(oppg 1-4 13.02.2012)
~~(5)-7 20.02.2012~~
~~(6-7) gjort~~ 27.02.2012
6-9

UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i: GEF 4310 Skyfysikk
Eksamensdag: 15.mars 2005
Tid for eksamen:13:30-16:30
Oppgavesettet er på 4 sider
Vedlegg: Ingen
Tillatte hjelpemidler: Ingen

Kontroller at oppgavesettet er komplett
før du begynner å besvare spørsmålene.

Hver av de første 8 oppgavene har 5 svarmuligheter. Kryss av på det svaret du mener er riktig. Det er kun et riktig svar pr. oppgave. Den 9.oppgaven er en regneoppgave. Den teller dobbelt så mye som de andre oppgavene.

Oppgave 1

Ser vi bort fra kraftige bygeskyer viser observasjoner av maritime og kontinentale skyer typisk:

nei a) Høyere vanninnhold i kontinentale enn i maritime skyer. Ganske likt, se nederst s.72
X b) Større dråpekonsentrasjon i kontinentale enn i maritime skyer. Pga. flere CCN over land
nei c) Større dråper i kontinentale enn i maritime skyer. Omvendt, → Fig. 5.9 s.73: Kontinental sky har smalere spekter
nei d) Større sannsynlighet for nedbør fra kontinentale enn maritime skyer.
nei e) Veldig små forskjeller mellom kontinentale og maritime skyer.

Oppgave 2

Vi tenker oss at vi studerer lave skyer (stratocumulus) i svært ren luft over hav, for eksempel midt i Stillehavet. Hvis det nå passerer et skip som slipper ut store mengder eksos, og dette fører til dannelse av en mengde nye kondensasjonskjerner, hva vil da skje med skyen?

nei a) Ingen ting.
nei b) Dråpene vil vokse. Vanndamper vil få flere CCN å fordele seg ut over. ⇒ lysere skyer!
nei c) Den vil tynnes ut.
X d) Den vil få flere, men mindre dråper.
nei e) Dråpene vil bli mindre, og det samme gjelder vanninnholdet. → Vi fjerner jo ikke noe vann!

~~-TERM~~ 2005

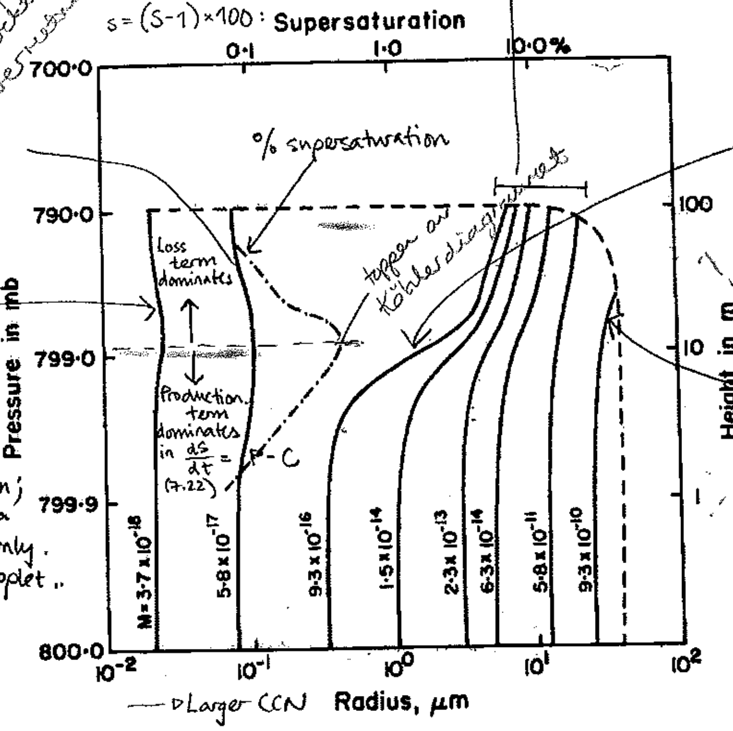
vokser til toppen av S'n nådd, men er fortsatt i stabil likevekt. – for dråper større vil når overmetningen synker igjen.

