



Zastosowanie I zasady termodynamiki do analizy przemian gazowych

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Zastosowanie I zasady termodynamiki do analizy przemian gazowych.

Czy to nie ciekawe?

I zasada termodynamiki mówi, że zmiana energii wewnętrznej układu ΔU równa jest sumie ciepła przekazanego do układu Q i pracy W wykonanej nad układem przez siłę zewnętrzną.

$$Q + W = \Delta U$$

Pamiętaj o znakach wielkości użytych w powyższym równaniu. Ciepło dostarczone do układu jest dodatnie, ciepło oddane przez układ – ujemne. Praca wykonana nad układem przez siłę zewnętrzną jest dodatnia, a praca wykonana przez układ – ujemna.

Ponieważ zasada ta wynika z zasady zachowania energii, a więc ogólnej zasady obowiązującej w przyrodzie, powinna stosować się też do przemian gazowych: izotermicznej, izobarycznej, izochorycznej i adiabatycznej.

Sprawdź, jak I zasada termodynamiki rządzi przemianami gazu doskonałego.

Twoje cele

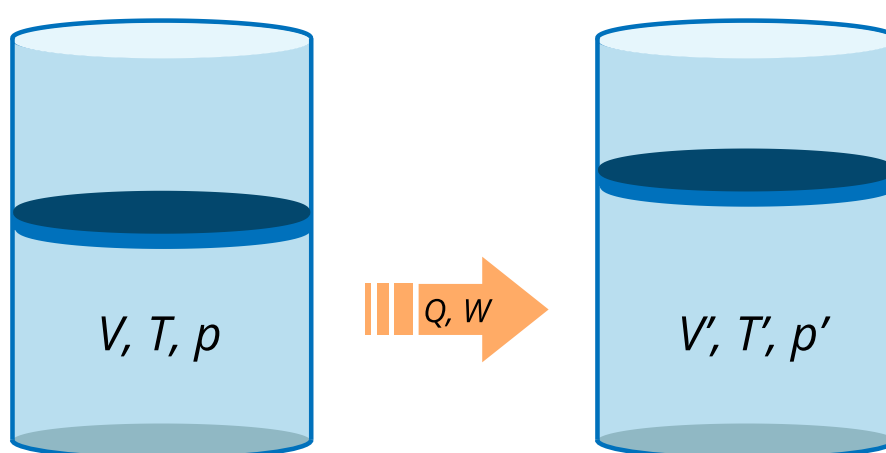
- zrozumiesz, dlaczego I zasada termodynamiki jest formą prawa zachowania energii,
- zrozumiesz, że energia wewnętrzna w przemianie izotermicznej pozostaje stała,

- przeanalizujesz i zinterpretujesz zależność między ciepłem i pracą w przemianie izotermicznej,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz zależność między zmianą energii wewnętrznej i pracą w przemianie adiabatycznej,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz zależność między zmianą energii wewnętrznej i ciepłem w przemianie izochorycznej,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz zależność między ciepłem, pracą i zmianą energii wewnętrznej w przemianie izobarycznej.

Przeczytaj

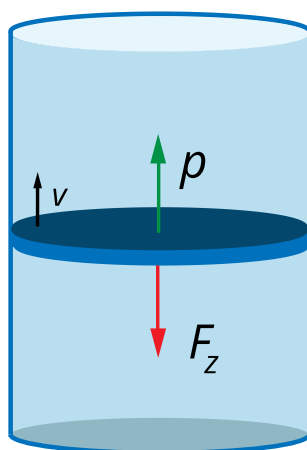
Warto przeczytać

Wyobraź sobie zamknięty pojemnik wypełniony gazem doskonałym, ale z możliwością zmiany objętości. Może to być na przykład cylinder z ruchomym tłokiem. Przemiany gazowe polegają na zmianach parametrów gazu, czyli zmianach objętości V , temperatury T i ciśnienia p (Rys. 1.) Zachodzą one pod wpływem wymiany energii z otoczeniem, opisanej zarówno pracą W jak i ciepłem Q . Zakładamy przy tym, że masa gazu pozostaje stała.



Rys. 1. Gaz w pojemniku ma objętość V , temperaturę T i wywiera ciśnienie p . Te trzy parametry mogą się zmieniać wskutek wymiany energii.

Ważne jest, aby przemiany zachodziły powoli, tak by w każdej chwili gaz pozostawał w stanie równowagi. Oznacza to, że parametry takie jak ciśnienie czy [temperatura](#) powinny być jednakowe w całej objętości gazu. Przykładowo, gdyby podczas rozprężania tłok przesuwał się szybko, to tworzyłby się pod nim obszar podciśnienia. Niższe warstwy gazu byłyby do tej warstwy gwałtownie zasysane - takie burzliwe procesy chcemy wykluczyć. Dlatego ruch tłoka musi być powolny i jednostajny. Warunkiem na to jest równoważenie się siły zewnętrznej F_z , która dąży do zmniejszenia objętości gazu z siłą parcia P gazu, powodującą zwiększanie się objętości (Rys. 2.). We wszystkich kolejnych rysunkach, dla ich jasności i przejrzystości, pokazana jest tylko siła zewnętrzna. Należy jednak pamiętać, że towarzyszy jej równa jej co do wartości siła parcia gazu skierowana przeciwnie.



