

Termisk fysikk, 2011

Løsning øving 1.

①

Oppgave 1.

- a) Endring av trykkel Δp ved en liten endring av temperaturen ΔT er ved konstant volum gitt ved
- $$\Delta p = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \Delta T$$

For å bestemme den deriverte benyttes relasjonen

$$-1 = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \left(-V \kappa_T\right) \left(\frac{1}{V \alpha}\right)$$

$$\text{der } \kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \text{ og } \alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V^{-1}$$

For hvor god temperatursikring blir dermed

$$\Delta p = \frac{\alpha}{\kappa_T} \Delta T = \frac{48,5 \cdot 10^{-6}}{7,7 \cdot 10^{-12}} \cdot 1 \text{ Pa} = \underline{\underline{6,3 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 69 \text{ atm}}}$$

b) Ved derivering på begge sider finner en

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial p}\right)_T = \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}\right) = \frac{1}{V} \frac{\partial^2 V}{\partial p \partial T} - \frac{1}{V^2} \frac{\partial V}{\partial p} \frac{\partial V}{\partial T}$$

$$-\left(\frac{\partial \kappa_T}{\partial T}\right)_p = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}\right) = \frac{1}{V} \frac{\partial^2 V}{\partial T \partial p} - \frac{1}{V^2} \frac{\partial V}{\partial T} \frac{\partial V}{\partial p}$$

Ved sammenlikning ser en følgende at

$$\underline{\underline{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial \kappa_T}{\partial T}\right)_p}}$$

Oppgave 2.

②

- a) Trykkel i 1 mol ideell gass ved 290°C og volum 24,0 l

$$p = \frac{RT}{V} = \frac{8,314 \text{ J/K} \cdot 293 \text{ K}}{24,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = \underline{\underline{1,015 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}}}$$

Med volumet 0,24 l og samme temperatur

Uten trykkel

$$p = \frac{RT}{V} = \frac{8,314 \cdot 293}{0,24 \cdot 10^{-3}} \text{ Pa} = \underline{\underline{1,015 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 100 \text{ atm}}}$$

- b) Med Van der Waals Tilstandslikning blir trykkel for 1 mol luft ved 20°C og volum 24,0 l

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} = \frac{8,314 \cdot 293}{(24,0 - 0,0367) \cdot 10^{-3}} \text{ Pa} - \frac{1,368 \cdot 10^{-5}}{(24,0 \cdot 10^{-3})^2} \text{ Pa} = \underline{\underline{1,014 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}}}$$

Med volum 0,24 l uten tilsetningsstoffer

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} = \frac{8,314 \cdot 293}{(0,240 - 0,0367) \cdot 10^{-3}} - \frac{1,368 \cdot 10^{-5}}{(0,24 \cdot 10^{-3})^2} \text{ Pa} = \underline{\underline{0,961 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 96 \text{ atm}}}$$

$$(1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg})$$

opgave 3.

(3)

Modtagt varme/energi i et tidsrum Δt

$$dQ = P \Delta t = C_p \Delta T$$

Pottegrs varmekapaciteten

$$C_p = P \frac{dt}{dT} = \frac{P}{\frac{dT}{dt}} = \underline{\underline{P \frac{1}{\dot{T}(t)}}}$$

Ved derivering finder en så

$$\dot{T}(t) = T_0 \frac{a}{4 [1 + a(t-t_0)]^{3/4}}$$

Med $T = T_0 (1 + a(t-t_0))^{1/4}$ kan t enkelt elimineres og en funktion

$$\dot{T}(t) = T_0 \frac{a}{4} \left(\frac{T_0}{T}\right)^3$$

eller

$$C_p = \frac{4P}{aT_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \propto T^3$$

(Potte rumkølet er trykket temperaturafhængigt for faste stoffer ved lave temperaturer. Dette bruges sammen med kvantiserede gittervibrationer (fononer) ved nogen få grader Kelvin ved ledningselektroner dominerer for metaller så at $C_p \propto T^3$)