The activated droplets become more and more equal in size with time $\Delta(r_2 - r_1) > 0$

Generally very quick growth, but fastest for the smallest droplets

The smallest droplets begin to evaporate again after the supersat. starts to decrease again. Stable equilibrium; droplet size is a function of RH only. Non-activated droplet.

The larger droplets fall a bit relative to the ascending air, and don't reach the same altitudes as the small ones..



Figuren over viser tidsutviklingen av NaCl-kjerner i en luftpakke som stiger med en hastighet på 0,15 m/s etter å ha nådd metning.

Fokusér på S^* når diskuterer løsningseffekten

$S^* = 1 + \sqrt{\frac{4a^3}{27b}}$ $\quad a \approx \frac{3{,}3 \cdot 10^{-5}}{T}$ (cm)

$r^* = \sqrt{\frac{3b}{a}}$ $\quad b \approx \frac{4{,}3 i M}{m_s}$ (cm)

Når m_s øker (g/mol ↑), får vi færre molekyler per masse. B minker og S^* øker. Færre molekyler bryter opp overflatespenninga og høyere S kreves. r^*-relasjonen kommer av den generelle formen på Köhler og domineres av løsningseffekten.

<u>Oppgave 3</u> Sammenlikn. med fig. 7.4, s. 109

Vi tenker oss nå at oppvinden økes til 0,30 m/s. Da vil:

Overmetn. øker i endes svært men det går så

nei a) Overmetningen og vanninnholdet øke.
nei b) Dråpestørrelsen og vanninnholdet øke.
nei c) Dråpeantallet og dråpestørrelsen øke.
X d) Dråpeantallet og overmetningen øke.
nei e) Dråpeantallet og vanninnholdet øke.

Høyere overmetn.

$\frac{ds}{dt} = Q_1 \frac{dz}{dt} + Q_2 \frac{d\chi}{dt}$ (7.22) p. 106

<u>Oppgave 4</u> [se problem 6.3] Hadde 10^{-16} g av hver CCN, men ... med høyest molekylærmasse aktiverte dråper..

Vi bytter nå ut NaCl-kjernene med ammoniumsulfat-kjerner av samme masse. Ammonium-sulfat; $(NH_4)_2SO_4$; har molekylmasse 132 g / mol, mens natriumklorid har molekylmasse 58,5 g / mol. Hva vil skje?

Hvorfor er det ikke denne som er riktig? ?! Fordi selv om r^* er mindre, så kreves denne endra aktiveringen større S. Og det står ingenting om at denne endres.

~~Lavere likevektsmetn. trykk~~ på ammoniumsulfat-dråper, s.a. ~~denne~~ krever mindre overmetn. for å være i ~~equilibrium~~ med sine omgivelser. Jo flere løsn. molekyler på

nei a) Ingen forandring.
nei ~~X~~ b) Noen av de kjernene (til venstre i figuren) som tidligere ikke ble aktivisert vil nå aktiveres. (r^* blir mindre)
~~X~~ nei c) Noen av de kjernene (til høyre i figuren) som tidligere ble aktivisert vil nå ikke bli aktivisert. (r^* øker)
nei d) Ingen forandring, bortsett fra at dråpene som dannes vil bli tyngre enn før.
nei e) Ingen forandring, bortsett fra at dråpene som dannes vil bli lettere enn før.

OBS! oppløsn. senker overfl. spenningen

husk $r_* = \sqrt{\frac{3b}{a}}$, $b = \frac{4.3\, i\, M}{m_s}$ molekylærmassen

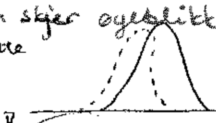
For like a og M: Større m_s vil gi mindre r_*!

MID-TERM 2005

Blandingen skjer øyeblikkelig → alle fordamper

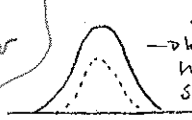
~~tilfeldig → alle~~

~~→~~ likt mye



→ Blandingen er raskere enn fordampningen

Saktere innblanding → kan få lommer med helt fordampet luft som er akkurat mettet. → LWC går ned (og altså N) men ikke $\bar{r}$



→ Færre dråper så mindre konkurranse om vanndamp → økt vekst ved kondensering!

