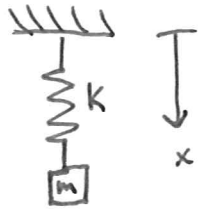


## Räkneövning 2: A.16, A.22, 1.44

Vibrationsenergi: Harmonisk oscillator

### Klassiskt



$$m\ddot{x} = -kx$$

Har lösning på formen

$$x = A \cos \omega t$$

$$\Rightarrow -m\omega^2 x = -kx \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi f$$

Den totala energin ges av

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{kx^2}{2}$$

Ekinpartians teorem:  $E = 2 \cdot \frac{kT}{2}$  (2 frihetsgrader)

### Kvantmekaniskt

Energin kvantiseras!

$$E = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega = (n + \frac{1}{2}) \hbar f, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Vad ska man använda?

$$kT \ll \Delta E \Rightarrow \text{kvant}$$

$$kT \gg \Delta E \Rightarrow \text{klassiskt}$$

jmf  $kT = 0.025 \text{ eV}$  vid  $RT$

c) Repetition för andra spektrallinjer

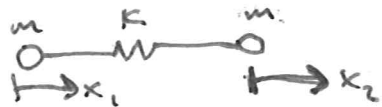
$$2 \rightarrow 0: E_{\text{emr}} = \frac{\frac{hc}{295 \text{ nm}}}{2} - E_{0 \rightarrow 2} = 0.26 \text{ eV} \quad \text{lite stort}$$

$$2 \rightarrow 1: E_{\text{emr}} = E_{2 \rightarrow 1} - E_{1 \rightarrow 2} = \frac{hc}{314 \text{ nm}} - \frac{hc}{334 \text{ nm}} = 0.24 \text{ eV} \quad \text{stämmer}$$

d) Är vibrationsnivåerna helt jämnt fördelade?

Nej, avståndet mellan linjer stöjer sig  
se t.e.x. de tre linjerna till vänster.

e) Bestäm "fjäderkonstanten" för nedre tillståndet



$$\text{Igen: } E = (n + \frac{1}{2}) h \omega, \quad \Delta E = h \omega = 0.21 \text{ eV} \quad (6)$$

Rörelsekvationer (klassisk mekanik)

$$(1): -k(x_1 - x_2) = m \ddot{x}_1$$

$$(2): -k(x_2 - x_1) = m \ddot{x}_2$$

$$(1) - (2): \ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 = \frac{k}{m} [-x_1 + x_2 + x_2 - x_1] =$$

$$= \frac{2k}{m} (x_2 - x_1)$$

Inför ny koordinat  $q = x_1 - x_2$ :

$$\ddot{q} = - \frac{2k}{m} q$$

Harmonisk oscillator u. lösnings  $\omega^2 = \frac{2k}{m}$

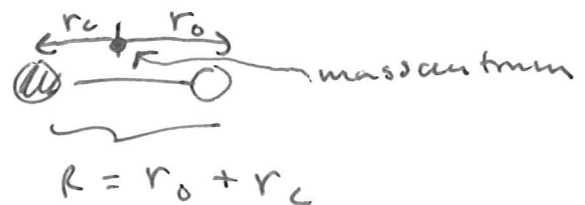
$$\Rightarrow k = \frac{m \omega^2}{2} = \frac{m}{2} \left( \frac{\Delta E}{h} \right)^2 \approx 1200 \text{ N/m}$$

b) Beräkna tröghetsmomentet  $I$  för CO  
m.h.a.  $\xi$ .

$$\xi = \frac{h^2}{2I} \Rightarrow I = \frac{h^2}{2\xi} = \dots = 1.94 \cdot 10^{-46} \text{ kg m}^2$$

c) Beräkna avståndet mellan C & O.

