

Wykład 10

**I zasada termodynamiki;
perpetuum mobile I rodzaju**

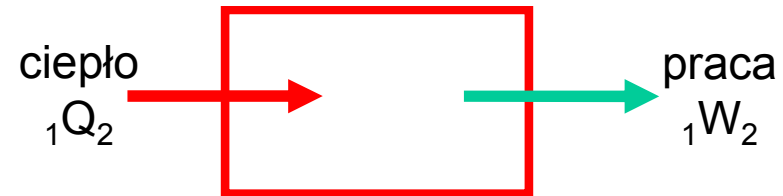
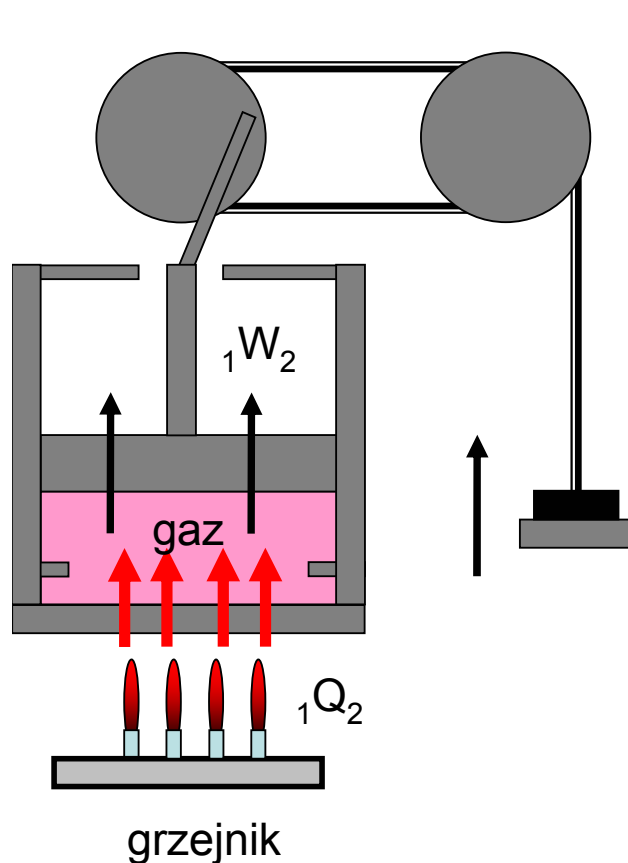
**Układy i procesy zgodne z I zasadą
ale niezachodzące
(„praca z ciepła” i „ciepło z zimna”)**

Silniki cieplne, chłodziarki i pompy cieplne

II zasada termodynamiki

Silnik odwracalny

I zasada termodynamiki; perpetuum mobile I rodzaju



I zasada termodynamiki

$$U_2 - U_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2 = Q - W$$

TAK

Dla obiegu zamkniętego:

$$U_2 - U_1 = \oint \delta Q - \oint \delta W = Q - W = 0$$

$$W = Q$$

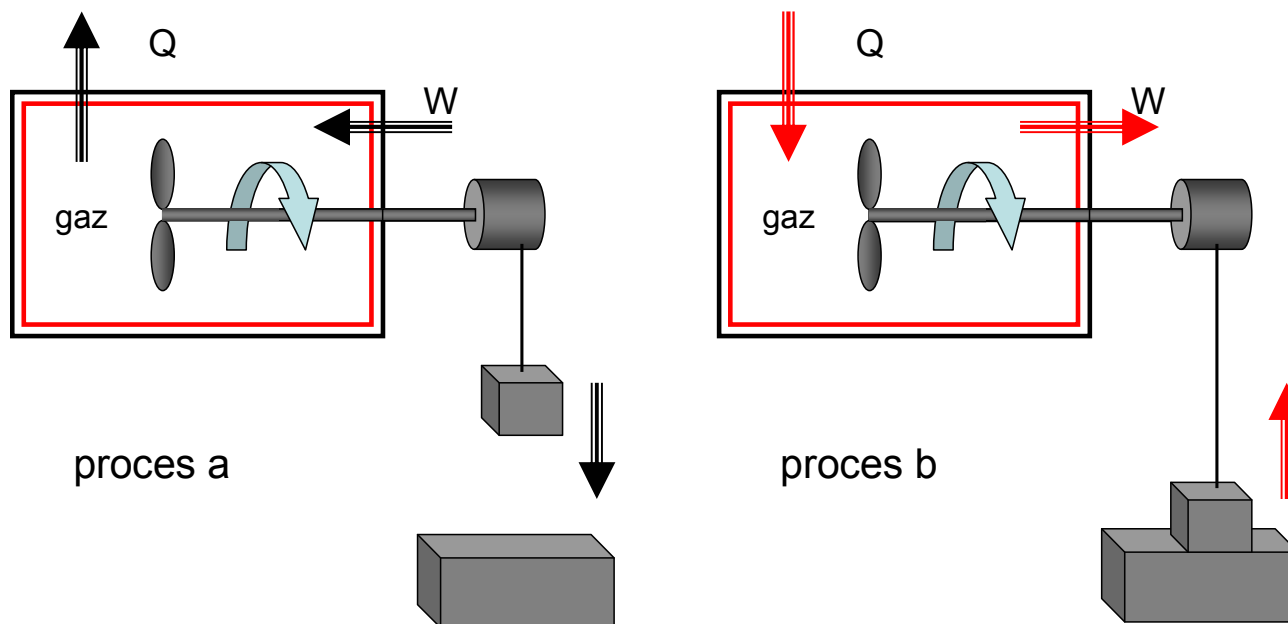
NIE

Maksymalna praca W , jaką można otrzymać z układu może być co najwyżej równa Q (i to nie zawsze). Dla obiegu zamkniętego praca W wykonana przez układ jest zawsze mniejsza od dostarczonego ciepła Q . Jeśli praca $W > Q$ to układ nazywamy perpetuum mobile I rodzaju. Nigdy nie zbudowano i nie opisano takiego układu.

Układy i procesy zgodne z I zasadą ale niezachodzące

„praca z ciepła”

Istnieją procesy odwrotne do procesów zachodzących, zgodne z I zasadą, jednak niezachodzące. Dwa rodzaje takich procesów to „praca z ciepła” i „ciepło z zimnego”.

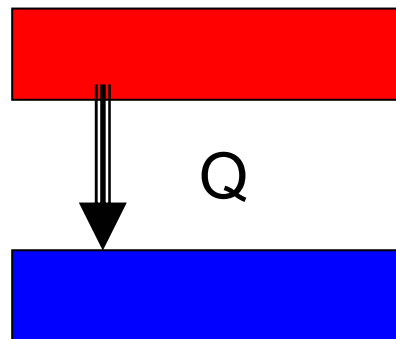


Proces a: wiatraczek wykonuje pracę W mieszając gaz; temperatura gazu rośnie. Gaz oddaje nadwyżkę ciepła Q do otoczenia. Zgodnie z I zasadą (i eksperymentem) $Q = W$. **ZACHODZI**

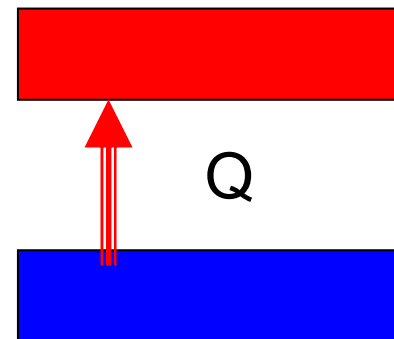
Proces b: podgrzewamy gaz dostarczając ciepło Q , temperatura gazu rośnie. Wiatraczek zaczyna się kręcić podnosząc ciężarek i wykonując pracę $W = Q$. **NIE ZACHODZI**

Proces b jest odwrotny do a. Jest zgodny z I zasadą. Jednak proces b nie zachodzi.

„ciepło z zimna”



proces a



proces b

Proces a: Ciepło Q przepływa z układu o wyższej temperaturze (filizanka kawy) do układu o niższej temperaturze (otoczenie). **ZACHODZI.**

Proces b: Ciepło Q przepływa z układu o niższej temperaturze (otoczenie) do układu o wyższej temperaturze (filizanka z ciepłą kawą, kawa robi się gorąca). **NIE ZACHODZI.**

Proces b jest odwrotny do a. Jest zgodny z I zasadą. Jednak proces b nie zachodzi.

