

Chłodnictwo

- Chłodziarka sprężarkowa gazowa
- Chłodziarka sprężarkowa parowa
- Czynniki chłodnicze
- Chłodziarka termoelektryczna
- Skraplanie gazów

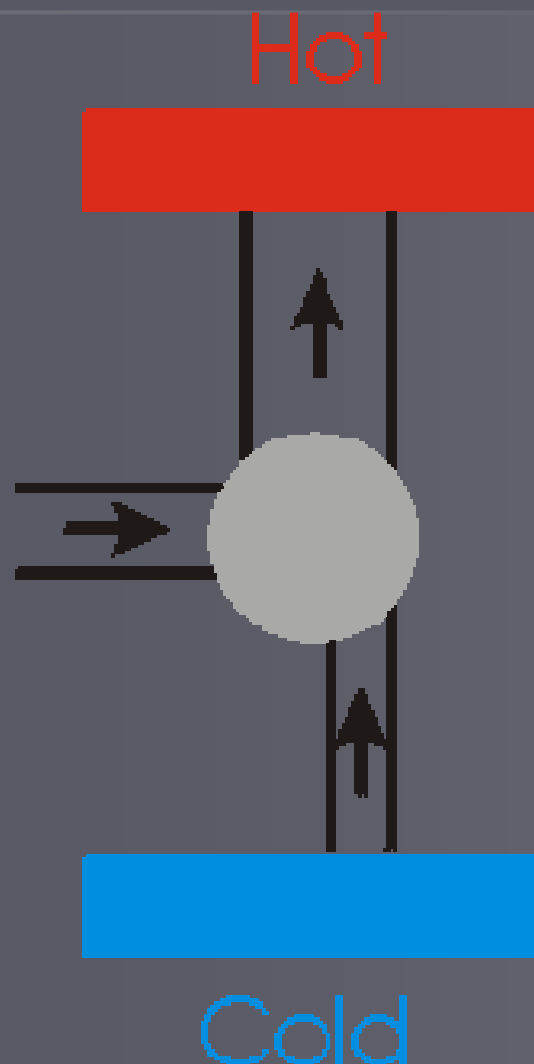
Chłodnictwo

Chłodnictwo zajmuje się obniżaniem temperatury obiektów poniżej temperatury otoczenia. Obniżenie temperatury danego ciała wymaga odebrania od niego ciepła i oddania tego ciepła do innego ciała o temperaturze otoczenia lub temperaturze wyższej od temperatury otoczenia.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

Urządzenie realizujące przepływ ciepła z ośrodka o temperaturze niższej do ośrodka o temperaturze wyższej może wykorzystać następujące zjawiska:

- rozprężanie gazu (chłodziarka sprężarkowa gazowa)
- przemiana fazowa (chłodziarka sprężarkowa parowa)
- zjawisko Peltiera (Seebecka) (chłodziarka termoelektryczna)

Chłodnictwo

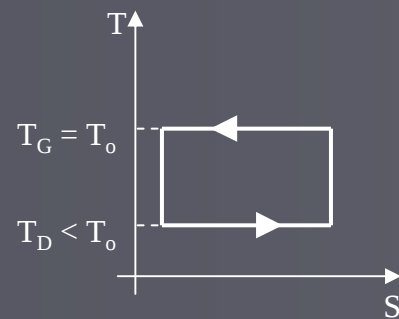
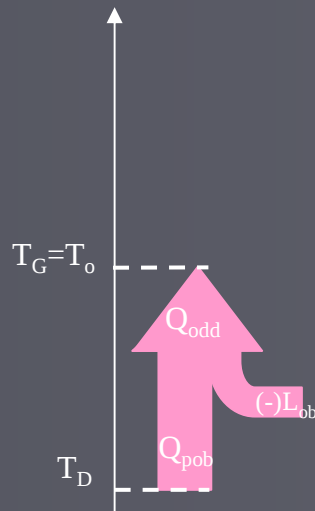
Obieg termodynamiczny, w którym następowałby przepływ ciepła w ośrodku o temperaturze niższej do ośrodku o temperaturze wyższej jest obiegiem termodynamicznym do tyłu. W zależności od tego, które źródło ciepła obiegu do tyłu ma temperaturę otoczenia T_0 rozróżniamy:

- obieg chłodniczy
- obieg cieplny (pompa ciepła)
- obieg cieplno-chłodniczy

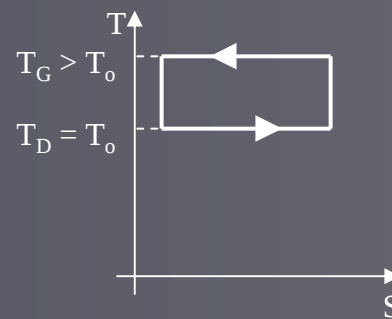
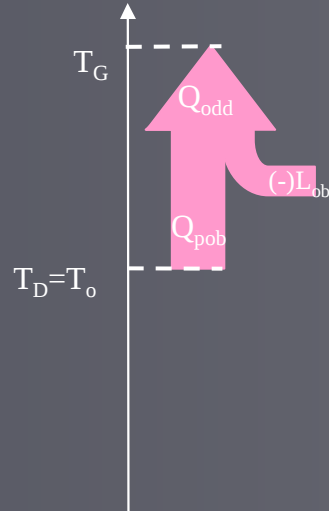
w14

Chłodnictwo

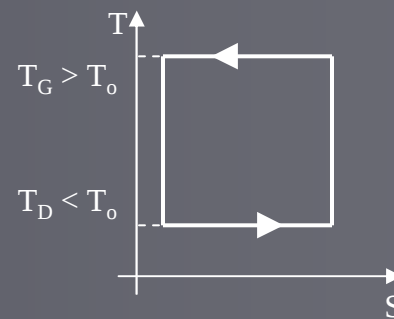
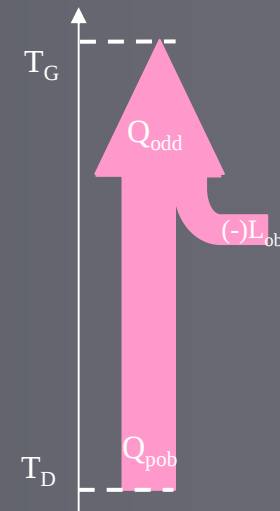
Termodynamika techniczna



obieg chłodniczy
 $T_D < T_0$ $T_G = T_0$



obieg grzejny (pompa ciepła)
 $T_D < T_0$ $T_G = T_0$



obieg ciepłno-chłodniczy
 $T_D < T_0$ $T_G > T_0$

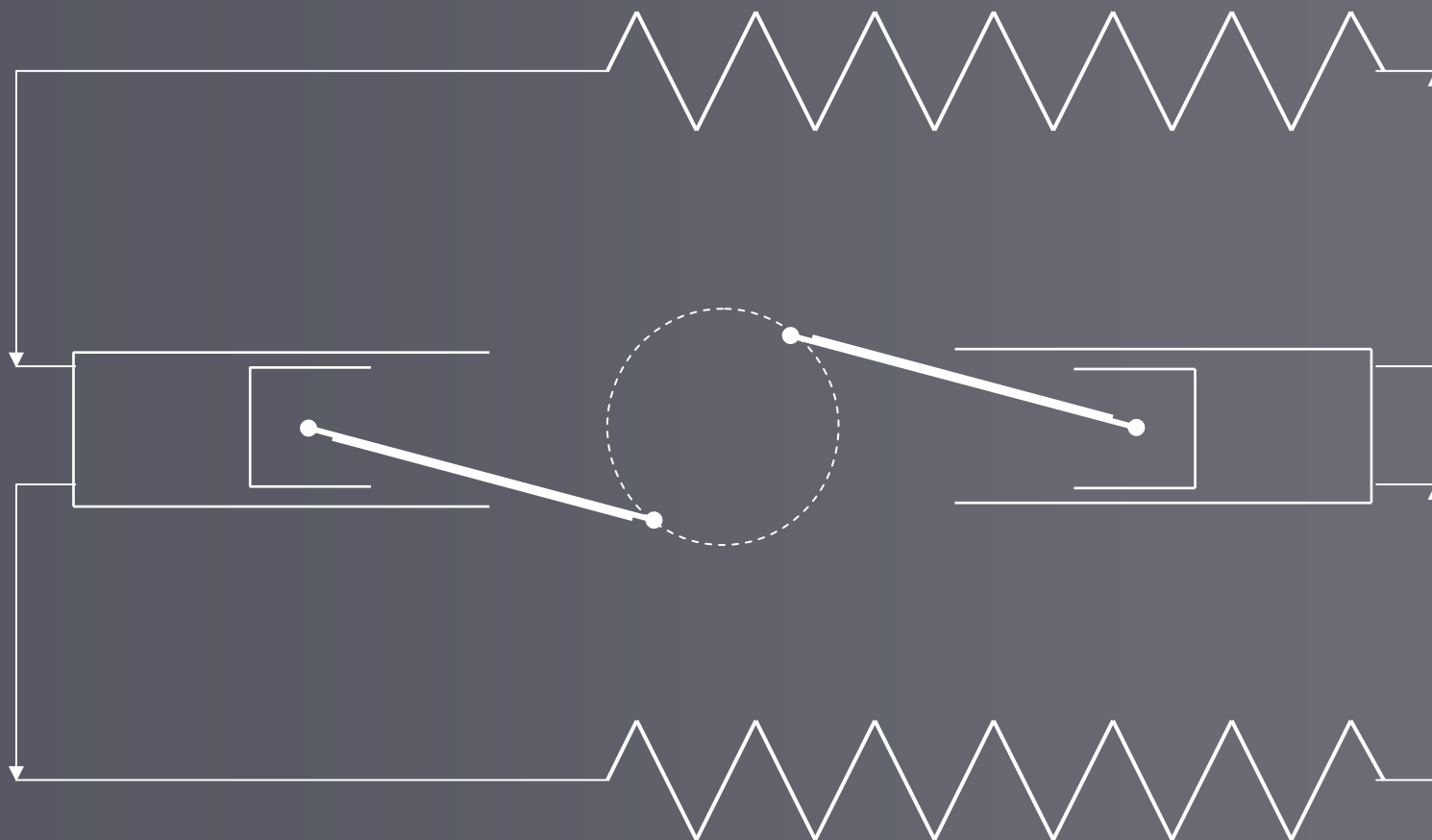
Chłodnictwo

- Urządzenie realizujące obieg termodynamiczny do tyłu składa się z dwóch wymienników ciepła i dwóch maszyn zmieniających temperaturę czynnika termodynamicznego.
- W chłodziarce sprężarkowej gazowej sprężarka podwyższa ciśnienie gazu.
- Sprężanie adiabatyczne zwiększając ciśnienie gazu podwyższa jednocześnie temperaturę gazu.
- W rozprężarce zachodzi proces odwrotny.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

- Pobieranie ciepła w dolnym źródle ciepła jest izobarycznym grzaniem gazu.
- Oddawanie ciepła w górnym źródle ciepła jest izobarycznym chłodzeniem gazu.

Chłodnictwo

- Praca obiegu jest różnicą pracy sprężarki i pracy rozprężarki.

$$L_{ob} = L_{sp} - L_{rozp}$$

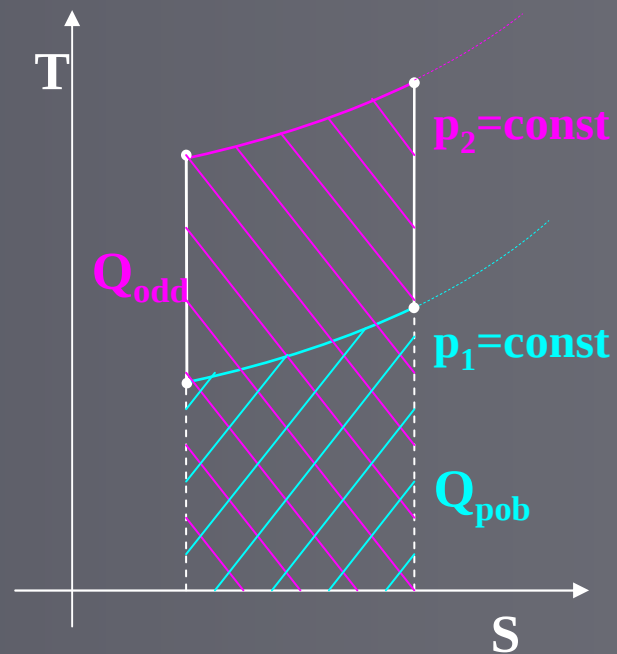
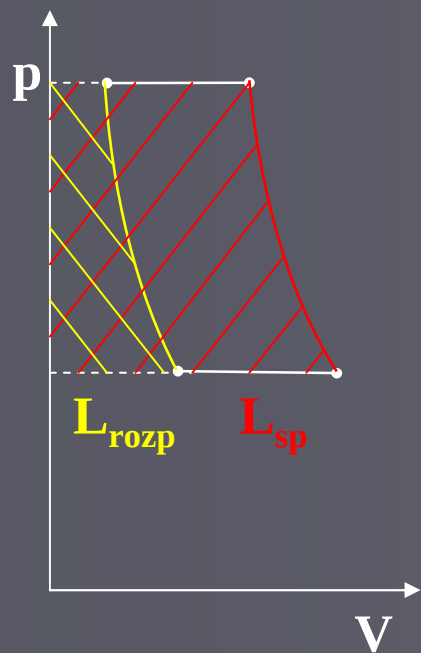
- Ciepło oddawane w obiegu jest sumą ciepła pobranego w obiegu i pracy obiegu

$$Q_{odd} = Q_{pob} + L_{ob}$$

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



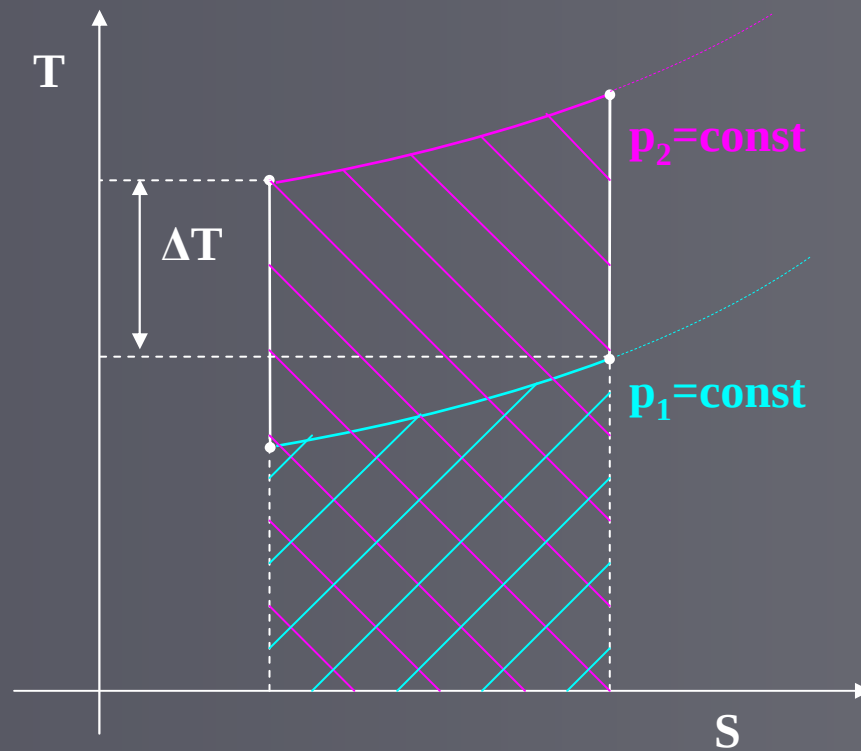
Chłodnictwo

- Wymiana ciepła w chłodziarce sprężarkowej gazowej jest mało wydajna ze względu na niską intensywność izobarycznej wymiany ciepła.
- Dla danej różnicy ciśnień robocza różnica temperatur jest stosunkowo niska.
- Dlatego chłodziarki sprężarkowe gazowe znajdują zastosowanie tylko u niektórych układach klimatyzacyjnych.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



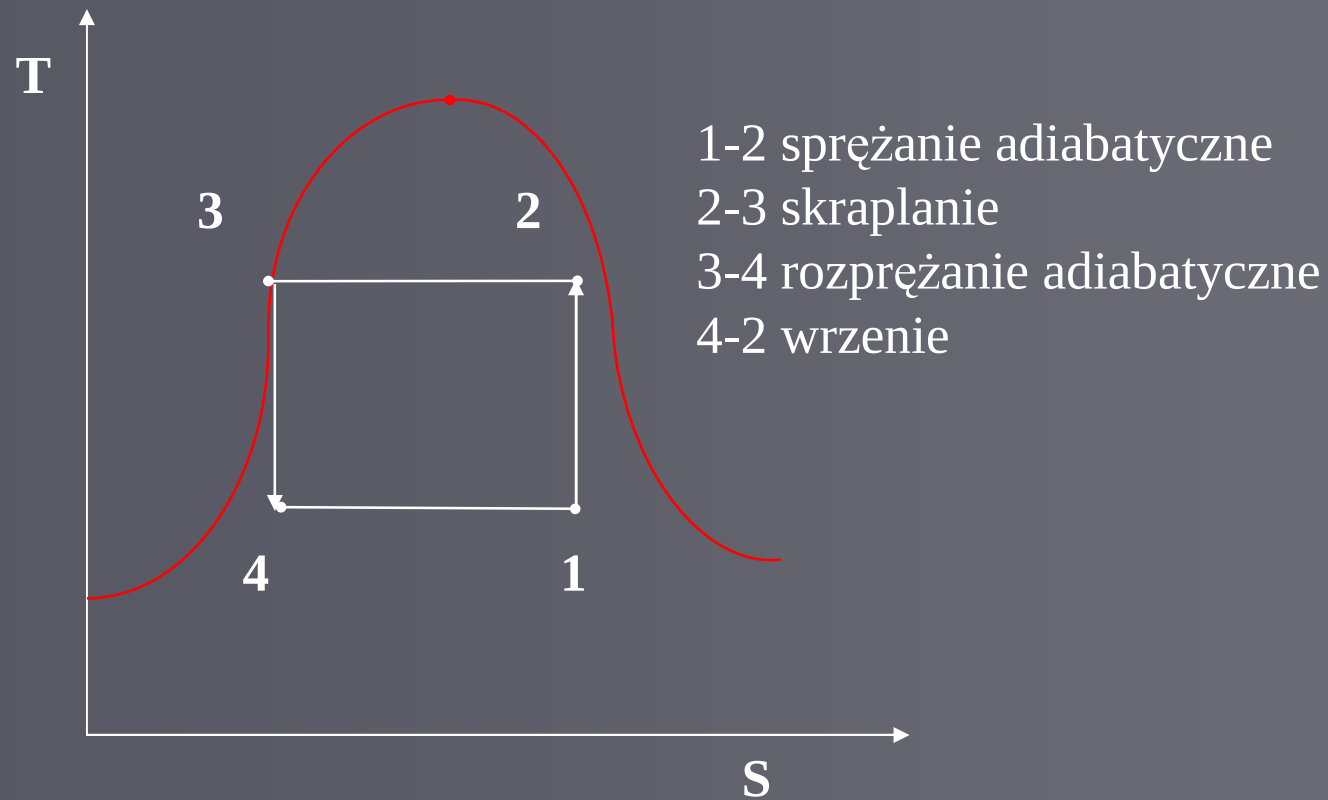
Chłodnictwo

- Izotermiczna wymiana ciepła jest bardziej wydajna od wymiany ciepła izobarycznej.
- Izobaryczną wymianę ciepła można zrealizować w przemianie fazowej, ponieważ proces wrzenie/skraplanie jest procesem jednocześnie izobarycznym i izotermicznym.

