



O czym mówi I zasada termodynamiki?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

A close-up photograph of a gas stove burner with a bright blue flame. The image is overlaid with a dark blue grid pattern. A semi-transparent black rectangular box is centered over the flame, containing white text.

O czym mówi I zasada termodynamiki?

Czy to nie ciekawe?

Zasadą nazywamy w fizyce prawidłowość stwierdzoną doświadczalnie, która według aktualnego stanu wiedzy obowiązuje zawsze i wszędzie. Przykładem może być zasada zachowania energii, która mówi, że energia nie może zniknąć ani pojawić się, tylko przemienia się z jednej postaci w inną. Przyjmujemy tę zasadę za prawdziwą, ponieważ nigdy żadne doświadczenie ani obserwacja jej nie zaprzeczyło.



Fot. a. Zdjęcie kubka z parującym napojem.

A o czym mówi I zasada termodynamiki? Wyjaśnia ona, w jaki sposób może zmienić się energia wewnętrzna ciała, oraz podaje sposób na obliczenie tej zmiany.

Twoje cele

- Poznasz definicję energii wewnętrznej,
- Dowiesz się, jakie są sposoby zmiany energii wewnętrznej,
- Zrozumiesz, na czym polega przekazywanie energii na poziomie mikroskopowym, czyli wymiana ciepła,
- Zrozumiesz, na czym polega przekazywanie energii na poziomie makroskopowym, czyli przez wykonanie pracy,
- Przeanalizujesz różne procesy termodynamiczne, aby wyjaśnić w jakich procesach zmienia się energia potencjalna, a w jakich energia kinetyczna cząsteczek,
- Zastosujesz I zasadę termodynamiki do obliczania zmiany energii wewnętrznej w różnych procesach termodynamicznych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Każde ciało składa się z molekuł: cząsteczek lub atomów, które pozostają w ciągłym, chaotycznym ruchu. Molekuły mogą na siebie oddziaływać, oprócz zderzeń, siłami przyciągającymi, jak to ma miejsce w cieczach i ciałach stałych.

Energią wewnętrzną ciała nazywamy sumę energii kinetycznych cząsteczek oraz energii potencjalnych oddziaływań międzycząsteczkowych i wewnątrzcząsteczkowych. Aby zwiększyć energię wewnętrzną, należy ciało dostarczyć energię. Odebranie energii od ciała skutkuje zmniejszeniem energii wewnętrznej.

Energię wewnętrzną można zmienić na dwa sposoby:

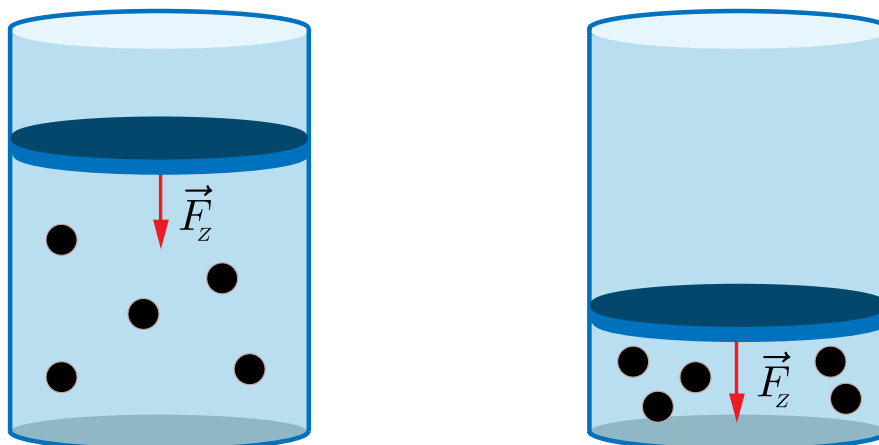
1. Przez **dostarczanie lub odbieranie ciepła**, czyli **przekazywanie energii na poziomie mikroskopowym**. Przez przekazywanie energii na poziomie mikroskopowym rozumiemy przekazywanie energii bezpośrednio między cząsteczkami różnych substancji.
2. Przez **wykonywanie pracy nad układem przez siły zewnętrzne, czyli przekazywanie energii na poziomie makroskopowym**. Praca wykonywana jest za pośrednictwem ciała dużo większego od cząsteczek, którym możemy oddziaływać na cząsteczki gazu. Przykładem jest tłok, którym sprężamy lub rozprężamy gaz w naczyniu.

