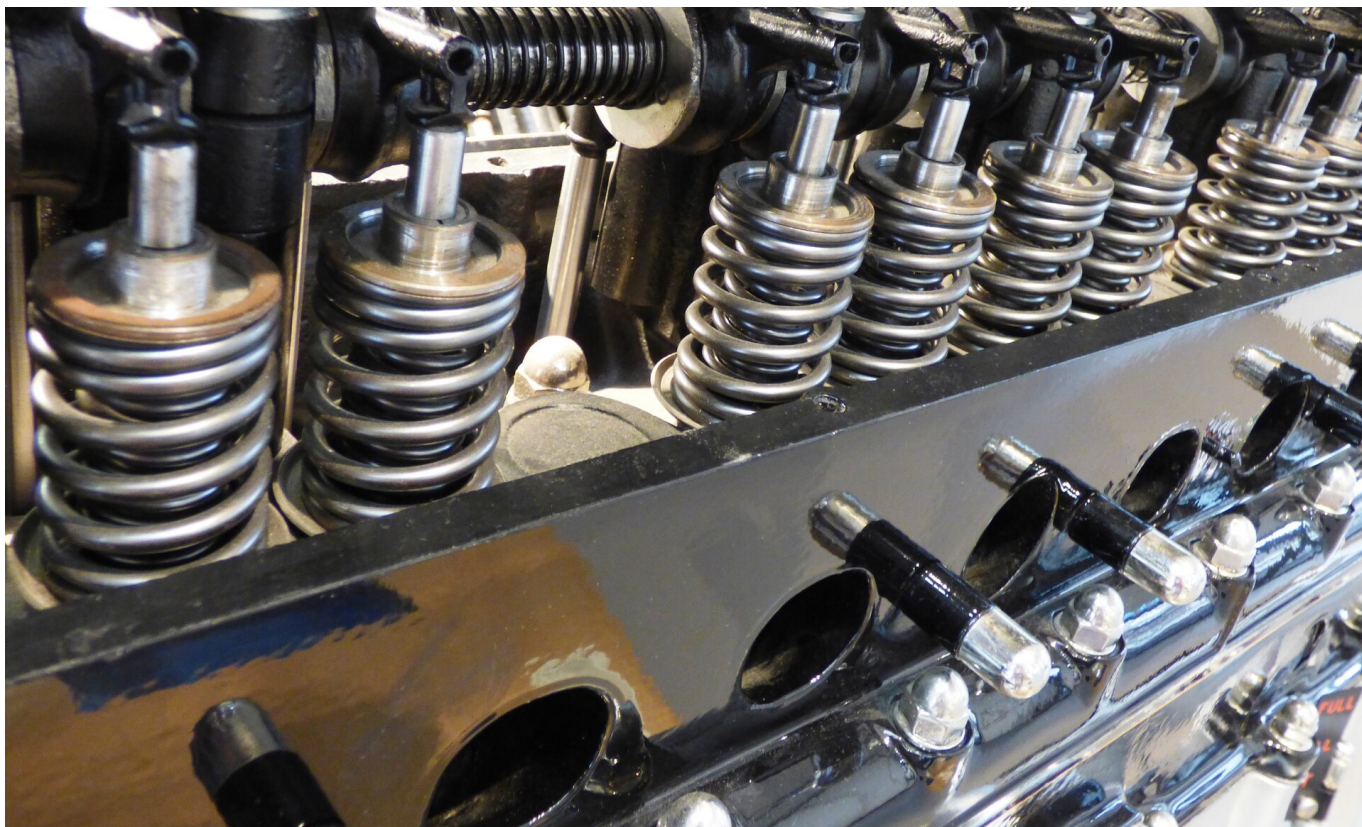
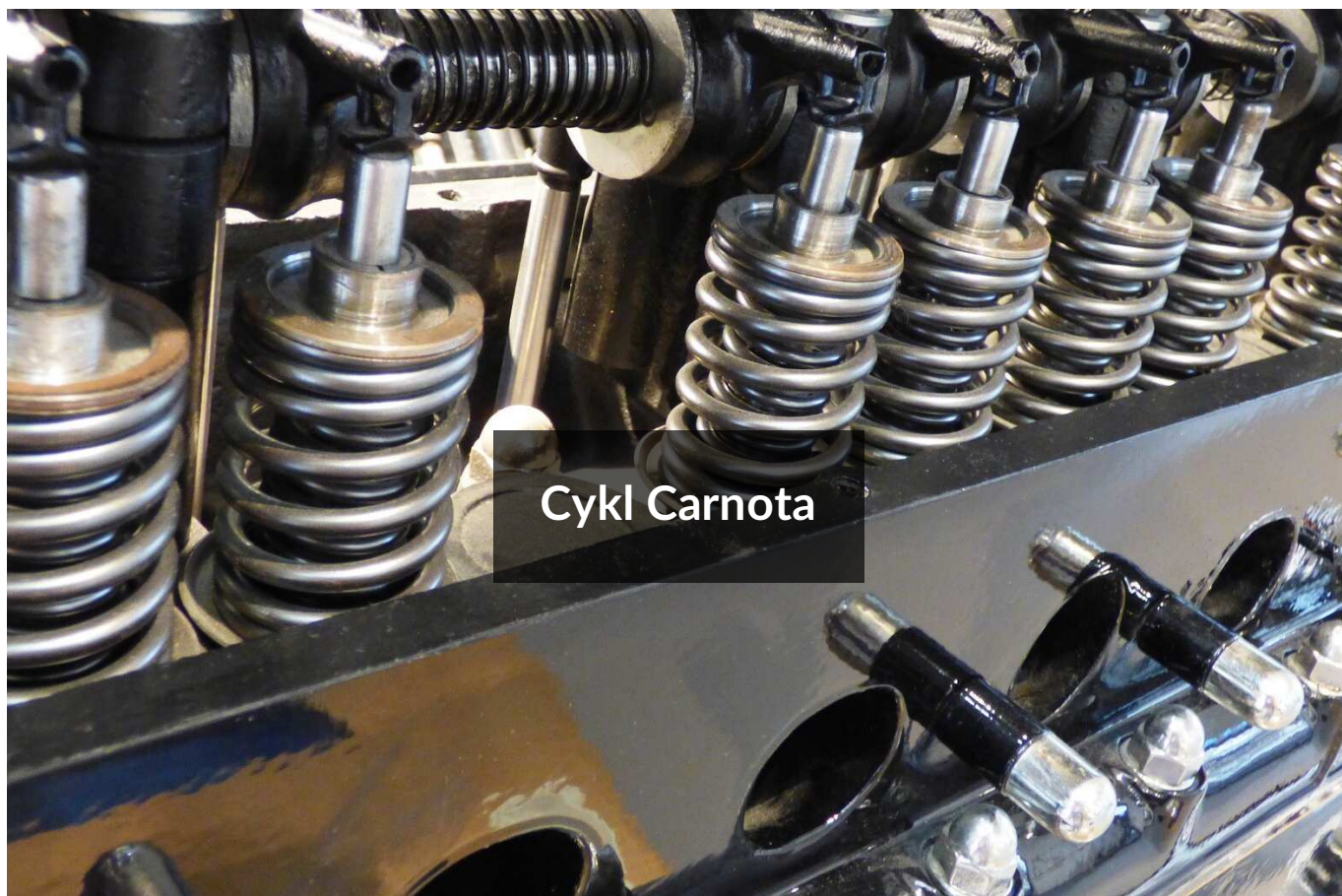