Oppgave 4

Med utgangspunkt i eksemplet gitt i oppgaveteksten er veien ikke lang til følgende kode i Matlab/Octave:

```
%%FY1005/TFY4165 våren 2012, Øving 1, Oppgave 4, del 1
%%
%%R = gasskonstanten = 8.314 J/mol*K
R=8.314;
%%T = absolutt temperatur (K)
Tmin=113;
Tmax=293;
DeltaT=20;
%%T = vektor med verdier mellom Tmin og Tmax, intervall DeltaT
T=Tmin:DeltaT:Tmax;
%%V = molart volum (L/mol)
Vmin=0.05;
Vmax=1.0;
NV=500;
%%V = vektor med verdier mellom Vmin og Vmax, i alt NV verdier
V=linspace(Vmin,Vmax,NV);
%%Verdier for a og b for luft: 1.368 0.0367
%%Enheter: [a] = bar*(L/mol)^2 og [b] = L/mol
a=1.368;
b=0.0367;
%%length(T) = antall elementer i vektoren T
%%Bruker for-loekke fra i=1 til i=length(T) til aa regne ut van der Waals
%%isotermene p(V) for temperaturer T(1), T(2), ... , T(length(T))
for i = 1:length(T);
    %%p = trykket. Faktoren 1/100 skyldes at V og b har enhet L og at
    %%p ønskes i enheten bar (1 bar = 10^5 Pa)
    p = (R*T(i)./(V-b))/100 - a./(V.*V);
    fig = plot(V,p);
    %%p(V) for laveste valgte temperatur T(1): blaa kurve
    %%p(V) for høyeste valgte temperatur T(length(T)): roed kurve
    %%Mellomliggende kurver: gradvis mellom blaa og roed
    %%Tynne kurver, LineWidth = 1.0, for van der Waals tilstandsligning
    red=(i-1)/(length(T)-1);
    blue=1-red;
    green = 0.0;
    set(fig,'Color',[red green blue],'LineWidth',1.0);
    if i == 1;
        title('Isotermene: van der Waals og ideell gass tilstandsligning','fontsize',18);
        xlabel('Molart volum (L/mol)','fontsize',18);
        ylabel('Trykk (bar)','fontsize',18);
        axis([0 Vmax 0 140]);
        %%"hold on" soerger for at paafoelgende kurver tegnes i samme figur
        hold on;
        %%Vi plotter p(V) for ideell gass for laveste
        %%verdi av temperaturen, dvs for T(1)
        pideell = R*T(i)./(100*V);
```

```

fig = plot(V,pideell);
%%Tykk blaa kurve for p(V) ved T(1), ideell gass
set(fig,'LineWidth',1.5,'Color',[0 0 1]);
end;
if i == length(T);
    %%Vi plotter p(V) for ideell gass for hoeyeste
    %%verdi av temperaturen, dvs for T(length(T))
    pideell = R*T(i)./(100*V);
    fig = plot(V,pideell);
    %%Tykk roed kurve for p(V) ved T(length(T)), ideell gass
    set(fig,'LineWidth',1.5,'Color',[1 0 0]);
end;
end;
hold off;

```

Med denne koden får vi en figur som ser slik ut:

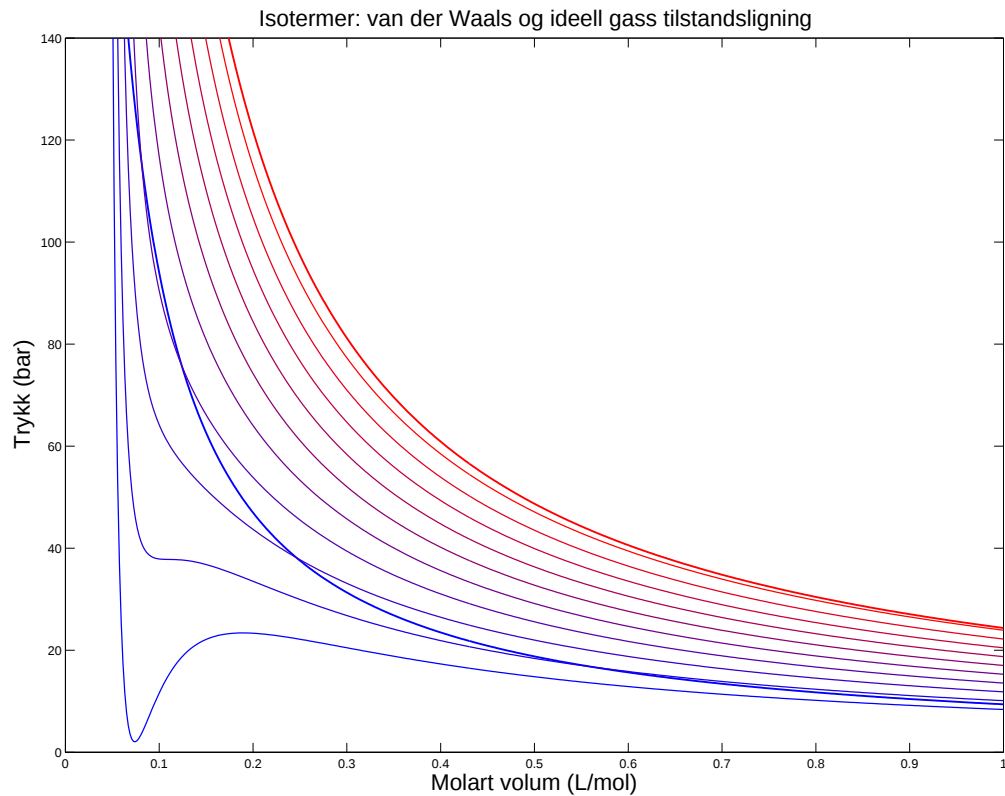


Figure 1: Isotemer for van der Waals tilstandsligning (tynne kurver) og for ideell gass (tykke kurver). Temperaturer, van der Waals: 113, 133, 153, 173, 193, 213, 233, 253, 273, 293 K. Temperaturer, ideell gass: 113, 293 K.

Kommentarer:

På **linjene 27 og 46** bruker vi elementvise operasjoner, som er innebygd i Matlab. Det gjøres ved å skrive et punktum foran den operasjonen vi ønsker. Slik kan vi behandle en hel vektor i ett og samme uttrykk, og dette kjører **mye** raskere enn en for-løkke.

På **linjene 33-36** gis de ulike isotermene farger fra blått til rødt.

På **linjene 38-43** sørger vi for å lage tittel og aksetekst, definere aksene, samt passe på å bruke **hold on** dersom det er det første plottet.

I oppgave 2a fant vi at antagelsen om ideell gass gav et trykk på 101,5 bar ved 293 K og et molart volum 0.24 l. I oppgave 2b fant vi at med van der Waals tilstandsligning får vi et trykk på 96,1 bar ved tilsvarende temperatur og molart volum. Vi ser fra figuren ovenfor at kurvene ved 293 K er konsistente med disse verdiene.

For del to av oppgaven kan vi bruke samme program, bortsett fra at tallverdier må endres for Tmin, Tmax, DeltaT, Vmax, samt øvre grense for trykket i figuren (70 bar istedenfor 140 bar):

```
%%FY1005/TFY4165, Oving 1, Oppgave 4, del 2
%%
%%R = gasskonstanten = 8.314 J/mol*K
R=8.314;
%%T = absolutt temperatur (K)
Tmin=113;
Tmax=158;
DeltaT=5;
%%T = vektor med verdier mellom Tmin og Tmax, intervall DeltaT
T=Tmin:DeltaT:Tmax;
%%V = molart volum (L/mol)
Vmin=0.05;
Vmax=0.5;
NV=500;
%%V = vektor med verdier mellom Vmin og Vmax, i alt NV verdier
V=linspace(Vmin,Vmax,NV);
%%Verdier for a og b for luft: 1.368 0.0367
%%Enheter: [a] = bar*(L/mol)^2 og [b] = L/mol
a=1.368;
b=0.0367;
%%length(T) = antall elementer i vektoren T
%%Bruker for-loekke fra i=1 til i=length(T) til aa regne ut van der Waals
%%isotemer p(V) for temperaturer T(1), T(2), ... , T(length(T))
figure;
for i = 1:length(T);
    %%p = trykket. Faktoren 1/100 skyldes at V og b har enhet L og at
    %%p ønskes i enheten bar (1 bar = 10^5 Pa)
    p = (R*T(i)./(V-b))/100 - a./(V.*V);
    fig = plot(V,p);
    %%p(V) for laveste valgte temperatur T(1): blaa kurve
    %%p(V) for hoyeste valgte temperatur T(length(T)): roed kurve
    %%Mellomliggende kurver: gradvis mellom blaa og roed
    %%Tynne kurver, LineWidth = 1.0, for van der Waals tilstandsligning
    red=(i-1)/(length(T)-1);
    blue=1-red;
    green = 0.0;
```

```

set(fig,'Color',[red green blue],'LineWidth',1.0);
title('Isoterm: van der Waals og ideell gass tilstandsligning','fontsize',18);
xlabel('Molart volum (L/mol)','fontsize',18);
ylabel('Trykk (bar)','fontsize',18);
axis([0 Vmax 0 70]);
if i == 1;
    %% "hold on" soerger for at paafoelgende kurver tegnes i samme figur
    hold on;
    %% Vi plotter p(V) for ideell gass for laveste
    %% verdi av temperaturen, dvs for T(1)
    pideell = R*T(i)./(100*V);
    fig = plot(V,pideell);
    %% Tykk blaa kurve for p(V) ved T(1), ideell gass
    set(fig,'LineWidth',1.5,'Color',[0 0 1]);
end;
if i == length(T);
    %% Vi plotter p(V) for ideell gass for hoeyste
    %% verdi av temperaturen, dvs for T(length(T))
    pideell = R*T(i)./(100*V);
    fig = plot(V,pideell);
    %% Tykk roed kurve for p(V) ved T(length(T)), ideell gass
    set(fig,'LineWidth',1.5,'Color',[1 0 0]);
end;
end;
hold off;