Chłodnictwo

- W chłodziarce sprężarkowej parowej czynnik termodynamiczny pobiera ciepła w procesie wrzenia i oddaje ciepło w procesie skraplania.
- Jeśli sprężanie i rozprężanie czynnika termodynamicznego będzie procesem adiabatycznym, to obieg termodynamiczny chłodziarki sprężarkowej parowej będzie przebiegał w obszarze pary mokrej.
- Obieg chłodziarki sprężarkowej parowej jest obiegiem Carnota do tyłu.

Chłodnictwo



Chłodnictwo

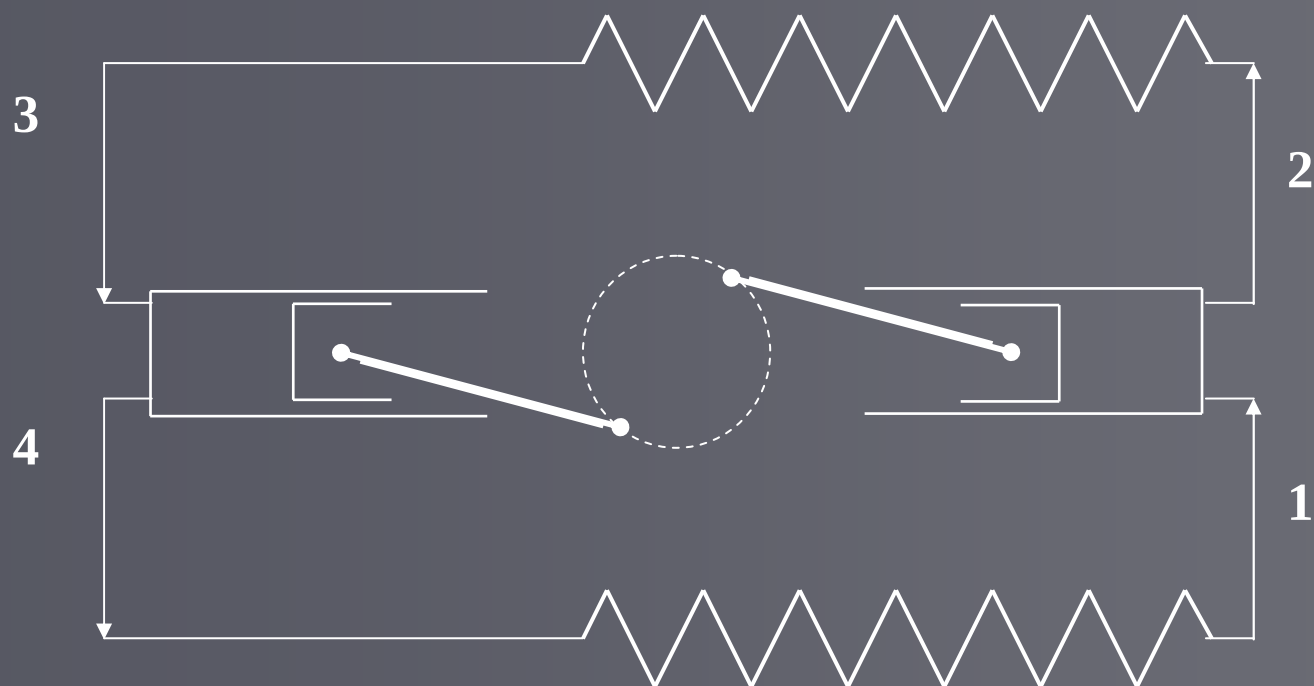
Chłodziarka sprężarkowa parowa składa się dwóch wymienników ciepła:

- parowacza (parownika)
 - skraplacza
- i dwóch maszyn:
- sprężarki
 - rozprężarki.

w14

Chłodnictwo

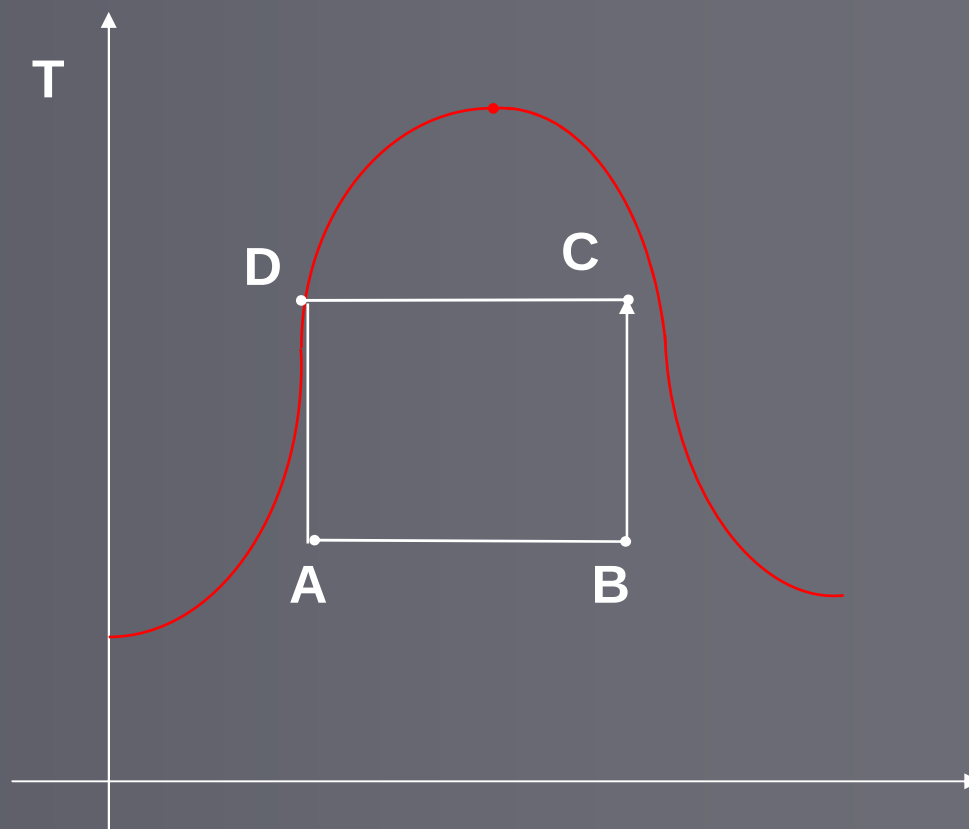
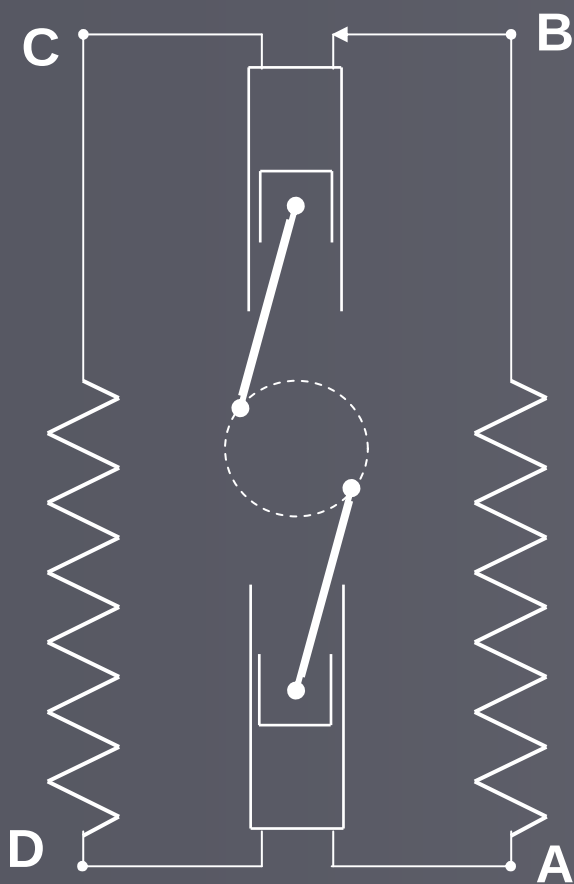
Termodynamika techniczna



w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

- Adiabatyczne rozprężanie gazu w chłodziarce sprężarkowej gazowej nie stanowi problemu technicznego.
- Adiabatyczne rozprężanie cieczy wrzącej otrzymywanej w skraplaczu chłodziarki sprężarkowej parowej jest technicznie niemożliwe.

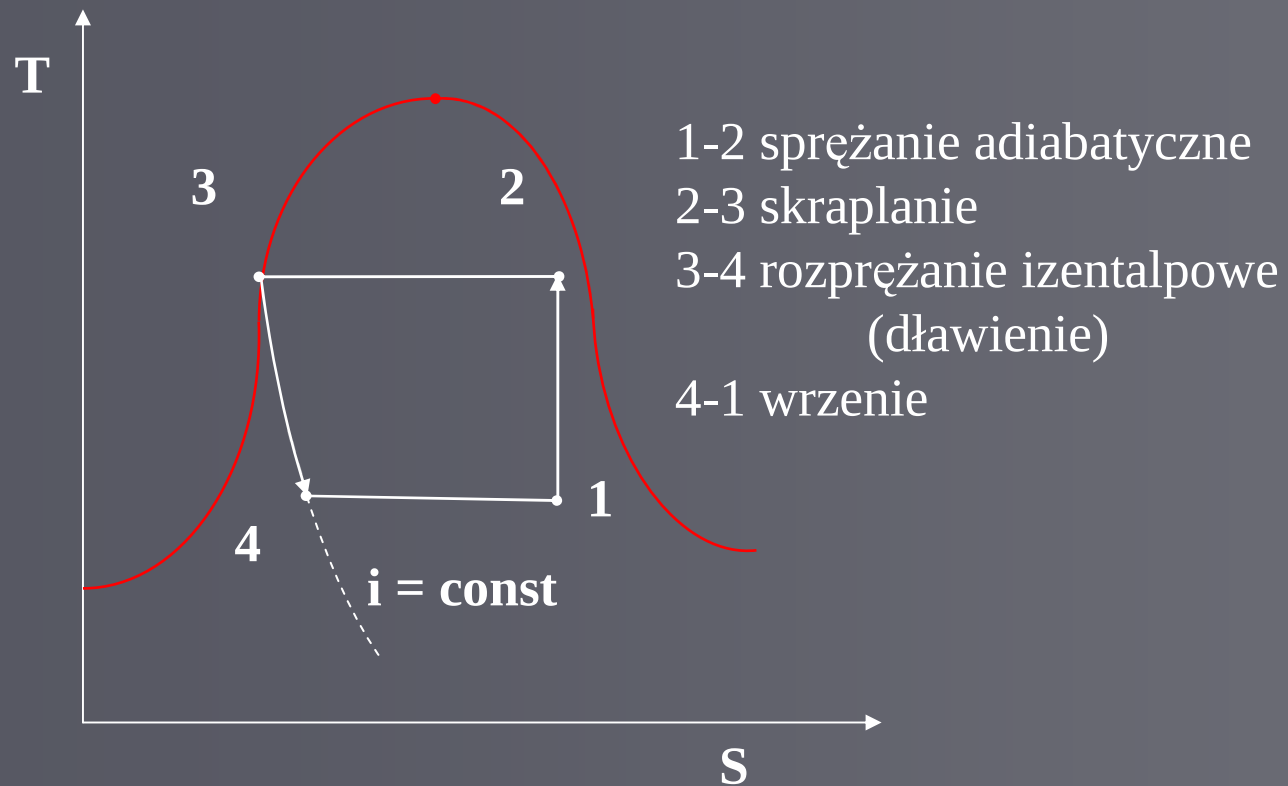
Chłodnictwo

- Rozprężanie adiabatyczne czynnika termodynamicznego w chłodziarce sprężarkowej parowej obniża ciśnienie i temperaturę czynnika.
- Obniżenie ciśnienia i temperatury czynnika termodynamicznego w chłodziarce sprężarkowej parowej może być zrealizowane przemianą izentalpową (dławieniem).

Chłodnictwo

- Urządzeniem realizującym dławienie w chłodziarce sprężarkowej parowej jest zawór dławiący.
- Obieg termodynamiczny chłodziarki sprężarkowej parowej z rozprężaniem izentalpowym nazywany jest mokrym obiegiem chłodziarki sprężarkowej parowej lub obiegiem Lindego (mokrym).

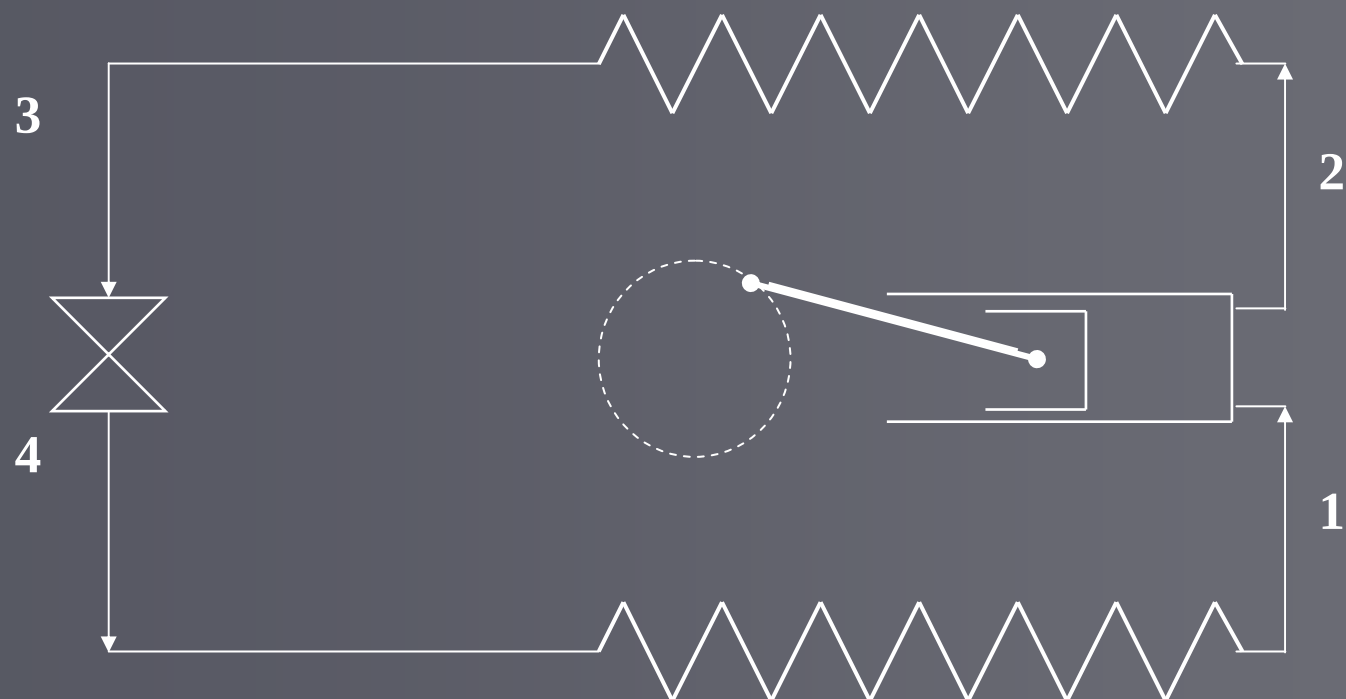
Chłodnictwo



w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

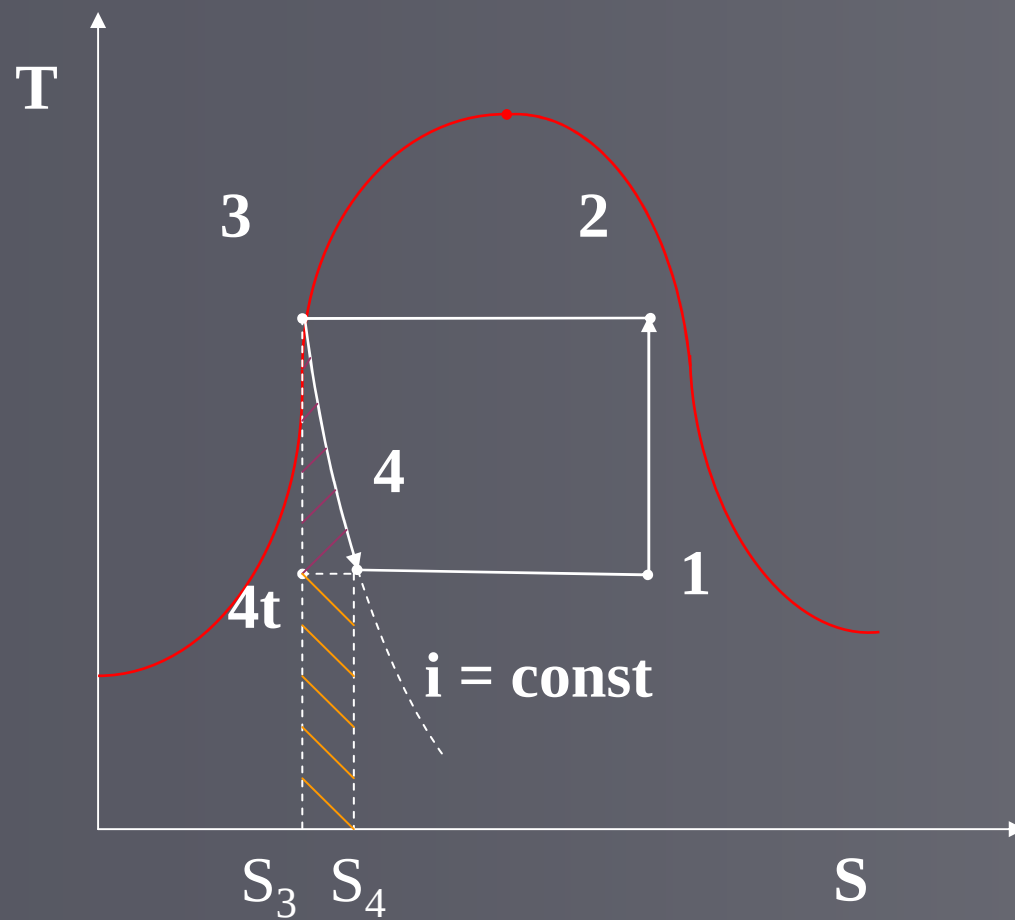
W chłodziarce sprężarkowej parowej z rozprężaniem izentalpowym występują dwie straty związane z dławieniem:

- zmniejszenie skutku chłodzenia;
nieodwracalny przyrost entropii $\Delta S_{3,4}$
zmniejsza ciepło pobierane przez czynnik termodynamiczny z grzejnika (parowacza)
- zwiększenie pracy sprężarki;
przy dławieniu nie odzyskujemy pracy rozprężania.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



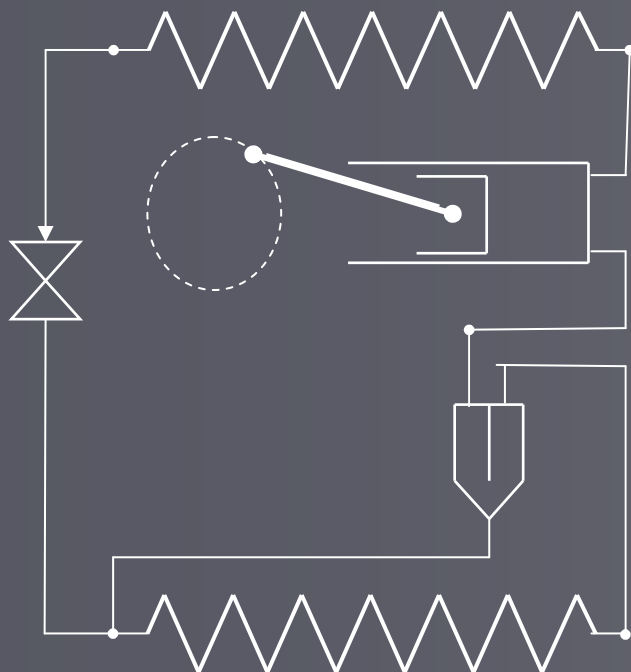
Chłodnictwo

- Realizacja obiegu mokrego stwarza problemy związane ze sprężaniem pary mokrej.
- Para mokra jest mieszaniną pary suchej (stan lotny) i cieczy wrzącej.
- Ciecz wrząca silnie oddziałuje cieplnie ze ściankami sprężarki i może wywoływać uderzenia hydrauliczne.
- Korzystne jest osuszenie lub przegrzanie pary przed procesem sprężania.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



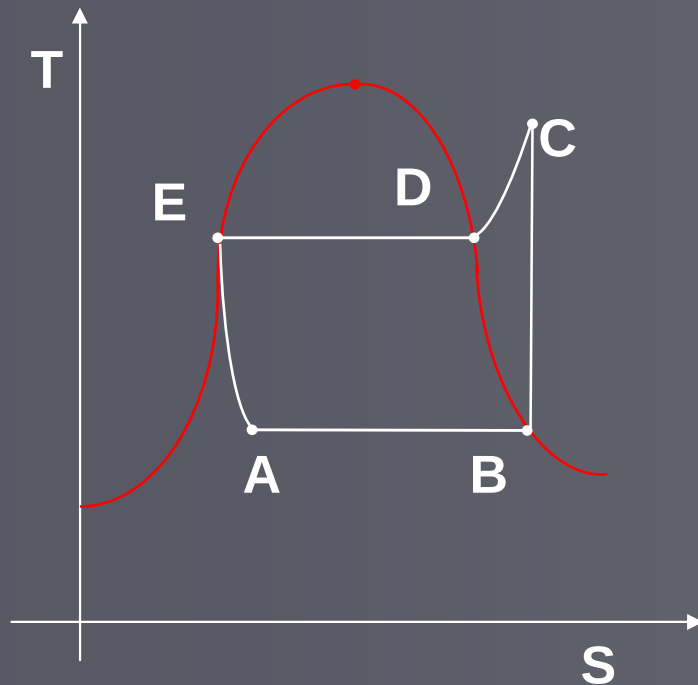
Chłodnictwo

- Gęstość pary suchej jest o co najmniej dwa rzędy wielkości mniejsza od gęstości cieczy wrzącej.
- Ciecz wrzącą można oddzielić od pary suchej grawitacyjnie lub odśrodkowo w osuszaczu.
- Ciecz wrząca z osuszacza jest podawana na wlot parowacza.
- Para sucha jest sprężana w sprężarce w obszarze pary przegrzanej.

Chłodnictwo

Obieg termodynamiczny chłodziarki sprężarkowej parowej z osuszaniem pary mokrej nazywany jest suchym obiegiem chłodziarki sprężarkowej parowej lub obiegiem Lindego suchym.

Chłodnictwo



- A-B – wrzenie
- B-C – sprężanie
- C-D – oddawanie ciepła
- D-E – skraplanie
- E-A - dławienie

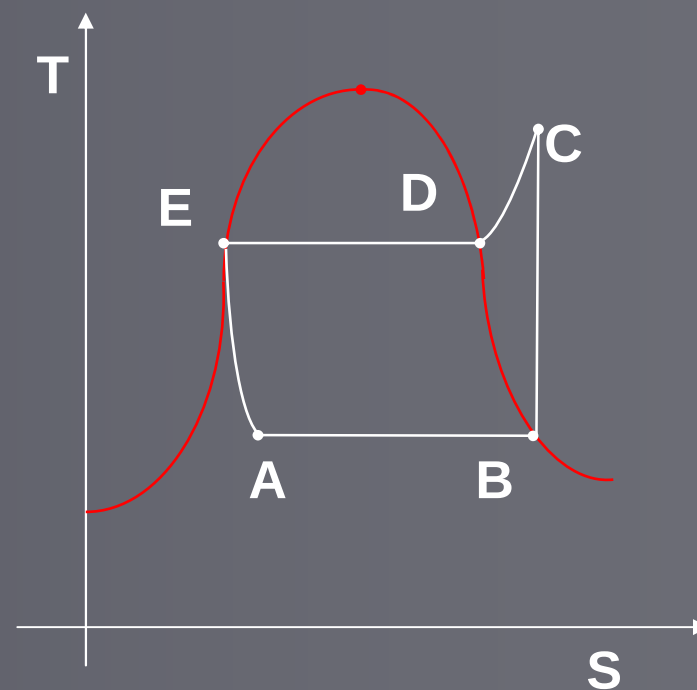
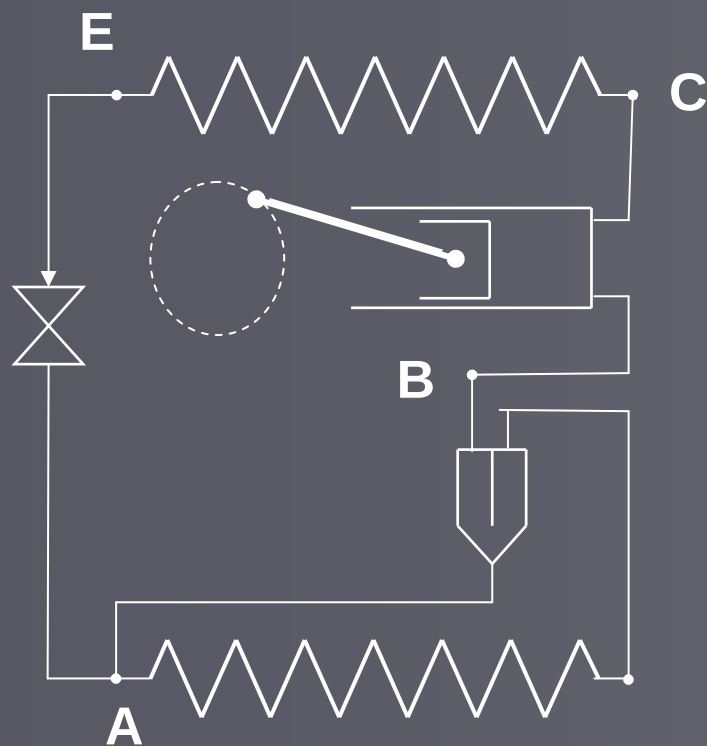
Chłodnictwo

- Proces rozdzielania pary suchej i cieczy wrzącej przed sprężaniem nie jest przemiana termodynamiczną.
- W obiegu termodynamicznym chłodziarki sprężarkowej parowej osuszenie pary jest interpretowane jako osiągnięcie przez parę podczas wrzenia stopnia suchości $x = 1$.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

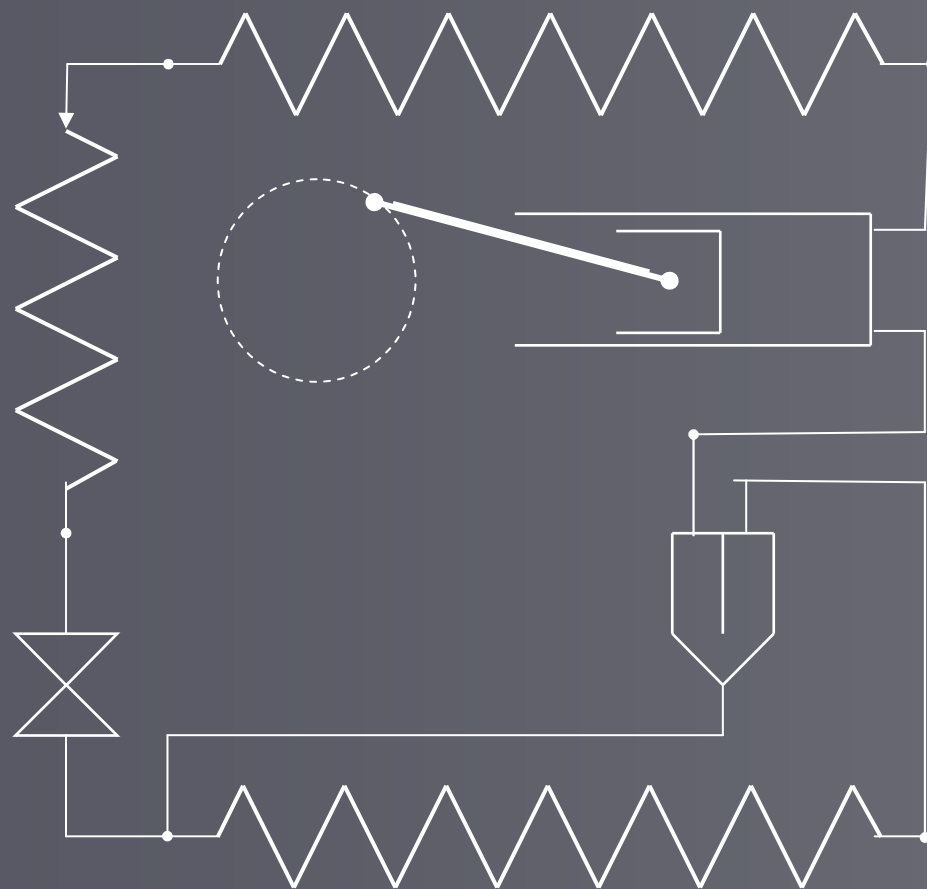
Straty związane z dławieniem można zmniejszyć przez:

- dochładzanie ciekłego czynnika
- regenerację ciepła.

w14

Chłodnictwo

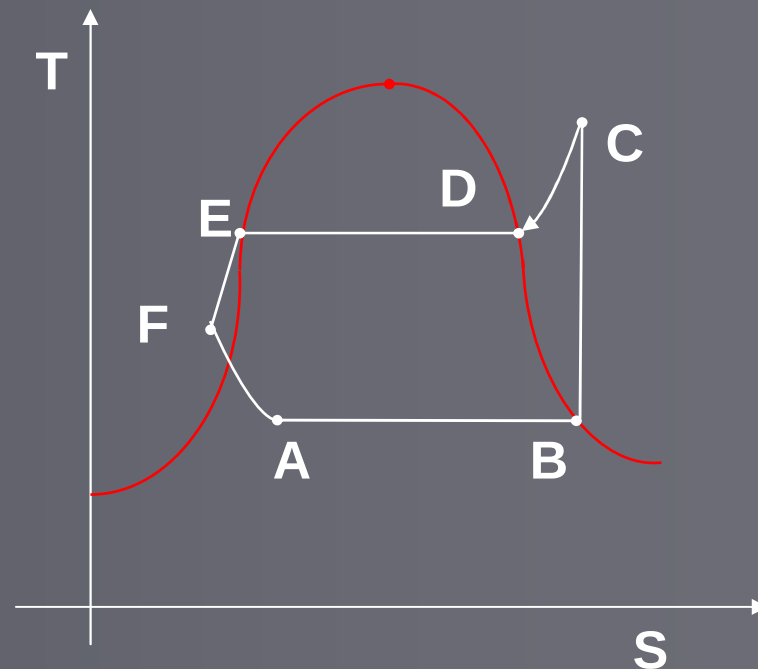
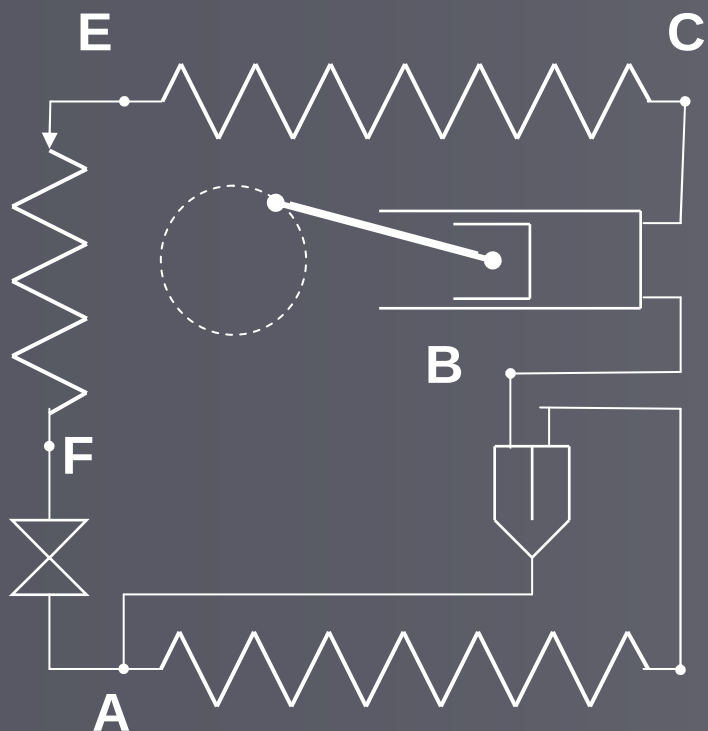
Termodynamika techniczna



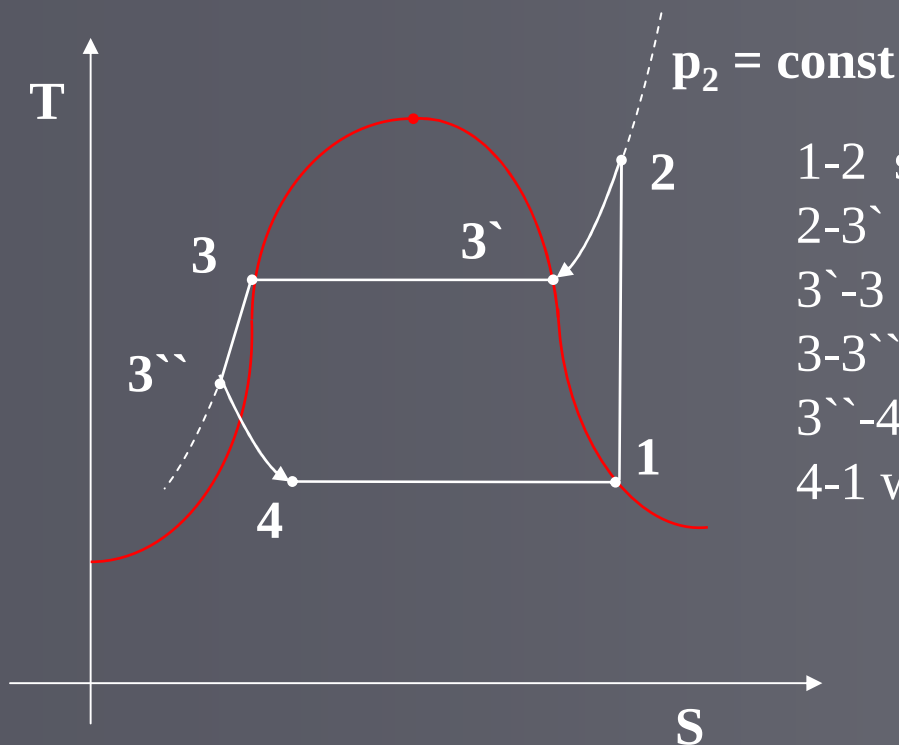
w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

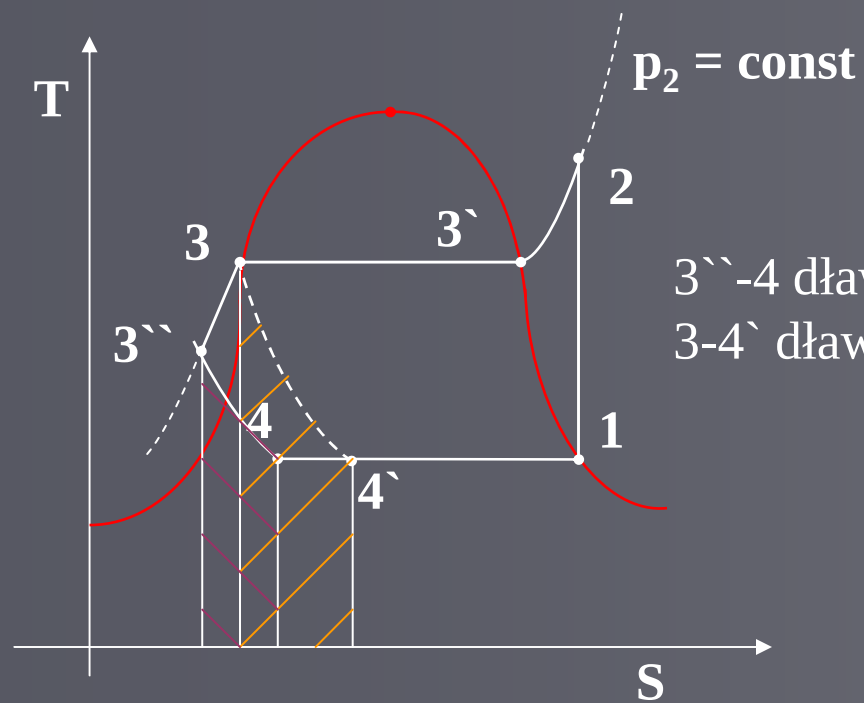


- 1-2 sprężanie adiabatyczne
- 2-3' chłodzenie pary przegrzanej
- 3'-3 skraplanie
- 3-3'' dochładzanie cieczy
- 3''-4 dławienie
- 4-1 wrzenie

Chłodnictwo

- Dochładzanie ciekłego czynnika obniża temperaturę czynnika bez zmiany jego ciśnienia.
- Strata dławienia dochłodzonej cieczy jest mniejsza, niż strata dławienia cieczy wrzącej.