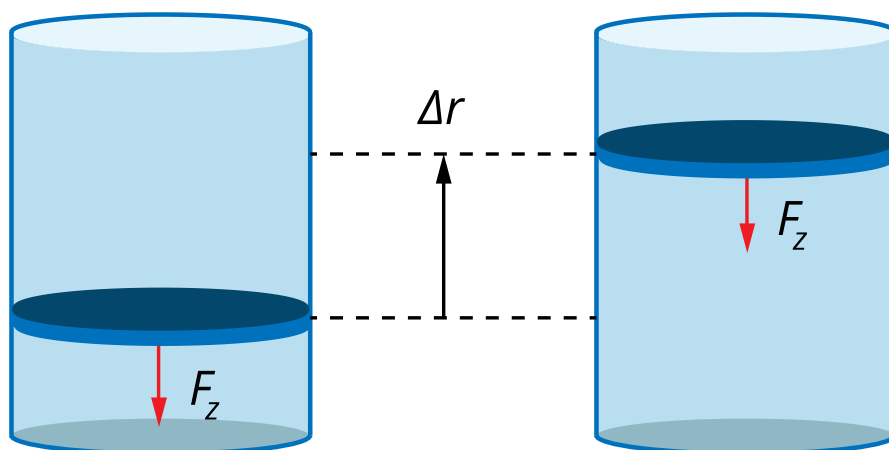
Rys. 2. Gaz w pojemniku się rozpręża, tłok porusza się w górę ruchem jednostajnym, z możliwie małą prędkością v . Siła zewnętrzna F_z oraz parcie gazu P mają jednakowe długości i przeciwne zwroty, więc się równoważą.

Ruch tłoka może zachodzić w górę (rozprężanie, objętość gazu rośnie), jak na rys. d2., ale także w dół (sprężanie, objętość gazu maleje). Oznacza to, że praca W siły F_z może być zarówno ujemna jak i dodatnia. Jest to zgodne z ogólną definicją pracy:

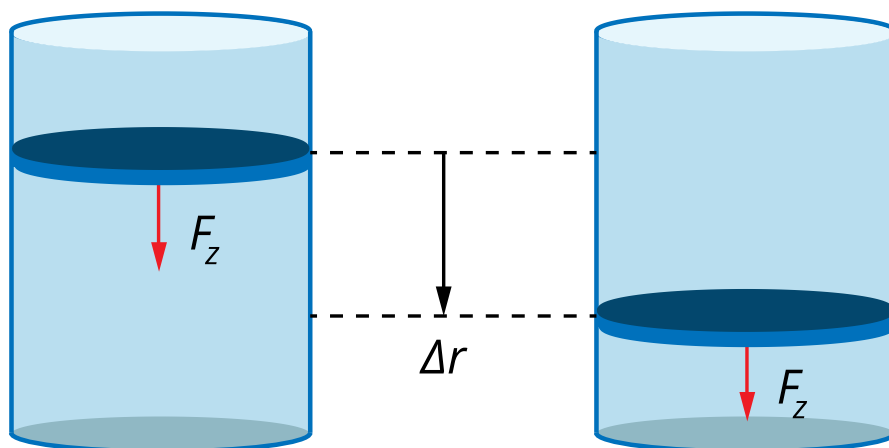
$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta r} = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha$, gdzie α jest kątem pomiędzy wektorami $\vec{F}$ oraz $\vec{\Delta r}$.

Kąt α przybiera jedną z dwóch wartości:

- $\alpha = 180^\circ$ (przy ruchu tłoka w górę), wtedy $\cos \alpha = -1$ i $W < 0$ a energia mechaniczna przepływa od gazu do otoczenia (Rys. 3a.);
- $\alpha = 0$ (przy ruchu tłoka w dół), wtedy $\cos \alpha = +1$ i $W > 0$ a energia mechaniczna przepływa od otoczenia do gazu (Rys. 3b.).



Rys. 3a. Tłok przesuwa się w górę, więc siła F_z i przemieszczenie Δr mają przeciwne zwroty.



Rys. 3b. Tłok przesuwa się w dół, więc siła F_z i przemieszczenie Δr mają zgodne zwroty

Spośród wielu możliwych przemian wyróżniamy przemiany: izotermiczną, izobaryczną i izochoryczną a także przemianę adiabatyczną i nimi właśnie się zajmiemy.