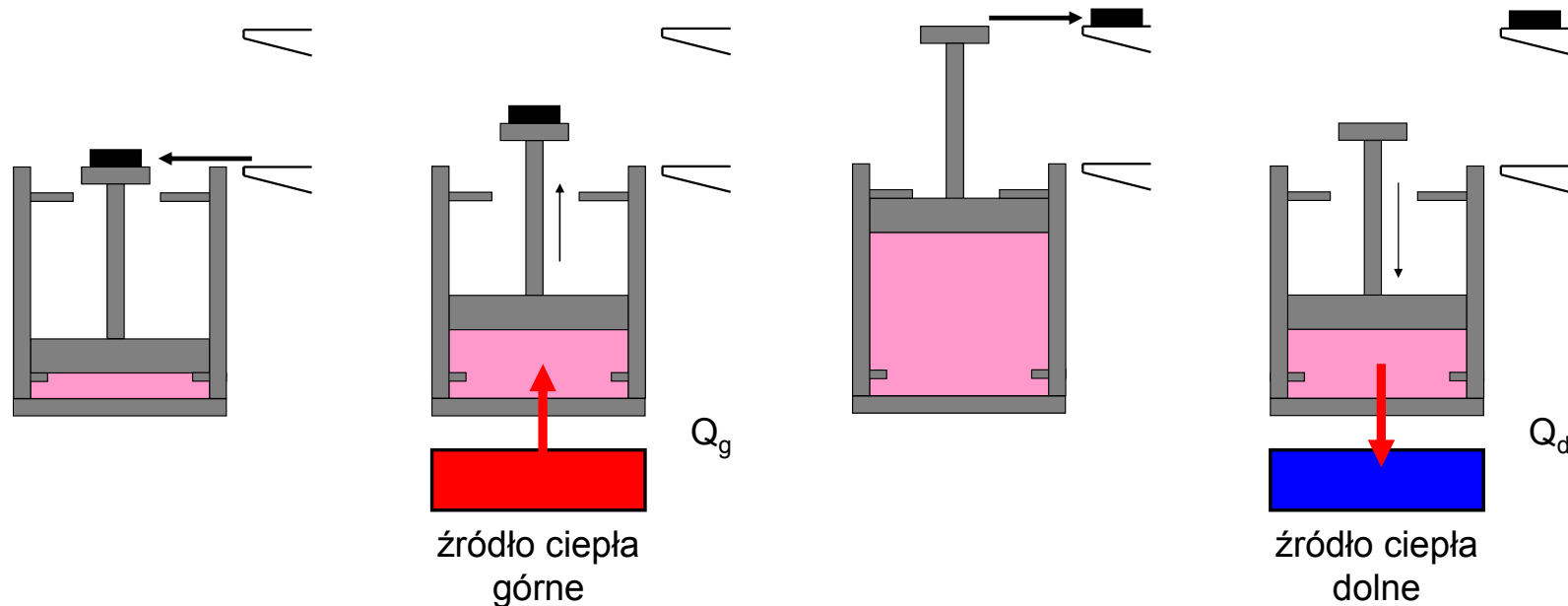
Z doświadczenia wiemy, że:

- 1) **nie istnieją** układy i **nie zachodzą** procesy, w których układ wykonuje pracę zewnętrzną (dodatnią) kosztem ciepła (dodatniego) przekazanego ze źródła ciepła do układu bez innych zmian w otoczeniu,
- 2) **nie zachodzą** procesy, w których jedynym efektem jest przepływ ciepła z układu o niższej temperaturze do układu o wyższej temperaturze.

Silniki cieplne...

„praca z ciepła”. Jak uzyskać pracę, wykorzystując ciepło ze źródła ciepła? Silniki cieplne.