Chłodnictwo



3''-4 dławienie cieczy dochłodzonej
3-4' dławienie cieczy wrzącej

Chłodnictwo

- Warunkiem dochładzania ciecży jest odbiornik ciepła o temperaturze niższej od temperatury skraplacza.
- Dochładzacz ciecży jest odrębnym od skraplacza wymiennikiem ciepła.

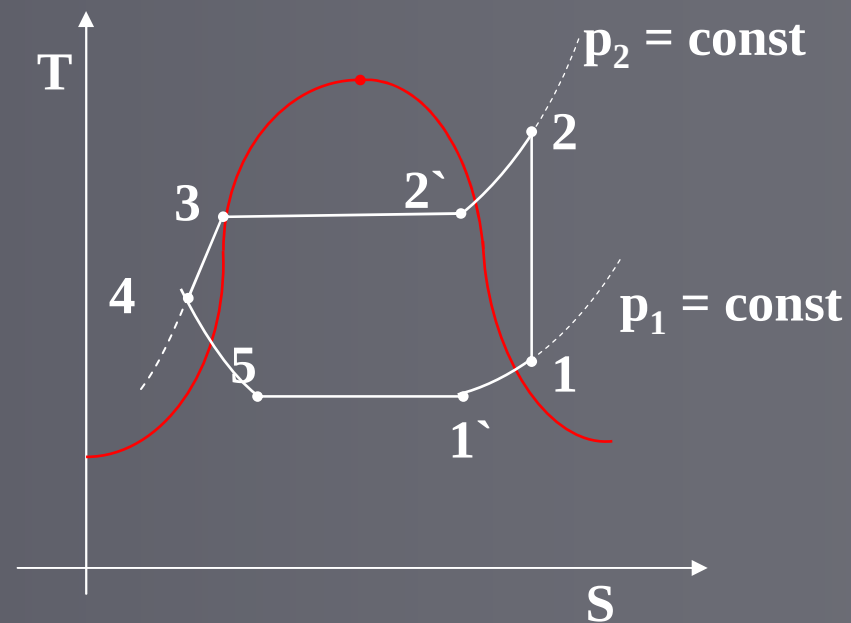
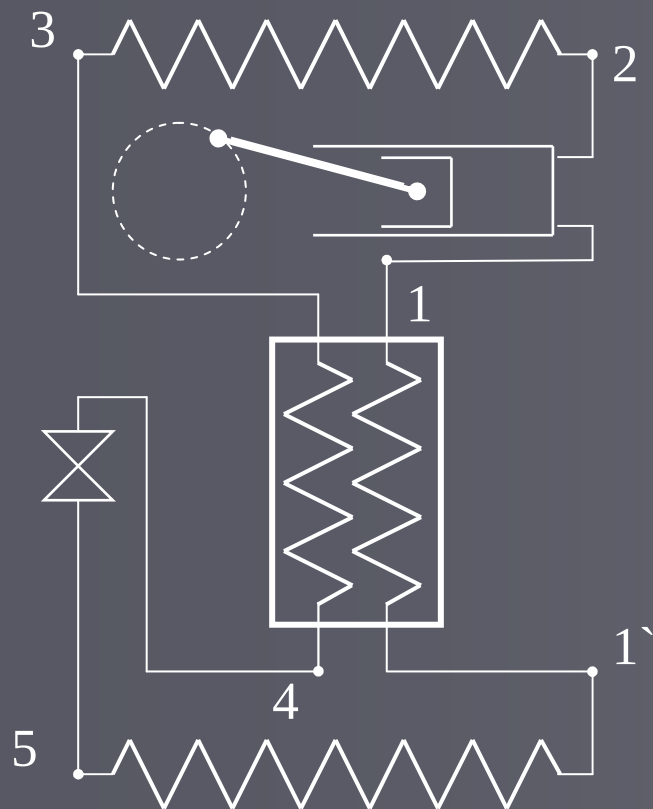
Chłodnictwo

- Dochłodzenia ciekłego czynnika można zastosować regeneracją ciepła.
- Regeneracja ciepła polega na przegrzewaniu pary mokrej za parowaczem ciekłym czynnikiem wypływającym ze skraplacza.
- Regenerator ciepła jest przeciwprądowym wymiennikiem ciepła.
- Przy regeneracji ciepła nie stosujemy osuszacza.
- Obieg termodynamiczny chłodziarki sprężarkowej parowej z regeneracją ciepła nazywany jest obiegiem przegrzanym.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



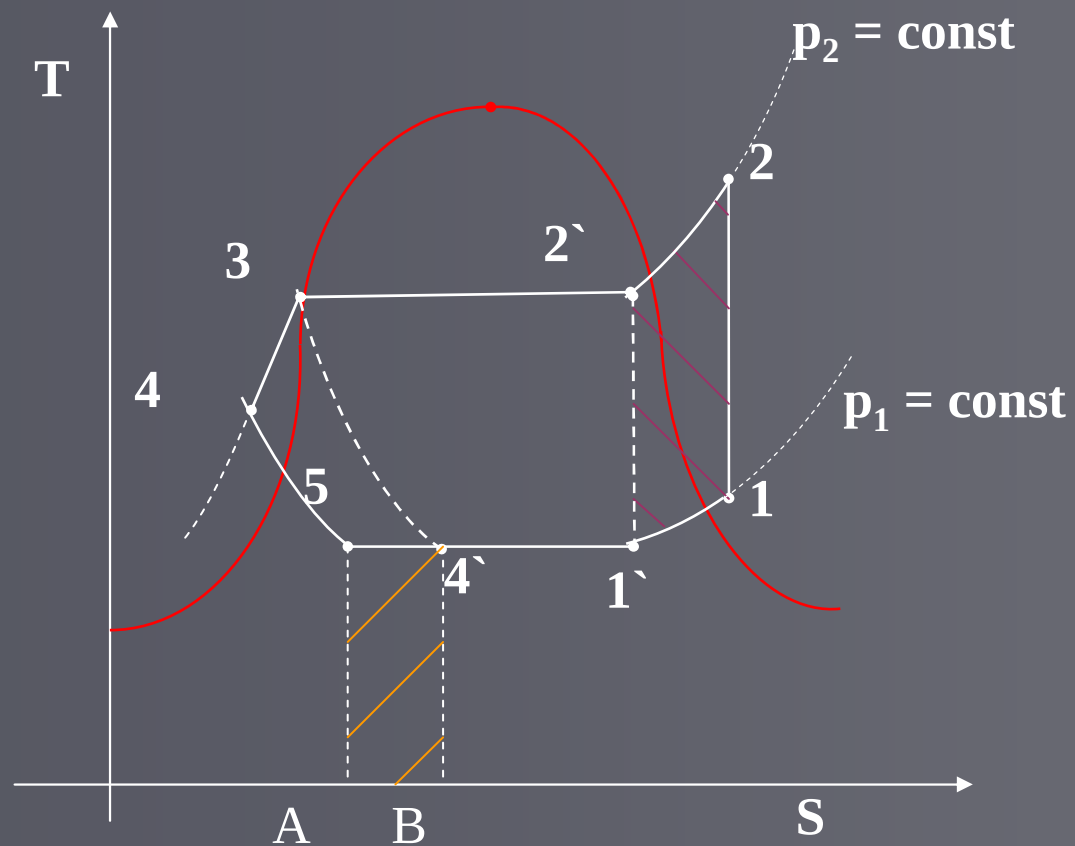
Chłodnictwo

W obiegu z regeneracją ciepła w porównaniu z obiegiem bez regeneracji ciepła zmniejszamy stratę dławienia i jednocześnie zwiększamy pracę sprężania.

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

- Wielkość zmniejszenia straty dławienia i wielkości zwiększenia pracy sprężania zależy od energetycznych własności czynnika termodynamicznego.
- Na wykresie $T-S$ różnicę między obiegiem z regeneracją ciepła, a obiegiem bez regeneracji ciepła przedstawiają pola:
 - pole $A-B-4'-5 = \Delta q$
zmniejszenie straty dławienia
 - pole $1'-1-2-2' = \Delta l$
zwiększenie pracy sprężania.

Chłodnictwo

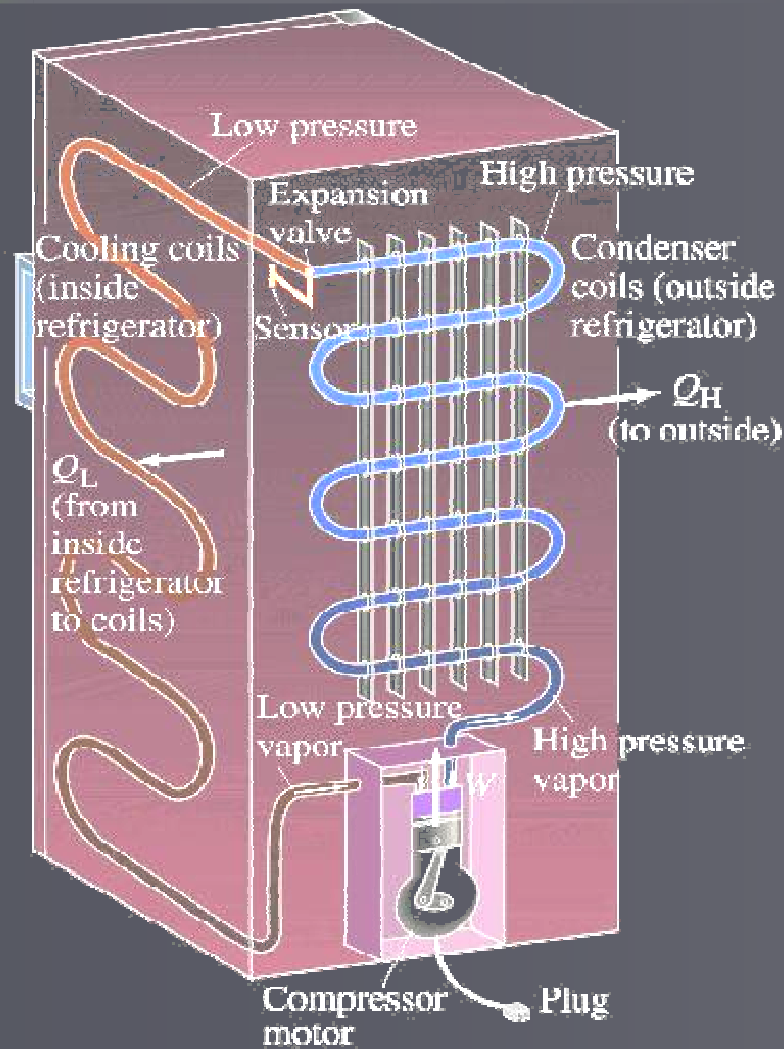
Regeneracja ciepła jest korzystna wówczas, gdy względny wzrost wydajności chłodniczej obiegu jest większy od względnego przyrostu pracy obiegu.

$$\frac{\Delta q}{q} > \frac{\Delta l}{l}$$

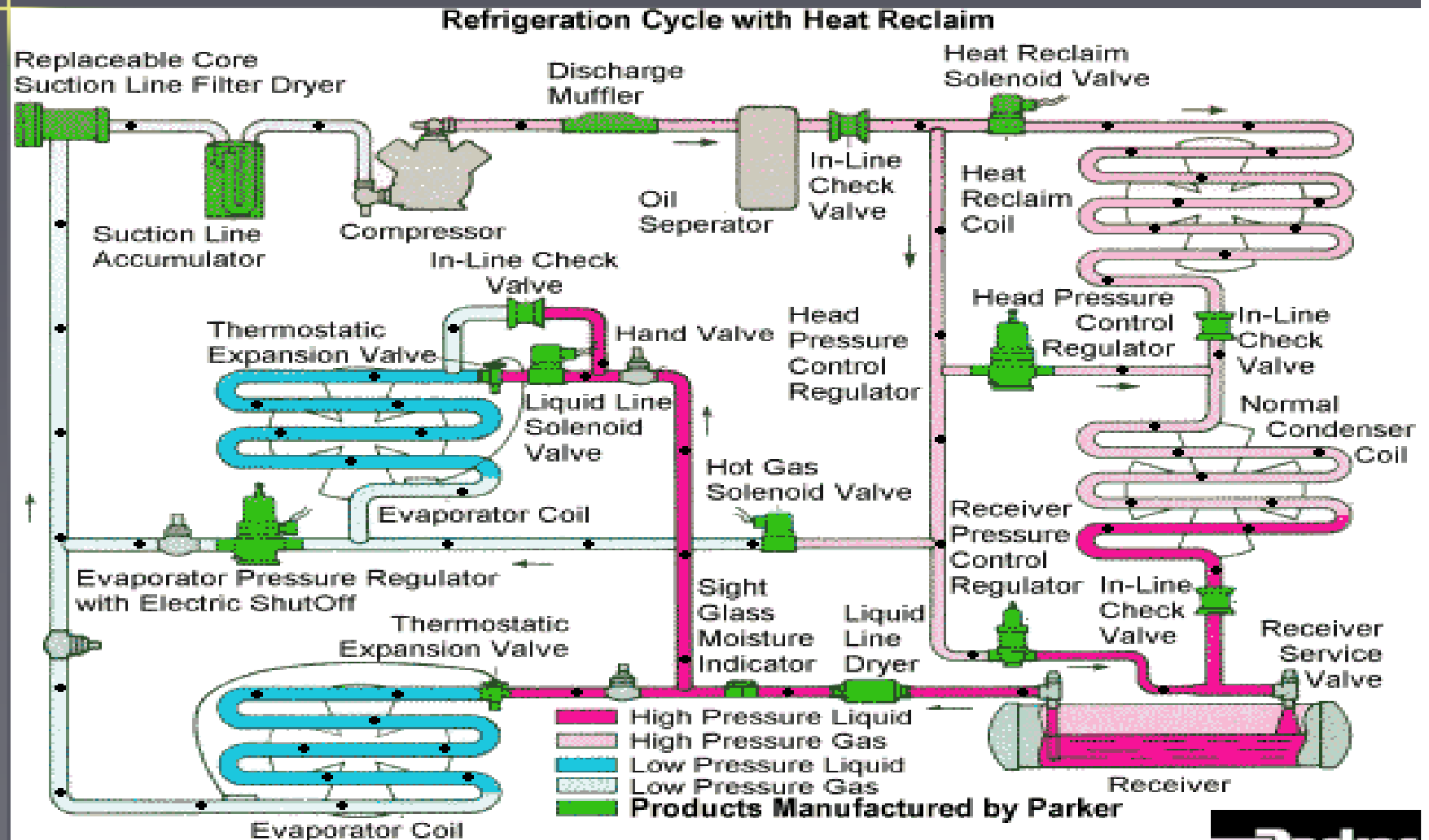
w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

