

Wykład 3

Substancje proste i czyste

Przemiany w systemie dwufazowym woda – para wodna

Diagram T-v dla przejścia fazowego woda – para wodna

Diagramy T-v i P-v dla wody

Punkt krytyczny

**Temperatura nasycenia i ciśnienie nasycenia;
przykłady (ciekły N₂ i chłodzenie próżniowe)**

Diagram fazowy P-T dla substancji czystej

Punkt potrójny, sublimacja

**Diagramy fazowe P-v dla substancji czystych w trzech stanach
skupienia**

**Diagramy fazowe P-v-T dla substancji czystych w trzech stanach
skupienia**

Substancje proste i czyste

Substancja w jednym stanie skupienia dla której możemy zaniedbać wkład do energii wewnętrznej efektów magnetycznych, elektrycznych, powierzchniowych itd., to substancja prosta

Substancja jednorodna o ustalonym składzie chemicznym to substancja czysta

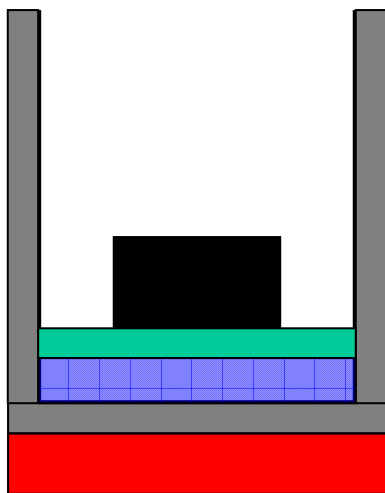
**Substancje czyste mogą istnieć w różnych stanach skupienia (faza/(y) stała/(e), faza ciekła i faza lotna).
Skład chemiczny każdej fazy jest taki sam**

Gazy są substancjami ściśliwymi (ciała stałe i ciecze są nieściśliwe)

Przykłady substancji prostych i czystych:

- 1. woda (ciecz, lód, para wodna): czysta i prosta dla każdej fazy osobno**
- 2. mieszanina ciekłej wody i pary wodnej: czysta**
- 3. azot, N_2 : czysta i prosta (w jednej fazie)**
- 4. tlen, O_2 czysta i prosta (w jednej fazie)**
- 5. mieszaniny różnych gazów, np. powietrze (proste i czyste pod warunkiem, że w układzie nie zachodzi zmiana fazy)**

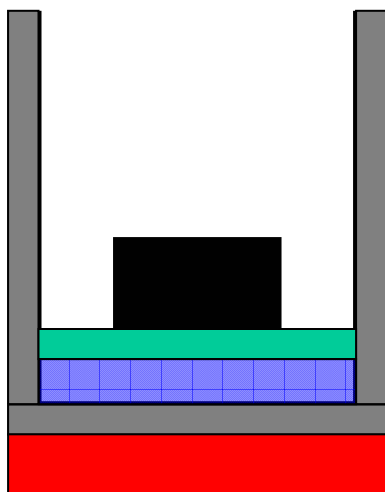
Przemiany w systemie dwufazowym woda – para wodna



ciecz sprężona
grzałka

STAN 1 (0.10132 MPa, 20°C)

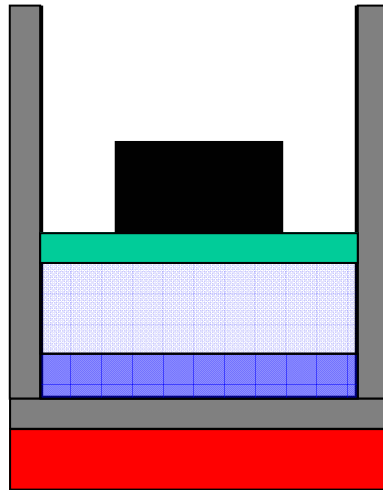
Pod ciśnieniem 1 atm (101.32 kPa) i w temperaturze 20°C woda jest w stanie ciekłym (ciecz przechłodzona lub sprężona). Grzanie powoduje wzrost temperatury cieczy.



ciecz nasycona
grzałka

STAN 2 (0.10132 MPa, 100°C)

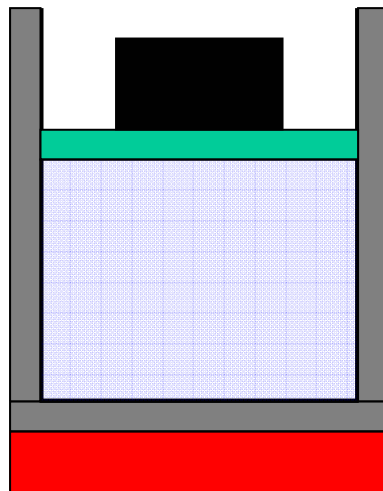
Pod ciśnieniem 1 atm (101.32 kPa) i w temperaturze 100°C woda jest w stanie wrzenia. Dalsze grzanie prowadzi to wytwarzania pary (parowanie). Woda jest cieczą nasyconą.



para nasycona
ciecz nasycona
grzałka

STAN 3 (0.10132 MPa, 100°C)