Cykl Carnota

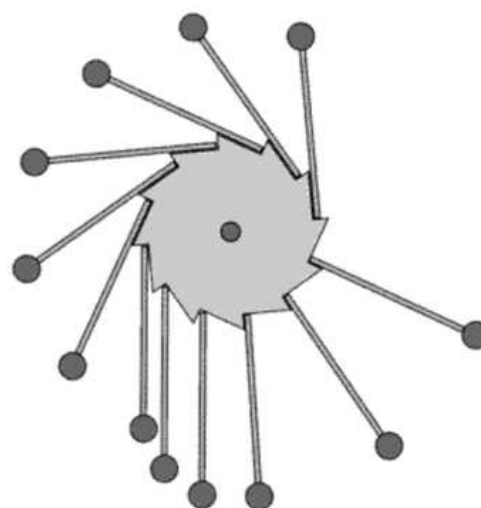
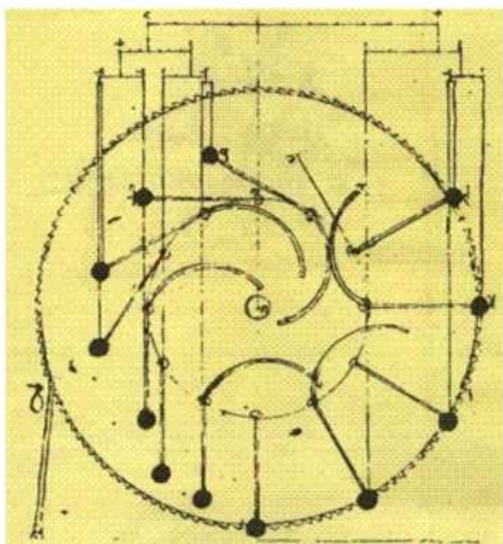
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/silnik-motoryzacja-cylinder-1100580> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Silnik cieplny to urządzenie zamieniające ciepło na pracę. Jego sprawność definiuje się jako stosunek wykonanej pracy do pobranego ciepła. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki nie jest możliwe stworzenie takiego silnika, którego sprawność wynosiłaby 100% (zob. Rys. a.). Jaka zatem może być maksymalna sprawność silnika cieplnego? Okazuje się, że istnieje pewien (nieco wyidealizowany i w praktyce bardzo trudny do zrealizowania) cykl termodynamiczny o największej możliwej sprawności, tzw. cykl Carnota. Z jakich przemian składa się ten cykl i jaka jest jego sprawność – dowiesz się z tego materiału.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RLehPbrR7ZRlg](#)

Rys. a. Gdyby komuś kiedyś udało się stworzyć silnik cieplny o sprawności równej 100%, byłoby to równoważne stworzeniu *perpetuum mobile* drugiego rodzaju. Oczywiście stworzenie takiej maszyny jest niemożliwe, ponieważ to jest sprzeczne z zasadami termodynamiki. Na zamieszczonym rysunku pokazano projekt *perpetuum mobile* wg Leonarda da Vinci. Zastanów się, dlaczego ten projekt nie ma szans na realizację.

