierdzenia charakteryzujące procesy izotermicznego i izobarycznego **rozprężania** gazu doskonałego.

Załóż, że w wyniku obydwu procesów rozprężania objętość gazu wzrosła **dwukrotnie**.

A) Podczas izotermicznego rozprężania ciśnienie .

B) Podczas izobarycznego rozprężania temperatura .

wzrosła dwukrotnie

zmała dwukrotnie

nie uległo zmianie

zmała dwukrotnie

nie uległa zmianie

wzrosło dwukrotnie

Polecenie 2

Zaznacz, który z poniższych tekstów (jeden lub więcej) poprawnie opisuje swobodne (tj. niewymuszone), izotermiczne rozprężanie się gazu doskonałego:

☐ Temperatura gazu doskonałego jest miarą średniej energii kinetycznej jego cząsteczek. Podczas swobodnego rozprężania gazu ta energia nie zmienia się, dlatego temperatura gazu również się nie zmienia.

☐ Energia wewnętrzna gazu doskonałego zależy tylko od jego temperatury. Oznacza to, że jeśli w procesie izotermicznego rozprężania gaz wykonuje pewną pracę, to zgodnie z zasadą zachowania energii, musi się ona odbywać kosztem ciepła, które zostaje pobrane z otoczenia.

☐ Podczas izotermicznego rozprężania gazu jego temperatura nie zmienia się, chociaż gaz wykonuje pracę rozprężania, ponieważ procesowi temu zawsze towarzyszy pobranie ciepła z otoczenia.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz prawdziwe stwierdzenie opisujące termodynamikę gazu doskonałego:



W każdym stanie gazu iloczyn ciśnienia i temperatury w skali Celsjusza podzielony przez objętość jest stały.



W każdym stanie gazu iloczyn objętości i temperatury w skali Kelwina podzielony przez ciśnienie jest stały.



W każdym stanie gazu iloczyn ciśnienia i objętości podzielony przez temperaturę w skali Kelwina jest stały.



W każdym stanie gazu iloczyn ciśnienia i objętości podzielony przez temperaturę w skali Celsjusza jest stały.

Ćwiczenie 2



Dopasuj wzory do nazwisk ich odkrywców:

prawo Charles'a

$pV = \text{const}$

prawo Boyle'a-Mariotte'a

$pV = nRT$

prawo Guy-Lussaca

$V/T = \text{const}$

równanie Clapeyrona

$p/T = \text{const}$

Ćwiczenie 3



W zamkniętym naczyniu znajduje się gaz poddawany różnym przemianom. Parametry gazu po kolejnych przemianach zapisano w tabeli. Uzupełnij brakujące wartości.

p [Pa]	$4,5 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^4$	$4,05 \cdot 10^5$	$1,84 \cdot 10^4$	10^3
V [dm ³]	4	1		4,5	
T [K]		300	675		500

Ćwiczenie 4



Zbiornik o objętości $V = 2 \text{ m}^3$ zawierał gaz o temperaturze $t_1 = 18^\circ \text{ C}$, pod ciśnieniem $p_1 = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Po pewnym czasie zmierzono temperaturę i ciśnienie gazu i okazało się, że ciśnienie spadło do $p_2 = 5,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ przy wzroście temperatury do $t_2 = 25^\circ \text{ C}$. Oblicz, ile procent masy gazu uciekło ze zbiornika na skutek nieszczelności. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: Z pojemnika uciekło % masy gazu.

Ćwiczenie 5



Chiński lampion to cienka papierowa czasza z otwartą podstawą. W podstawie lampionu jest umieszczona sztywna ramka podtrzymującą świeczkę, która podgrzewa powietrze wewnątrz czaszy. Lampion unosi się, gdy gęstość powietrza w czaszy odpowiednio zmaleje.

Wybierz prawdziwe stwierdzenie i uzasadnij odpowiedź.

W lampionie, który wzniósł się do góry, gęstość powietrza $d = \frac{m}{V}$ zmalała, ponieważ ...



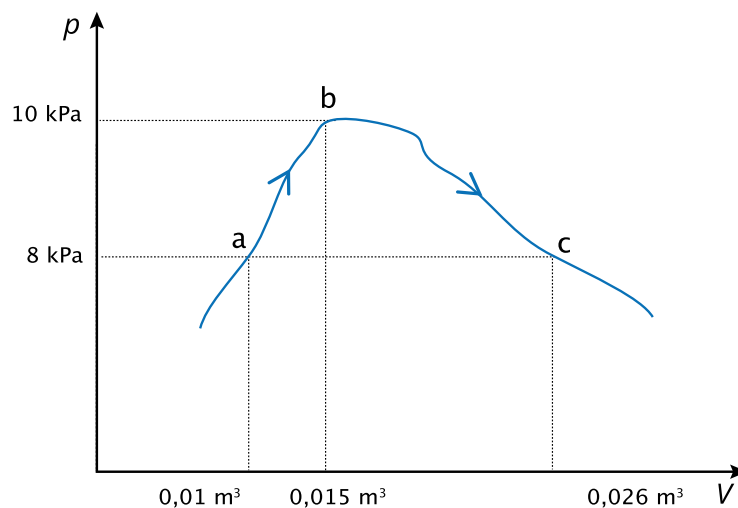
☐ zmniejszyła się masa powietrza w lampionie.