Omówmy teraz te dwa sposoby przekazywania energii.

1. Dostarczanie lub odbieranie ciepła

Spontaniczny przekaz ciepła przebiega zawsze od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze. Temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Gdy stykają się ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, ich cząsteczki zderzają się i w zderzeniach energia przekazywana jest - średnio rzecz biorąc dużo częściej - od cząsteczek o wyższej energii kinetycznej do cząsteczek o niższej energii kinetycznej. Podobnie, jak to obserwujemy w czołowych zderzeniach kul bilardowych o identycznych masach, po zderzeniu szybsza kula zwalnia, a wolniejsza przyspiesza. Przekazywanie ciepła do układu powoduje zwiększenie energii wewnętrznej, natomiast odbieranie ciepła powoduje zmniejszenie energii wewnętrznej.

2. Wykonywanie pracy



Rys. 1. Siła zewnętrzna wykonuje pracę sprężając gaz.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Rozważmy sprężanie gazu za pomocą tłoka. Siła zewnętrzna przesuwa tłok, zmniejszając objętość gazu. Tłok uderza cząsteczki gazu, nadając im dodatkową energię kinetyczną. Podczas zmiany objętości gazu siła zewnętrzna wykonuje pracę. Gdy objętość maleje, praca sił zewnętrznych jest dodatnia i powoduje zwiększenie energii wewnętrznej gazu. I na odwrót, podczas zwiększania objętości gazu, praca sił zewnętrznych jest ujemna, a energia wewnętrzna maleje.

Zgodnie z I zasadą termodynamiki całkowita zmiana energii wewnętrznej równa jest sumie pobranego ciepła Q i pracy W wykonanej przez siły zewnętrzne:

$$\Delta U = Q + W.$$

Ciało o dowolnym stanie skupienia (stałym, ciekłym albo gazowym) może zmienić swoją energię wewnętrzną na skutek przekazu energii w postaci ciepła. Natomiast przekaz energii w postaci pracy związany jest ze zmianą objętości. Trudno jest zmienić objętość ciała stałego i cieczy w odróżnieniu od gazu. Mówimy, że ciała stałe oraz cieczy są nieściśliwe, a przynajmniej istotnie mniej ściśliwe niż gazy. Tak więc zmiana energii wewnętrznej na skutek pracy wykonanej przez siły zewnętrzne dotyczy przede wszystkim gazów.

Jak zmieni się energia wewnętrzna gazu, który zostanie rozprężony i siła zewnętrzna wykona przy tym pracę $W = -300 \text{ J}$, a jednocześnie gaz pobierze z otoczenia ciepło $Q = 500 \text{ J}$? Porównajmy tę zmianę ze zmianą energii wewnętrznej, gdy gaz ulega takiemu samemu rozprężeniu, ale jest izolowany cieplnie i nie wymienia ciepła z otoczeniem.

W pierwszym przypadku, aby obliczyć zmianę energii wewnętrznej, musimy dodać pracę wykonaną przez siłę zewnętrzną i ciepło pobrane przez gaz.

$$\Delta U = Q + W = 500 \text{ J} + (-300 \text{ J}) = 200 \text{ J}.$$

Energia wewnętrzna wzrosła o 200 J.

W przypadku gazu, który nie wymienia ciepła z otoczeniem zmiana energii wewnętrznej wynosi

$$\Delta U = Q + W = 0 - 300 \text{ J} = -300 \text{ J}.$$

Energia wewnętrzna zmalała o 300 J.