Klassisk mekanik:



$$I = m_o r_o^2 + m_c r_c^2 \quad (1)$$

Masscentrum:  $m_o r_o = m_c r_c \Rightarrow r_o = \frac{m_c}{m_o} r_c$

$$R = r_o + r_c = \left( \frac{m_c}{m_o} + 1 \right) r_c = m_c \underbrace{\frac{m_c + m_o}{m_o m_c}}_{\frac{1}{\mu}} r_c =$$

$$= \frac{m_c}{\mu} r_c \quad \text{P.S.S} \quad = \frac{m_o}{\mu} r_o \quad \frac{1}{\mu}, \mu \text{ reduced mass}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} r_o = \frac{R\mu}{m_o} \\ r_c = \frac{R\mu}{m_c} \end{cases} \quad (2)$$

(2) i (1):

$$I = m_o \left( \frac{R\mu}{m_o} \right)^2 + m_c \left( \frac{R\mu}{m_c} \right)^2 = R^2 \mu^2 \left( \frac{1}{m_o} + \frac{1}{m_c} \right) =$$

$$= R^2 \mu$$

$$\Leftrightarrow R = \sqrt{\frac{I}{\mu}} = \dots = 1.12 \text{ \AA}$$

10.44 Jäm för tabellvärden för  $C_p$  m.  
ekvipartition!

$$C_p = \left( \frac{Q}{\Delta T} \right)_p \stackrel{1:145}{=} \left( \frac{\Delta U + P \Delta V}{\Delta T} \right)_p = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_p + P \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_p$$

Ekin partion:  $U = \frac{f}{2} RT \Rightarrow \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_p = \frac{f}{2} R$   
 $\uparrow$   
 for ett mol

Ideale gaslagen:  $PV \stackrel{\checkmark}{=} RT \Rightarrow \frac{\partial V}{\partial T} = \frac{R}{P}$

$$\Rightarrow C_p = \frac{f}{2} R + \cancel{R} \frac{R}{\cancel{R}} = \frac{f+2}{2} R \quad \left( \begin{array}{l} \text{obs!} \\ C_p \text{ in per mol} \end{array} \right)$$

For fast material?

Volymen ändras mycket lite med  $T$  jämfört  
m. ideal gas, försumma  $\frac{\partial V}{\partial T}$

$$\Rightarrow C_p = \frac{f}{2} R$$

for vätskor?

svårt att räkna frihetsgraderna / inte ensbart kvadratisera belyg

→ vi kan inte använda ekvipartition

# Fasta material

kinetiskt + potential bidrag

Barn vibratorer  $f = \frac{1}{2} \times 3$

$$C_p = \frac{6}{2} f = 25 \text{ J/K}$$

↑  
riktningar

Al, Cu, Fe, Pb  
C

24-27 ok!

6-9 lågt!

NaCl

50.50

CaCl<sub>2</sub>

72.59

PbO<sub>2</sub>

64.64

SiO<sub>2</sub>

44.43

höga!

koksalt

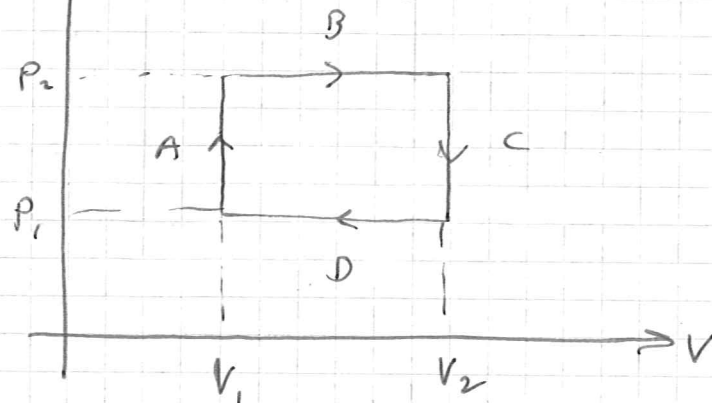
calcium  
klorid

Bly oxid

Kvarts

1.34

5.23

En gas genomgår följande process: Räkneövning 2

Förutsättningar:

- 1) Ideal, diatomisk gas
- 2) Rotationsfrihetsgraderna aktiva, vibrations- utfrusna
- 3) Allt arbete är quasistatiskt kompression/expansionsarbete

(1) & (2)  $\Rightarrow$  Antalet frihetsgrader?  $f = 3 + 2 = 5$

$\uparrow$  transl.       $\uparrow$  rot.

a) För varje delprocess, beräkna  $W$  (arbete utfört på gas) $Q$  (Värme som tillförs gasen) $\Delta U$  (ändring i gasens energi)

(1)  $\Rightarrow$  •  $W = - \int P dV$

•  $U = \frac{f}{2} N k T = \frac{f}{2} P V$

•  $Q = \Delta U - W$  (1:a h.s.)