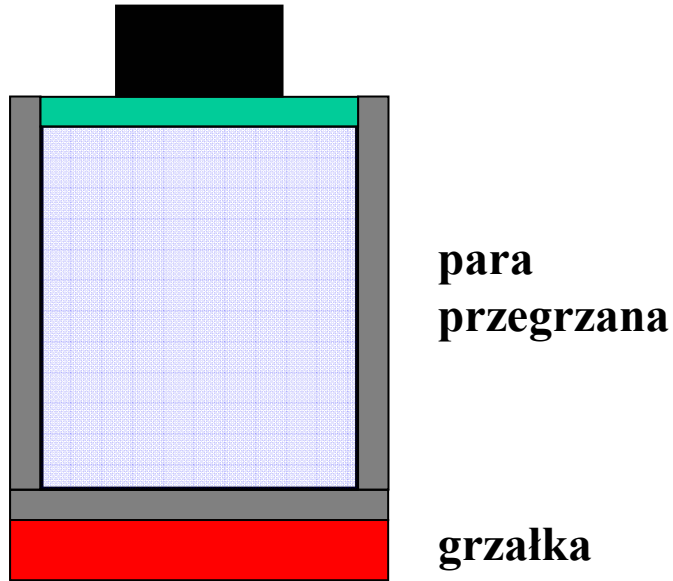
Woda tworzy mieszaninę pary nasyconej i cieczy nasyconej. Dalsze grzanie prowadzi do dalszego wytwarzania pary, jest coraz więcej pary, a mniej cieczy. Mimo grzania temperatura wynosi ciągle 100°C.



para nasycona
grzałka

STAN 4 (0.10132 MPa, 100°C)

Po odparowaniu całej cieczy woda tworzy parę nasyconą suchą (nie ma już cieczy). Ciśnienie 1 atm (101.32 kPa), temperatura 100°C.



STAN 5 (0.10132 MPa, 140°C)

Ciśnienie jest stałe i wynosi 1 atm (101.32 kPa). Grzanie prowadzi do wzrostu temperatury pary powyżej temperatury nasyconia. Otrzymujemy parę przegrzaną.

Diagram T-V dla procesu izobarycznego grzania wody (stałe ciśnienie 1 atm)

Jest możliwe odwrócenie procesu; chłodzenie wody przeprowadzi ją ze stanu 5 do 1 po tej samej drodze.

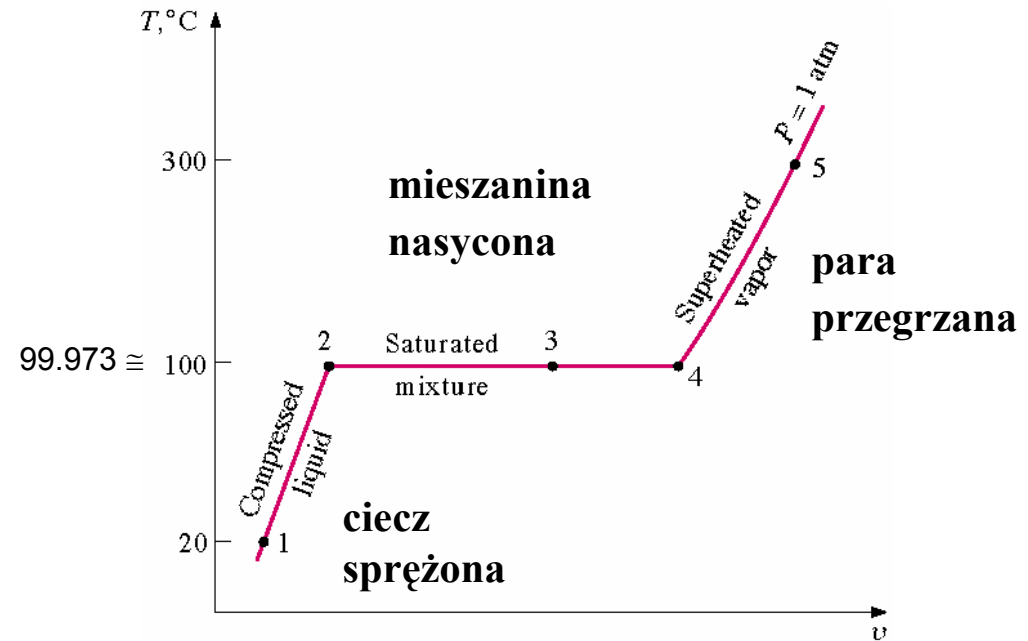
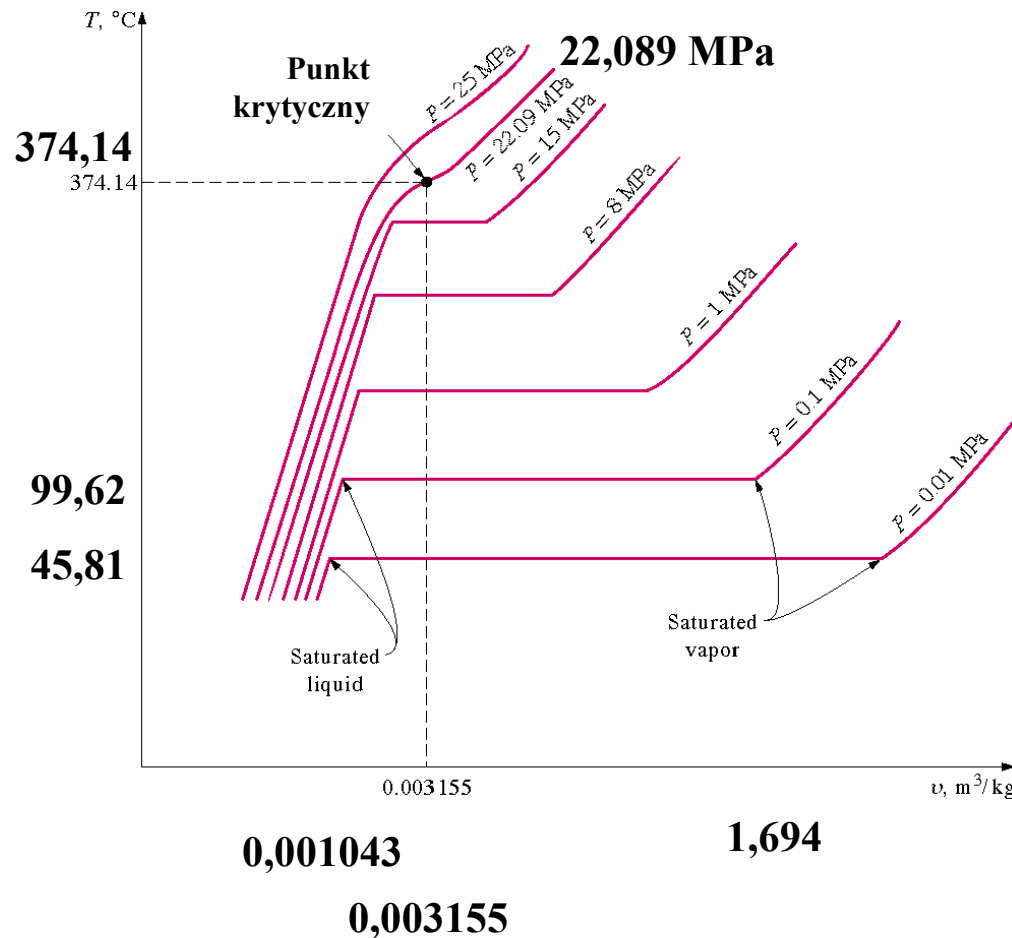