Jaki może być skutek zmiany energii wewnętrznej? Pamiętajmy, że energia wewnętrzna to suma energii kinetycznych i potencjalnych wszystkich cząsteczek. Jeśli zwiększy się całkowita energia kinetyczna, to tym samym zwiększy się średnia energia kinetyczna cząsteczek. Miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek jest temperatura. Zmiana energii wewnętrznej może być więc związana ze zmianą temperatury. Z tym zjawiskiem spotykamy się często w codziennym życiu. Gdy podgrzewamy wodę w czajniku, woda pobiera ciepło od płomienia kuchenki i jej temperatura rośnie. Gorąca zupa zostawiona w chłodnym pokoju stygnie, oddając ciepło do otoczenia. W omówionych przykładach zmiana energii wewnętrznej jest związana ze zmianą energii kinetycznej cząsteczek.

Aby obliczyć zmianę energii wewnętrznej podczas zmiany temperatury ciała, należy obliczyć ciepło pobrane, czyli pomnożyć ciepło właściwe ciała c_w przez jego masę m i zmianę temperatury ΔT . Przez zmianę temperatury rozumiemy różnicę między temperaturą końcową a temperaturą początkową.

Dla przykładu założmy, że woda o masie 0,4 kg ostygła od temperatury 80°C do temperatury 20°C . **Ciepło właściwe** wody wynosi $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Ciepło pobrane przez wodę wynosi wobec tego

$$Q = mc_w (t_2 - t_1) = 0,4 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} (20^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}) = -100800 \text{ J}.$$

Ujemna wartość ciepła pobranego przez wodę oznacza, że woda oddała ciepło. Praca w tym procesie jest pomijalnie mała, bo zmiana objętości wody podczas stygnięcia jest niewielka. Zmiana energii wewnętrznej równa jest więc pobranemu ciepłu Q i wynosi $\Delta U = -100800 \text{ J}$, tj. energia wewnętrzna zmalała o tę wartość.

Mogą być też inne skutki zmiany energii wewnętrznej. Podczas przemian fazowych (takich jak topnienie, wrzenie, krzepnięcie) temperatura, a więc i średnia energia kinetyczna cząsteczek, nie zmienia się. Pobieranie lub oddawanie ciepła przez ciało w tych procesach

powoduje zmianę energii potencjalnej cząsteczek, a tym samym zmianę energii wewnętrznej.

Zastanówmy się, co się dzieje na poziomie mikroskopowym podczas topnienia lodu. Proces rozpoczyna się, gdy - na skutek pobierania ciepła z otoczenia - temperatura lodu wzrośnie do temperatury topnienia, czyli 0°C . Podczas zwiększania temperatury cząsteczki lodu związane w strukturę krystaliczną, wykonują drgania wokół położenia równowagi z coraz większą energią kinetyczną. W temperaturze topnienia energia tych drgań jest już tak duża, że przewyżczone zostają siły przyciągające między cząsteczkami i cząsteczki oddalają się od siebie. Struktura krystaliczna zostaje zniszczona i lód zamienia się w wodę. Zwiększenie odległości między przyciągającymi się cząsteczkami oznacza zwiększenie ich energii potencjalnej. Podobnie jest w polu grawitacyjnym. Gdy podrzucimy kamień, zwiększa się jego energia potencjalna grawitacji na skutek zwiększania odległości od Ziemi.

Odwrotny proces zachodzi, gdy woda oddaje ciepło do otoczenia. Początkowo cząsteczki wody poruszają się coraz wolniej, temperatura maleje, aż w temperaturze 0°C temperatura przestaje się zmieniać, pomimo oddawania ciepła. Średnia energia kinetyczna cząsteczek nie zmienia się, ale maleje energia potencjalna międzycząsteczkowych sił przyciągających. Cząsteczki zbliżają się do siebie tak, że zostają związane w kryształ. (Podobnie jak maleje energia potencjalna grawitacji spadającego kamienia.)

Obliczmy zmianę energii wewnętrznej topniejącego lodu o masie 2 kg w temperaturze 0°C . Podczas topnienia lód pobiera od otoczenia ciepło równe iloczynowi jego masy m i ciepła topnienia c_t :

$$Q = mc_t.$$

Ciepło topnienia lodu wynosi ok. $333000\frac{\text{J}}{\text{kg}}$, zatem

$$Q = mc_t = 2\text{ kg} \cdot 333000\frac{\text{J}}{\text{kg}} = 666000\text{ J}.$$

Wobec tak dużej wartości ciepła pobranego podczas topnienia całego lodu, możemy pominąć pracę związaną z niewielką zmianą jego objętości.