Źródło:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%92%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C.jpg, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PerpetuumMobile.gif>, domena publiczna.

Rys. a. Na lustracji z lewej strony jest oryginalny rysunek Leonarda da Vinci, przedstawiający koło, które według projektu ma się kręcić bez dostarczania energii. Do koła jest przymocowanych 12 prętów z ciężarkami na zewnętrznych końcach. Pręty zamocowane są na niesymetrycznych zawiasach. Zawiasy umożliwiają zwisanie pręta, gdy pręt znajduje się po lewej stronie koła. Gdy pręt znajdzie się po prawej stronie koła, jego kierunek jest zgodny z kierunkiem promienia koła. Po prawej stronie ilustracji znajduje się animacja, która ilustruje ciągły ruch koła w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara. Pręt w momencie przejścia na prawą stronę koła wychyla się w prawo i pociąga w dół prawą stronę koła. Odpowiedz na pytanie, dlaczego ten projekt nie może działać w rzeczywistości, najłatwiej znaleźć, analizując rysunek da Vinci. Widać na nim, że po prawej stronie jest mniej prętów z ciężarkami niż po lewej stronie koła. Zwisające po lewej stronie pręty są w mniejszych odległościach od siebie.

Twoje cele

Dzięki lekturze tego materiału:

- dowiesz się, z jakich przemian składa się cykl Carnota,
- poznasz definicję sprawności cyklu,

- dowiesz się, jak wyrazić sprawność cyklu Carnota przez temperatury grzejnika i chłodnicy,
- zastosujesz wzory wyrażające sprawność cyklu Carnota do obliczania temperatur grzejnika i chłodnicy,
- zastosujesz wzory wyrażające sprawność cyklu Carnota do obliczania ciepła pobranego i oddanego w cyklu,
- przeanalizujesz kolejne przemiany cyklu Carnota i ocenisz, w których przemianach praca wykonywana jest przez gaz, a w których przez siłę zewnętrzną,
- przeanalizujesz kolejne etapy cyklu Carnota i ocenisz, w których przemianach ciepło jest pobierane, a w których oddawane.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Silnik cieplny to urządzenie, które - pracując w zamkniętym cyklu termodynamicznym - zamienia **energię cieplną** na pracę mechaniczną (zob. e-materiały pt. *Co to jest silnik cieplny? i Jak zanalizować cykle termodynamiczne?*).

W tym materiale naszym celem jest analiza takiego silnika cieplnego, który ma największą możliwą sprawność. Przypomnijmy, że **sprawność silnika** definiuje się jako stosunek pracy wykonanej przez silnik w pojedynczym cyklu do ilości ciepła pobranego w takim cyklu (zob. materiał pt. *Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?*).

Substancją „roboczą” w naszym silniku będzie gaz doskonały. Oprócz tego będziemy mieli do dyspozycji dwa ciała o różnych, ustalonych temperaturach: $T_1 \geq T_2$. Ciało o wyższej temperaturze T_1 , z którego gaz będzie pobierał ciepło, nazwiemy „grzejnikiem”, zaś ciało o niższej temperaturze T_2 , któremu gaz będzie oddawał ciepło, - „chłodnicą”. Oczywiście ciepło pobierane w jednym cyklu nie może być dowolnie duże. Założymy, że w jednym cyklu gaz pobiera ciepło Q_1 . Sprawność cyklu będzie wtedy równa stosunkowi uzyskanej pracy W do ciepła pobranego w tym cyklu:

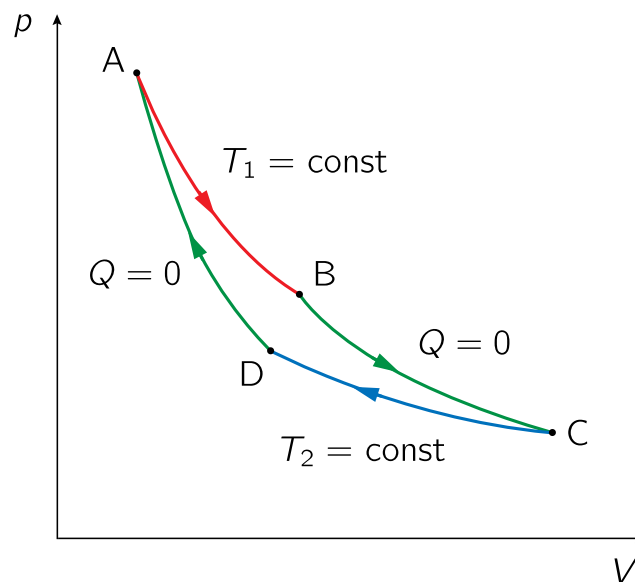
$$\eta = \frac{W}{Q_1}.$$

Jeśli sprawność rozważanego cyklu ma być maksymalna, to składające się na niego przemiany termodynamiczne powinny być dobrane w taki sposób, by - przy ustalonym cieple pobranym - praca wykonana przez gaz była maksymalna.