Przykład możliwego do realizacji silnika cieplnego:



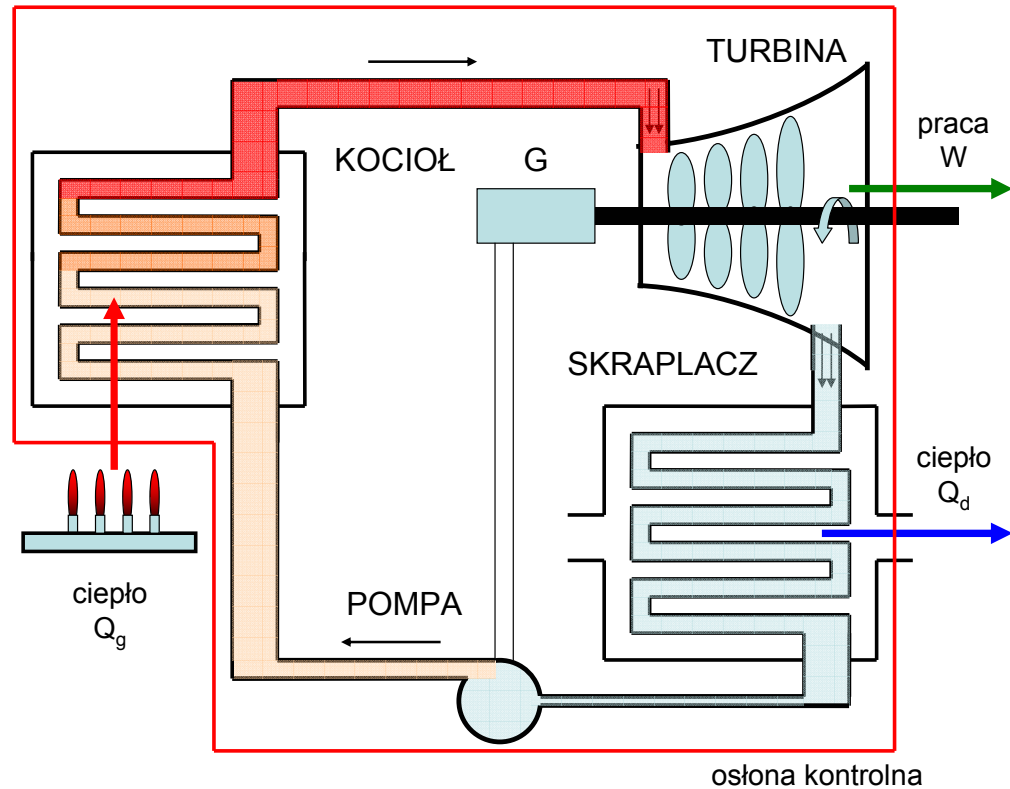
Silnik pracuje pobierając ciepło Q_g z górnego źródła ciepła (o wyższej temperaturze) i oddając ciepło Q_d do dolnego źródła ciepła (o niższej temperaturze). Silnik wykonuje pracę, gdyż po jednym obiegu ciężarek został podniesiony na wyższy poziom i ma większą energię potencjalną. Substancja robocza (gaz w cylindrze) po pełnym obiegu znajduje się w tym samym stanie.

Silnik pobrał ciepło Q_g , wykonał pracę W i oddał ciepło Q_d . $\Delta U = Q_g - Q_d - W = 0$

Otrzymana praca jest mniejsza od ciepła pobranego ze źródła górnego

$$W = Q_g - Q_d$$

Inny przykład silnika cieplnego



Siłownia parowa

Chociaż każdy element siłowni może być traktowany jako układ otwarty stacjonarny o ustalonym przepływie (SUP) to jako całość siłownia może być traktowana jako silnik cieplny. Dla uproszczenia przyjęliśmy, że w skład siłowni wchodzi mały generator G napędzany bezpośrednio przez turbinę i zasilający pompę.

Praca dostarczana przez siłownię jest wówczas równa W . Siłownia pobiera ciepło Q_g ze źródła górnego (produkty spalania w kotle, reaktor jądrowy,