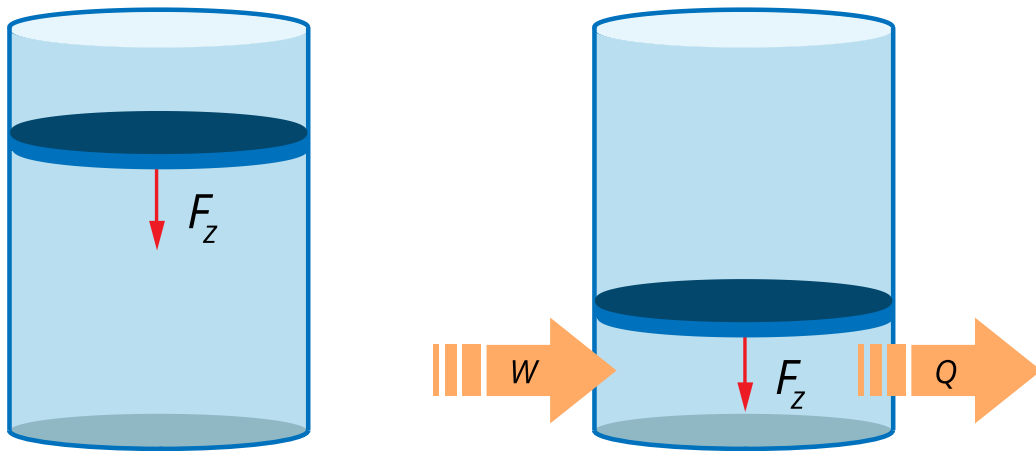
1. W **przemianie izotermicznej** zmienia się objętość i ciśnienie gazu przy stałej temperaturze; $T = \text{const}$. Skoro **temperatura** się nie zmienia, to i **energia wewnętrzna** gazu pozostaje stała. Zmiana energii wewnętrznej równa jest więc zeru. Równanie I zasady termodynamiki dla przemiany izotermicznej ma więc postać:

$$\Delta U = 0 \quad \Rightarrow \quad Q + W = 0$$

Jak to zinterpretujesz dla izotermicznego sprężania a jak dla rozprężania?

Rozważmy izotermiczne sprężanie gazu (Rys. 4.). Siła zewnętrzna F_z popycha tłok w dół wykonując dodatnią pracę W . Jednocześnie układ oddaje ciepło do otoczenia dokładnie w takiej ilości, ile wynosi praca wykonana nad układem, czyli $Q < 0$. Dzięki temu energia wewnętrzna, a więc i **temperatura** pozostają stałe. I zasada termodynamiki sprowadza się do równania:

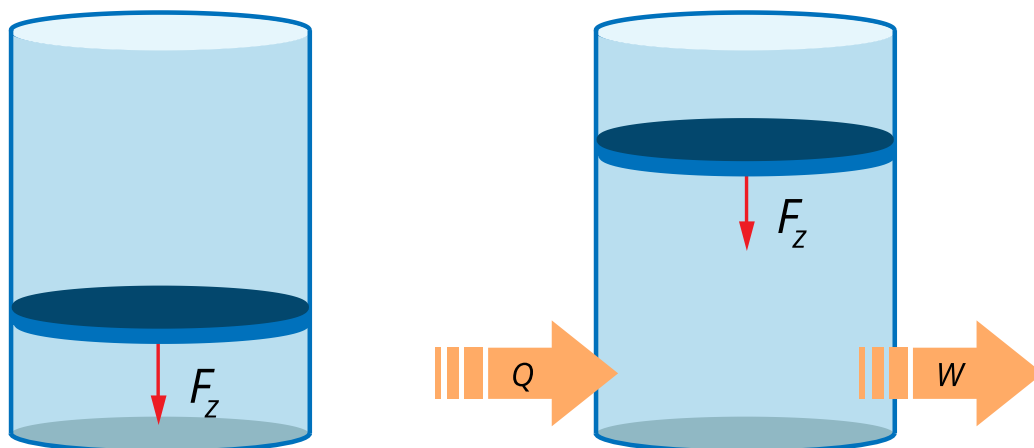
$$-Q = W$$



Rys. 4. Izotermiczne sprężanie gazu doskonałego. Siła zewnętrzna F_z wykonuje dodatnią pracę, a ciepło jest oddawane przez układ i ma wartość ujemną. Energia wewnętrzna nie zmienia się

Ciepło oddane przez układ równe jest pracy wykonanej nad układem.

Podczas izotermicznego rozprężania (Rys. 5.) siła zewnętrzna F_z wykonuje ujemną pracę, ponieważ działa ona w dół, a przesunięcie skierowane jest do góry. Tyle samo energii układ pobiera w formie ciepła od otoczenia. Energia wewnętrzna, a więc i **temperatura** gazu, pozostają zatem niezmienione.