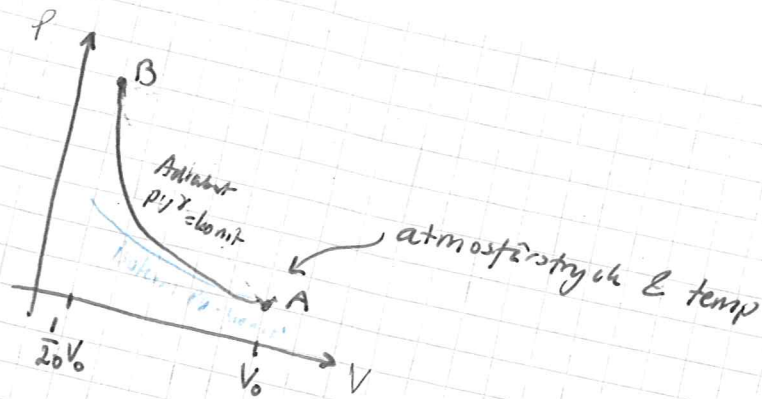
(sluter sig snabbt för ideal gas - ej kvadratiske frihetsgrader)

A:  $W = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = 0$

$\Delta U = \frac{f}{2} \Delta(PV) = \frac{5}{2} (P_2 V_1 - P_1 V_1) = \frac{5}{2} V_1 (P_2 - P_1)$

$Q = \Delta U - W = \frac{5}{2} V_1 (P_2 - P_1)$

1.37  
26



I en dieselmotor komprimeras "atmosfärisk luft" snabbt till  $\frac{1}{20}$  av den ursprungliga volymen. Vad blir sluttemperaturen högre eller lägre?

(2) Om kompressionen sker långsamt, blir sluttemp

Snabbt  $\Rightarrow$  Adiabatslut,  $Q=0$   
Både kvantitativt

$$PV^\gamma = \text{konst}$$

dvs

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma$$

$$PV = NkT \Rightarrow P = \frac{NkT}{V}$$

$$\frac{NkT}{V} V^\gamma = \text{konst}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{konst}$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow T_B = \left( \frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} T_A = \left( \frac{V_0}{\frac{1}{20} V_0} \right)^{\gamma-1} \cdot 300 \text{ K}$$

$$= 20^{\gamma-1} \cdot 300 \text{ K}$$

$$\gamma = \frac{f+2}{f} = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5}$$

$$\Rightarrow T_B = 20^{\frac{7}{5}-1} \cdot 300 \text{ K} \approx 1000$$



1.44

s. 31

På s. 404 finns en tabell med bl.a.  $C_p$  för många olika ämnen vid rumstemp. Kan vi förstå värdena?

Först: Hur beror  $C_p$  på antalet frihetsgrader?

Värmekapacitet vid konstant tryck:

$$C_p = \left( \frac{Q}{\Delta T} \right)_p = \left( \frac{\Delta U - W}{\Delta T} \right)_p = \left( \frac{\Delta U + P \Delta V}{\Delta T} \right)_p$$

↑  
1:a h.s.

$$= \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + p \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

Equipartitionsteoremet:

$$U = f N \frac{kT}{2} = \frac{f}{2} nRT$$

$$\left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_p = \frac{f}{2} R \quad (\text{vi har } n=1 \text{ mol})$$

För ideal gas:

$$V = \frac{nRT}{p} \Rightarrow \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \frac{nR}{p}$$

$$p \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = R \quad (n=1 \text{ mol})$$

- Ideal gas:  $C_p = \frac{f}{2} R + R = \left( \frac{f+2}{2} \right) R$
- Fast ämne:  $C_p \approx \frac{f}{2} R$  (volymen ändras lite när temperaturen ändras)  
 $\approx C_v$
- Vätske: ? svårt att räkna frihetsgrader!  
1) kvadratiske frihetsgrader



## Faste material

Vibration i tre riktningar

$$f = 3 \cdot 2 = 6$$

$$C_p = \frac{6}{2} R \approx 25 \text{ J/K}$$

Al 24,35

C (grafit) 8,53

C (diamant) 6,11

} hårda material,  
hårda bindningar ... ?