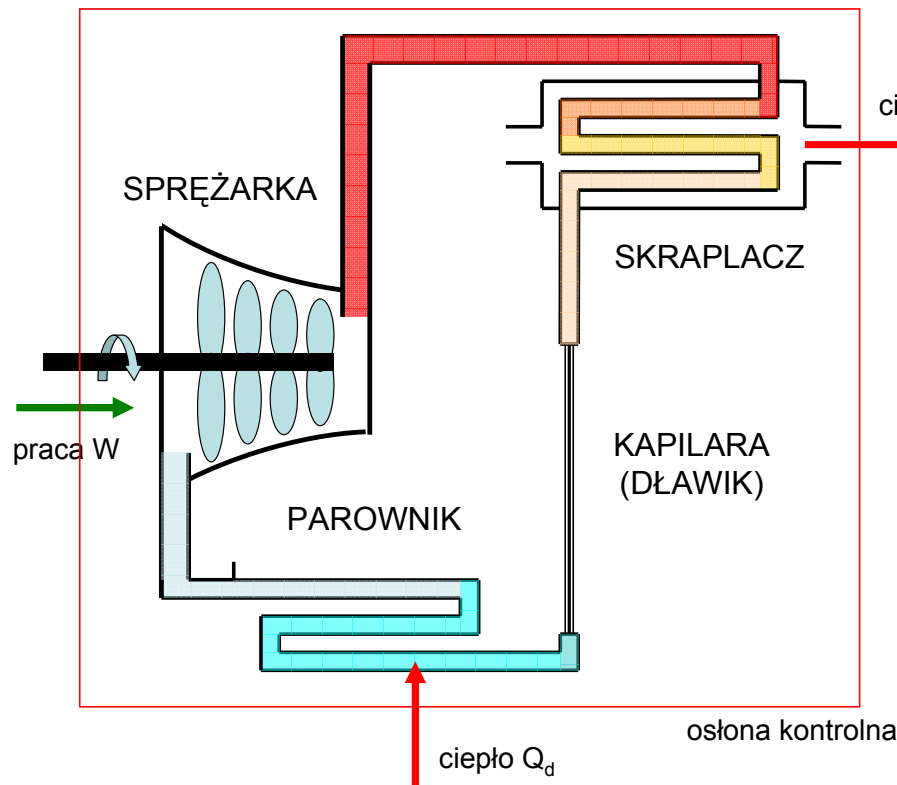
wymiennik ciepła zasilany z reaktora itd.) i oddaje ciepło Q_d w skraplaczu. Jest zatem silnikiem cieplnym wykonującym pracę kosztem ciepła dostarczonego do substancji roboczej. Część dostarczonego ciepła jest bezużyteczna (Q_d).

Wydajność silnika cieplnego:

$$\eta = \frac{W}{Q_g} = \frac{Q_g - Q_d}{Q_g} = 1 - \frac{Q_d}{Q_g}$$

... chłodziarki i pompy ciepłe

„ciepło z zimna”, czyli jak przepompować ciepło ze źródła dolnego do źródła górnego po to by: a) podnieść temperaturę źródła górnego (pompa ciepła) lub, b) obniżyć temperaturę źródła dolnego (chłodziarka).



**Współczynnik wydajności
chłodziarki:**

Chłodziarka (pompa ciepła)

Chłodziarki i pompy ciepłe umożliwiają transfer ciepła ze źródła dolnego (o niskiej temperaturze) do źródła górnego (o wysokiej temperaturze). Płyn chłodniczy o niskim ciśnieniu i temperaturze pobiera ciepło Q_d w parowniku. Po sprężeniu do wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury przez sprężarkę (praca W) oddaje ciepło Q_g w skraplaczu po czym przechodzi przez kapilary lub zawory dławiące co powoduje spadek ciśnienia.

$$\beta = \frac{Q_d}{W} = \frac{Q_d}{Q_g - Q_d} = \frac{1}{\frac{Q_g}{Q_d} - 1}$$

Współczynnik wydajności pompy ciepłej

$$\beta' = \frac{Q_g}{W} = \frac{Q_g}{Q_g - Q_d} = \frac{1}{1 - \frac{Q_d}{Q_g}}$$

Związek pomiędzy współczynnikiem wydajności chłodziarki i pompy ciepłej:

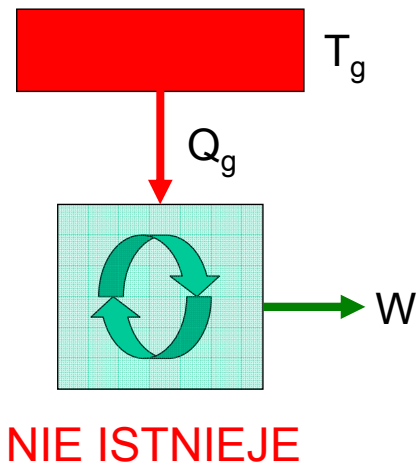
$$\beta = \frac{1}{\frac{\beta'}{\beta' - 1} - 1} = \frac{1}{\frac{\beta' - \beta' + 1}{\beta' - 1}} = \beta' - 1$$

Dla silników cieplnych, chłodziarek i pomp cieplnych rezygnujemy z konwencji znaków dla ciepła i pracy. Ciepła pobierane i oddawane z (do) obu źródeł, górnego i dolnego, są dodatnie. Praca otrzymana z silnika i włożona do chłodziarki są dodatnie.

Kierunki przepływu ciepła i pracy uwzględniamy stosując odpowiednie znaki w bilansie energetycznym (czyli pisząc I zasadę termodynamiki).

II zasada termodynamiki

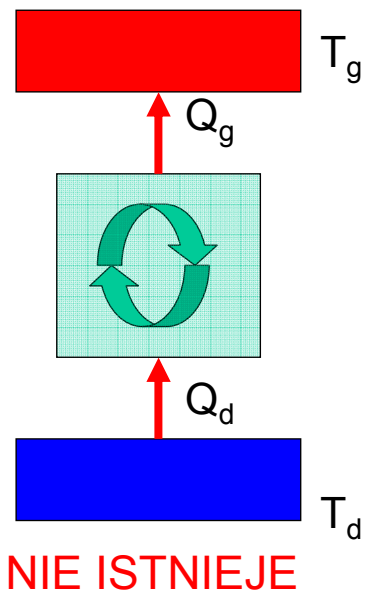
Dwa klasyczne sformułowania II zasady termodynamiki:



1. Sformułowanie Kelvina - Plancka:

Niemożliwe jest skonstruowanie urządzenia działającego w obiegu zamkniętym, którego działanie polegałoby tylko na wykonywaniu pracy i równoczesnym ochładzaniu jednego źródła ciepła.

Działający silnik cieplny musi odprowadzać część ciepła pobranego ze źródła o wyższej temperaturze do źródła ciepła o niższej temperaturze.



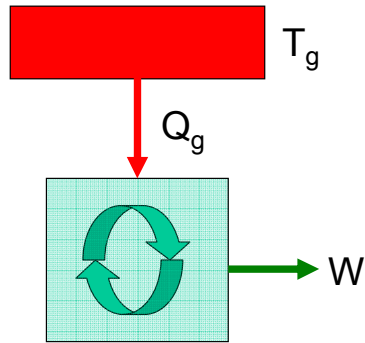
2. Sformułowanie Clausiusa:

Niemożliwe jest skonstruowanie urządzenia działającego w obiegu zamkniętym, którego działanie polegałoby wyłącznie na przepływie ciepła z ciała zimniejszego do cieplejszego.

Działająca chłodziarka musi zawierać element taki jak zasilana z zewnątrz sprężarka, który wykonuje pracę na czynniku roboczym.

Uwagi o sformułowaniach Kelvina – Plancka i Clausiusa

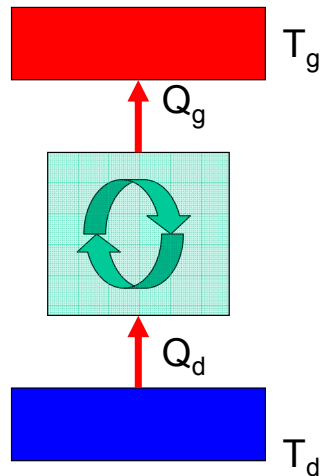
Oba sformułowania są twierdzeniami negatywnymi, niemożliwymi do udowodnienia. Są oparte na doświadczeniu, jak każde prawo fizyki.