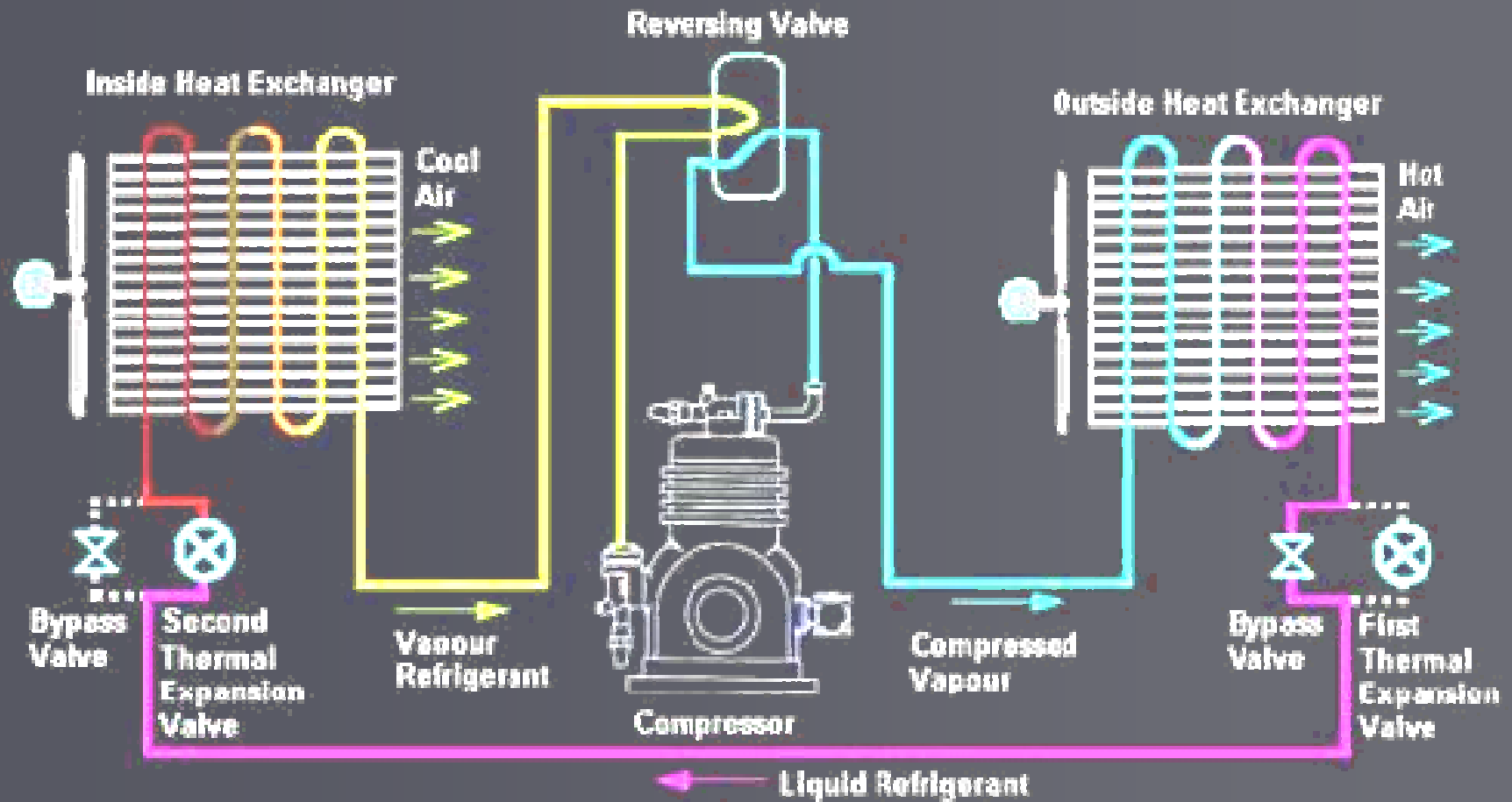


Click on any Parker Part to learn more

w14

Chłodnictwo

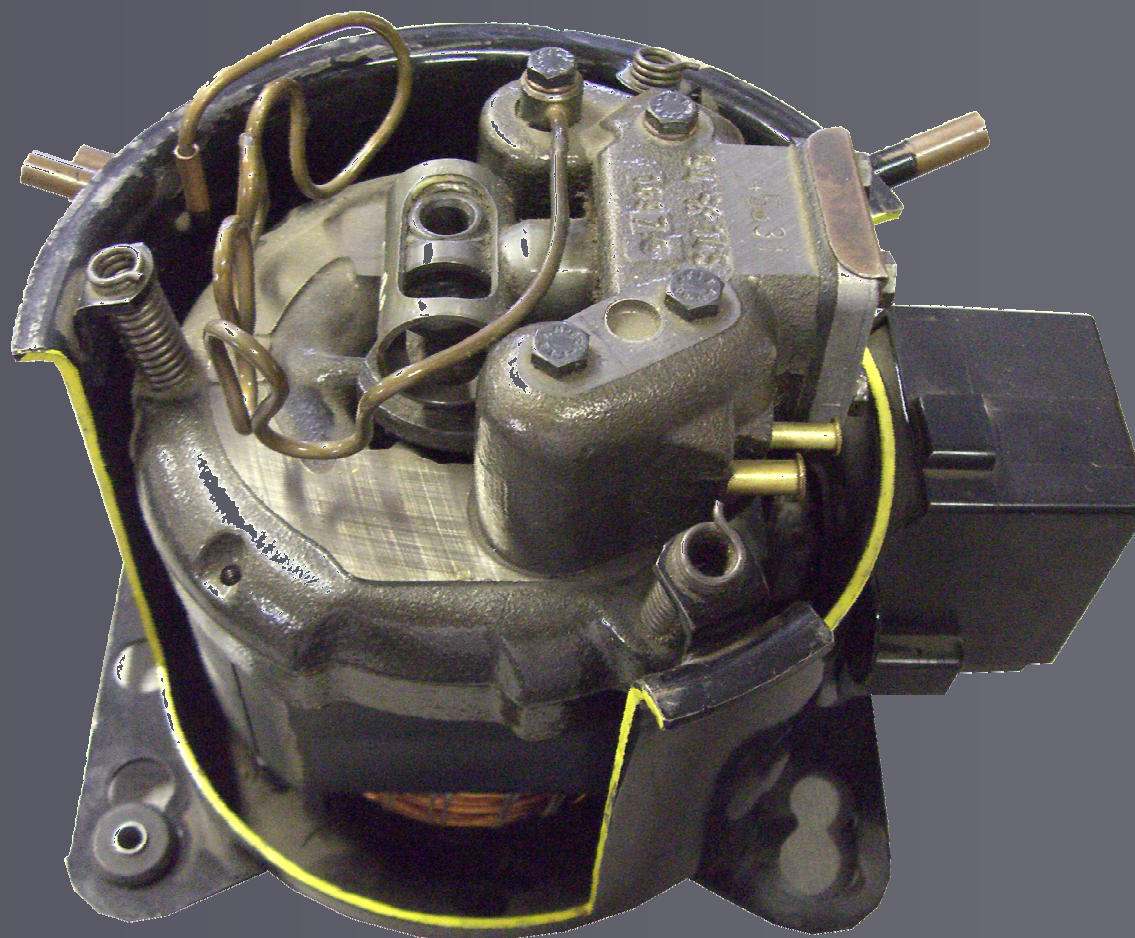
Termodynamika techniczna



w14

Chłodnictwo

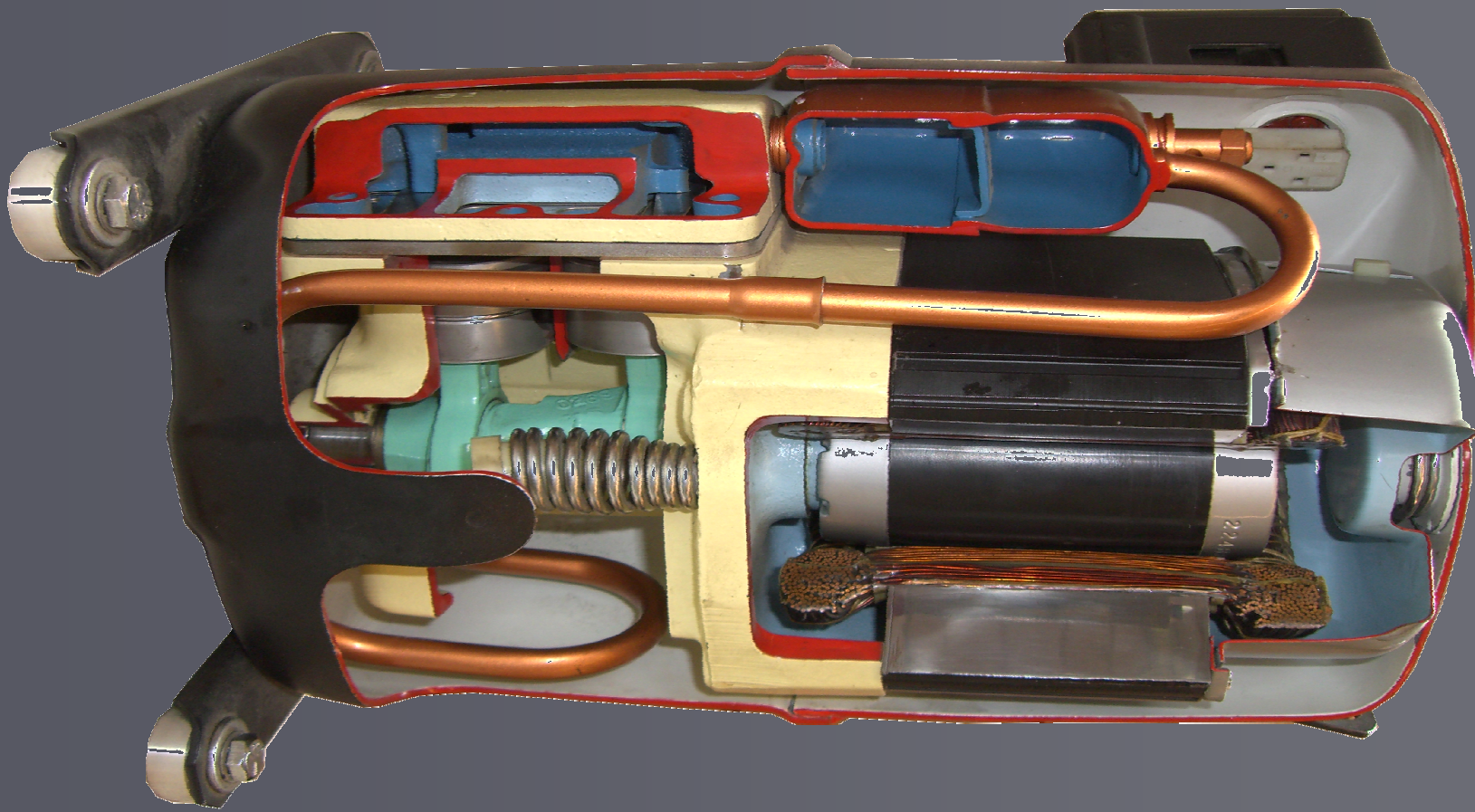
Termodynamika techniczna



w14

Chłodnictwo

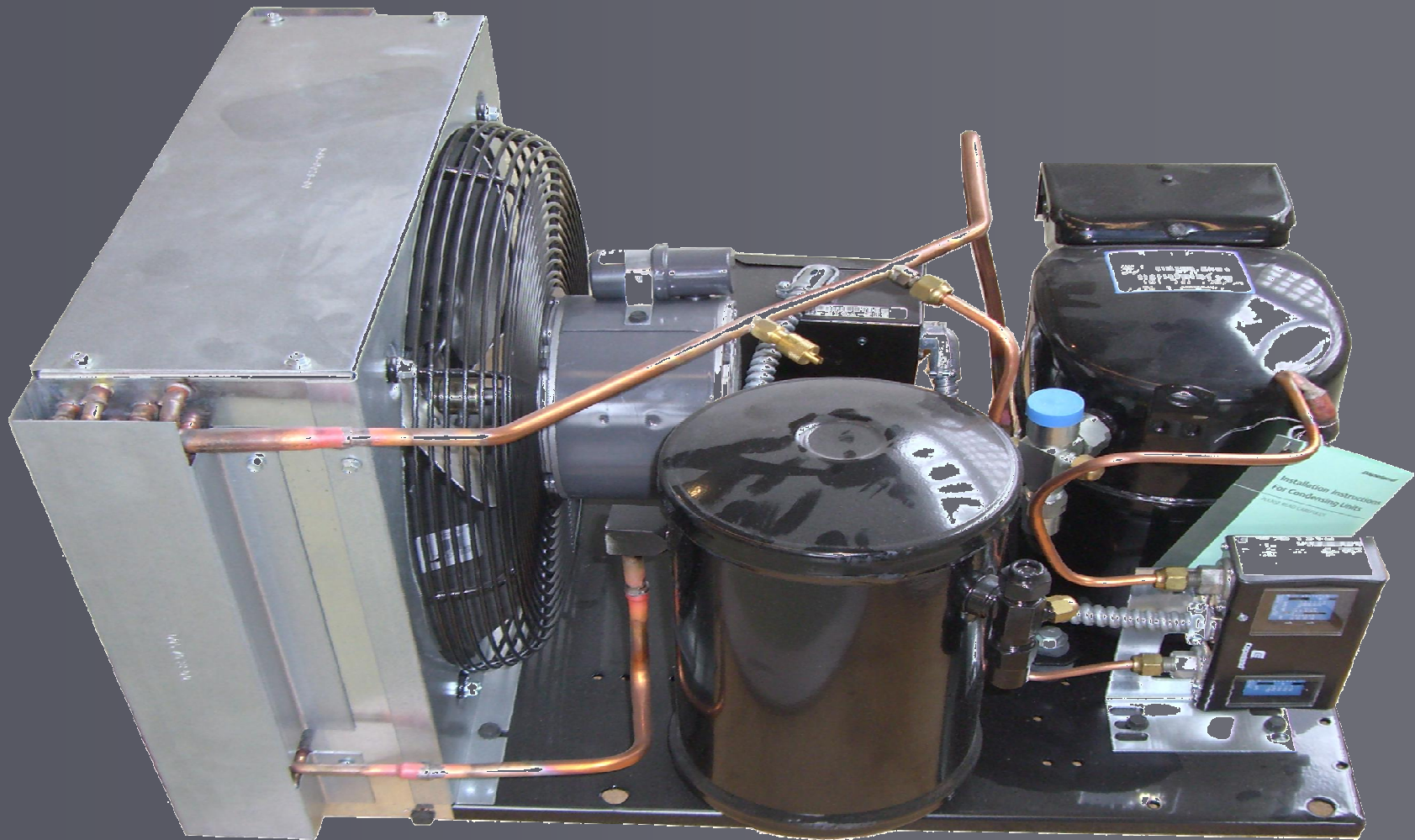
Termodynamika techniczna



w14

Chłodnictwo

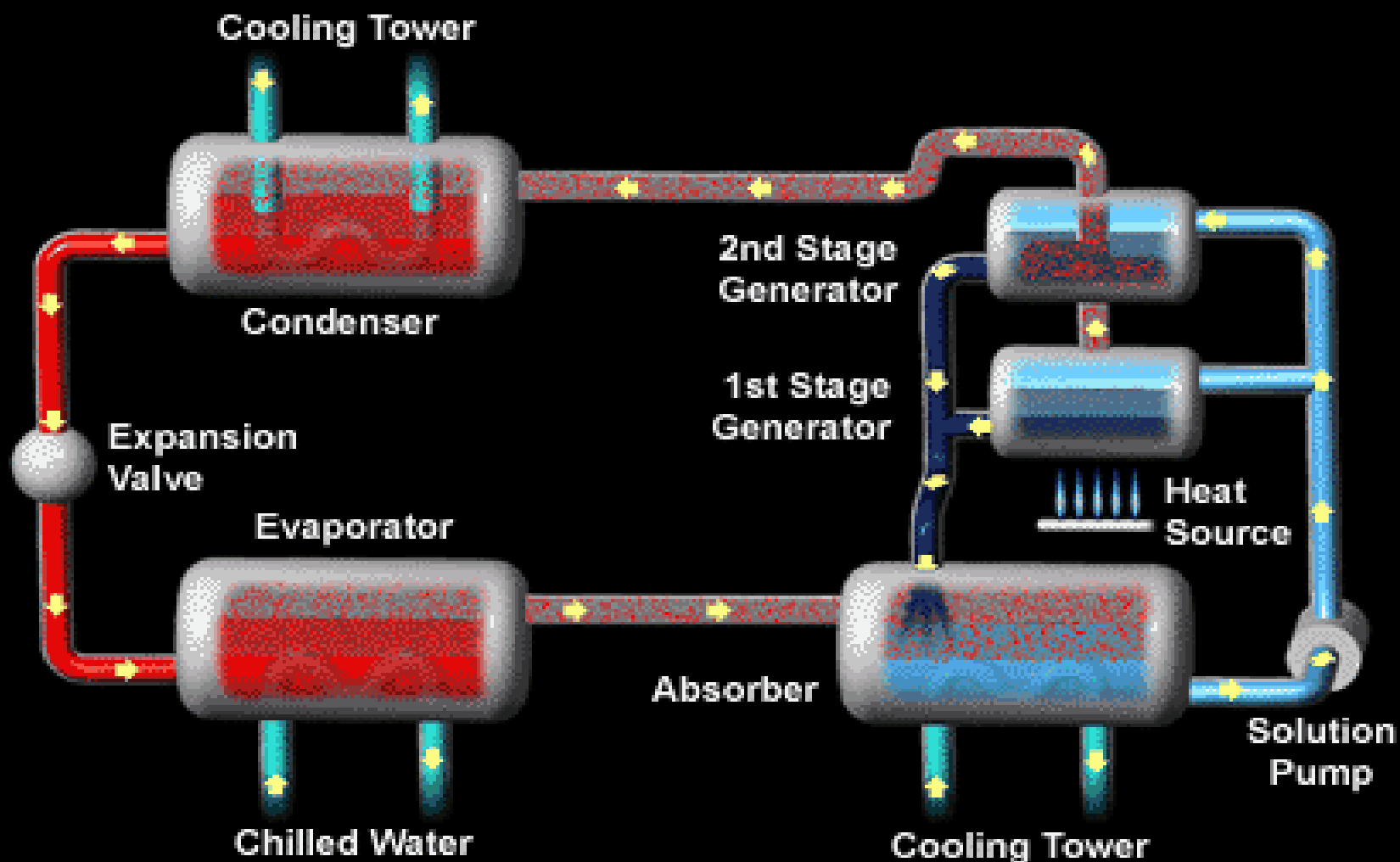
Termodynamika techniczna



w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

Czynniki chłodnicze stosowane w chłodziarkach sprężarkowych parowych dzielimy na:

- związki nieorganiczne

NH_3 , H_2O , rzadko CO_2

- węglowodory

- chlorowcowe pochodne węglowodorów
freony

Chłodnictwo

Freon jest węglowodorem, w którym jeden lub więcej atomów wodoru zostało zastąpionych atomami chloru (Cl), fluoru (F) lub w nielicznych przypadkach bromu (Br). Ogólny wzór chemiczny freonu przyjmuje postać



Chłodnictwo

Freony oznaczamy symbolem R i liczbą dwu- lub trzy- cyfrową



Pierwsza cyfra równa zero jest w symbolu pomijana.

Liczbę atomów chloru można wyliczyć, jako uzupełnienie brakujących atomów ze wzoru

$$C_n(H, Cl, F)_{2 \cdot n + 2}$$

Chłodnictwo

Czynniki chłodnicze, które nie są freonami oznaczamy symbolami

- R717 – NH_3
- R718 – H_2O

Chłodnictwo

Najbardziej rozpowszechnionym czynnikiem chłodniczym jest freon R12

$$\rightarrow 2 \text{ cyfry} \rightarrow C = 0 + 1 = 1$$

$$\rightarrow H = 1 - 1 = 0$$

$$\rightarrow F = 2$$

$$\rightarrow Cl = 2 + 2 - 2 = 2$$



Chłodnictwo

Freon R12 stosowany jest przy obniżaniu temperatury do -50 [$^{\circ}\text{C}$].

Chłodnictwo

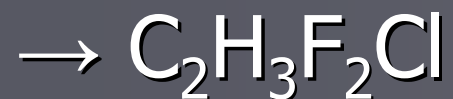
W pompach cieplnych ze względu na wysokie temperatury skraplania stosowany jest freon R142

$$\rightarrow 3 \text{ cyfry} \rightarrow C = 1 + 1 = 2$$

$$\rightarrow H = 4 - 1 = 3$$

$$\rightarrow F = 2$$

$$\rightarrow Cl = 2 \cdot 2 + 2 - 2 - 3 = 1$$



Chłodnictwo

Najważniejszymi w chłodnictwie własnościami cieplnymi czynników termodynamicznych są:

- ciśnienia nasycenia odpowiadające temperaturom parowania i skraplania
- ciepło parowania
- ciepło właściwe cieczy wrzącej, pary suchej i pary przegrzanej

Chłodnictwo

Do porównania własności cieplnych różnych czynników używa się następujących parametrów bezwymiarowych obliczonych dla:
temperatura parowania $t_0 = -15[^\circ\text{C}]$
temperatura skraplania $t_k = 30 [^\circ\text{C}]$

Chłodnictwo

Teoretyczny współczynnik wydajności chłodniczej jest stosunkiem ciepła pobranego do pracy sprężarki

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{l}$$

Chłodnictwo

Stopień doskonałości obiegu jest stosunkiem wydajności obiegu do wydajności obiegu Carnota ($\varepsilon_c = 5,73$)

$$\eta = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_C}$$

Chłodnictwo

Dla powszechnie stosowanych czynników chłodniczych

- teoretyczna wydajność chłodnicza

$$\varepsilon_t = 4,62 \div 5,07$$

- stopień doskonałości

$$\eta = 0,81 \div 0,88.$$

Chłodnictwo

Z punktu widzenia niezawodności urządzeń chłodniczych i bezpieczeństwa ich stosowania ważne są fizyko-chemiczne własności czynników chłodniczych:

- trwałość chemiczna
- toksyczność
- agresywność chemiczna w stosunku do materiałów konstrukcyjnych
- palność i wybuchowość
- rozpuszczalność w olejach smarowych
- rozpuszczalność wody w czynniku chłodniczym.