Diagram T-v dla przejścia fazowego woda-para wodna



Przejście fazowe przy stałym ciśnieniu. Wykresy dla różnych ciśnień.

v – objętość właściwa w m³/kg

T – temperatura w °C

Warto zauważyć, że:

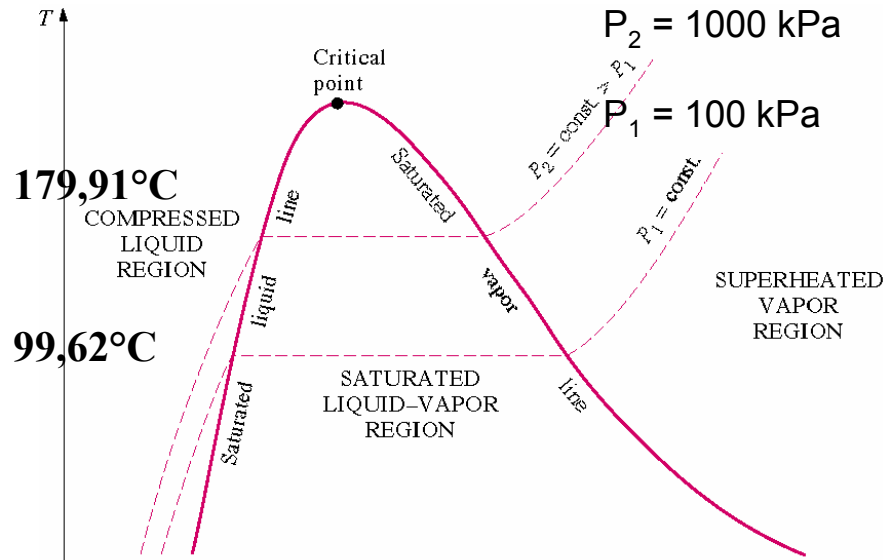
objętość wzrasta z rosnącą temperaturą przy stałym ciśnieniu

objętość maleje z rosnącym ciśnieniem przy stałej temperaturze

©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

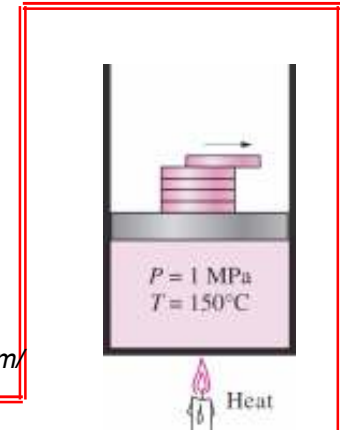
Punkt krytyczny (22,089 MPa, 374,14 °C)

