

Repetition

Termodynamik handlar om **energiomvandlingar**

Termodynamikens *första huvudsats*: (Energiprincipen)

Energi kan inte skapas och inte förstöras

bara omvandlas från en form till en annan!!

Termodynamikens *andra huvudsats* handlar om energikvalitet;
t.ex.

- Det går inte att helt omvandla värmeenergi till t.ex. mekanisk energi
- Värme går från varmt till kallt

21

Begrepp

- System
- Öppet system (control volume)
- Slutet system (control mass)
- Isolerat system
- Intensiva egenskaper
- Extensiva egenskaper
- Tillstånd

22

isoterm = temperaturen konstant

isokor = volymen konstant

isobar = trycket konstant

23

Temperatur

OBS! Skilj på termodynamisk temperatur och upplevd temperatur!

Upplevd temperatur baseras på värmetransporten bort från kroppen, inte temperaturen i sig!

Termodynamikens nollte huvudsats

Två system som är i termodynamisk jämvikt med varandra har **samma temperatur**.

(egentligen: "om två system är i termisk jämvikt med varandra och ett av dem är i termisk jämvikt med ett tredje system så är också det andra systemet i jämvikt med det tredje")

24

Enheter

Absolut temperatur (temodynamiska temperaturskalan):
kelvin (1K=1/273,16 av temperaturen för vattnets trippelpunkt)

Trippelpunkt: Den temperatur vid vilken gas, vätska och fast fas står i jämvikt med varandra

1°C -celsius samma avstånd mellan temperaturer som i K, men med annan nollpunkt, $T = t + 273,15$.

(T =temperaturen i kelvin, t =temperaturen i°C)

25

Tryck (Çengel 1-9)

Kraft på en yta orsakad av

- Partiklarnas (Atomernas/molekylernas) ständiga kollisioner med väggarna
- Attraktiva(sammanhållande) krafter mellan partiklar och partiklar/vägg

$$p = \frac{F}{A}$$

Dimension: Kraft/area

I vätska $p = \rho gh$, samma i alla riktningar ("isotrop")

26

Tryckenheter

(1 torr = 1mm kvicksilverpelare, kan räknas ut m.h.a. $p = \rho gh$
där ρ =densitet, g = tyngdaccelerationen, h =vätskepelarens höjd
(med vatten: 1 atm \equiv c:a 10 m))

Omvandlingsfaktorer: (Står i Tabeller och formler (Ölme m.fl.)
s.167)

	Pa= N/m ²	bar	atm	torr
Pa	1	10^{-5}	$9,869 \cdot 10^{-6}$	$7,501 \cdot 10^{-3}$
bar	10^5	1	0,9869	750,06
atm	$1,01325 \cdot 10^5$	1,01325	1	760
torr	133,322	$1,33322 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$	1

27

Mäter tryck m.h.a.

Manometer Mäter tryckskillnader, oftast jämfört med atmosfären
 \Rightarrow Uppmätt tryck; (*gauge pressure* (övertryck) eller *vacuum pressure* (undertryck)).

Barometer Mäter lufttrycket jämfört med vakuum.

28

Kinetisk energi i materia (förmimbar energi) (nästan repetition)

Partiklarna i all materia är i (oordnad) rörelse (värmerörelse) med stor energi (t.ex. 150 J för 1 l luft vid rumstemperatur)

(Kinetisk energi E_k för denna rörelse är proportionell mot temperaturen i Kelvin.)

29

Bindningsenergi (nästan repetition)

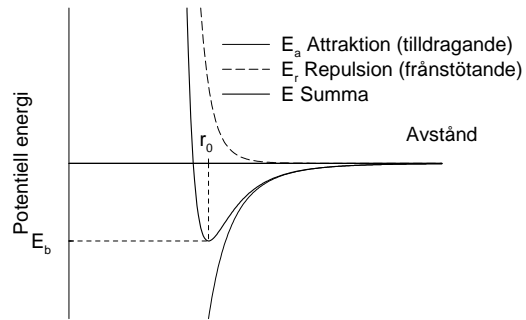
Elektromagnetisk växelverkan håller ihop partiklar (atomer, molekyler) i s.k. kondenserade faser (vätskor, fasta kroppar)

Attraktiv (tilldragande) kraft p.g.a. elektromagnetisk växelverkan E_a .