Chłodnictwo

W dużych instalacjach przemysłowych stosuje się najtańszy czynnik chłodniczy, amoniak, o bardzo dobrych właściwościach cieplnych. Amoniak jest trujący, palny i wybuchowy.

Chłodnictwo

- Zjawisko termoelektryczne polega na tym, że w obwodzie składającym się z różnych przewodników lub półprzewodników wytworzenie stałego napięcia wywołuje przepływ prądu, który grzeje jedno złącze i chłodzi drugie złącze.
- Zjawisko występuje wówczas, gdy przewodniki lub półprzewodniki różnią koncentracja nośników prądu.

Chłodnictwo

- Koncentracja nośników prądu jest to ilość nośników prądu przypadająca na jednostkę objętości materiału i może być określona jako gęstość nośników prądu.
- Różnica koncentracji nośników prądu na złączu dwóch przewodników lub półprzewodników wywołuje różnicę potencjałów nazywaną napięciem termoelektrycznym.

Chłodnictwo

- Ilość nośników prądu i ich koncentracja w przewodniku lub półprzewodniku zależy od temperatury.
- Jeśli temperatura obu złączy dwóch przewodników lub półprzewodników jest taka sama, to napięcie termoelektryczne na obu złączach także jest takie samo.

Chłodnictwo

- Jeśli temperatury złączy będą różne to różnica napięć termoelektrycznych między złączami wywoła przepływ prądu.
- Różnica napięć termoelektrycznych między złączami zależy od własności przewodników lub półprzewodników tworzących złącze (różnica koncentracji nośników prądu na złączu) i różnicy temperatur między złączami.

Chłodnictwo

Współczynnik siły termoelektrycznej α przyjmuje wartości dla złącza:

- metal-metal 10^{-5} [V/K]
- półprzewodnik-półprzewodnik 10^{-3} [V/K]

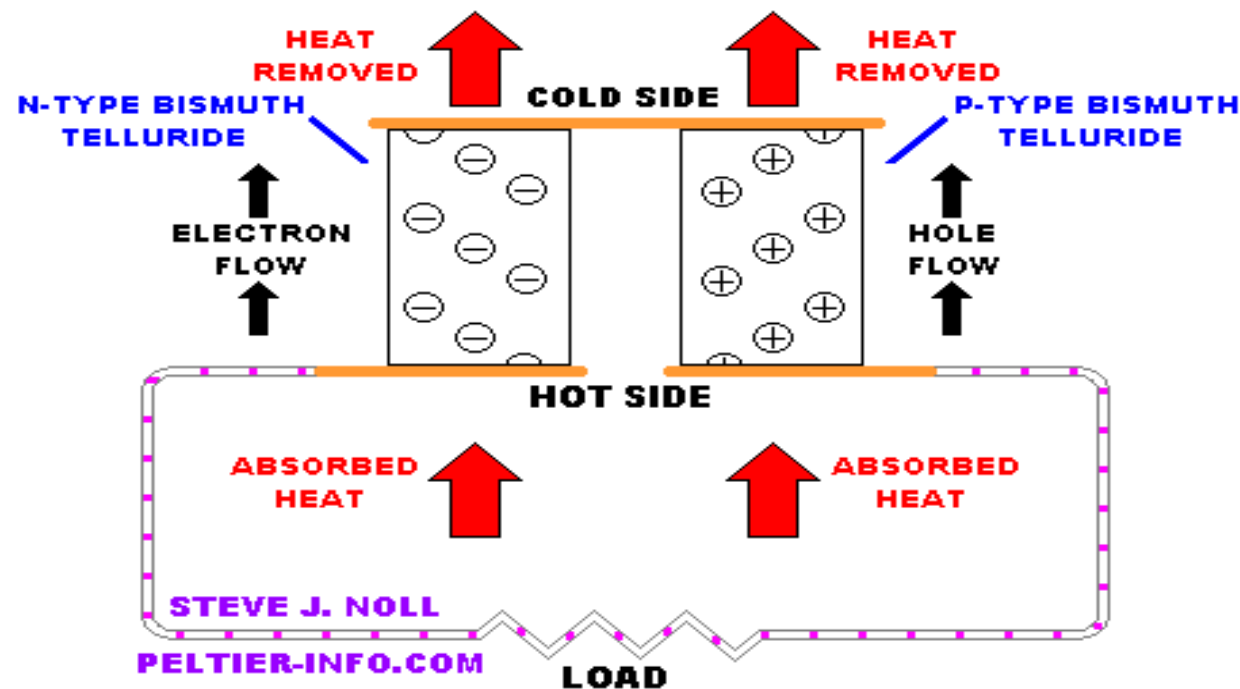
$$U_{1,2} = \alpha \cdot (T_2 - T_1) = \alpha \cdot \Delta T_{1,2}$$

Chłodnictwo

- Zjawisko Peltiera (Seebecka) jest zjawiskiem odwrotnym do zjawiska termoelektrycznego.
- Przepływ prądu w obwodzie złożonym z różnych przewodników lub półprzewodników wywołuje przepływ ciepła z jednego złącza do drugiego złącza.
- W wyniku przepływu prądu temperatura jednego złącza się obniża , a temperatura drugiego złącza się podnosi.

Chłodnictwo

ONE SEEBECK DEVICE "COUPLE" CONSISTS OF ONE N-TYPE AND ONE P-TYPE SEMICONDUCTOR PELLET

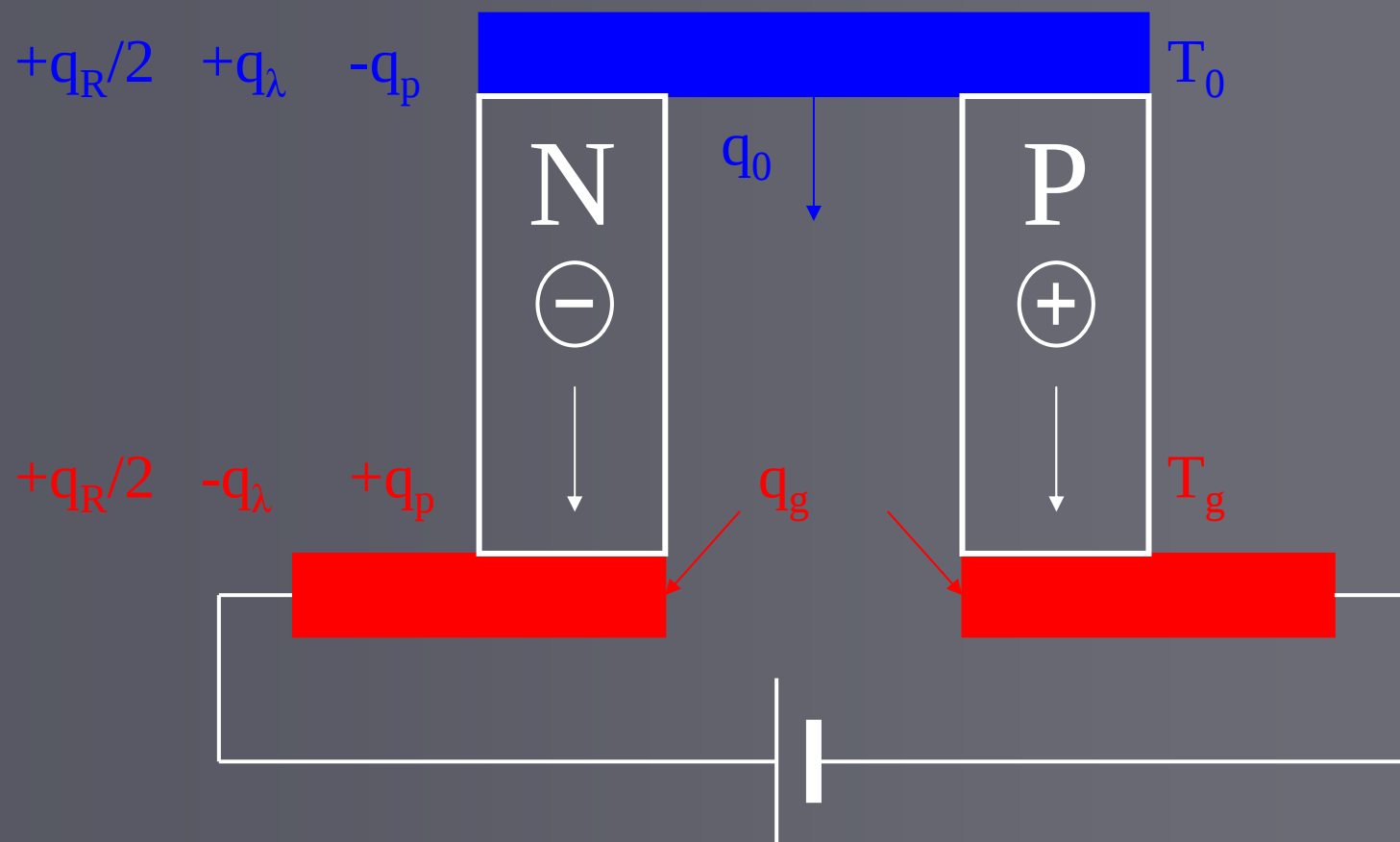


THERE MUST BE A TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN THE HOT AND COLD SIDES FOR POWER TO BE GENERATED

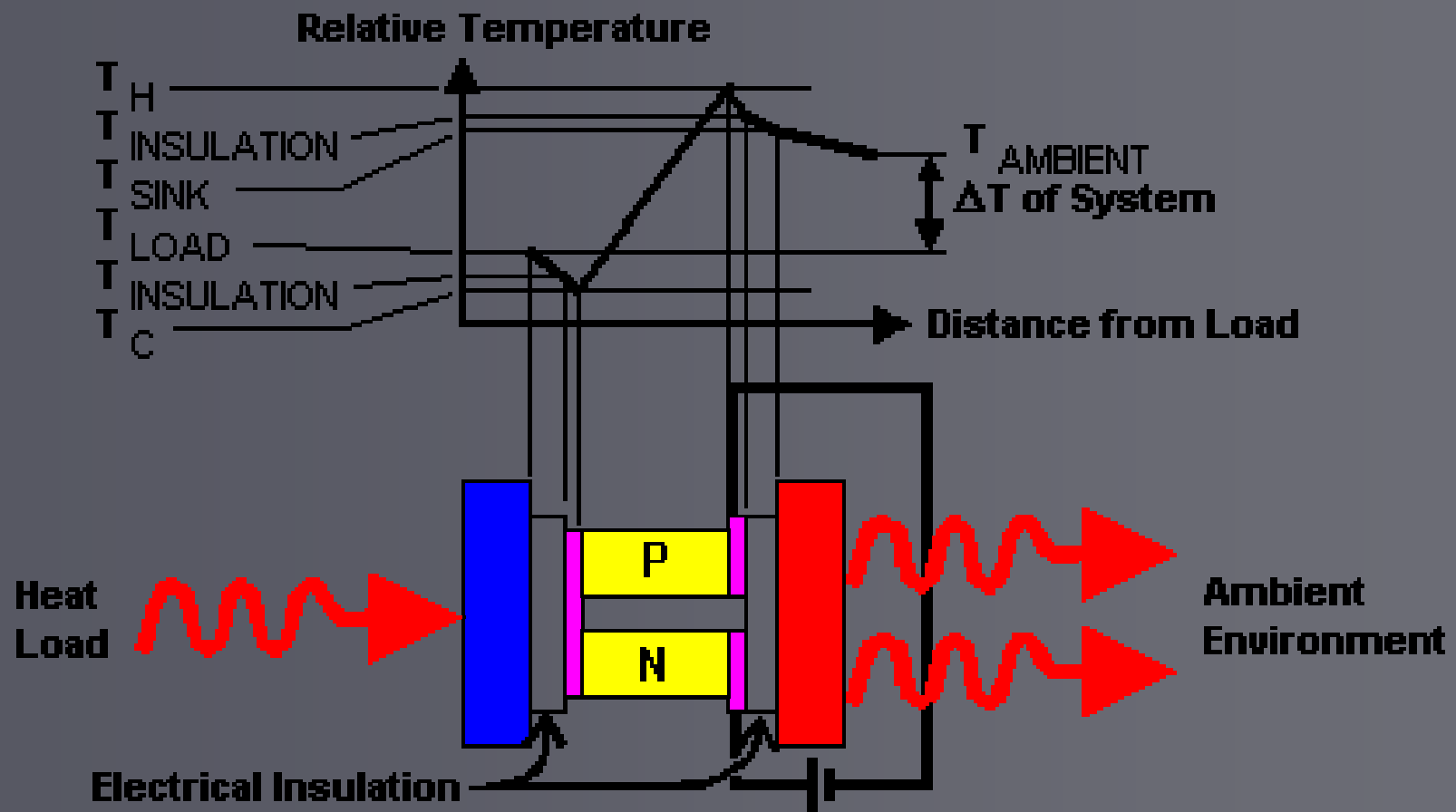
w14

Chłodnictwo

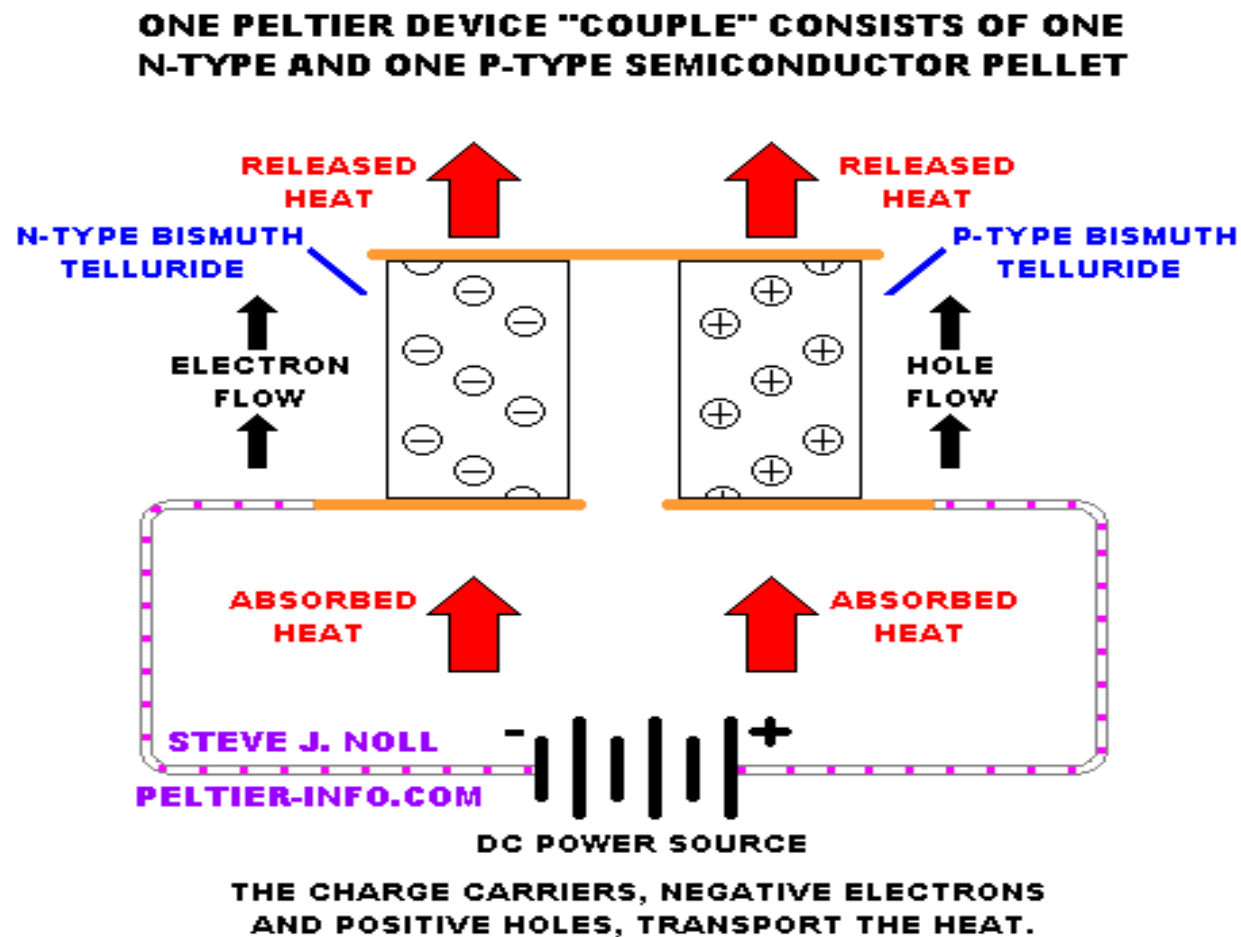
Termodynamika techniczna



Chłodnictwo



Chłodnictwo



Chłodnictwo

Moc cieplna pobierana ze złącza zimnego od współczynnika siły termoelektrycznej złącza, natężenia prądu płynącego przez złącze i temperatury złącza

$$q_p = \alpha \cdot i \cdot T_0$$

Chłodnictwo

Różnica temperatur między złączami wywołuje przewodzenie ciepła ze złącza gorącego do złącza zimnego. Moc cieplna przewodzenia ciepła zależy od różnicy temperatur, powierzchni wymiany ciepła (S), długości przewodzenia ciepła (l) i współczynnika przewodzenia ciepła (λ)

$$q_{\lambda} = \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0)$$

Chłodnictwo

Przepływ prądu przez złącza wydziela ciepło związane z oporem elektrycznym złączy. Przyjmując równe opory elektryczne złącza gorącego i zimnego moc cieplna wydzielona na złączu zimnym wyniesie

$$q_R = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R$$

Chłodnictwo

$$q_0 = q_p - q_\lambda - q_R$$

$$q_0 = \alpha \cdot i \cdot T_0 - \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0) - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R$$

Chłodnictwo

Maksymalna różnica temperatur między złączami wystąpi wówczas, gdy moc cieplna użyteczna będzie równa zero ($q_0 = 0$)

$$\Delta T_{\max} = \frac{\alpha \cdot i \cdot T_0 - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R}{\lambda \cdot \frac{S}{l}}$$