Cu 29,97

Fe 25,10

Pb 26,47

Koksalt NaCl 50,50

Bra! 25,25

redut  
49,9

Vägsalt  $\text{CaCl}_2$  72,59

29,20

halvare

79,8

"  $\text{PbO}_2$  69,69

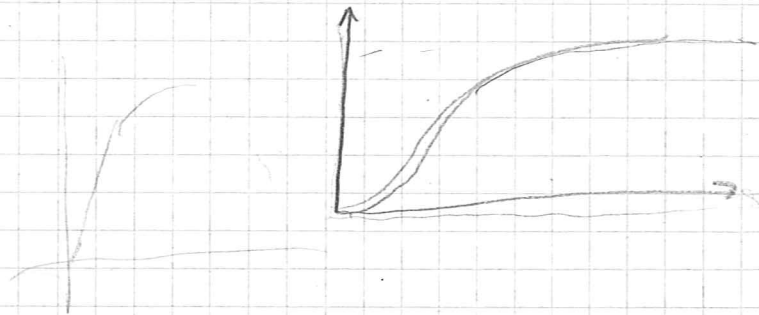
21,55

79,8

kvarts  $\text{SiO}_2$  49,43

14,81

79,8



2018: Drog över 5 min

130822.2

2019: Lågon (nägra  
minuter kvar)FTF140 Termodynamik och statistisk mekanik, 2018-08-15  
Göran Wahnström, Institutionen för Fysik, Chalmers1.34 & 1.37 innan rast  
1.44 efter i lugnt tempo

## 2. Energibegreppet, forts

Värme och arbete; termodynamikens första huvudsats (energikonservering); tryck-volym arbete; isoterma och adiabatiska processer; värmekapacitet; ångbildningsvärme och smältvärme; entalpi; bildningsentalpi.

Avsnitt: 1.4-1.6

### Läs, träna och begrunda

I avsnitt 1.4 definieras värme och arbete, två olika former av energiöverföring. Denna distinktion är central inom termodynamiken. Läs och begrunda samt träna på problem 1.26 och 1.29. Termodynamikens första huvudsats

$$\Delta U = Q + W$$

uttrycker lagen om energins konservering. Notera fotnoten på sidan 18. Författaren väljer att  $Q$  och  $W$  kan beteckna både ändliga och infinitesimala energimängder som överförs som värme respektive arbete till ett system.

Den viktigaste typen av arbete i termodynamik är tryck-volym arbete, det arbete som är associerat med ändring av volymen för ett system. Detta introduceras i avsnitt 1.5. Ett centralt begrepp är kvasistatiska processer, processer där varje mellantillstånd är ett jämviktstillstånd. För denna typ av process gäller att

$$W = - \int P(V) dV$$

och processen kan åskådliggöras i ett s.k.  $PV$ -diagram. Notera hur arean i ett  $PV$ -diagram är relaterat till arbetet. Avsnitt 1.5 diskuterar också isoterma och adiabatiska processer.

I avsnitt 1.6 definieras ett antal användbara storheter; värmekapacitet vid konstant volym  $C_V$  och konstant tryck  $C_P$ , samt ångbildnings- och smältvärme  $L$ . Den termodynamiska storheten entalpi  $H \equiv U + PV$  införs. Denna storhet är användbar vid processer som sker vid konstant tryck. Bildningsentalpin för en kemisk reaktion anger hur mycket värme som erhålls då reaktionen sker vid konstant tryck. Läs, lär dig betydelsen av de olika storheterna samt träna på problem 1.42.