Niech pierwszą przemianą rozważanego cyklu będzie **izotermiczne rozprężanie** gazu od stanu A do stanu B (Rys. 1.). W kontekście maksymalnej sprawności silnika cieplnego izotermiczne sprężanie gazu doskonałego jest dobrym wyborem, ponieważ w przemianie izotermicznej całe ciepło pobrane przez gaz zostaje zamienione na pracę rozprężania. Dzieje się tak, ponieważ - zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki - energia wewnętrzna układu termodynamicznego może zostać zmieniona tylko poprzez dostarczenie lub odebranie ciepła temu układowi lub poprzez wykonanie nad tym układem lub przez ten układ pracy. Ale skoro energia gazu doskonałego, przy ustalonej ilości materii, zależy jedynie od jego temperatury, to nie można jej zmienić w przemianie izotermicznej. Jeśli zatem gaz pobiera ciepło i nie zmienia swojej temperatury, to kosztem pobranego ciepła musi wykonać pracę. Przemiana izotermiczna A-B trwa do momentu, aż z grzejnika o temperaturze T_1 zostanie pobrane ciepło Q_1 . Po zakończeniu izotermicznego rozprężania gaz dalej może się rozprężać, wykonując przy tym pracę rozprężania. Jeśli

podczas tego rozprężania zapewnimy silnikowi izolację cieplną, to rozprężanie będzie miało charakter **przemiany adiabatycznej**, podczas której temperatura gazu będzie malała. W przemianie adiabatycznej B-C gaz wykonuje pracę kosztem swojej energii wewnętrznej. Rozprężanie gazu kończy się, gdy gaz osiągnie temperaturę chłodnicy T_2 .

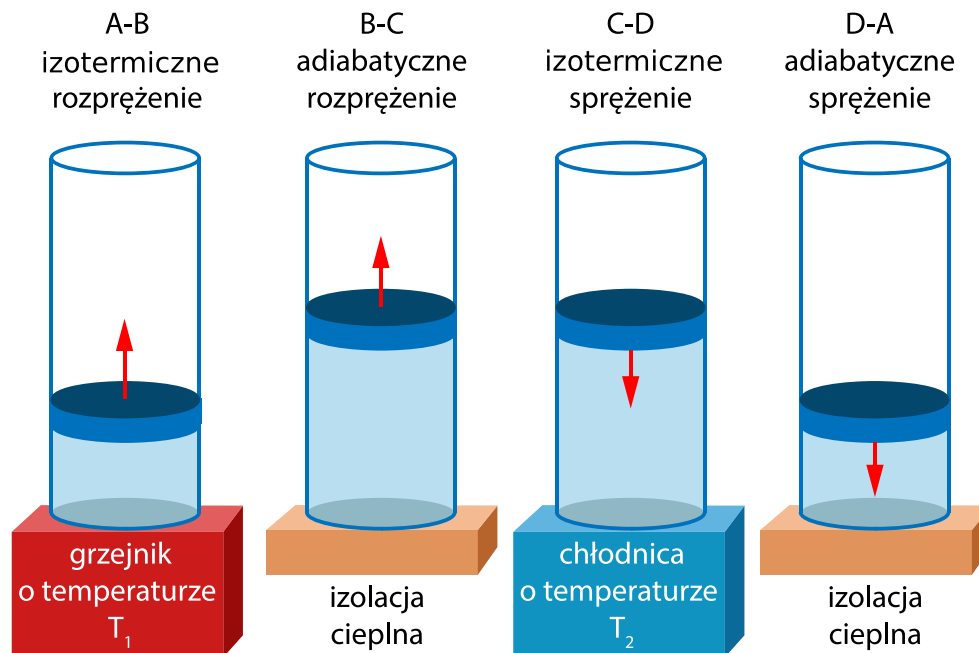
Dotychczasowe przemiany termodynamiczne badanego cyklu polegały na rozprężaniu gazu doskonałego. Zamknięcie cyklu, czyli powrót gazu do stanu początkowego A, wymaga, by w kolejnych przemianach gaz był sprężany. Kolejną przemianą w rozważanym cyklu będzie zatem **izotermiczne sprężanie** gazu w temperaturze chłodnicy T_2 . W tej przemianie, C-D, pracę wykonuje siła zewnętrzna, a gaz oddaje do chłodnicy ciepło Q_2 , które co do wartości jest równe pracy wykonanej nad układem. Następnie gaz jest **sprężany adiabatycznie** od stanu D do stanu A. W przemianie D-A siła zewnętrzna wykonuje pracę, która powoduje wzrost energii wewnętrznej i temperatury. Temperatura wzrasta do wartości T_1 i cykl może zacząć się od początku.



Rys. 1. Cykl Carnota składa się z dwóch przemian izotermicznych: A-B i C-D oraz dwóch przemian adiabatycznych: B-C i D-A.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Rys. 2. przedstawia realizację cyklu Carnota. Gaz zamknięty w pojemniku z tłokiem w przemianie A-B pobiera ciepło z grzejnika o temperaturze T_1 . W przemianie B-C rozprężanie gazu jest kontynuowane, ale przebiega ono w warunkach izolacji cieplnej. W przemianie C-D następuje izotermiczne sprężanie gazu, któremu towarzyszy oddanie ciepła do chłodnicy o temperaturze T_2 . W przemianie D-A gaz nadal zmniejsza swoją objętość, ale tym razem dzieje się to w warunkach izolacji cieplnej.