Diagramy T-v i P-v dla wody



linia cieczy nasyconej
linia pary nasyconej
punkt krytyczny

©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

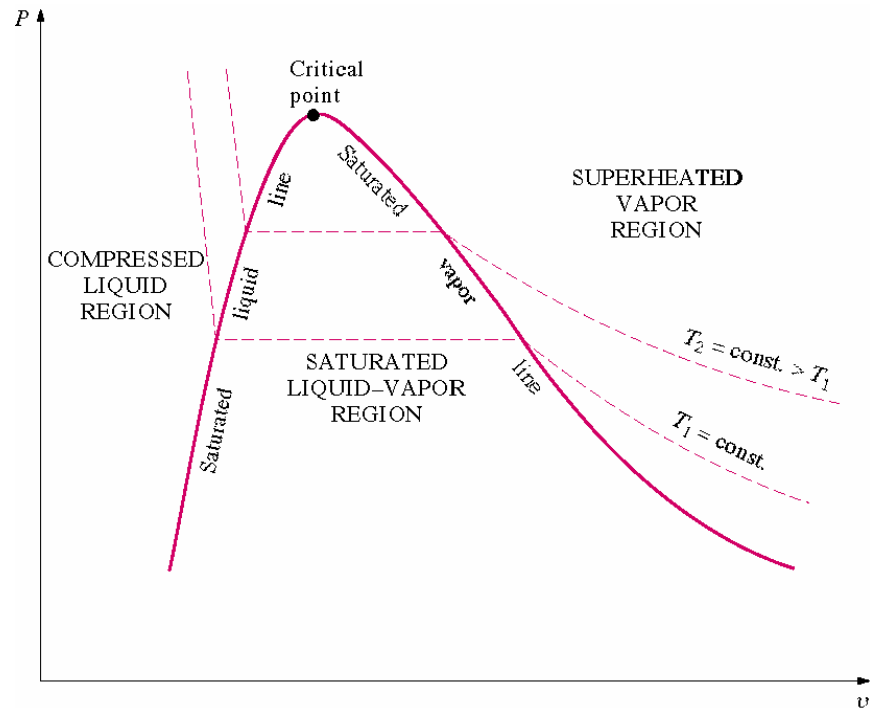


podgrzewamy i zmieniamy ciśnienie tak by przemiana była izobaryczna, lub izotermiczna

©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

obszar cieczy sprężonej
obszar mieszaniny nasyconej
(obszar cieczy i pary nasyconej)
obszar pary przegrzanej

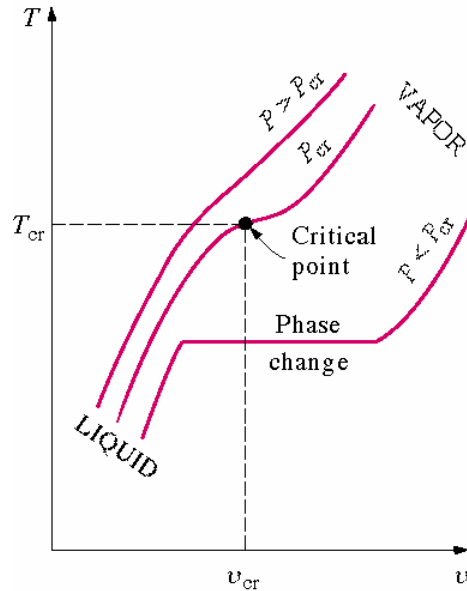
©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>



Punkt krytyczny

Punkt dla którego stany pary i cieczy nasyconej są identyczne.

Dla temperatur i ciśnień powyżej punktu krytycznego nie ma dyskretnego przejścia cieczo-pary (nie ma wrzenia).

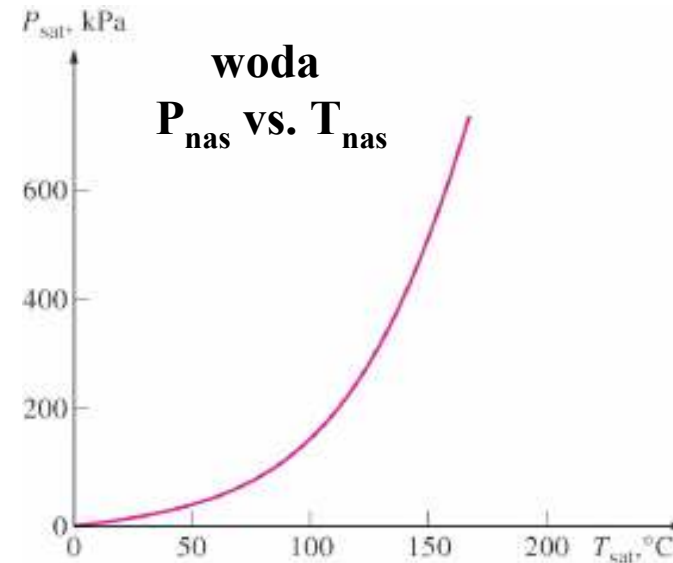


©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

Temperatura nasycenia i ciśnienie nasycenia

Temperatura nasycenia to temperatura przejścia fazowego dla danego ciśnienia

Ciśnienie nasycenia to ciśnienie przejścia fazowego dla danej temperatury



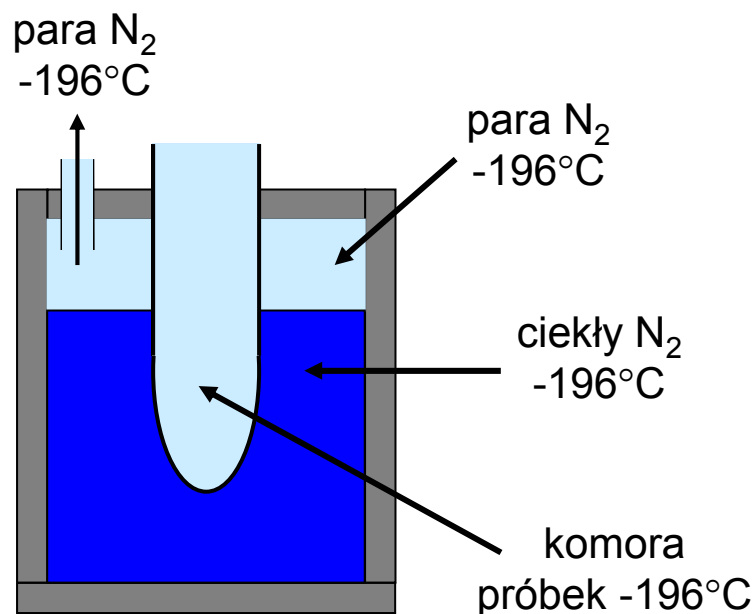
©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