Podsumujmy - zmiana energii wewnętrznej może oznaczać:

1. Zmianę energii kinetycznych cząsteczek, a więc zmianę temperatury ciała.
2. Zmianę energii potencjalnej cząsteczek, a więc zmianę stanu skupienia (całości bądź części).

Słowniczek

Ciepło właściwe (ang. specific heat capacity)

energia potrzebna do zwiększenia temperatury 1 kilograma substancji o 1 **stopień Kelvina**.

Temperatura w skali Kelvina (skali bezwzględnej) (ang. absolute temperature)

jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Najmniejszą teoretycznie temperaturą w tej skali jest zero, ponieważ średnia energia kinetyczna nie może być ujemna, przy czym $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$, ale różnice temperatur w skali Kelvina ΔT i w skali Celsjusza Δt są sobie równe $\Delta T = \Delta t$.

Ciepło topnienia (ang. latent heat of melting)

energia pobierana przez 1 kilogram ciała stałego podczas procesu topnienia.

Ciepło krzepnięcia

energia oddawana przez 1 kilogram cieczy podczas procesu krzepnięcia. Ciepło krzepnięcia równe jest ciepłu topnienia, ponieważ procesy krzepnięcia i topnienia są odwracalne.

Film samouczek

O czym mówi I zasada termodynamiki?

Rozwiążmy przykładowy problem dla wody stygnącej na mrozie i zamieniającej się w lód.

Polecenie 1

Żelazny pręt o masie $m = 1$ kg i temperaturze początkowej $t_1 = 38^\circ\text{C}$ jest ogrzewany w piecu hutniczym. Oblicz zmianę energii wewnętrznej pręta do chwili całkowitego stopienia.

Temperatura topnienia żelaza wynosi $t_2 = 1538^\circ\text{C}$, ciepło właściwe żelaza $c_w = 444 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, ciepło topnienia żelaza $c_t = 268000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Praca wykonana podczas sprężania gazu wynosi $W = 1100$ J, jednocześnie gaz oddał do otoczenia ciepło Q o wartości bezwzględnej 900 J. Oblicz zmianę energii wewnętrznej gazu.

Ćwiczenie 3



Gaz pobrał z otoczenia ciepło równe 1800 J, a jego energia wewnętrzna zmieniła się przy tym o 1200 J. Oblicz pracę wykonaną przez siłę zewnętrzną. Odpowiedz, czy objętość gazu zmniejszyła się, czy zwiększyła?

Ćwiczenie 4



W wyniku sprężenia gazu przez siłę zewnętrzną energia wewnętrzna gazu zwiększyła się o 900 J. Przyjmując, że cząsteczki gazu - oprócz zderzeń - nie oddziałują ze sobą i ich energia potencjalna jest równa zero, oceń, jak zmieniła się temperatura gazu: zwiększyła się czy zmniejszyła? Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 5



Woda gotowana w czajniku, na skutek roztargnienia właściciela, całkowicie się wygotowała - używając języka naukowego: zamieniła się w parę. Odpowiedz, jak zmieniła się energia wewnętrzna wody podczas tego procesu: zwiększyła się czy zmniejszyła?

Ćwiczenie 6



Cząsteczki gazu w warunkach odpowiednio wysokiej temperatury i małego ciśnienia praktycznie nie oddziałują ze sobą, więc zmiany energii potencjalnej tych oddziaływań równe są zero. Cząsteczki cieczy działają na siebie siłami przyciągającymi, więc podczas wrzenia (albo skraplania) następuje pewna zmiana energii potencjalnej.

Jak zmienia się energia kinetyczna cząsteczek, a jak energia potencjalna w procesie wrzenia?

Ćwiczenie 7



Praca wykonana przez siłę zewnętrzną podczas rozprężania gazu wynosi $W = -850$ J, przy czym w procesie tym gaz pobrał z otoczenia ciepło Q o wartości 850 J. Oblicz zmianę energii wewnętrznej oraz temperatury gazu.