Rys. 2. Realizacja cyklu Carnota.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Z powyższego opisu wynika, że w pojedynczym cyklu pracy gaz pobrał ciepło Q_1 i oddał ciepło Q_2 . Zgodnie z **zasadą zachowania energii** praca uzyskana w cyklu równa jest różnicy ciepła pobranego Q_1 i ciepła oddanego Q_2 , czyli $W = Q_1 - Q_2$. Sprawność cyklu jest zatem równa

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Widzimy, że sprawność byłaby równa jedności (lub 100 %), gdyby całe ciepło zostało zamienione na pracę. W takim cyklu układ wykonywałby pracę kosztem całego pobranego ciepła. Jednak dla zamknięcia cyklu (tj. powrotu układu do stanu początkowego), potrzebne są przemiany, w których gaz jest sprężany. Podczas izotermicznego sprężania ciepło musi być oddawane otoczeniu i w rezultacie sprawność jest zawsze mniejsza od jedności.

Okazuje się, że o ile wyprowadzony wzór, $\eta = 1 - Q_2/Q_1$, jest ogólny (tj. obowiązuje dla wszystkich cykli termodynamicznych), to istnieje pewna wartość sprawności, której nie daje się przekroczyć - jest to sprawność cyklu Carnota. Każdą modyfikację pętli przedstawionej na Rys. 1. (niekoniecznie złożoną z czterech gładkich krzywych, może to być dowolna, nieprzecinająca się krzywa zamknięta) można „zmieścić” między dwiema izotermami. Cyklowi takiemu da się przypisać dwie charakterystyczne wartości temperatury: minimalną oraz maksymalną. Spośród wszelkich możliwych związków sprawności cyklu z kształtem krzywej, a więc także z tymi temperaturami, szczególnie prostą postać ma wzór na sprawność w cyklu Carnota:

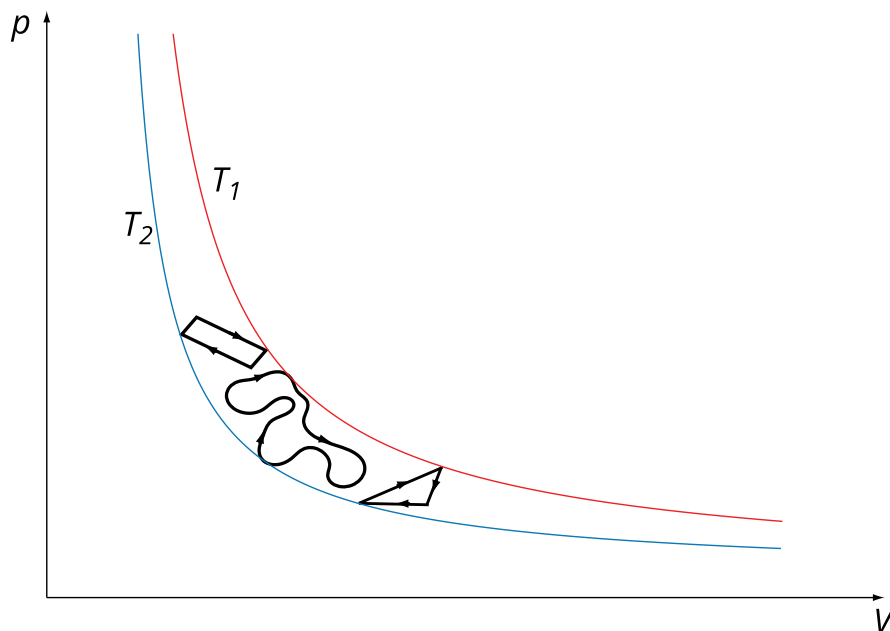
$$\eta_0 = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

gdzie T_2 – temperatura chłodnicy, T_1 – temperatura grzejnika.

Widać, że sprawność ta jest tym większa, im mniejszy jest stosunek temperatury chłodnicy do temperatury grzejnika. Iloraz ten byłby równy zero tylko wtedy, gdyby temperatura chłodnicy T_2 była równa 0 K. Taka temperatura jest jednak nieosiągalna i sprawność cyklu Carnota jest zawsze mniejsza od 1.

Można pokazać, że cykl Carnota jest w tym sensie optymalny, że sprawność dowolnego innego cyklu (trzy przykłady pokazano na Rys. 3.) spełnia nierówność

$$\eta < \eta_0.$$



Rys. 3. Cykle termodynamiczne przebiegające między dwiema wyróżnionymi izotermami o temperaturach $T_1 > T_2$. Każdy z nich ma zawsze mniejszą sprawność niż dowolny cykl Carnota zawierający fragmenty tych izoterm. **Uwaga:** Od wielkości krzywej opisującej cykl Carnota zależy np. wykonywana w nim praca oraz oddawane do chłodnicy ciepło, ale nie sprawność!

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Silniki rzeczywiste pracują w innych cyklach, mają więc niższą sprawność niż cykl Carnota. Na dodatek część ciepła rozprasza się w otoczeniu, a część pracy zużywana jest na pokonanie sił oporu wewnątrz silnika. Te czynniki także obniżają sprawność, np. dla silników spalinowych jest ona rzędu 30-40%.