Kvantmekanisk repulsiv (frånstötande) växelverkan E_r .

30

Växelverkan mellan två atomer i (t.ex.) vätska



r_0 jämviktsavstånd.

$E = E_a + E_r$ har ett minimum som ger **bindningsenergin**

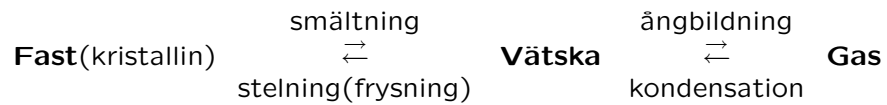
$$E_b = -E(r_0),$$

den energi som måste tillföras för att partiklarna skall skiljas åt.

Om partiklarna har kinetisk energi: Avståndet varierar i 'gropen' (asymmetriskt kring minimet)

31

Aggregationstillstånd och fasövergångar



————— Kondenserade faser —————

Omvandlingsvärmen (Måste tillföras "åt höger", avges "åt vänster"):

$h_{if} = \ell_f =$ (Specifik) smältentalpi (smältvärme)

$h_{fg} = \ell_v =$ (Specifik) ångbildningsentalpi (Ångbildningsvärme)

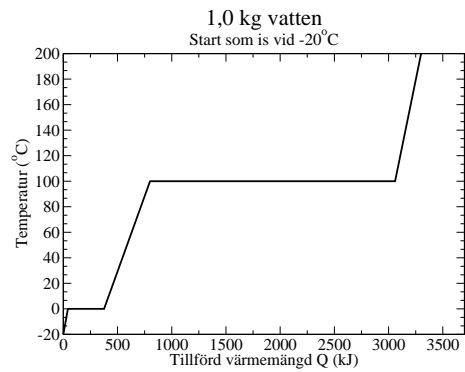
(Specifik = per 1 kg ämne)

(eftersom trycket är konstant - öppet system - blir värmets "entalpi" och inte "energi").

Bindningskrafterna avgör vilket tillstånd ett ämne befinner sig i vid en given temperatur

32

Vid uppvärmning av ett prov fäs (Y& F ch 17.6)



1. Uppvärmning av fast ämne
2. Smältning
3. Uppvärmning av vätska
4. Kokning
5. Uppvärmning av ånga

Hur skiljer man på faserna (för ämne instängt i behållare)?

Fast fas - jämviktstillståndet kristallint (periodiskt mönster av atomerna) - har en given form (*Mikroskopiskt*: långväga ordning)

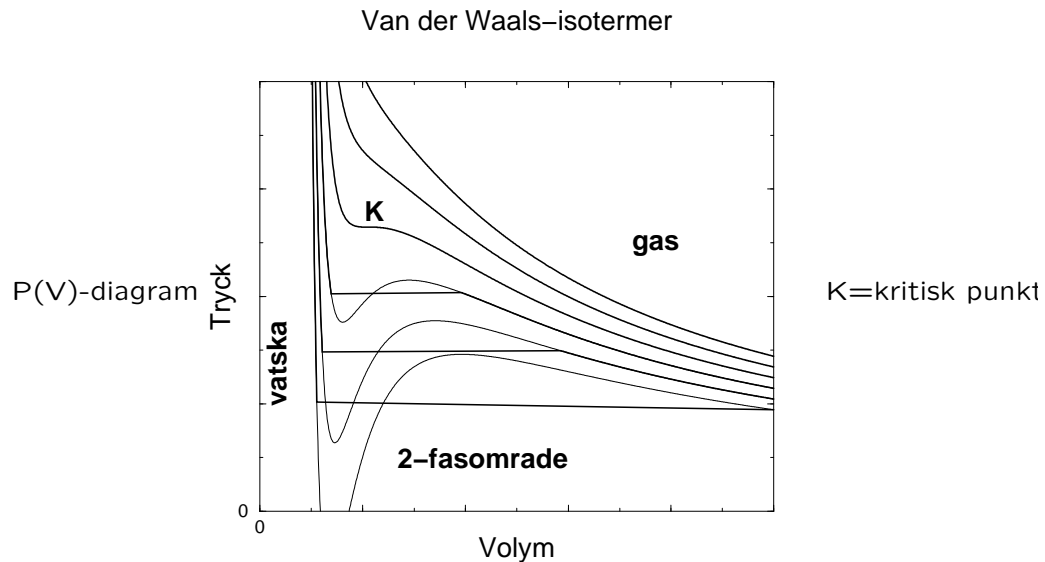
Vätska - fyller ut behållaren det är i upp till en horisontell yta om tyngdkraft finns (utan tyngdkraft: sfärisk droppe p.g.a. ytspänning) (*Mikroskopiskt*: Ordning ett par grannar bort)