Chłodnictwo

Optymalne natężenie prądu, przy którym można osiągnąć maksymalną różnicę temperatur wynosi

$$i_{opt} = \frac{\alpha}{R} \cdot T_0$$

Chłodnictwo

$$\Delta T_{\max} = \frac{\alpha \cdot \frac{\alpha}{R} \cdot T_0 \cdot T_0 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{R} \cdot T_0 \right)^2 \cdot R}{\lambda \cdot \frac{S}{l}}$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot R} \cdot T_0^2$$

Chłodnictwo

Opór elementu zależy od oporu właściwego i jego wymiarów

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot S}$$

Chłodnictwo

Własności termoelektryczne opisuje współczynnik dobroci termoelektrycznej Z

$$Z = \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot R} = \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot \frac{l}{\sigma \cdot S}}$$

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \left[\frac{\left(\frac{V}{K}\right)^2 \cdot \frac{1}{\Omega \cdot m}}{\frac{W}{K \cdot m}} = \frac{V^2}{K} \cdot \frac{A}{V \cdot m} \cdot \frac{K \cdot m}{V \cdot A} = \frac{1}{K} \right]$$

Chłodnictwo

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l}} \cdot \frac{\sigma \cdot S}{l} \cdot T_0^2$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \cdot T_0^2$$

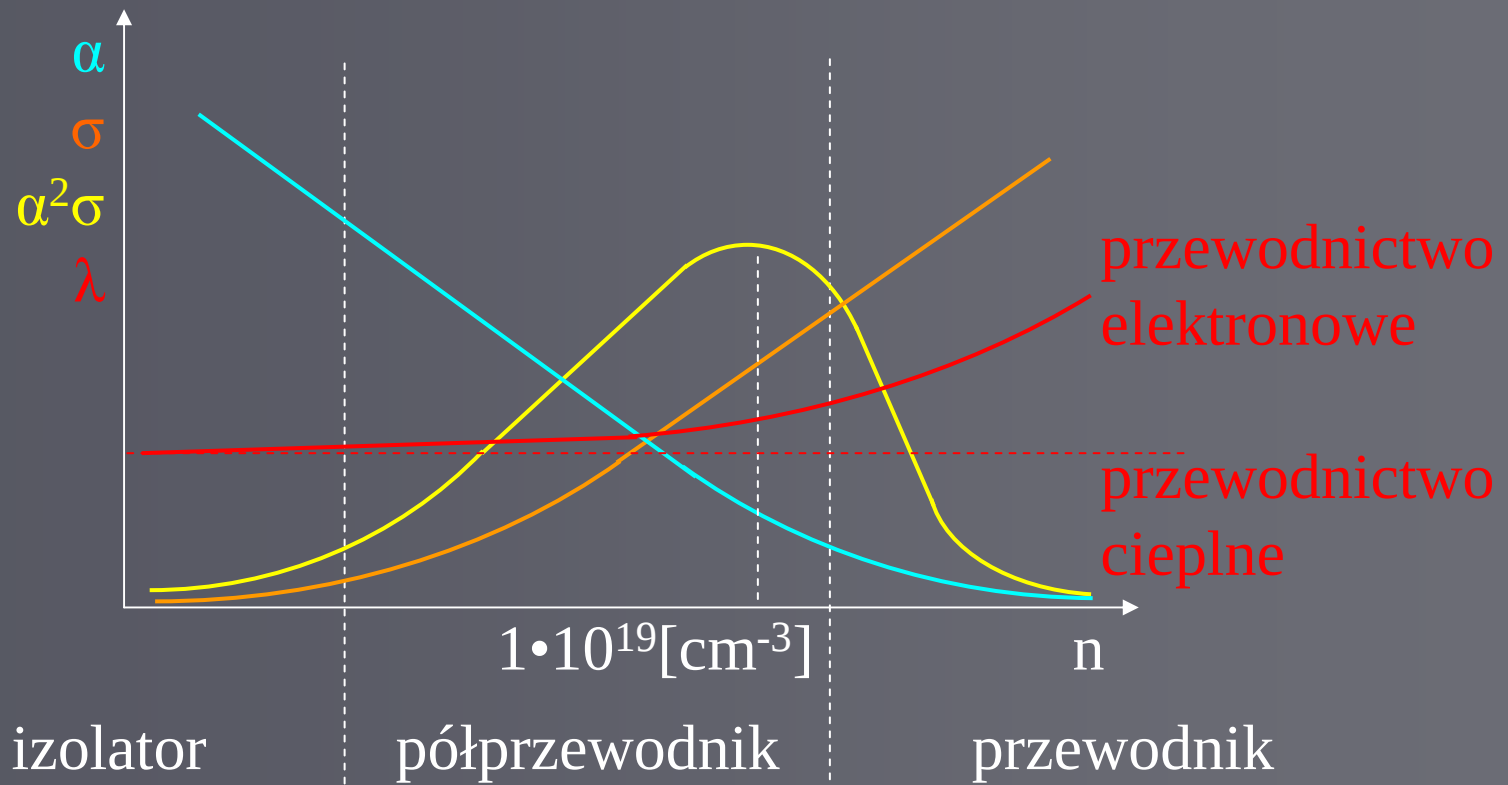
$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot T_0^2$$

Chłodnictwo

- Współczynnik dobroci termoelektrycznej Z nie ma wartości stałej dla danego materiału i zależy od temperatury.
- Najczęściej jest przedstawiany w bezwymiarowej postaci ZT .

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



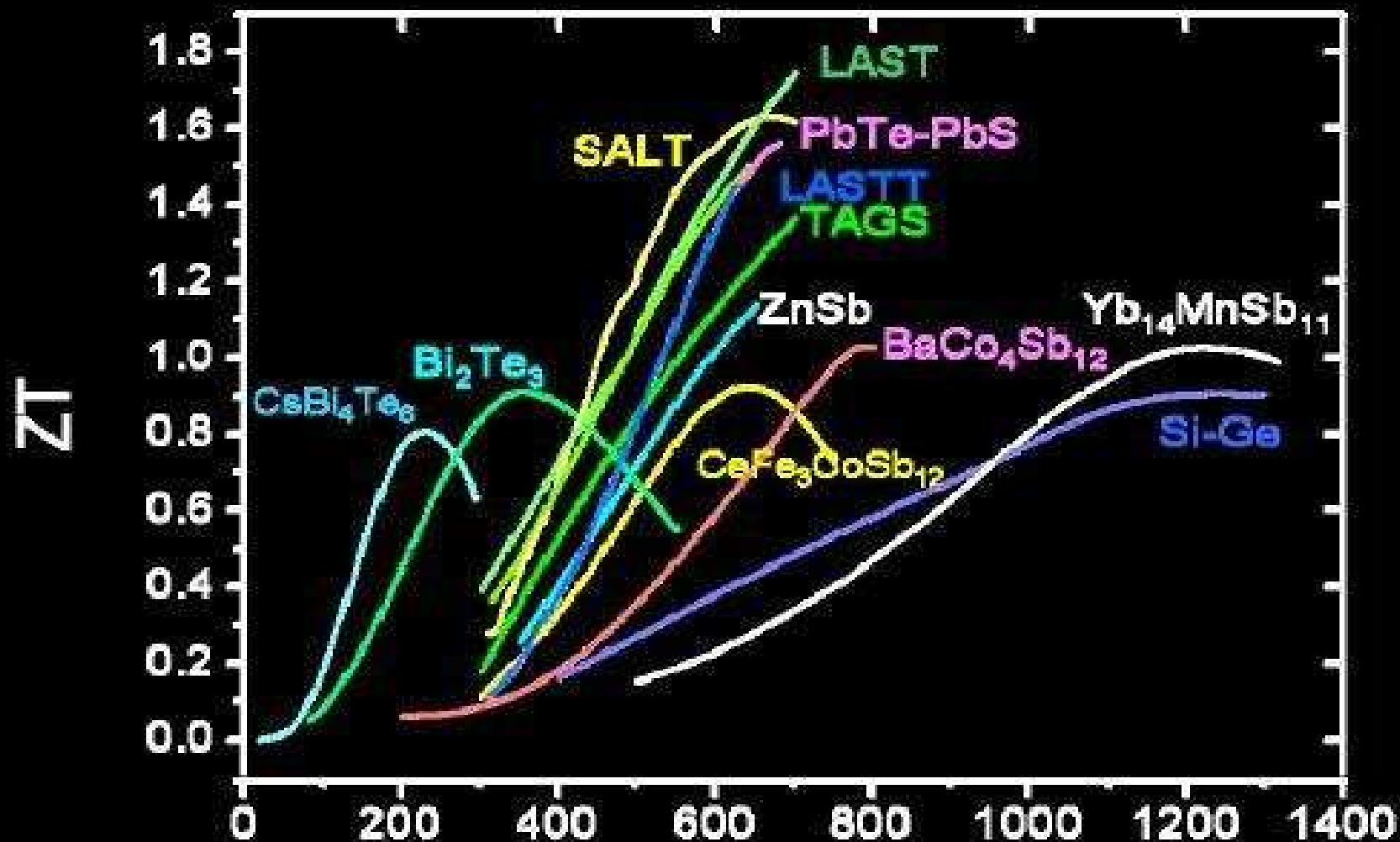
Chłodnictwo

- Najlepsze własności termoelektryczne mają półprzewodniki.
- Dla temperatury rzędu 300 [K] najlepsze własności termoelektryczne ma domieszkowany tellurek bizmutu Bi_2Te_3 .

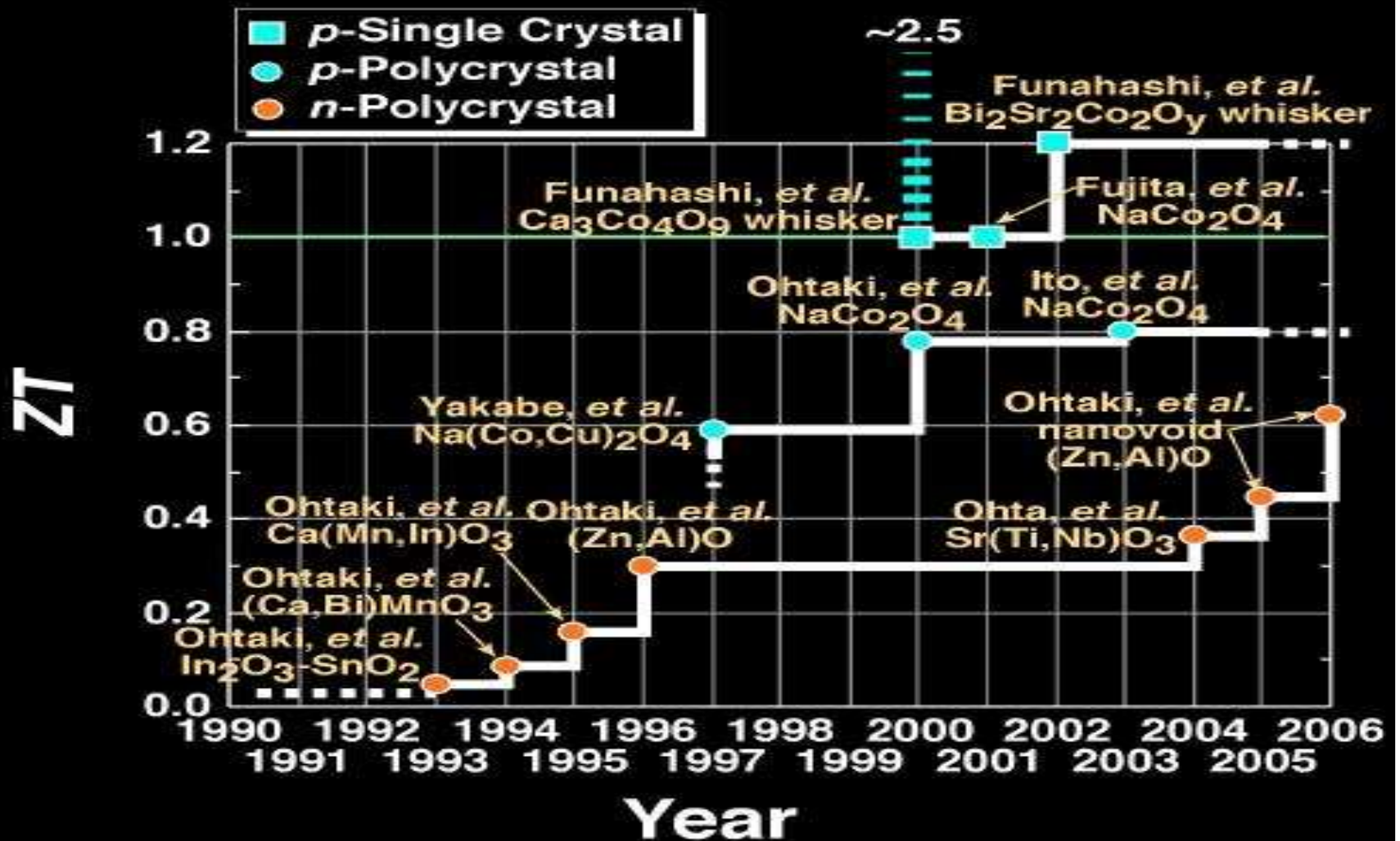
Chłodnictwo

- Wartość bezwymiarowego ZT dla tellurku bizmutu równa jest jedności.
- Tellurek bizmutu jest stosowany w temperaturach -10 [$^{\circ}\text{C}$] do 130 [$^{\circ}\text{C}$] przy różnicy temperatur nie przekraczającej 70 [deg].
- Maksymalna temperatura stosowania tellurku bizmutu wynosi 247 [$^{\circ}\text{C}$].

Chłodnictwo



Chłodnictwo



Chłodnictwo

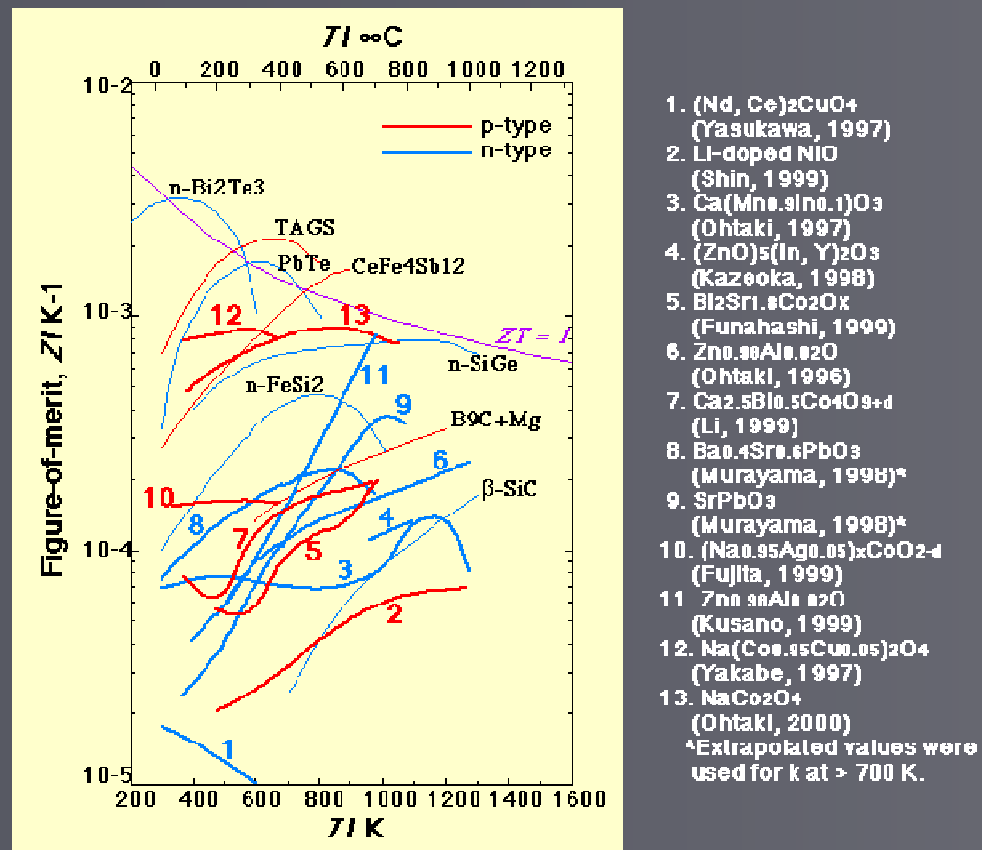


Fig. Recent progress in Figure-of-merit of oxide thermoelectric materials (sintered bodies).