För idealgas gäller att

$$PV = NkT$$
$$U = Nf \frac{kT}{2}$$

där  $f$  är antal "frihetsgrader" per molekyl. Vid rumstemperatur gäller att  $f=3$  för en enatomig gas och  $f=5$  för en tvåatomig gas. Vidare gäller för en kvasistatisk process att

$$PV = \text{konstant, vid isotherm process}$$
$$PV^\gamma = \text{konstant, vid adiabatisk process, där } \gamma = (f+2)/f$$

## 2. Energibegreppet, forts

Värme och arbete; termodynamikens första huvudsats (energikonservering); tryck-volym arbete; isoterma och adiabatiska processer; värmekapacitet; ångbildningsvärme och smältvärme; entalpi; bildningsentalpi.

Avsnitt: 1.4-1.6

### Läs, träna och begrunda

I avsnitt 1.4 definieras värme och arbete, två olika former av energiöverföring. Denna distinktion är central inom termodynamiken. Läs och begrunda samt träna på problem 1.26 och 1.29. Termodynamikens första huvudsats

$$\Delta U = Q + W$$

uttrycker lagen om energins konservering. Notera fotnoten på sidan 18. Författaren väljer att  $Q$  och  $W$  kan beteckna både ändliga och infinitesimala energimängder som överförs som värme respektive arbete till ett system.

Den viktigaste typen av arbete i termodynamik är tryck-volym arbete, det arbete som är associerat med ändring av volymen för ett system. Detta introduceras i avsnitt 1.5. Ett centralt begrepp är kvasistatiska processer, processer där varje mellantillstånd är ett jämviktstillstånd. För denna typ av process gäller att

$$W = - \int P(V) dV$$

och processen kan åskådliggöras i ett s.k.  $PV$ -diagram. Notera hur arean i ett  $PV$ -diagram är relaterat till arbetet. Avsnitt 1.5 diskuterar också isoterma och adiabatiska processer.

I avsnitt 1.6 definieras ett antal användbara storheter; värmekapacitet vid konstant volym  $C_V$  och konstant tryck  $C_P$ , samt ångbildnings- och smältvärme  $L$ . Den termodynamiska storheten entalpi  $H \equiv U + PV$  införs. Denna storhet är användbar vid processer som sker vid konstant tryck. Bildningsentalpin för en kemisk reaktion anger hur mycket värme som erhålls då reaktionen sker vid konstant tryck. Läs, lär dig betydelsen av de olika storheterna samt träna på problem 1.42.

Notera att för idealgas med temperaturoberoende värmekapacitet gäller att

$$\Delta U = C_V \Delta T$$

$$\Delta H = C_P \Delta T$$

samt att  $PV^\gamma = \text{konstant}$  vid en kvasistatisk adiabatisk process, där  $\gamma = C_P/C_V = (f+2)/f$  och  $f$  är antal "frihetsgrader" per molekyl. Träna på problem 1.35.

# Termodynamik och statistisk fysik: Räkneövning 2 - Energibegreppet, forts

Anders Lindman

September 3, 2015

Den här räkneövningen behandlar

- 1:a huvudsatsen
- Tryck-volym arbete
- Värmekapacitet
- Entalpi

b)

Fråga: Förklara fysikaliskt vad som sker i varje delprocess.

Lösning: (Ideala gaslagen är lämplig att studera här.)

A: Här är  $W = 0$  och  $Q > 0$ . Värme tillförs, t.ex. genom att elda runt cylindern, medan kolven är fixerad eftersom volymen är konstant.

B: Här är  $W < 0$  och  $Q > 0$ . Gasen expanderar och uträttar ett arbete på kolven. Värme fortsätter att tillföras för att behålla konstant tryck.

C: Här är  $W = 0$  och  $Q < 0$ . Värme bortförs, t.ex. genom kyla med omgivande vatten runt cylindern, medan kolven är fixerad eftersom volymen är konstant.

D: Här är  $W > 0$  och  $Q < 0$ . Gasen kontraherar och kolven uträttar ett arbete på gasen. Värme fortsätter att bortföras för att behålla konstant tryck.

c)

Fråga: Summera  $W$ ,  $\Delta U$  och  $Q$  för en hel cykel. Är resultaten rimliga? Förklara.

Lösning: (Resultaten finns i tabellen på föregående sida.)