Temperatura wrzenia wody dla różnych ciśnień

T, °C	P (kPa)
-10	0,2602
0	0,6113
10	1,2276
20	2,339
30	4,246
40	7,384
50	12,350
100	101,3
150	475,9
200	1553,8

Zmiana ciśnienia atmosferycznego i temperatury wrzenia wody z wysokością

wys., m	P (kPa)	T_{nas}
0	101,33	100,0
1000	89,55	96,5
2000	79,50	93,3
5000	54,05	83,3
10000	26,50	66,3
20000	5,53	34,7



Kriogeniczne zastosowania ciekłego azotu

Komora próbek zanurzona w ciekłym azocie pod ciśnieniem atmosferycznym. Temperatura wrzenia (nasylenia) azotu pod ciśnieniem atmosferycznym wynosi -196°C (77 K)

Analyst: Site Copernicus Univ.; TEST: Online; License: Academic; Status: Remember to logout. Renew License in 917 days

System State Daemon: *Phase-Change (PC) Model*

thermofluids.net > Daemons > States > System > PC-Model

MM1 = 28.0 kg/kmol [Molar mass]

Mixed SI English

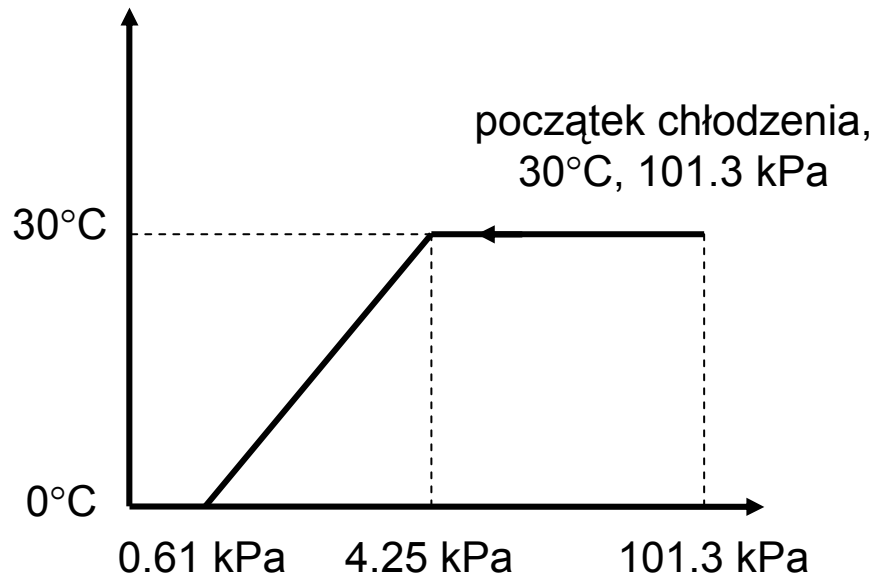
< Case-0 > Help On Super-Iterate Super-Calculate Load Super-Initialize

State Panel I/O Panel

< @State-1 > Calculate No-Plots Initialize Saturated Liquid Nitrogen(N2)

<input checked="" type="checkbox"/> p_1	<input type="checkbox"/> T_1	<input checked="" type="checkbox"/> x_1	<input type="checkbox"/> y_1	<input type="checkbox"/> v_1
101.32 kPa	77.35193 K	0.0 fraction	0.0 fraction	0.00124 m ³ /kg
<input type="checkbox"/> u_1	<input type="checkbox"/> h_1	<input type="checkbox"/> s_1	<input checked="" type="checkbox"/> Vel_1	<input checked="" type="checkbox"/> z_1
-431.42407 kJ/kg	-431.2984 kJ/kg	2.83406 kJ/kg.K	0.0 m/s	0.0 m

Chłodzenie próżniowe



koniec chłodzenia,
0°C, 0.611 kPa

Temperatura nasycenia spada z ciśnieniem.

Duża wartość ciepła parowania wody umożliwia szybkie, wydajne chłodzenie produktów żywnościowych o dużej powierzchni (sałata, inne warzywa, owoce).

Intensywne schładzanie od ok. 3-4 kPa

Graniczne ciśnienie 0.611 kPa, graniczna temperatura 0°C (punkt potrójny)

Analyst: Site Copernicus Univ.; TEST: Online; License: Academic; Status: Remember to logout. Renew License in 917 days

System State Daemon: *Phase-Change (PC) Model*

thermofluids.net > Daemons > States > System > PC-Model



y1 = 0.0 fraction [Volumetric quality]