Gas - fyller alltid ut behållaren (*Mikroskopiskt*: Oordning)

Vätska och gas

- Förångning (*Evaporation*) = molekyler tränger upp och bildar ånga
- Sublimering (*sublimation*) = fast ämne omvandlas direkt till ånga
- Mättnadstrycket (*Saturation pressure*) = det tryck som uppstår när det är jämvikt mellan vätska och ånga, d.v.s. lika många molekyler passerar över åt vardera hållet
- Överhettad ånga (*Superheated (steam)*) = omättad (som inte är nära att kondensera)
- Kokpunkten (*boiling point*) = den temperatur där mättnadstrycket = yttre trycket
- Relativ fuktighet (*relative humidity*) = $\frac{\text{verkliga ångtrycket}}{\text{mättnadstrycket}}$ vid rådande temperatur

35



36

Kritiska punkten

Vid "toppen" av tvåfasområdet i $p(V)$ -diagrammet: **kritiska punkten** - högsta temperatur där vätska och gas är särskiljbara

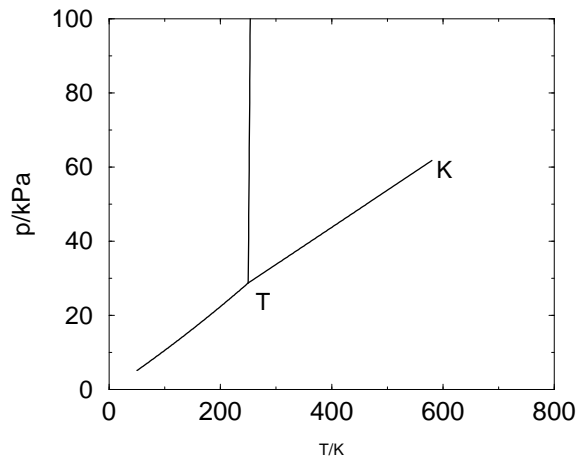
- Mättad ånga och vätska har samma densitet
- Ytspänning = 0
- Isotermen för den kritiska temperaturen, T_K har en inflexionspunkt vid kritiska temperaturen med

$$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial^2 p}{\partial V^2}\right)_T = 0$$

- Kritiska trycket p_K , kritiska molvolymen v_K kan fås ur tillståndsekvationen - används ofta som ett mått på dess tillförlitlighet
- "Långväga" fluktuationer i densitet osv. (mikroskopiskt sett)

37

Fasdiagram $P(T)$ (Çengel 2-4, Young & Friedman 18.6)
 $p(T)$ för tänkt ämne



K=kritisk punkt
T=trippelpunkt

38

Fasdiagram $P(T)$

Jämviktstryck mellan två faser vid olika temperaturer ($P(T)$) ritas in i $P(T)$ -diagram -avgränsar olika faser.

Vätskeyta uppträder bara *längs ångbildningskurvan*. (gränslinjen vätska-gas).