Słowniczek

pojemność cieplna

(ang.: *heat capacity*) - ilość ciepła, jaka jest potrzebna do zmiany temperatury ciała o 1 K (równoważnie: o 1°C).

temperatura w skali Kelvina (skali bezwzględnej)

(ang.: *absolute temperature*) - miara średniej energii kinetycznej przypadająca na jedną cząsteczkę.

energia wewnętrzna

(ang.: *internal energy*) - suma energii kinetycznych i potencjalnych oddziaływań między cząsteczkami oraz wewnątrzcząsteczkowych. W gazie doskonałym nie ma oddziaływań międzycząsteczkowych. Z tego powodu jego energia wewnętrzna jest równa tylko sumie energii kinetycznych jego cząsteczek. Z kinetycznej teorii gazów wynika, że średnia energia kinetyczna cząsteczek jest wprost proporcjonalna do temperatury w **skali Kelvina**.

ciepło

(ang.: *heat*) - forma przekazywania energii od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.

I zasada termodynamiki

(ang.: *first law of thermodynamics*) - zmiana energii wewnętrznej układu ΔU równa jest sumie ciepła przekazanego do układu Q i pracy W wykonanej nad układem przez siłę zewnętrzną, $\Delta U = Q + W$.

przemiana adiabatyczna

(ang.: *adiabatic process*) - przemiana termodynamiczna, w której nie ma wymiany ciepła między układem i jego otoczeniem.

przemiana izotermiczna

(ang.: *isothermal process*) - przemiana, w której temperatura badanego układu termodynamicznego nie zmienia się. Ponieważ **energia wewnętrzna** gazu doskonałego zależy tylko od temperatury, oznacza to, że jeśli podczas przemiany izotermicznej gaz doskonały wykonuje pracę, dzieje się to kosztem ciepła pobranego z otoczenia. Podobnie, jeśli w przemianie izotermicznej siła zewnętrzna wykonuje pracę (np. sprężając gaz), to gaz musi oddać do otoczenia ciepło, równe co do wartości tej pracy.

Film samouczek

Cykl Carnota

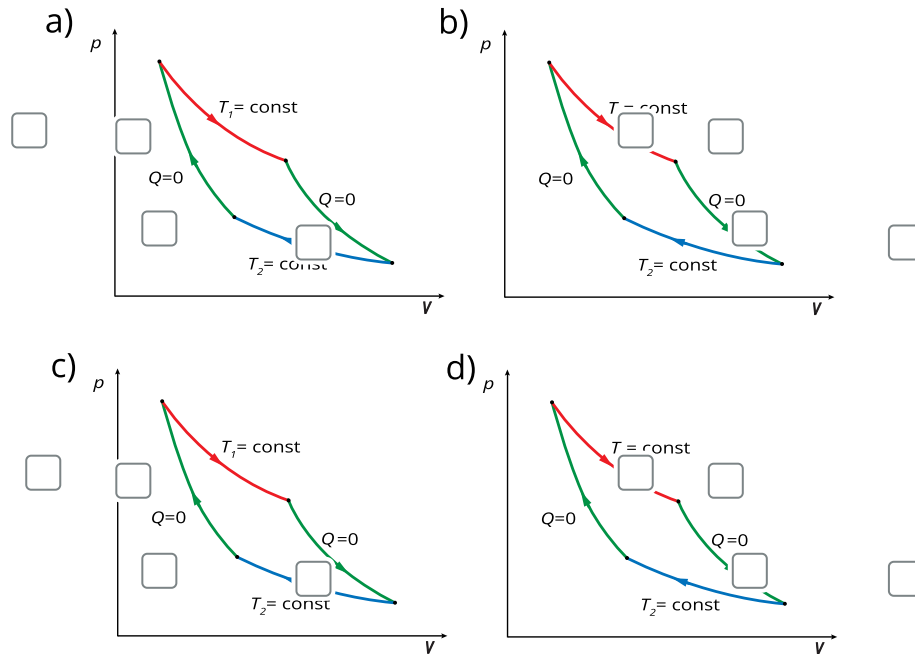
Obejrzyj zamieszczony poniżej film samouczek, na którym pokazujemy, w jaki sposób wyznacza się sprawność silnika Carnota, mającego największą sprawność spośród wszystkich możliwych silników cieplnych.

Podczas oglądania filmu zwróć uwagę na to, że wszystkie obliczenia są prowadzone z punktu widzenia rozważanego układu termodynamicznego, czyli silnika, a ściślej z punktu jego czynnika roboczego, jakim jest gaz doskonały. W związku z tym w pojawiających się na filmie równaniach bilansu cieplnego praca jest dodatnia ($W > 0$), jeśli jest wykonana przez siły zewnętrzne nad układem, a ujemna ($W < 0$), jeśli to układ wykonuje pracę kosztem swojej energii wewnętrznej. Podobnie jest z ciepłem: jeśli jest dostarczone do gazu z otoczenia, jest dodatnie ($Q > 0$), ponieważ zwiększa energię wewnętrzną gazu, a ujemne, gdy układ oddaje ciepło otoczeniu ($Q < 0$), bo wtedy jego energia wewnętrzna maleje.

Po obejrzeniu filmu wykonaj polecenia, które pomogą Ci w utrwaleniu zdobytych informacji.