```

Resulterende figur med isoterm blir som i Figur 2, neste side. Som nevnt i oppgaveteksten, legg merke til overgangen fra monotont avtagende kurver til ikke-monotone kurver for $p(V)$ når temperaturen senkes under ca 133 K (kurve nr 5). Vi kommer tilbake til hva dette innebærer.

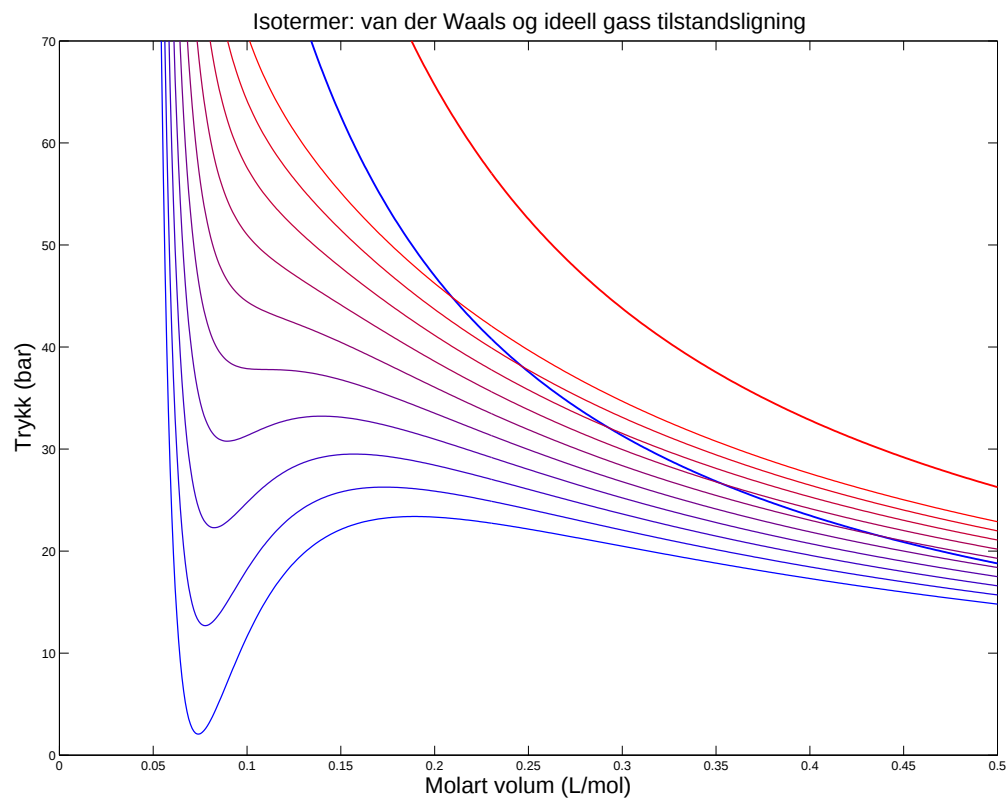


Figure 2: Isotermene for van der Waals tilstandsligning (tynne kurver) og for ideell gass (tykke kurver). Temperaturer, van der Waals: 113, 118, 123, 128, 133, 138, 143, 148, 153, 158 K. Temperaturer, ideell gass: 113, 158 K.