Mixed SI English

< Case-0 >

Help On

Super-Iterate

Super-Calculate

Load

Super-Initialize

State Panel

I/O Panel

< @State-1 >

Calculate

No-Plots

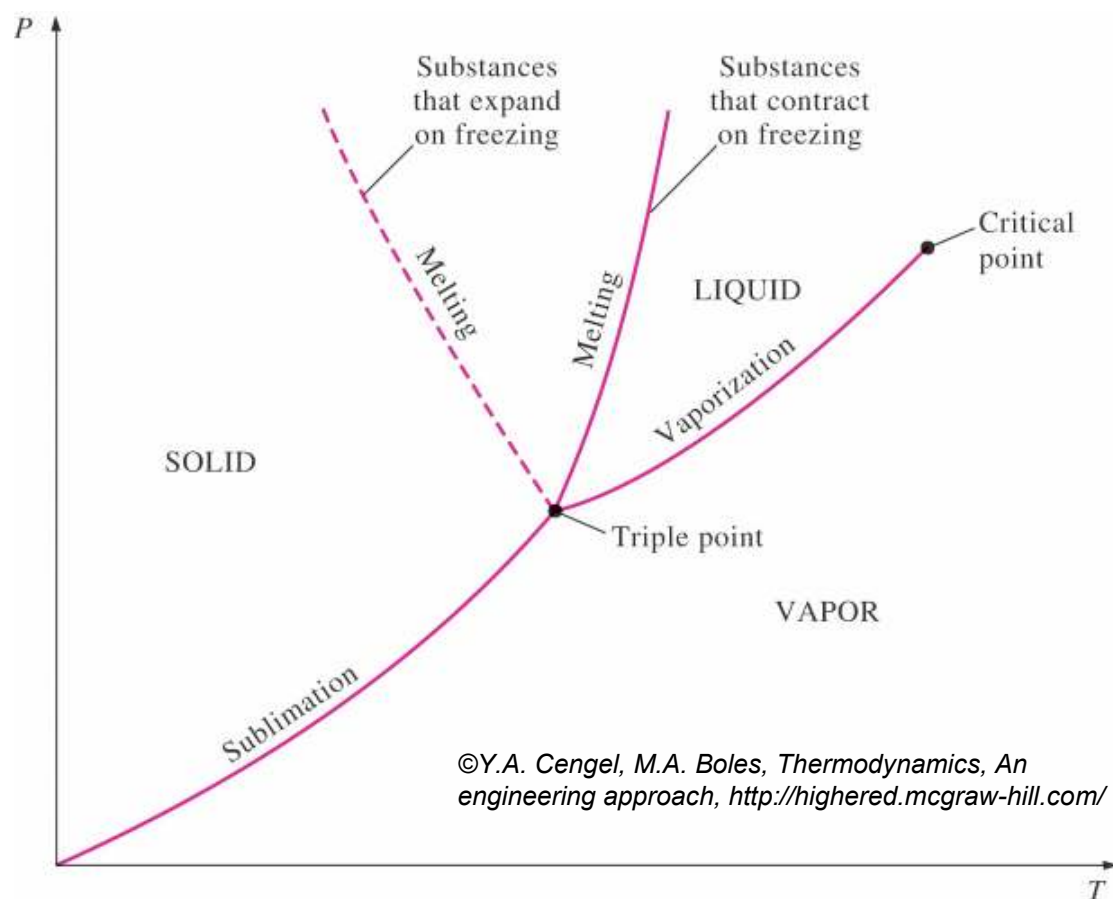
Initialize

Saturated Liquid

H2O

<input type="checkbox"/> p1	<input checked="" type="checkbox"/> T1	<input checked="" type="checkbox"/> x1	<input type="checkbox"/> y1	<input type="checkbox"/> v1
4.246 kPa	30.0 deg-C	0.0 fraction	0.0 fraction	0.0010 m ³ /kg
<input type="checkbox"/> u1	<input type="checkbox"/> h1	<input type="checkbox"/> s1	<input checked="" type="checkbox"/> Vel1	<input checked="" type="checkbox"/> z1
125.78574 kJ/kg	125.79 kJ/kg	0.4369 kJ/kg.K	0.0 m/s	0.0 m

Diagram fazowy P-T dla substancji czystej

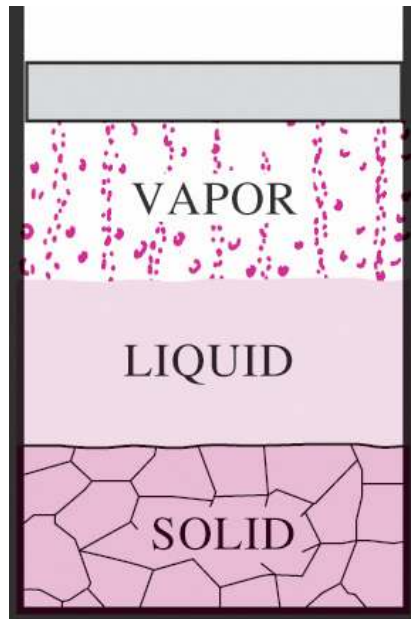


punkt krytyczny
punkt potrójny
faza stała (ciało stałe)
faza ciekła (ciecz)
faza lotna (para, gaz)
linia sublimacji
linia topnienia
linia parowania (wrzenia)
linia topnienia przerywana:
substancje, które zamarzając
rozszerzają się
linia topnienia ciągła:
substancje, które zamarzając
kurczą się

Na każdej z pokazanych linii jednemu punktowi (P,T) odpowiadają dwa stany graniczne i, pomiędzy nimi, nieskończenie wiele różnych stanów termodynamicznych. Potrzebny jest trzeci parametr (może to być objętość właściwa lub, dla układu ciecz-para, np. stopień suchości pary x), żeby je rozróżnić.