För arbetet så gäller att  $W_{\text{tot}} < 0$  vilket betyder att gasen har uträttat ett nettoarbete på kolven. Detta är rimligt då trycket är högre när gasen expanderar jämfört med när den kontraherar.

För energin så gäller  $\Delta U_{\text{tot}} = 0$ . Detta är rimligt då gasen återgår till sitt ursprungliga tillstånd efter en cykel.

För arbetet så gäller att  $Q_{\text{tot}} > 0$  ( $Q_{\text{tot}} = -W_{\text{tot}}$ ) vilket betyder att ett nettovärme har tillförts under processen. Detta är rimligt då energin är bevarad och arbete tagits ut ( $Q_{\text{tot}} = -W_{\text{tot}}$ ).

### Uppgift 1.39

Genom att tillämpa Newtons lagar till oscillationer av ett kontinuerligt medium kan man visa att ljudhastigheten ges av

$$c_s = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

där  $\rho$  är mediets densitet (massa per volymsenhet) och  $B$  är bulkmodulen som är ett mått på mediets styvhet.  $B$  definieras som

$$B = -V \frac{\Delta P}{\Delta V} = -V \frac{\partial P}{\partial V}$$

där  $\Delta V$  är den (negativa) förändringen i volymen vid en ökning av trycket med  $\Delta P$ . Definitionen är tvetydigt då den inte säger något om tryckets karaktär (ex. adiabatiskt eller isotermiskt).

a)

Fråga: Beräkna bulkmodulen för en idealgas i termer av  $P$ , både för isotermisk och adiabatisk kompression.

Lösning: För en isotermisk process så gäller för en idealgas att

$$PV = NkT = \text{konstant} \implies P = \frac{1}{V} NkT$$

där  $\gamma = (f+2)/f$  är den adiabatiska exponenten. Detta ger

$$\frac{\partial P}{\partial V} = -\frac{1}{V^2} NkT = -\frac{1}{V} \cdot \frac{NkT}{V} = -\frac{P}{V}.$$

Bulkmodulen blir då

$$B = -V \frac{\partial P}{\partial V} = V \frac{P}{V} = P.$$

För en adiabatisk process så gäller för en idealgas att

$$PV^\gamma = \text{konstant} \implies P = \frac{1}{V^\gamma} \cdot \text{konstant}$$

vilket ger

$$\frac{\partial P}{\partial V} = -\frac{\gamma}{V^{\gamma+1}} \cdot \text{konstant} = -\gamma \frac{1}{V} \cdot \frac{\text{konstant}}{V^\gamma} = -\gamma \frac{P}{V}.$$

Bulkmodulen blir då

$$B = -V \frac{\partial P}{\partial V} = V \gamma \frac{P}{V} = \gamma P.$$



d)

*Fråga: När en skotsk orkester spelade på hög höjd anmärkte en av säckpipemusikanterna att den höga höjden gjorde instrumenten ostämnda. Skulle du förvänta dig att höjden skulle påverka ljudhastigheten (och därav frekvensen för stående våg i piporna)? Om så är fallet, skulle den öka eller minska? Om inte, varför då?*

**Lösning:** På hög höjd minskar trycket men det påverkar inte ljudhastigheten. Temperaturen påverkar däremot så om den höga höjden motsvarar en förändringen i temperaturen så kan det påverka.

Ämne	$C_p$ (J/K)
Ar	20.79
He	20.79
H	20.78
Ne	20.79

### Diatomig idealgas

Fråga hur många frihetsgrader.

En diatomig idealgas har generellt fem aktiva frihetsgrader,  $f = 5$ : tre translationsfrihetsgrader samt två rotationsfrihetsgrader. Vibrationsfrihetsgraderna är infrusna vid rumstemperatur. Värmekapaciteten blir således

$$C_p = \frac{7}{2}R = 29.10 \text{ J/K}.$$

I tabellen har vi följande diatomiga gaser och dess värmekapaciteter.

Ämne	$C_p$ (J/K)
CO	29.14
Cl <sub>2</sub>	33.91
H <sub>2</sub>	28.82
N <sub>2</sub>	29.12
O <sub>2</sub>	29.38

### Fleratomig idealgas

Fråga hur många frihetsgrader.