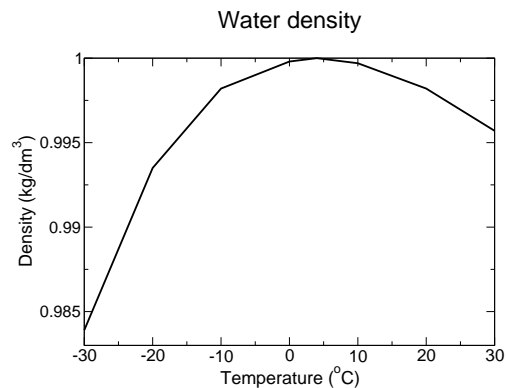
Fasövergången vätska-gas kan undvikas om man "går runt" kritiska punkten.

Vid trippelpunkten (trippellinje parallell med V -axeln i ett $p(V, T)$ -diagram): Jämvikt fast fas/vätska/gas

Lutningen på smältkurvan anger om ämnet krymper eller växer vid frysning respektive smältning.

39

Vatten ("Överkurs")



Vatten har många avvikande egenskaper:

- Densitetsmaximum vid $+4^{\circ}\text{C}$ - hänger ihop med att fasgränskurvan mellan vatten och is lutar "bakåt" (gör att sjöar etc. fryser "uppifrån")

40

- Smälter under tryck (viktigt för skridskoåkare)
- Hög smältpunkt jämfört med liknande molekyler
- Hög kokpunkt jämfört med liknande molekyler
- Hög ytspänning

Förklaring: Vatten bildar vätebindningar som

- Håller ihop vattenmolekylerna
- Skapar en gles struktur i fast fas. Rester av denna struktur finns kvar i vätskan men mindre ju högre temperatur.

Tre gamla gaslagar

(experimentella)

Boyle-Mariottes lag (1660):

$$pV = \text{konstant} \text{ då } T \text{ konstant}$$

Charles lag (1787):

$$p = \text{konstant} \cdot T \text{ då } V \text{ konstant}$$

Gay-Lussacs lag (1802):

$$V = \text{konstant} \cdot T \text{ då } p \text{ konstant}$$

Kan sammanfattas i en lag...

43

Allmänna gaslagen (*the ideal-gas equation of state*, Çengel 2-7, Young & Friedman 18.1)

En enkel tillståndsekvation är gasernas allmänna tillståndslag som gäller för ideala gaser.

$$pV = nRT$$

p = trycket [Pa=N/m²]

V = volymen [m³]

$R = 8,3145 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ allmänna gaskonstanten

T = absoluta temperaturen [K]

44

(*) Allmänna gaslagen kan skrivas om på många sätt, t.ex.

$$pV = NkT$$

N = antalet partiklar

$k = R/N_A = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{JK}^{-1} = \text{Boltzmanns konstant}$

45

Ideal gas

Gas där

- växelverkanskrafterna mellan molekylerna är försumbara
- molekylernas egenvolym=0
- hela deras mekaniska energi är kinetisk (inte potentiell)

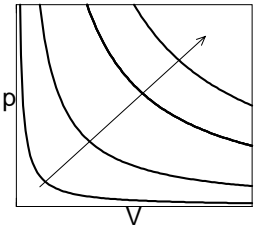
En ideal gas egenskaper är oberoende av partikelslaget.
("Praktisk" definition: Lyder ideala gaslagen för alla tryck och temperaturer)

46

Processer för ideala gaser

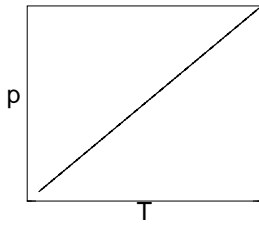
Isoterm process

T konstant, pV konst



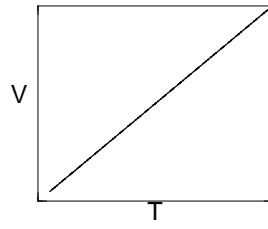
Isokor process

V konstant, $p = \text{konst} \cdot T$



Isobar process

p konstant, $V = \text{konst} \cdot T$



(pilen visar ökande temperatur)