Ćwiczenie 8



Praca wykonana przez siłę zewnętrzną podczas rozprężania $m = 10.15$ g pary wodnej wynosi $W = -349,92$ J. Podczas tego procesu temperatura spadła o $\Delta T = 17,5$ K. Ile ciepła oddała/pobrała para wodna do/z otoczenia? Ciepło właściwe pary wodnej wynosi $c_w = 1970$ J/(kg K).

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	O czym mówi I zasada termodynamiki?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

<p>Podstawa programowa:</p>	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych</p> <p>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>V. Termodynamika. Uczeń:</p> <p>3) posługuje się pojęciem energii wewnętrznej; analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VI. Termodynamika. Uczeń:</p> <p>3) posługuje się pojęciem energii wewnętrznej; analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii.</p>
<p>Kształtowane kompetencje kluczowe:</p>	<p>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pozna definicję energii wewnętrznej. 2. dowie się, jakie są sposoby zmiany energii wewnętrznej. 3. wyjaśni, na czym polega przekazywanie energii na poziomie mikroskopowym, czyli wymiana ciepła. 4. wyjaśni, na czym polega przekazywanie energii na poziomie makroskopowym, czyli przez wykonanie pracy. 5. przeanalizuje różne procesy termodynamiczne i wyjaśni w jakich procesach zmienia się energia potencjalna, a w jakich energia kinetyczna cząsteczek. 6. zastosuje I zasadę termodynamiki do obliczania zmiany energii wewnętrznej w różnych procesach termodynamicznych.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - wykład informacyjny, - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	<ul style="list-style-type: none"> - praca w parach, - praca w grupach 4-osobowych, praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia.
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Jak odróżnić przekaz energii w formie pracy od przekazu energii w formie ciepła”, „Definicja energii wewnętrznej”, „I. zasada termodynamiki jako zasada zachowania energii”, „Analizujemy zmiany energii wewnętrznej w przemianach fazowych”.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Odwołanie do wiedzy uczniów o zasadzie zachowania energii.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza definicję energii wewnętrznej i wyjaśnia pojęcia energii kinetycznej i potencjalnej cząsteczek, a także pojęcie temperatury jako miary średniej energii kinetycznej cząsteczek. Następnie wyjaśnia dwa sposoby przekazywania energii jako przekaz ciepła i wykonanie pracy. Stawia uczniom problemy:

1. Jak zmienia się energia cząsteczek podczas zderzeń dwóch cząsteczek o różnych energiach?
2. Jaki będzie skutek zetknięcia dwóch ciał o różnych temperaturach?

Uczniowie w dyskusji, z pomocą nauczyciela, wyjaśniają, na czym polega przekaz ciepła na poziomie cząsteczek.

Kolejny problem do dyskusji dla uczniów:

Jak przesuwanie tłoka, sprężającego gaz, wpływa na energię kinetyczną cząsteczek gazu, z którymi tłok się zderza?

Uczniowie w dyskusji, z pomocą nauczyciela, wyjaśniają, na czym polega przekaz energii przez wykonanie pracy.

Następnie nauczyciel podaje I zasadę termodynamiki. Uczniowie obliczają w parach, jak zmieni się energia wewnętrzna gazu, który zostanie rozprężony i siła zewnętrzna wykona przy tym pracę $W = -300 \text{ J}$, a jednocześnie gaz pobierze ciepło z otoczenia $Q = 500 \text{ J}$.

Nauczyciel pyta uczniów, w jakich procesach zmienia się energia kinetyczna, a w jakich energia potencjalna cząsteczek, wymieniając: ogrzewanie wody od 20°C do 50°C , wrzenie wody, krzepnięcie lodu.

Uczniowie, dyskutując w grupach 4-osobowych, analizują te procesy i zgłaszają wnioski, do jakich doszli.

Uczniowie oglądają film-samouczek.

Faza podsumowująca:

Uczniowie rozwiązują polecenie aktywizujące zamieszczone wraz z samouczkiem.

Praca domowa:

Zadania 1 - 3 z zestawu ćwiczeń obowiązkowo, do wyboru jedno zadanie z zadań 4 - 7.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Film samouczek można wykorzystać na lekcji i połączyć z wykonaniem polecenia aktywizującego. Może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.
--	---