Rys. 5. Izotermiczne rozprężanie gazu doskonałego. Siła zewnętrzna F_z wykonuje ujemną pracę, a ciepło pobranego przez układ jest dodatnie. Energia wewnętrzna nie zmienia się

I zasada termodynamiki w tym przypadku może mieć postać:

$$Q = -W$$

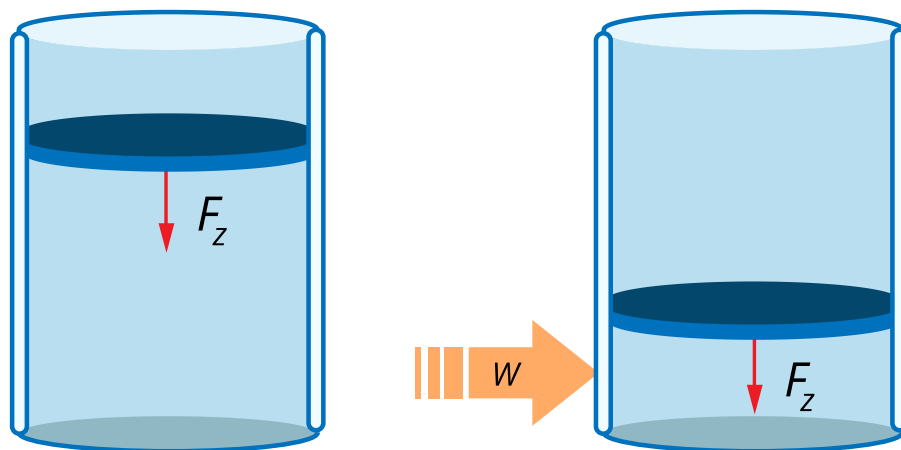
Ciepło pobrane przez układ równe jest wartości bezwzględnej pracy wykonanej nad układem.

2. **Przemiana adiabatyczna** to taka przemiana, w której układ nie wymienia ciepła z otoczeniem. Ciepło pobrane i oddane Q jest więc równe zeru.

Podczas adiabatycznego sprężania gazu (Rys. 6.) siła zewnętrzna wykonuje dodatnią pracę W . Praca ta jest w całości zamieniana na energię wewnętrzną gazu U . Zmiana energii wewnętrznej gazu ΔU jest dodatnia, czyli energia wewnętrzna zwiększa się. I zasada termodynamiki przybiera prostą postać:

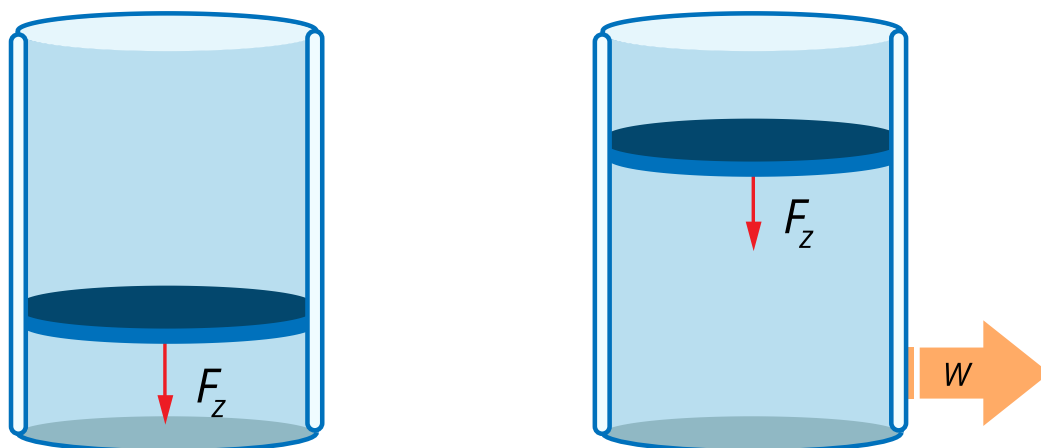
$$W = \Delta U$$

Praca wykonana nad układem przez siłę zewnętrzną równa jest przyrostowi jego energii wewnętrznej.



Rys. 6. Adiabaticzne sprężanie gazu doskonałego. Siła zewnętrzna F_z wykonuje dodatnią pracę. Energia wewnętrzna wzrasta

Podczas adiabaticznego rozprężania gazu (Rys. 7.) praca jest ujemna. Ujemna jest więc też zmiana energii wewnętrznej – energia wewnętrzna maleje.



Rys. 7. Adiabaticzne rozprężanie gazu doskonałego. Siła zewnętrzna F_z wykonuje pracę ujemną. Energia wewnętrzna maleje

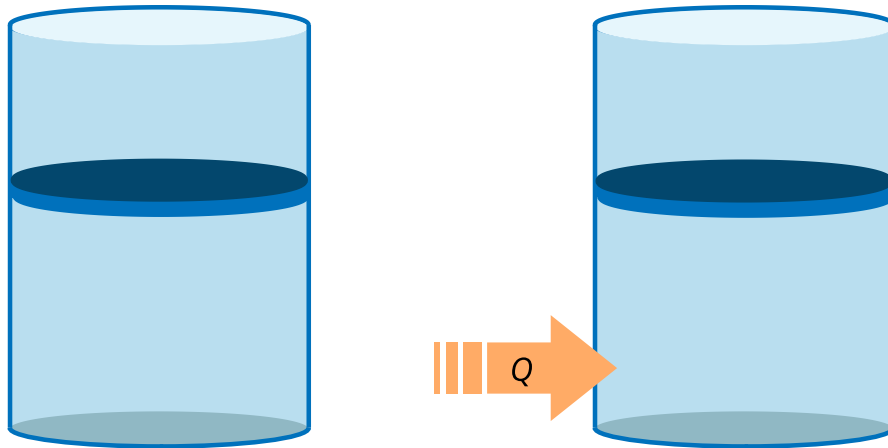
W równaniu I zasady termodynamiki $W = \Delta U$ obie wielkości W i ΔU są ujemne.