☐ zwiększyła się objętość powietrza w lampionie.

Ćwiczenie 6



Gaz doskonały w zamkniętym naczyniu poddano przemianie pokazanej na rysunku (osie nie w skali). Temperatura w stanie a wynosiła 40°C . Oblicz temperaturę w stanie b i c oraz liczbę moli gazu w naczyniu.



Ćwiczenie 7



Jakim wzorem wyraża się zależność gęstości gazu d o masie molowej M od temperatury T i ciśnienia p .

W jaki sposób gęstość gazu doskonałego d o masie molowej M zależy od pozostałych parametrów makroskopowych opisujących ten gaz? Uzupełnij wzór:

Odpowiedź: $d = \boxed{} \cdot (\boxed{})^{-1}$.

$R \cdot p$

$M \cdot T$

$M \cdot V$

$R \cdot V$

$R \cdot T$

$M \cdot p$

Ćwiczenie 8



Oblicz liczbę cząsteczek N w 1 litrze gazu doskonałego o temperaturze 20°C i ciśnieniu 1000 Pa . Liczba cząsteczek w 1 molu substancji równa jest $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ (liczba Avogadra).

Ćwiczenie 9

W cylindrze z tłokiem znajduje się gaz o objętości $1,5\text{ litra}$, o temperaturze 350°C pod ciśnieniem 10^6 Pa . Gaz został rozprężony do objętości 5 litrów i oziębiony do temperatury 80°C . Oblicz końcowe ciśnienie gazu.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Równanie stanu gazu doskonałego
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; VI. Termodynamika. Uczeń: 12) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego; 13) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. objaśnia, czym jest równanie stanu gazu doskonałego. 2. podaje wzór, jakim można wyrazić równanie Clapeyrona, mając daną liczbę moli gazu. 3. podaje wzór, jakim można wyrazić równanie Clapeyrona, mając daną masę gazu. 4. uzasadnia stwierdzenie, że parametry gazu w danym stanie nie są od siebie niezależne. 5. stosuje równanie stanu gazu do wyznaczanie parametrów gazu. 6. analizuje równanie Clapeyrona w przypadkach, gdy jeden z parametrów gazu jest stały i interpretuje otrzymane związki między pozostałymi parametrami jako prawa przemian gazowych.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszewacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	- wykład informacyjny, - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	- praca w grupach, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Definicja gazu doskonałego”, „Czym jest przemiana izotermiczna?”, „Czym jest przemiana izobaryczna?”, „Czym jest przemiana izochoryczna?”, „Czym jest przemiana adiabatyczna?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
• Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. • Odwołanie do wiedzy uczniów o przemianach gazowych.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza równanie stanu gazu w postaci $pV/T = \text{const}$, a następnie uczniowie obliczają wartość lewej strony równania dla 1 mola gazu w warunkach normalnych, otrzymując wartość stałej gazowej. Następnie nauczyciel stawia pytanie, co zmieni się w otrzymanym równaniu, gdy zwiększy się liczba moli. W dyskusji i analizie pomysłów uczniowie konstruują ogólną postać równania Clapeyrona z zastosowaniem liczby moli lub masy molowej gazu. Następnie uczniowie w grupach 3-4 osobowych analizują przykłady procesów termodynamicznych zilustrowane na grafice interaktywnej oraz interpretują ukazane tam związki między pozostałymi parametrami, jako prawa przemian gazowych. Po zapoznaniu się z grafiką uczniowie rozwiązują umieszczone pod nią Polecenie 1. i zastanawiają się nad rozwiązaniem Polecenia 2. Nauczyciel kontroluje pracę uczniów i wyjaśnia pojawiające się problemy.

Faza podsumowująca:

Uczniowie referują, do jakich doszli wniosków pracując w grupach z grafiką interaktywną. Nauczyciel omawia rozwiązanie obu poleceń odwołując się, w przypadku drugiego polecenia, do pierwszej zasady termodynamiki (tj. zasady zachowania energii) i do mikroskopowej interpretacji temperatury w skali Kelwina. Następnie uczniowie wykonują zadania 1, 2 i 3 z zamieszczonego zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Do wyboru 2 z spośród zadań, które nie zostały rozwiązane na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Multimedium bazowe - grafika interaktywna - można wykorzystać na lekcji i połączyć z dyskusją o przyczynach, na poziomie mikroskopowym, zmian parametrów makroskopowych gazu.