Silnik ze sformułowania Kelvina – Plancka byłby silnikiem idealnym, gdyż dla $Q_d = 0$, $\eta = 1$

$$\eta = \frac{W}{Q_g} = \frac{Q_g - Q_d}{Q_g} = 1 - \frac{Q_d}{Q_g} = 1$$

Silnik idealny to perpetuum mobile II rodzaju

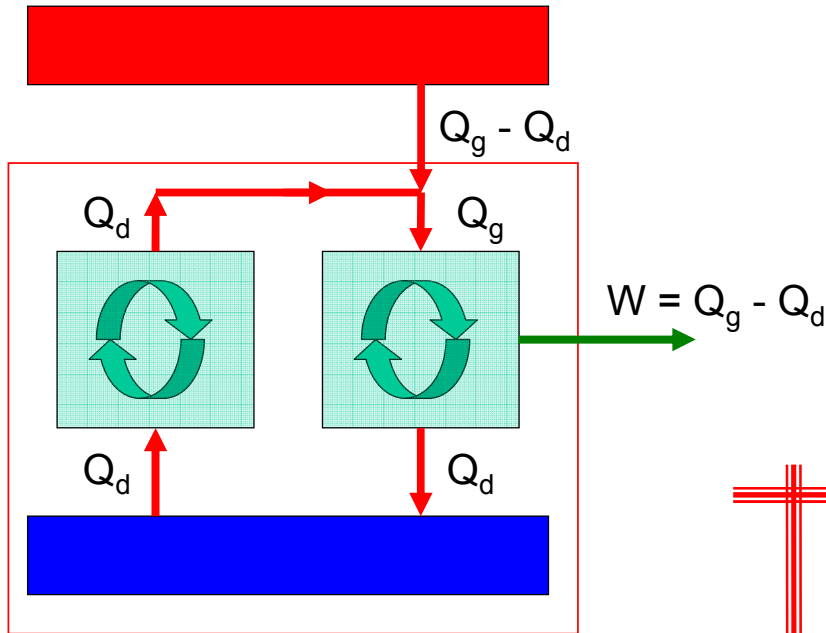


Chłodziarka ze sformułowania Clausiusa byłaby chłodziarką idealną, dla $W = 0$, $\beta(\beta') = \infty$

$$\beta(\beta') = \frac{Q_d(g)}{W} = \infty$$

Chłodziarka idealna do działania nie potrzebuje zewnętrznej pracy

Oba sformułowania II zasady są równoważne.

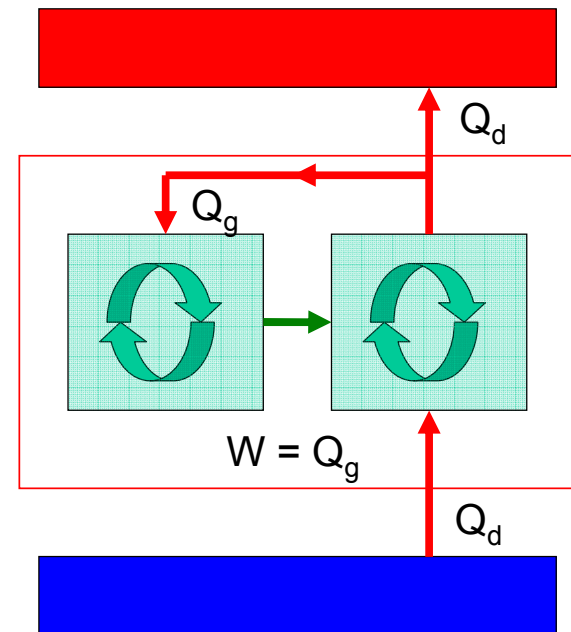


Jeśli istnieje chłodziarka idealna to można, zestawiając taką chłodziarkę z silnikiem cieplnym w jeden układ, otrzymać silnik idealny (w czerwonej ramce).

Efekt wypadkowy; układ pobiera ciepło $Q_g - Q_d$ i wykonuje pracę $W = Q_g - Q_d$ (silnik idealny)

Jeśli istnieje silnik idealny to można, zestawiając taki silnik z chłodziarką w jeden układ, otrzymać chłodziarkę idealną (w czerwonej ramce).

Efekt wypadkowy; układ pobiera ciepło Q_d ze źródła dolnego i oddaje ciepło Q_d do źródła górnego (chłodziarka idealna)



Silnik odwracalny

II zasada termodynamiki mówi, że nie istnieje silnik idealny o wydajności $\eta = 1$.