Ujemna praca wykonana przez siłę zewnętrzną równa jest ujemnej zmianie energii wewnętrznej gazu.

3. W **przemianie izochorycznej** przy stałej objętości zmienia się **temperatura** i ciśnienie gazu. Skoro tłok nie przesuwają się, praca W wykonana nad gazem równa jest zero.

Podczas izochorycznego ogrzewania gazu (Rys. 8.), ciepło pobrane z otoczenia zamienia się w całości na przyrost energii wewnętrznej. I zasada termodynamiki dla tej przemiany ma postać $Q = \Delta U$.

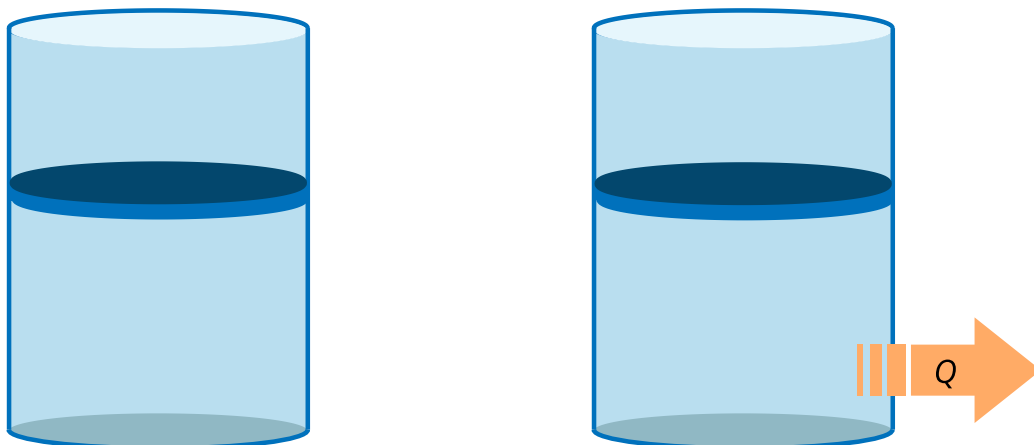
Ciepło pobrane przez układ równe jest przyrostowi energii wewnętrznej.



Rys. 8. Izochoryczne ogrzewanie gazu doskonałego. Praca równa jest zeru. Energia wewnętrzna rośnie

Kiedy gaz oziębamy przy stałej objętości (Rys. 9.), gaz oddaje ciepło Q , zmniejszając tym samym swoją energię wewnętrzną. W równaniu $Q = \Delta U$ obie wielkości Q i ΔU są ujemne.

Ciepło oddane przez układ równe jest ujemnej zmianie energii wewnętrznej.



Rys. 9. Izochoryczne oziębianie gazu doskonałego. Praca równa jest zeru. Energia wewnętrzna maleje

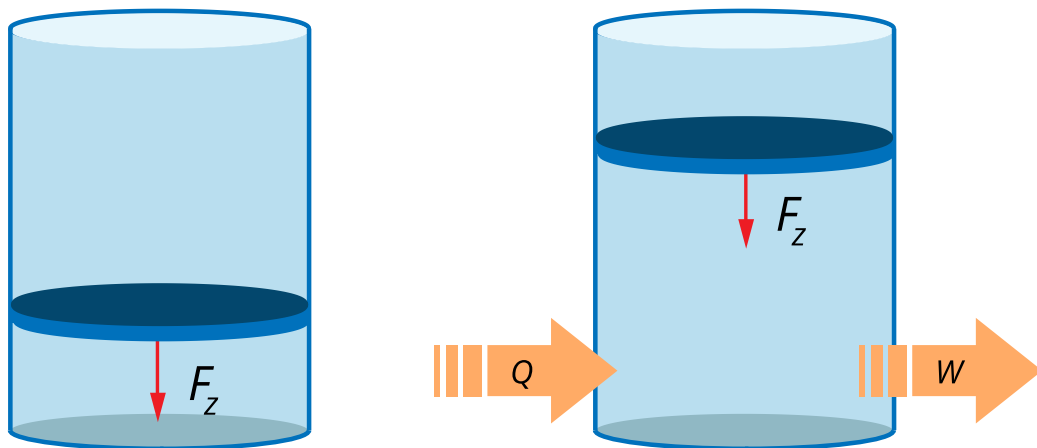
4. W **przemianie izobarycznej** zmieniają się **temperaturai** objętość gazu przy stałym ciśnieniu. Zarówno ciepło jak i praca są różne od zera. W odróżnieniu jednak od przemiany izotermicznej, ich wartości bezwzględne nie są sobie równe, lecz zawsze spełniają warunek:

$$|Q| > |W|$$

Podczas izobarycznego rozprężania gazu (Rys. 10.), należy mu dostarczyć ciepło Q ($Q > 0$). Gaz rozszerza się, wypychając tłok w górę. Tylko część dostarczonego ciepła Q zużyta zostaje na zwiększenie energii wewnętrznej U . Praca wykonana przez siłę zewnętrzną jest w tym przypadku ujemna i przyczynia się do zmniejszenia energii wewnętrznej. Równanie I zasady termodynamiki możemy zapisać:

$$Q - |W| = \Delta U$$

Przyrost energii wewnętrznej gazu równy jest dostarczonemu ciepłu pomniejszonemu o wartość bezwzględną pracy siły zewnętrznej.

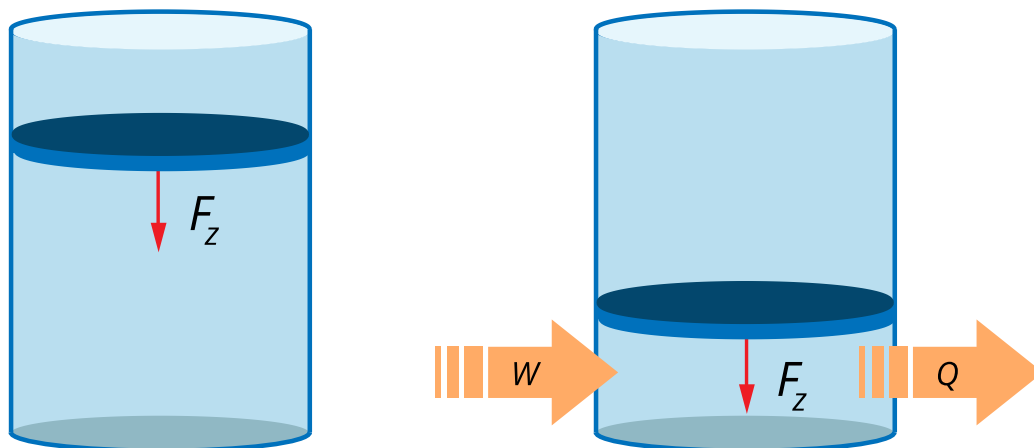


Rys. 10. Izobaryczne ogrzewanie gazu doskonałego. Układ pobiera ciepło. Siła zewnętrzna F_z wykonuje pracę ujemną. Energia wewnętrzna rośnie

Gdy przy stałym ciśnieniu gaz oddaje ciepło Q ($Q < 0$) (Rys. 11.), zmniejsza się objętość V i temperatura T , a więc i energia wewnętrzna U . Praca W siły zewnętrznej F_z jest dodatnia. Równanie I zasady termodynamiki możemy zapisać:

$$-|Q| + W = \Delta U$$

Ujemna zmiana energii wewnętrznej gazu równa jest ciepłu oddanemu przez układ powiększonemu o pracę wykonaną nad układem.



Rys. 11. Izobaryczne oziębianie gazu doskonałego. Układ oddaje ciepło. Siła zewnętrzna F_z wykonuje pracę. Energia wewnętrzna maleje

Słowniczek

temperatura

wielkość wprost proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząsteczek.

energia wewnętrzna

suma całkowitych energii wszystkich cząsteczek.

kPa (kilopaskal)

jednostka ciśnienia, $1 \text{ kPa} = 1\,000 \text{ Pa}$, 1 Pa to ciśnienie wywierane przez siłę 1 N na powierzchnię 1 m^2 .

ciepło molowe

C – ciepło potrzebne do ogrzania 1 mola substancji o 1 K .

ciepło molowe gazu przy stałej objętości

C_V – ciepło potrzebne do ogrzania 1 mola gazu o 1 K przy stałej objętości, $C_V = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$, gdzie Q – ciepło pobrane, n – liczba moli, ΔT – przyrost temperatury.

ciepło molowe gazu przy stałym ciśnieniu

C_p – ciepło potrzebne do ogrzania 1 mola gazu o 1 K przy stałym ciśnieniu, $C_p = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$, gdzie Q – ciepło pobrane, n – liczba moli, ΔT – przyrost temperatury.

Film samouczek

I zasada termodynamiki w przemianach gazu doskonałego

Obejrzyj film-samouczek, w którym I zasadę termodynamiki zastosowano do analizy przemian gazowych.

Wykonaj zamieszczone po filmie polecenie. Odnosi się ono do wykresu, który zobaczysz w filmie.

Polecenie 1

Z punktu a na wykresie $p(V)$ poprowadzono linię obrazującą rozprężanie izotermiczne. Linia ta przecięła izobarę cb:

☐ w objętości mniejszej niż V_b .

☐ w objętości równej V_b .

☐ w objętości większej niż V_b .