Polecenie 1

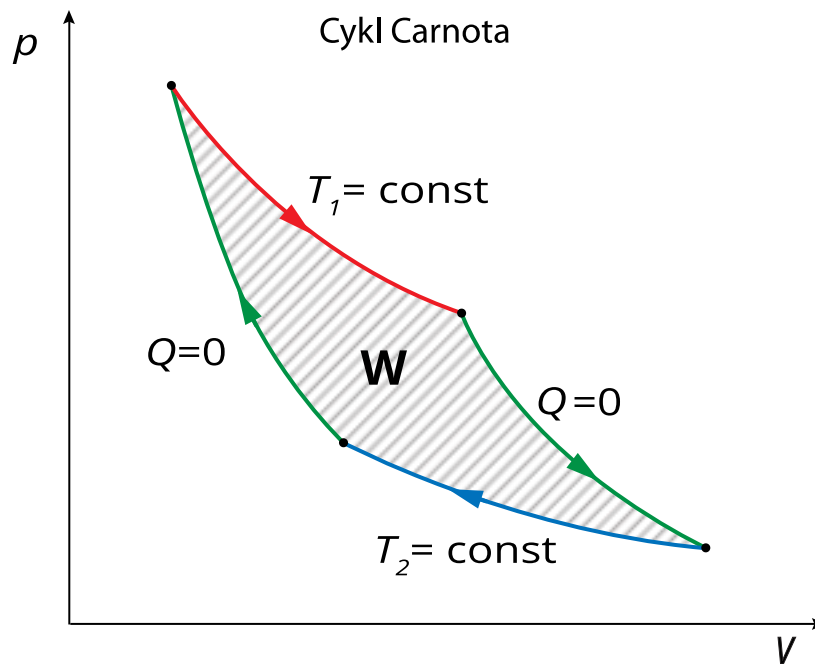
Wszystkie poniższe rysunki a)-d) przedstawiają cykl Carnota. Na kolejnych rysunkach zaznacz procesy, w których: a) gaz wykonuje pracę rozprężania, b) gaz pobiera ciepło z otoczenia, c) gaz oddaje ciepło do otoczenia, d) gaz jest izolowany cieplnie od otoczenia.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Polecenie 2

W dowolnym cyklu termodynamicznym praca „netto” jest równa polu powierzchni zawartej wewnątrz wykresu tego cyklu, przedstawionego we współrzędnych (p, V) . Przyjrzyj się wykresowi cyklu Carnota (zob. rys.) i odpowiedz, w jaki sposób należałoby zmieniać parametry tego cyklu, by zwiększała się uzyskana w nim praca.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



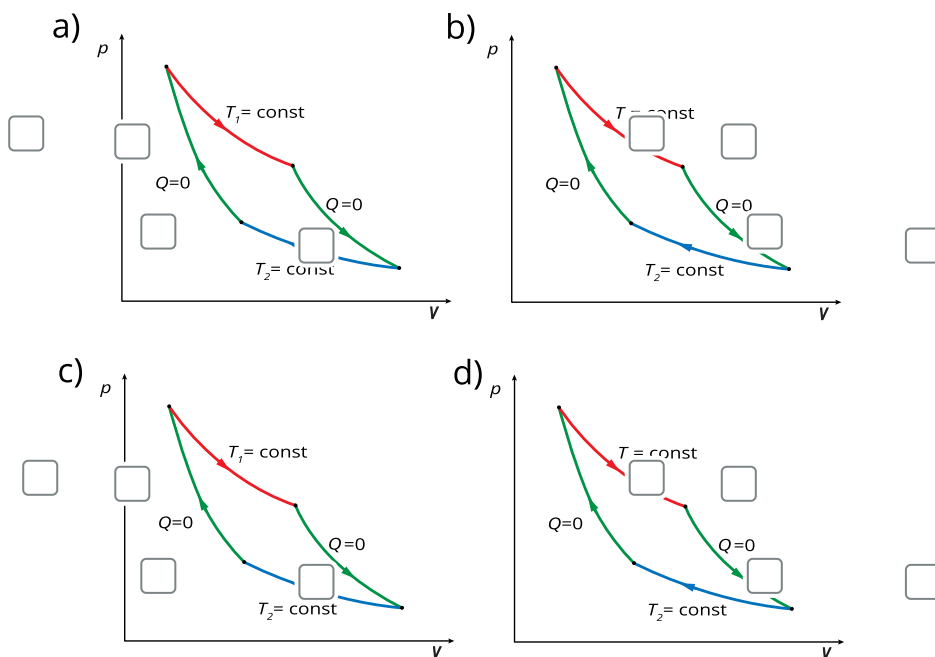
Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

- ☐ Cykl Carnota składa się z 2 przemian izotermicznych i 2 przemian izochorycznych.
- ☐ Cykl Carnota składa się z 2 przemian adiabatycznych i 2 przemian izotermicznych.
- ☐ Cykl Carnota składa się z 2 przemian izochorycznych i 2 przemian izobarycznych.
- ☐ Cykl Carnota składa się z 2 przemian izotermicznych i 2 przemian izobarycznych.

Ćwiczenie 2



Wszystkie poniższe rysunki a)-d) przedstawiają cykl Carnota. Na kolejnych rysunkach zaznacz:
a) proces izotermicznego sprężania, b) proces adiabatycznego rozprężania, c) procesy, w których energia wewnętrzna gazu nie zmienia się, d) procesy, w których gaz nie wymienia ciepła z otoczeniem.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 3



Wybierz prawdziwe stwierdzenia:

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek różnicy temperatur grzejnika i chłodnicy do temperatury chłodnicy.