Jaka jest zatem maksymalna możliwa wydajność silnika cieplnego?

Pokażemy, że z II zasady wynika, że najwydajniejszym silnikiem cieplnym jest silnik odwracalny.

Co to jest silnik odwracalny?

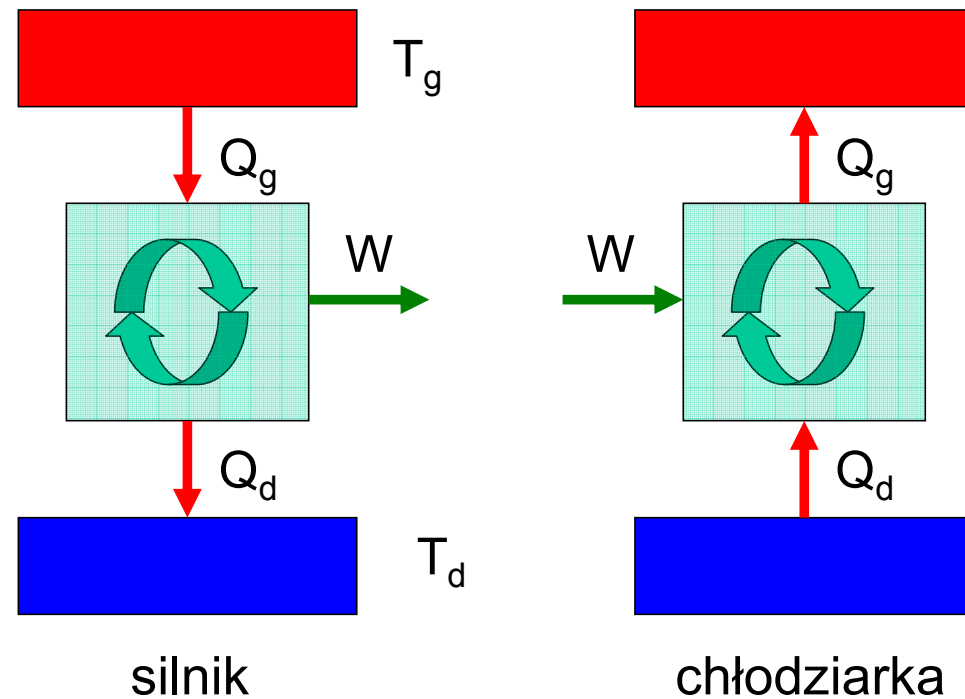
Procesy odwracalne. **Później.**

Obieg odwracalny. **Później.**

Silnik odwracalny może pracować „odwrotnie”; po „odwróceniu” obiegu będzie chłodziarką

Nasz silnik odwracalny: pobiera Q_g ze źródła górnego, oddaje ciepło Q_d do źródła dolnego i wykonuje pracę $W = Q_g - Q_d$

Chłodziarka: pobiera ciepło Q_d ze źródła dolnego, pobiera pracę W z zewnątrz i oddaje ciepło $Q_g = W + Q_d$ do źródła górnego



Przypuśćmy, że istnieje super-silnik, odwracalny lub nie, który jest wydajniejszy od naszego silnika odwracalnego. Silnik ten, pobierając ciepło Q'_g ze źródła górnego, wykonuje większą pracę W' i oddaje ciepło $Q'_d = Q_d$ do źródła dolnego.

Super-silnik: $Q'_g > Q_g$, $W' > W$, $Q'_d = Q_d$

Zestawimy go w jeden układ z naszym silnikiem (Q_g , W , Q_d), któremu odwrócimy bieg.

Super-silnik sprzężony z naszym silnikiem (odwróconym) efektywnie tworzy silnik idealny, co przeczy II zasadzie termodynamiki.

Układ obu silników pobiera ciepło $Q'_g - Q_g$ ze źródła górnego i wykonuje pracę $W' - W = Q'_g - Q_d - (Q_g - Q_d) = Q'_g - Q_g$ równą pobranemu ciepłu. Efektywnie układ nie oddaje ciepła do źródła dolnego.

Istnienie super-silnika jest sprzeczne z II zasadą termodynamiki.

Żaden silnik, odwracalny lub nie, nie może mieć wydajności wyższej od silnika odwracalnego