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Które ze stwierdzeń są prawdziwe

- ☐ Przemiana izotermiczna powoduje zmianę energii wewnętrznej gazu.
- ☐ Praca w przemianie izochorycznej oraz zmiana energii wewnętrznej w przemianie izotermicznej są zawsze równe zeru.
- ☐ Dostarczanie ciepła do układu w przemianie izobarycznej oraz w przemianie izochorycznej zawsze powoduje zwiększenie energii wewnętrznej.
- ☐ Praca i ciepło pobrane przez układ w przemianie adiabatycznej równe są zeru.
- ☐ Sprężanie izobaryczne gazu powoduje wzrost energii wewnętrznej.

Ćwiczenie 2



Gaz doskonały poddano przemianie izotermicznej, w wyniku której jego energia wewnętrzna zmieniła się o ΔU . Wskaż zdanie, które najlepiej opisuje wartość ΔU oraz jej związek z parametrami gazu doskonałego w takiej przemianie:

- ☐ $\Delta U = 0$, bo energia wewnętrzna U jest związana z temperaturą T
- ☐ $\Delta U = 0$, gdyż $\Delta T = 0$, zaś energia wewnętrzna U jest proporcjonalna do temperatury T
- ☐ $\Delta U > 0$ gdy gaz ulega izotermicznemu sprężaniu (przy rozprężaniu $\Delta U < 0$), gdyż praca wykonana przez zewnętrzną siłę przyczynia się do wzrostu energii wewnętrznej gazu.
- ☐ $\Delta U = 0$, gdyż $\Delta T = 0$, choć nie istnieje bezpośredni związek pomiędzy energią wewnętrzną U a temperaturą T

Ćwiczenie 3



Przyjmując, że wszystkie wartości wyrażone są w J, uzupełnij tabelę: ΔU – zmiana energii wewnętrznej układu, Q – ciepło przekazane do układu, W – praca wykonana nad układem przez siłę zewnętrzną.

	ΔU [J]	Q [J]	W [J]
Przemiana izotermiczna		-10	
Przemiana izobaryczna	15	20	
Przemiana izochoryczna	5		
Przemiana adiabatyczna			-6

Ćwiczenie 4



W każdym z dwóch pojemników znajduje się 1 mol gazu doskonałego. Gaz w jednym z nich poddano przemianie izochorycznej, a w drugim – izobarycznej. Do każdego z pojemników przekazano tę samą ilość ciepła Q . Porównaj przyrost energii wewnętrznej ΔU w każdej z tych przemian. Oceń także, który z powyższych sposobów podgrzewania gazu jest tańszy.

☐ $\Delta U_V < \Delta U_p$ oraz tańsze izobaryczne

☐ $\Delta U_V < \Delta U_p$ oraz tańsze izochoryczne

☐ $\Delta U_V > \Delta U_p$ oraz tańsze izochoryczne

☐ $\Delta U_V > \Delta U_p$ oraz tańsze izobaryczne

Ćwiczenie 5



Pasażer samochodu wracający z górskich wczasów wypił większą część wody z plastikowej butelki, kiedy był na wysokości 1000 m n. p. m. Po jakimś czasie, choć w samochodzie bez przerwy działała klimatyzacja, znów sięgnął po butelkę by się napić. Zauważył wtedy, że butelka jest lekko wklęsnięta. Wskaż najbardziej trafne wyjaśnienie tego stanu rzeczy.

- ☐ Ciśnienie powietrza w butelce nie zmieniło się, mimo wzrostu ciśnienia atmosferycznego, ale ponieważ zmalała temperatura powietrza, to zmalała również jego objętość;
- ☐ Zarówno ciśnienie jak i temperatura powietrza pozostały stałe, więc nie zmieniła się jego objętość; objętość samej butelki zmalała po prostu wskutek wzrostu ciśnienia atmosferycznego;
- ☐ Ciśnienie powietrza w butelce zmalało wskutek wzrostu ciśnienia atmosferycznego; tak więc przy stałej temperaturze powietrza zmalała również jego objętość;
- ☐ Ciśnienie powietrza w butelce wzrosło wskutek wzrostu ciśnienia atmosferycznego; tak więc przy stałej temperaturze powietrza zmalała jego objętość;

Ćwiczenie 6



Podczas wykonywania rzutu karnego piłkarz kopiąc piłkę, spowodował nagłe zmniejszenie jej objętości o jedną czwartą. Wykonał przy tym pracę równą 350 J. Oblicz zmianę energii wewnętrznej powietrza zamkniętego w piłce (zakładamy, że jest to gaz doskonały) w momencie maksymalnego sprężenia.