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek pracy zyskanej w cyklu do sumy ciepła pobranego i oddanego.

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek pracy wykonanej przez gaz podczas rozprężania do ciepła pobranego.

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek różnicy między ciepłem pobranym i ciepłem oddanym do ciepła pobranego.

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek pracy zyskanej w cyklu do ciepła pobranego.

☐

Sprawność w cyklu Carnota to stosunek różnicy temperatur grzejnika i chłodnicy do temperatury grzejnika.

Ćwiczenie 4



W tabeli przedstawiono wartości sprawności cyklu Carnota η dla różnych temperatur grzejnika T_1 i chłodnicy T_2 . Uzupełnij brakujące elementy tablicy. Uzyskane wyniki podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Parametry	Zestaw wartości 1	Zestaw wartości 2	Zestaw wartości 3	Zestaw wartości 4
T_1 [K]	900		1000	800
T_2 [K]	300	270	100	
η		0,8		0,71

Ćwiczenie 5



W cyklu Carnota o sprawności $\eta = 0,6$ gaz oddał do chłodnicy ciepło $Q_2 = 600 \text{ J}$. Oblicz ciepło pobrane w tym cyklu Q_1 i zyskaną pracę W .

Odpowiedź:

Ciepło pobrane $Q_1 =$ J.

Praca zyskana w cyklu $W =$ J.

Ćwiczenie 6



W cyklu Carnota o sprawności $\eta = 0,44$ temperatura grzejnika wynosi $t_1 = 250^\circ \text{C}$. Oblicz temperaturę chłodnicy t_2 i podaj ją w skali Celsjusza z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź:

$t_2 =$ $^\circ \text{C}$.

Ćwiczenie 7



W silniku Carnota pracującym między temperaturami $T_1 = 500 \text{ K}$ i $T_2 = 150 \text{ K}$ ciepło pobrane w jednym cyklu wynosi $Q_1 = 2500 \text{ J}$. Oblicz sprawność silnika i ciepło oddane w jednym cyklu jego pracy.

Odpowiedź:

Sprawność silnika jest równa $\eta =$, a ciepło oddane podczas izotermicznego sprężania gazu w jednym cyklu jego pracy wynosi $Q_2 =$ J.

Ćwiczenie 8



Sprawność cyklu Carnota wynosi 40%. Ile razy należy zwiększyć temperaturę grzejnika T_1 , aby przy niezmienionej temperaturze chłodnicy sprawność zwiększyła się dwukrotnie?

Odpowiedź: Temperaturę grzejnika należy zwiększyć razy.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Cykl Carnota
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: 15) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach i pompach cieplnych; 16) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych;
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 cyfrowe, • kompetencje w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: - wymienia, z jakich przemian składa się cykl Carnota; - podaje definicję sprawności cyklu, - wyraża sprawność cyklu Carnota przez temperatury grzejnika i chłodnicy; - stosuje wzory wyrażające sprawność cyklu Carnota do obliczania temperatur grzejnika i chłodnicy; - stosuje wzory wyrażające sprawność cyklu Carnota do obliczania ciepła pobranego i oddanego w cyklu; - analizuje kolejne przemiany cyklu Carnota i ocenia, w których przemianach praca wykonywana jest przez gaz, a w których przez siłę zewnętrzną; - analizuje kolejne przemiany cyklu Carnota i ocenia, w których przemianach ciepło jest pobierane, a w których oddawane.
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: „Czym jest przemiana adiabatyczna?”, „Czym jest przemiana izotermiczna?”, „Jak zanalizować cykle termodynamiczne?”, „Co to jest silnik cieplny?”, „Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
- Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. - Odwołanie do wiedzy uczniów o silniku cieplnym i jego sprawności.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel opisuje kolejne przemiany cyklu, odwołując się do wiedzy uczniów o pracy i cieple w tych przemianach. Przykładowe pytania stawiane uczniom:

1. W jakiej przemianie całe pobrane ciepło zamieniane jest na pracę gazu?
2. W jakiej przemianie gaz może wykonać pracę nie pobierając ciepła?
3. Jak zmienia się temperatura podczas adiabatycznego rozprężania gazu?
4. Czy podczas sprężania gazu możemy zyskać pracę, czy musimy ją włożyć?
5. Jak zmienia się temperatura podczas adiabatycznego sprężania gazu?

Następnie nauczyciel wprowadza wzór na sprawność cyklu Carnota, a uczniowie w dyskusji ustalają, od czego ona zależy. Uczniowie oglądają film samouczek i, dyskutując w grupach 4-osobowych, znajdują odpowiedź na zadane w nim pytanie.

Faza podsumowująca:

Uczniowie zgłaszają pomysły, jak odpowiedzieć na zadane w filmie pytanie.
W celu sprawdzenia wiedzy uczniowie rozwiązują zadanie 7.
Nauczyciel i uczniowie oceniają stopień przyswojenia wiedzy.

Praca domowa:

W celu powtórzenia i utrwalenia materiału uczniowie rozwiązują zadania 1-3 obowiązkowo oraz jedno z zadań 4 - 6 i 8 do wyboru.

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

Film samouczek jest przeznaczony do wykorzystania na lekcji, a także dla uczniów po lekcji, w celu powtórzenia i utrwalenia materiału.