En fleratomig idealgas har generellt fem eller sex aktiva frihetsgrader,  $f = 5, 6$ : tre translationsfrihetsgrader samt två eller tre rotationsfrihetsgrader. CO<sub>2</sub> är en linjär molekyl och har endast två rotationsfrihetsgrader medan t.ex. vatten inte är det och har drämed tre. Vibrationsfrihetsgraderna är generellt infrusna vid rumstemperatur. Värmekapaciteten blir således som i föregående fall eller

$$C_p = \frac{8}{2}R = 33.26 \text{ J/K}.$$

I tabellen har vi följande fleratomiga gaser och dess värmekapaciteter.

Då vi kan försumma vätskans volym så ges  $\Delta V$  av gasernas totala volym. Vi får då att

$$\Delta V = 0 - V_{\text{H}_2} - V_{\text{O}_2} = -\frac{RT}{P} - \frac{RT}{2P} = -\frac{3RT}{2P}$$

och således är arbetet

$$W = -P\Delta V = P\frac{3RT}{2P} = \frac{3RT}{2} = 3.71 \text{ kJ}.$$

Med dessa värden för  $\Delta H$  och  $W$  kan vi nu beräkna  $\Delta H$  enligt

$$\Delta U = \Delta H + W = -285.83 \text{ kJ} + 3.71 \text{ kJ} = -282.12 \text{ kJ}.$$

2019: 78 p/ felit

FTF140 Termodynamik och statistisk mekanik, 2018-08-15  
Göran Wahnström, Institutionen för Fysik, Chalmers

### 3. Entropibegreppet

Tre modellsystem: tvånivåsystemet, Einstein modellen och klassisk idealgas; mikro- och makrotillstånd samt multiplicitet; det grundläggande antagandet i statistisk mekanik; växelverkande system och det mest sannolika makrotillståndet; definitionen av entropi; termodynamikens andra huvudsats; termisk jämvikt och definitionen av temperatur; termodynamikens tredje huvudsats.

Avsnitt: 2.1-2.4, del av 2.6, 3.1, del av 3.2

#### Läs, träna och begrunda

Avsnitt 2.1 presenterar tvånivåsystemet. Viktiga begrepp som introduceras i detta avsnitt är mikro- och makrotillstånd samt multipliciteten  $\Omega$ .

I avsnitt 2.2 introduceras Einstein modellen, en uppsättning av harmoniska oscillatorer. Denna modell utnyttjas för att ge en förståelse för entropibegreppet, termodynamikens viktigaste begrepp. I avsnitt 2.3 formuleras det grundläggande antagandet i statistisk mekanik:

För ett isolerat system i termisk jämvikt gäller att alla  
tillgängliga mikrotillstånd är lika sannolika.

Väsentligen hela kursen bygger på detta enda antagande. Läs och begrunda avsnitt 2.2-2.4 samt träna på problem 2.5(a), 2.5(d), 2.5(f), 2.5(g), 2.6 och 2.8.

I avsnitt 2.6 definieras entropi och termodynamikens andra huvudsats formuleras med hjälp av entropibegreppet. Sambandet mellan entropi och sannolikhet (multiplicitet)

$$S \equiv k \ln \Omega$$

formulerades av Boltzmann i slutet av 1800-talet. Med hjälp av Boltzmanns definition kan nu entropin beräknas utgående från en mikroskopisk beskrivning av ett fysikaliskt system. Läs och begrunda avsnitt 2.6. "Entropy of an Ideal Gas", "Entropy of Mixing" och "Reversible and Irreversible Processes" kan du vänta med.

I avsnitt 3.1 behandlas system i termisk kontakt och definitionen av temperatur

$$\frac{1}{T} \equiv \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)_{N,V}$$

införs. Avsnitt 3.2 diskuterar relationen mellan entropi och tillförd värme och hur entropi kan uppmätts experimentellt. Termodynamikens tredje huvudsats införs och dess samband med systemets multiplicitet diskuteras. Läs och begrunda dessa avsnitt. "A Silly Analogy" kan läsas i mån av intresse och de delar som utnyttjar uttrycket för multiplicitet för en klassisk idealgas återkommer vi till.