Chłodnictwo

Współczynnik wydajności chłodniczej chłodziarki termoelektrycznej jest stosunkiem mocy cieplnej użytecznej do mocy elektrycznej pobranej

$$\varepsilon = \frac{q_0}{N_e}$$

Chłodnictwo

Pobierana moc elektryczna jest zużywana na zrównoważenie siły termoelektrycznej i opór cieplny

$$N_e = N_t + q_R$$

$$N_e = \alpha \cdot (T_g - T_0) \cdot i + i^2 \cdot R$$

Chłodnictwo

Współczynnik wydajności cieplnej chłodziarki termoelektrycznej wynosi

$$\varepsilon = \frac{\alpha \cdot i \cdot T_0 - \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0) - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R}{\alpha \cdot i \cdot (T_g - T_0) + i^2 \cdot R}$$

Chłodnictwo

Współczynnik wydajności chłodniczej osiąga wartość maksymalną dla natężenia prądu

$$i_{ef} = \frac{\alpha}{R} \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} - 1}$$

$$T_{sr} = \frac{T_g + T_0}{2}$$

Chłodnictwo

Maksymalna wartość współczynnika wydajności cieplnej wynosi

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_0}{T_g - T_0} \cdot \frac{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} - \frac{T_0}{T_g}}{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} + 1}$$

Chłodnictwo

Maksymalna wartość wydajności chłodniczej można przedstawić jako iloczyn wydajności chłodniczej obiegu Carnota ε_c i współczynnika strat nieodwracalnych chłodziarki termoelektrycznej a_{ch}

Chłodnictwo

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_C \cdot \alpha_{ch}$$

$$\varepsilon_C = \frac{T_0}{T_g - T_0}$$

$$\alpha_{ch} = \frac{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} - \frac{T_0}{T_g}}{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} + 1}$$

Chłodnictwo

Odwrócenie kierunku przepływu prądu zmienia chłodziarkę termoelektryczną w termoelektryczną pompę ciepłą. Maksymalna wydajność cieplna $\varphi_{\max}$ jest iloczynem wydajności cieplnej obiegu Carnota φ_C i współczynnika nieodwracalności strat chłodziarki termoelektrycznej a_{ch}

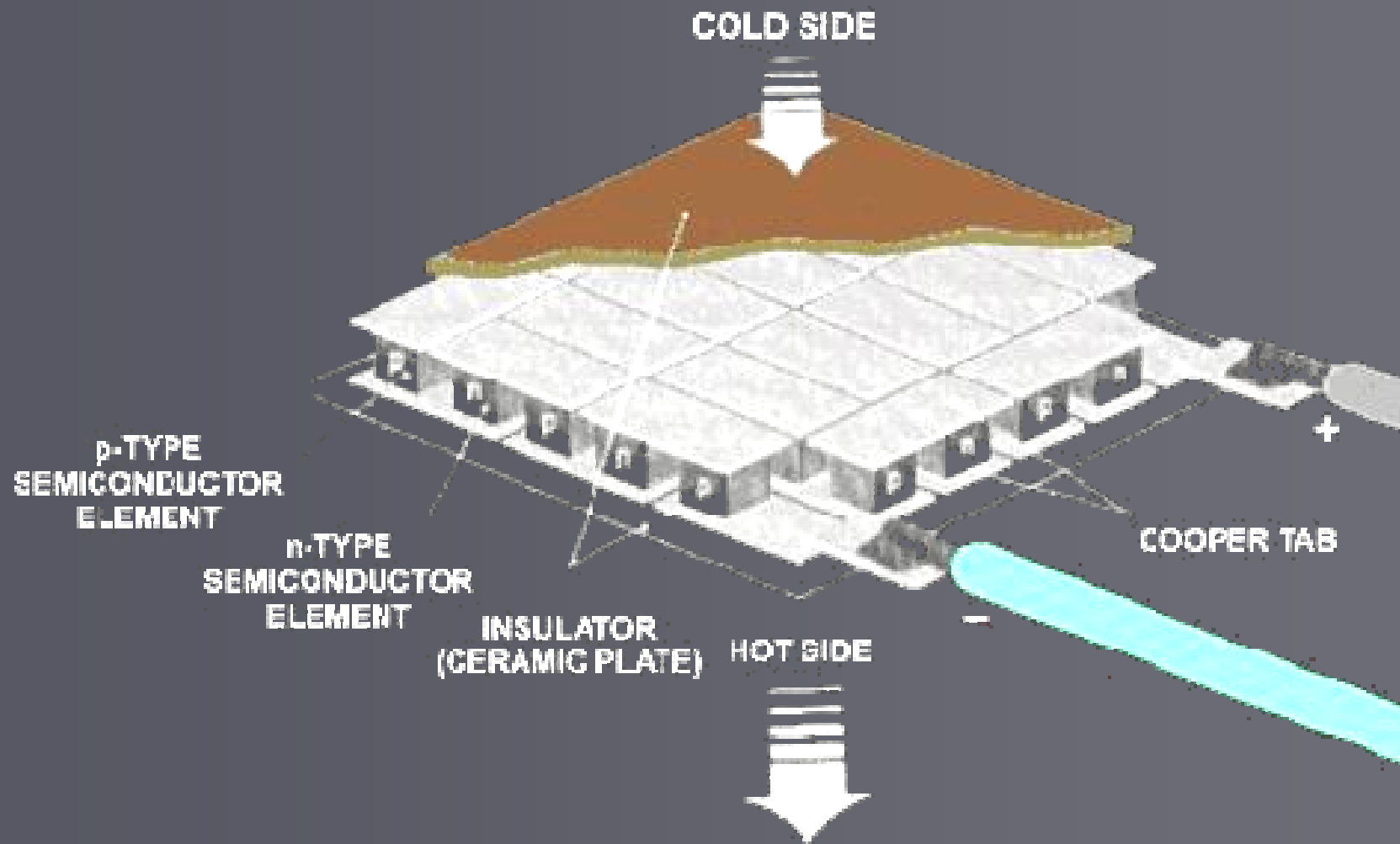
Chłodnictwo

$$\varphi_{\max} = \varphi_C \bullet \alpha_{ch}$$

$$\varphi_C = \frac{T_g}{T_g - T_0}$$

$$\alpha_{ch} = \frac{\sqrt{1 + Z \bullet T_{sr}} - \frac{T_0}{T_g}}{\sqrt{1 + Z \bullet T_{sr}} + 1}$$

Chłodnictwo



Chłodnictwo

- Układy termoelektryczne osiągają wydajności rzędu 30 [%] układów sprężarkowo-parowych.
- Warunkiem dorównania wydajności osiągananej przez układy sprężarkowo-parowe jest zwiększenie współczynnika ZT do wartości $3 \div 4$.

Chłodnictwo

- Dla gazu opisanego równaniem Van der Waalsa istnieje temperatura inwersji T_i , poniżej której

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta p} \right)_{i=\text{const}} < 0$$

Chłodnictwo

$$T_i = \frac{2 \cdot a}{R \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{b}{v}\right)^2 \approx \frac{2 \cdot a}{R \cdot b}$$

Chłodnictwo

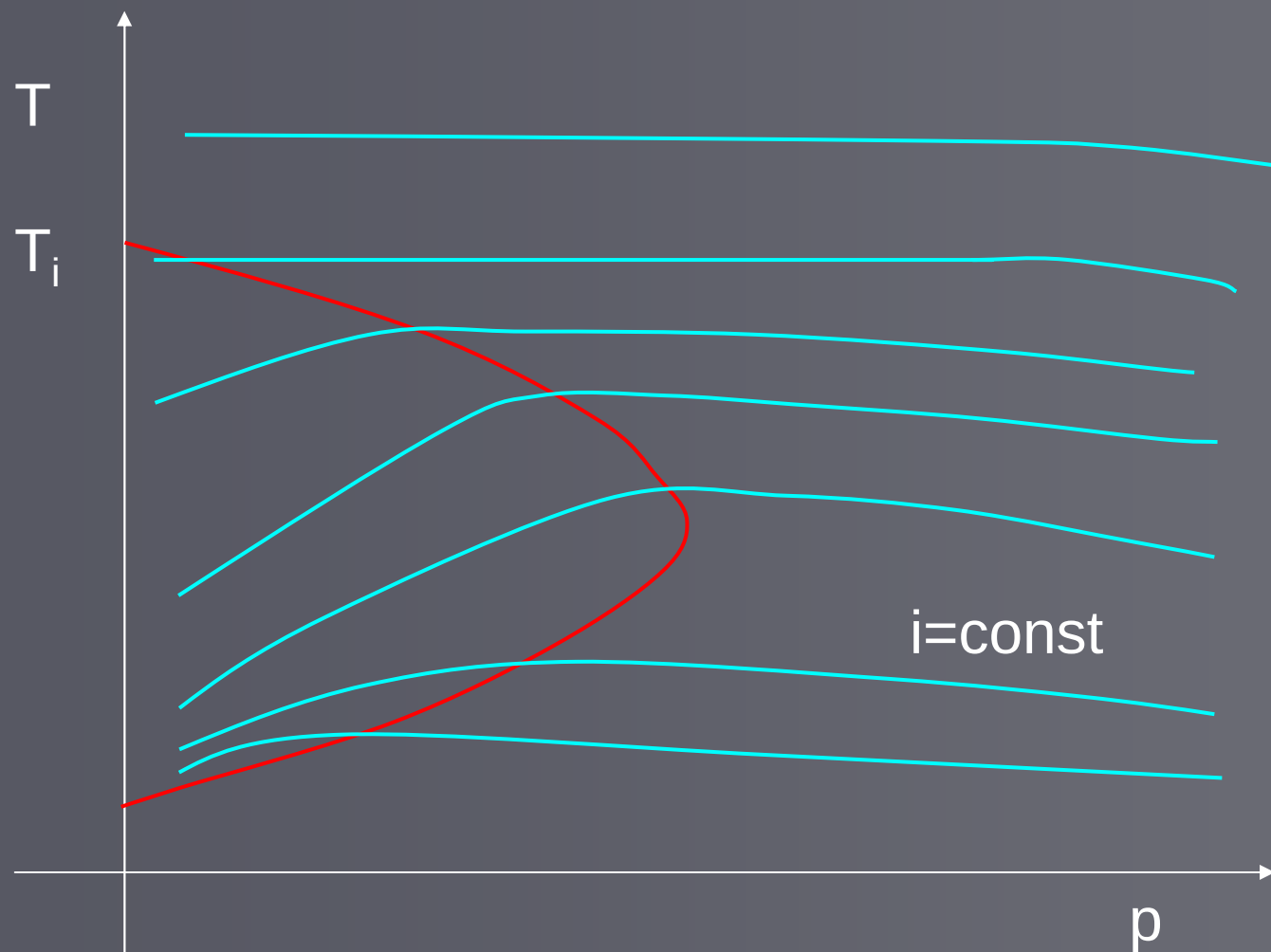
Powyżej temperatury inwersji dławienie nie wywołuje spadku temperatury gazu

Poniżej temperatury inwersji istnieje zakres parametrów (p , T), dla których dławienie obniża temperaturę gazu

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

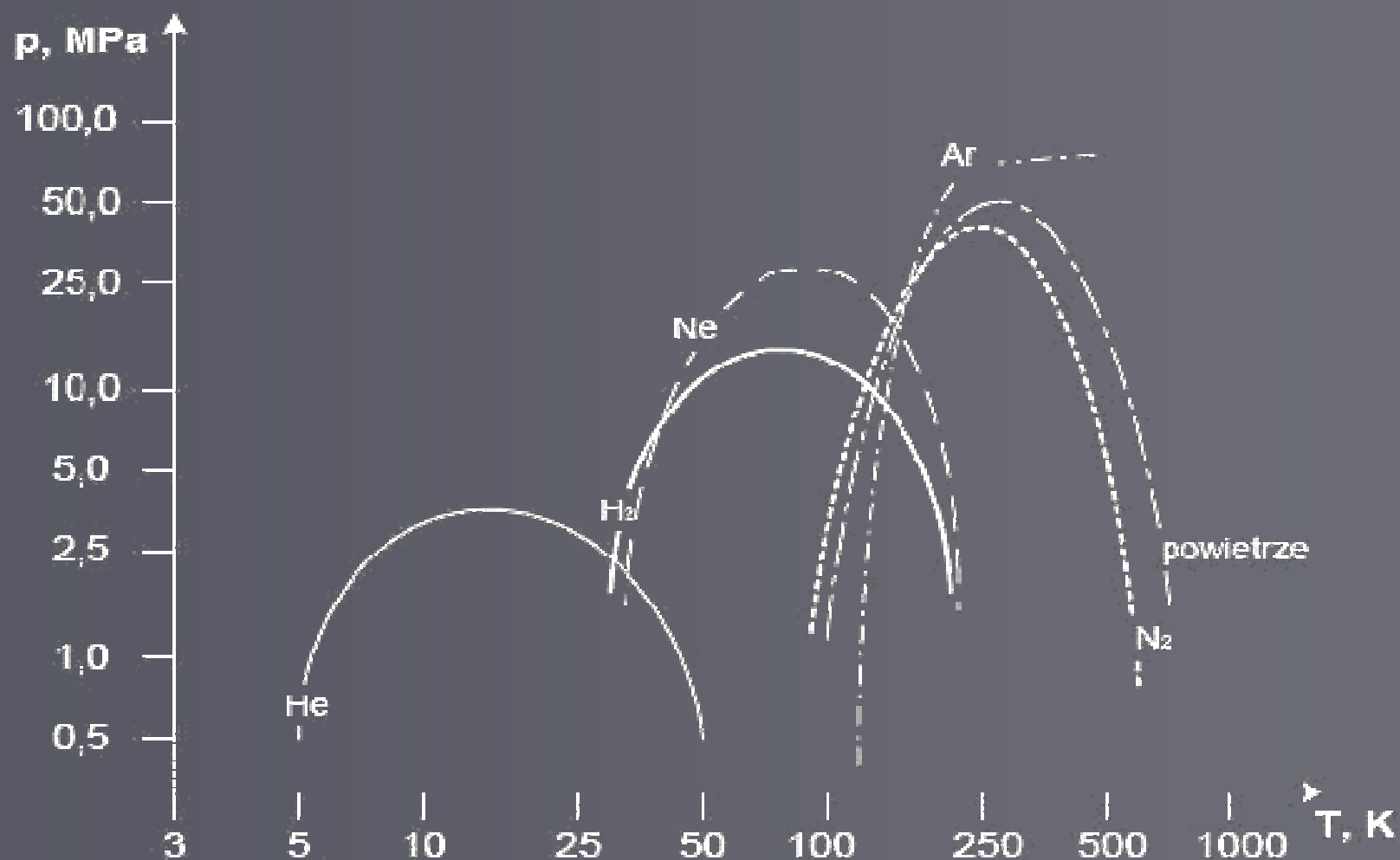
Temperatury inwersji niektórych gazów

■ He	51 [K]
■ H ₂	205 [K]
■ N ₂	621 [K]
■ O ₂	893 [K]

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



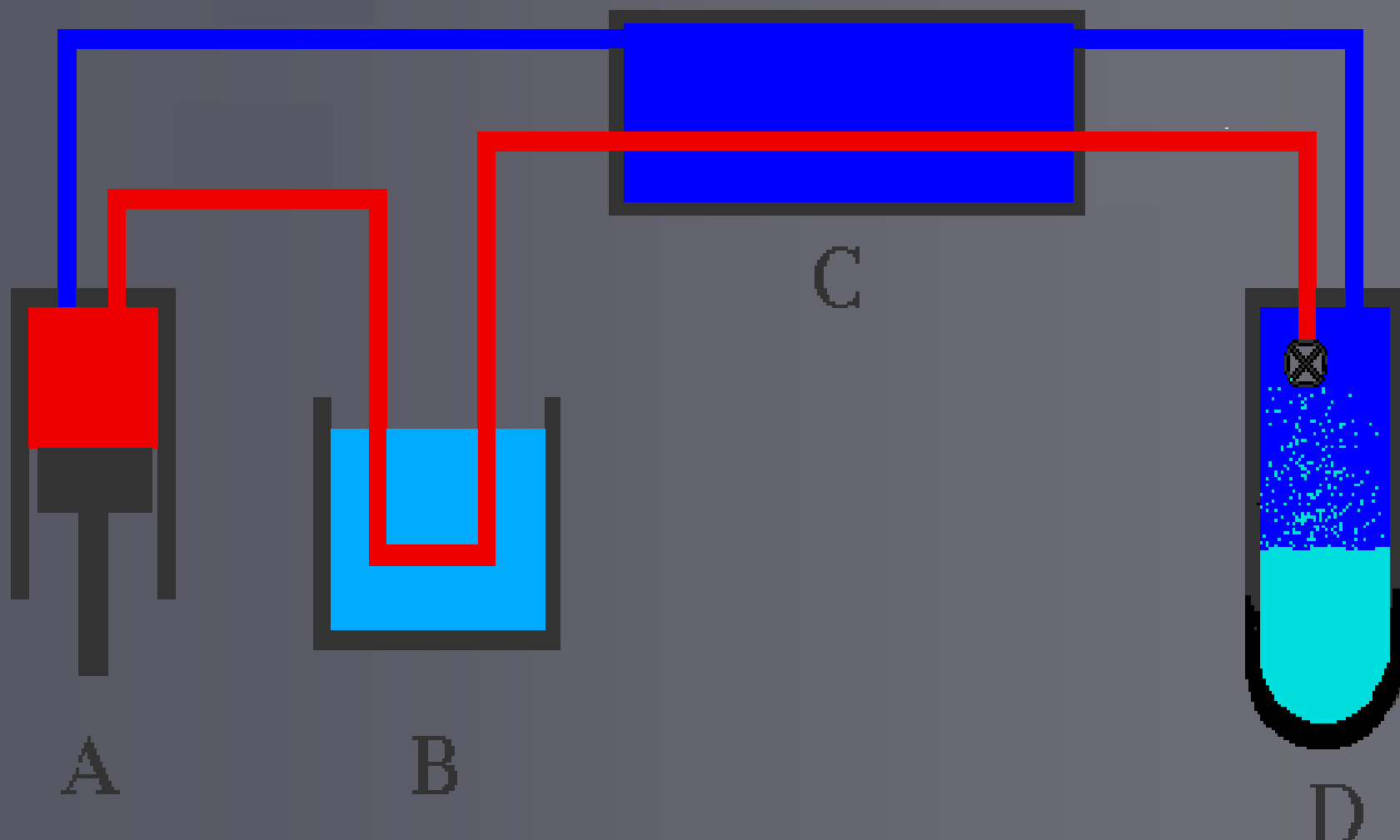
Chłodnictwo

Dławienie tlenu i azotu (a także powietrza) obniża temperaturę gazu w temperaturach nawet wyraźnie wyższych od temperatury pokojowej. Dlatego możliwe jest skraplanie tych gazów przez dławienie. W przypadku wodoru i helu niemożliwe jest ich skroplenie przez dławienie bez wyraźnego obniżenia temperatury

w14

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna



Chłodnictwo

Izoterma krytyczna (punkt krytyczny) określa minimalną temperaturę stanu lotnego, którego nie można przeprowadzić w stan cieczy przez sprężanie, czyli przez zwiększenie ciśnienia.

Chłodnictwo

Warunkiem skroplenia gazu przez sprężenia jest temperatura niższa od temperatury krytycznej

Chłodnictwo

- Para jest to stan lotny o temperaturze niższej od temperatury krytycznej
- Gaz jest to stan lotny o temperaturze wyższej od temperatury krytycznej

Chłodnictwo

Temperatury krytyczne gazów

■ - He	5,3 [K]
■ - H ₂	33,2 [K]
■ - N ₂	126 [K]
■ - O ₂	144 [K]
■ - Ar	150 [K]
■ - CH ₄	191 [K]

Skroplenie gazu wymaga schłodzenia

Chłodnictwo

Temperatury krytyczne gazów

- - CO_2 304 [K]
- - $\text{C}_3\text{H}_8/\text{C}_4\text{H}_{10}$ 370 [K]
- - NH_3 405 [K]
- - H_2O 647 [K]

Gaz można skroplić przez sprężenie

Chłodnictwo

Termodynamika techniczna

	T_i	T_k	T_s
He	51 [K]	5,3 [K]	4,2 [K]
H ₂	205 [K]	33,2 [K]	20 [K]
N ₂	621 [K]	126 [K]	77 [K]
O ₂	893 [K]	144 [K]	90 [K]
Ar	723 [K]	150 [K]	87 [K]
CH ₄	953 [K]	191 [K]	111 [K]

Chłodnictwo

- N_2 , O_2 , Ar, CH_4 – dławienie w temperaturze pokojowej
- H_2 – dławienie w temperaturze ciekłego azotu
- He – dławienie w temperaturze ciekłego wodoru
- CO_2 , C_3H_8/C_4H_{10} , NH_3 - sprężanie