Punkt potrójny

W temperaturze i pod ciśnieniem odpowiadającym punktowi potrójnemu, trzy fazy substancji czystej, stała, ciekła i lotna, mogą współistnieć w równowadze termodynamicznej



Dla wody:

$$T_{pp} = 0,01^{\circ}\text{C}$$

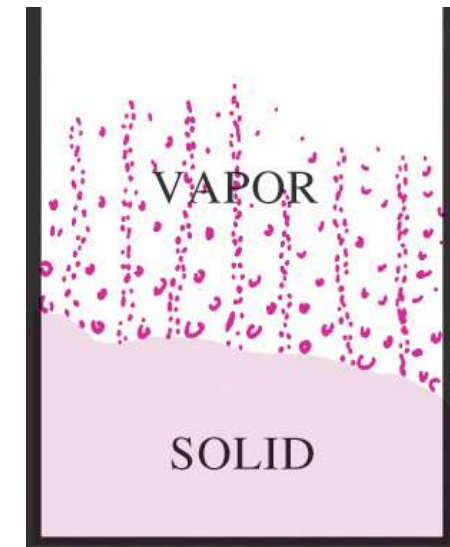
$$P_{pp} = 0,6117 \text{ kPa}$$

©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

Sublimacja

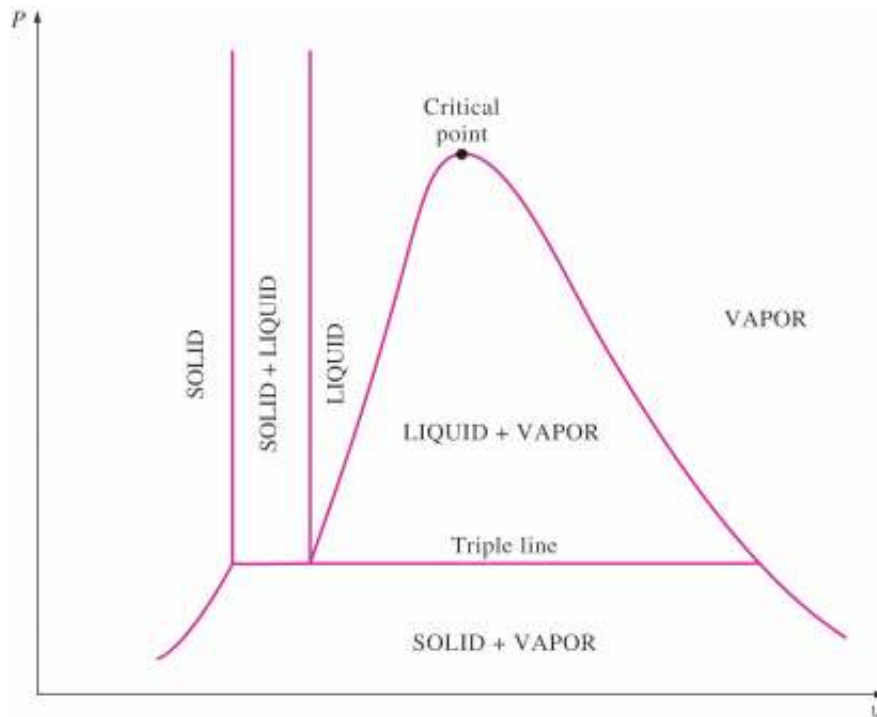
Bezpośrednie przejście z fazy stałej do fazy lotnej

Dla niskich ciśnień (poniżej ciśnienia dla punktu potrójnego) ciała stałe parują nie topniejąc (sublimacja)



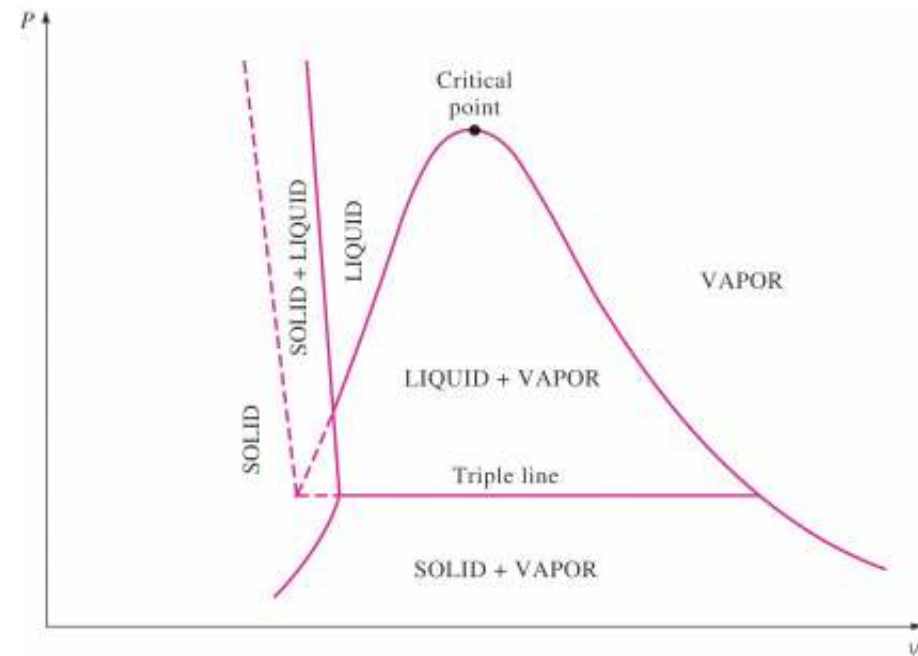
©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