Odpowiedź: $\Delta U =$ J

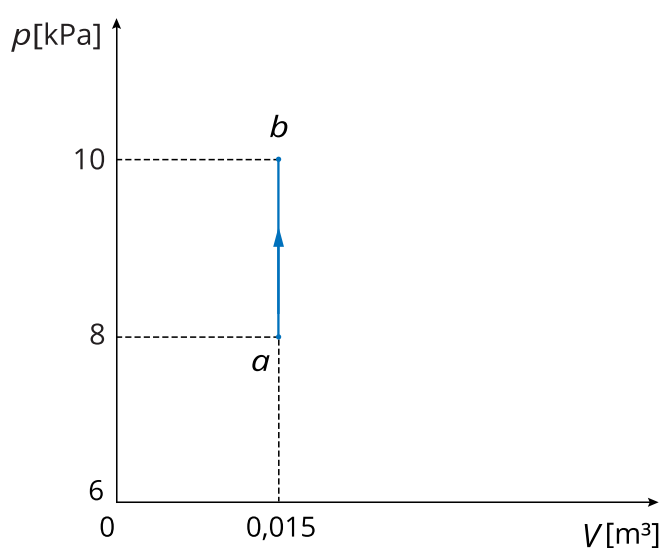
Ćwiczenie 7



4 mole gazu doskonałego sprężono adiabatycznie wskutek czego jego temperatura wzrosła od 27°C do 30°C . Ciepło molowe gazu przy stałej objętości C_V wynosi $21\text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$. Oblicz pracę wykonaną przez siłę zewnętrzną podczas sprężania gazu.

Odpowiedź: $W =$ J

Ćwiczenie 8



Gaz doskonały został poddany przemianie ab przedstawionej na powyższym wykresie. Podczas tej przemiany dostarczono do układu ciepło równe $37,5\text{ J}$. Oblicz pracę oraz zmianę energii wewnętrznej gazu w przemianie ab.

Odpowiedź:

1. $W_{ab} =$ J

2. $\Delta U_{ab} =$ J

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zastosowanie I zasady termodynamiki do analizy przemian gazowych.
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. 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; 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych; VI. Termodynamika. Uczeń: 9) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: izotermiczną, izobaryczną, izochoryczną i adiabatyczną gazów.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie 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 osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się. • kompetencje cyfrowe.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. dowie się, o czym mówi I zasada termodynamiki. 2. zrozumie, dlaczego I zasada termodynamiki jest formą prawa zachowania energii. 3. zrozumie, że energia wewnętrzna w przemianie izotermicznej pozostaje stała. 4. przeanalizuje i zinterpretuje zależność między ciepłem i pracą w przemianie izotermicznej. 5. przeanalizuje i zinterpretuje zależność między zmianą energii wewnętrznej i pracą w przemianie adiabatycznej. 6. przeanalizuje i zinterpretuje zależność między zmianą energii wewnętrznej i ciepłem w przemianie izochorycznej. 7. przeanalizuje i zinterpretuje zależność między ciepłem, pracą i zmianą energii wewnętrznej w przemianie izobarycznej. 8. • zastosuje zdobytą wiedzę, aby rozstrzygnąć, jaki znak ma ciepło i praca w konkretnych przemianach gazowych.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	Krótki wykład wprowadzający, analiza pomysłów uczniów, jak analizować poszczególne przemiany, pokaz filmu-samouczka.
Formy zajęć:	praca w parach lub w grupach i praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e- materiały dotyczące czterech przemian gazowych i I zasady termodynamiki
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
• Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej niniejszego e-materiału. • Odwołanie do wiedzy uczniów o I zasadzie termodynamiki • Przedstawienie celów lekcji.	
Faza realizacyjna:	

Po krótkim wykładzie wprowadzającym nauczyciel aktywizuje uczniów, zadając im pytania prowadzące do konstruowania wiedzy o zastosowaniu I zasady termodynamiki w przemianach gazowych, wykorzystując posiadane wcześniej informacje. W dyskusji uczniowie analizują kolejne przemiany opisane w części II.

Przykładowe pytania do uczniów:

1. Jakie czynności trzeba wykonać, aby zrealizować przemianę izotermiczną?
2. Czy energia wewnętrzna w tej przemianie zmienia się?
3. Jak zapisać I zasadę dynamiki dla przemiany izotermicznej?
4. Jaki warunek musi spełniać przemiana, aby była adiabatyczną?
5. Jak zapisać I zasadę dynamiki dla przemiany adiabatycznej?
6. Jak zrealizować przemianę izochoryczną?
7. Ile wynosi praca w tej przemianie?
8. Jak zapisać I zasadę dynamiki dla przemiany izochorycznej?
9. Jak zrealizować przemianę izobaryczną?
10. Jak zapisać I zasadę dynamiki dla przemiany izobarycznej?

Uczniowie oglądają film-samouczek, gdzie pokazano zastosowanie skonstruowanej wiedzy do rozwiązywania problemów.

Faza podsumowująca:

Uczniowie rozwiązują zadanie 2 oraz dwa z zad. 4 - 8 z zestawu ćwiczeń w parach lub grupach.

Praca domowa:

Zadania 1 i 3 obowiązkowo oraz nierozwiązane na lekcji z zestawu ćwiczeń-dla chętnych.

**Wskazówki
metodyczne opisujące
różne zastosowania
danego multimedium:**

Film-samouczek (multimedium I) można wykorzystać na lekcji jako podsumowanie i utrwalenie wiedzy. Można też go wykorzystać jako materiał, służący powtórzeniu materiału po zajęciach.