Diagramy fazowe P-v dla substancji czystych w trzech stanach skupienia



©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

**substancja czysta, która
zamarzając, kurczy się**

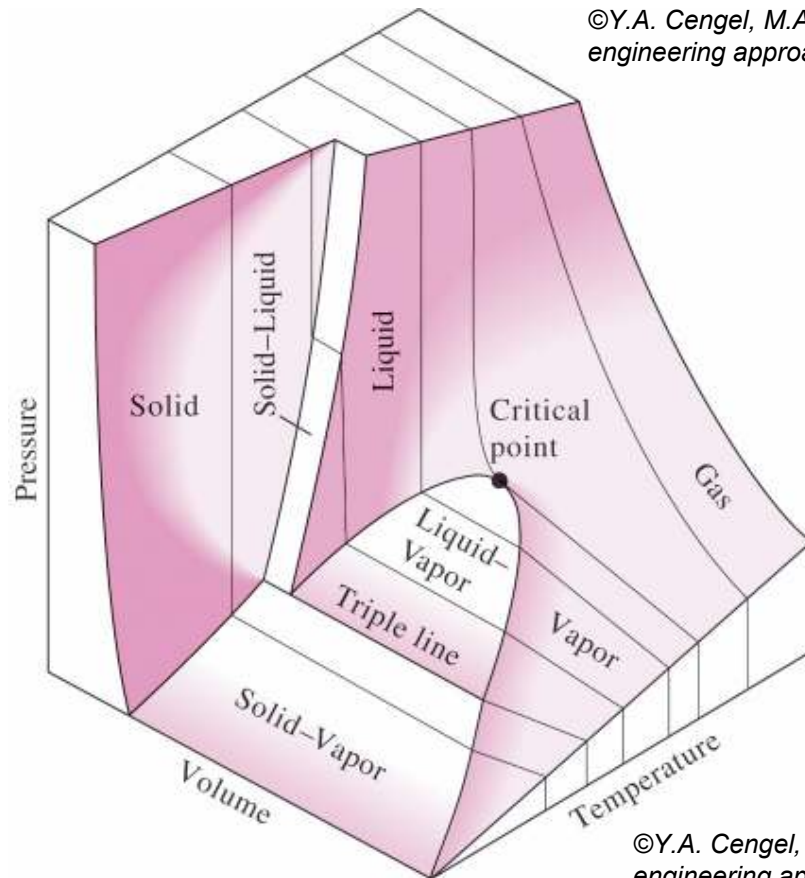


©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

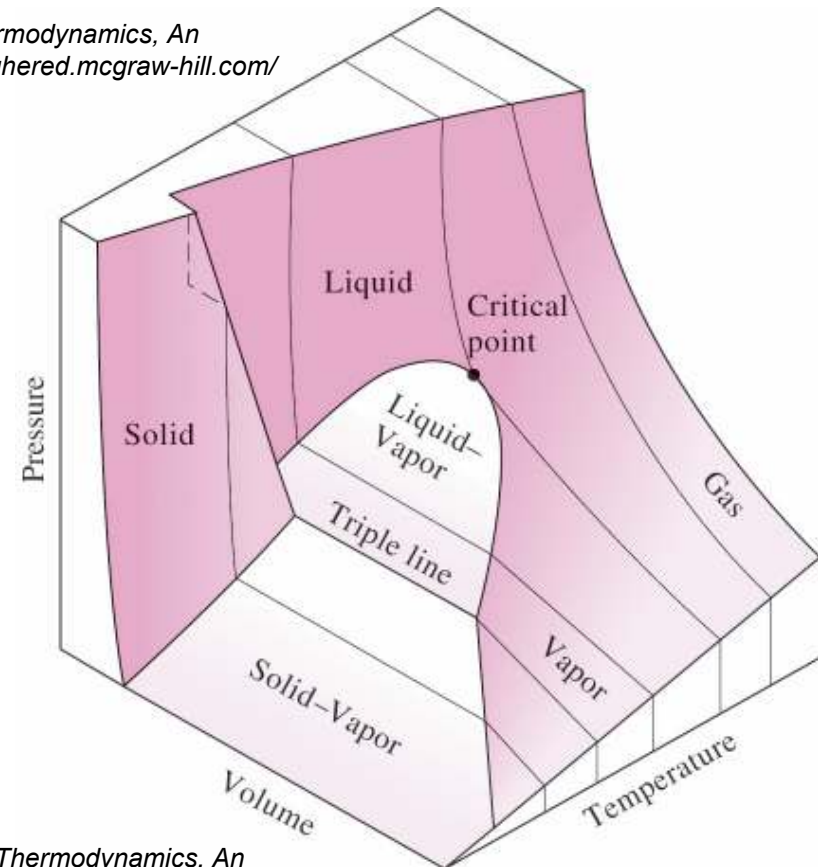
**substancja czysta, która
zamarzając, rozszerza się**

Diagramy fazowe P-v-T dla substancji czystych w trzech stanach skupienia

©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>



**substancja czysta, która
zamarzając, kurczy się**



©Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics, An engineering approach*, <http://highered.mcgraw-hill.com/>

**Substancja czysta, która
zamarzając, rozszerza się**