Fordampningen er raskere enn blandingen

Oppgave 5

Forskjellen på homogen og inhomogen blanding er:

X a) Trolig viktig for å lage dråper som er store nok for koalesens å bli effektiv.
___ b) Minimal.
___ c) At homogen blanding antar en homogen atmosfære, mens inhomogen blanding ikke gjør det.
___ d) Viktig for å forstå Paluch-diagrammet.
___ e) Nær beslektet med forskjellen på isobarisk og adiabatisk blanding.

→ Kondensasjonsvekst blir <u>veldig</u> treg for $r > 10 \mu m$ (tab. 7.2 s.103), men koalesens blir først effektiv for $r > 20 \mu m$.
Måter å gå fra 10-20µm : inhomogen blanding
: store partikler (saltkjerner)

Deretter : Bowen, Telford, stochastic coalescence model

Oppgave 6

Kinetiske effekter: Tar for ~~de~~ seg andel av H_2O-molek. som kondenserer når de treffer dråpen og ~~andelen~~ andelen som spretter av dråpens overflate som har tilegnet seg dråpens temp. → dråpevekst svekkes om tar med kin. eff. omvendt, for påvirker <u>små</u> dråper mer enn større, fig. 7.6 s.114

nei a) Fører til innsnevring av dråpespekteret.
nei b) Er relatert til dråpenes fallhastigheter. nei, se (7.35) og (7.38)
nei c) Er nært beslektet med ventilasjonseffekter. s 116: Vanndampfeltet rundt dråpen ikke symmetrisk når denne faller. → neglisjerbart for dråper < 10µm i rad.
nei d) Inngår som en korreksjon av teorien for dråpevekst ved kollisjoner og koalesens.
X e) Inngår som en korreksjon av teorien for dråpevekst ved kondensasjon. Ja, se (7.40) s.114, kin. effekter gjør veksten langsommere..

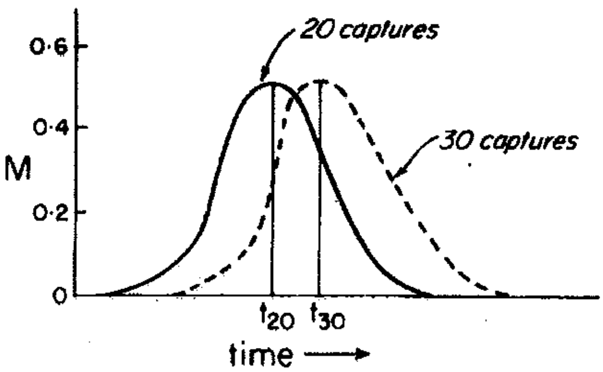
Oppgave 7

$$u_p = \frac{\rho_d D^2 g}{18\mu} \quad , \text{ så } \quad u_p \propto r^2$$

Fallhastighetene til sky- og regndråper:

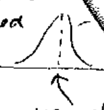
nei a) Øker jevnt og trutt på veien ned. nei, drag-kraften..
nei b) Bestemmes ved å anta balanse mellom tyngdekraften og diffusjonskraften.
X c) Øker som kvadratroten av radien for store dråper, men som kvadratet av radien for små dråper.
nei d) Er omtrent de samme for alle dråper.
nei e) Øker lineært med radien.

Stoke's lov, for $r < 30 \mu m$: $u = k_1 r^2$
$40 \mu m < r < 0.6$ mm : $u = k_3 r$
0.6 mm $< r < 2$ mm : $u = k_2 \sqrt{r}$
(se s.125-126)



ved én stor oppsamlerdråpe { Bowen: direkte basert på de kontinuerlige koalesenslign. s.131
Telford: ser på "PDFer" av ↑ (bare for R, ikke r: ble holdt fast), heldige dråper kan få forsprang, se fig. 8.7 s. 135

Stokastisk koalesens: alle dråpene kan utvikle seg, starter med en N-fordeling – ikke én opps.dråpe og mange små → grisete likning (8.20 s.139) med løsning $n(v,t)$: dråpespektrum etter tid t med initialkonsentrasjon v


mean of n(

Oppgave 8

Figuren ovenfor er hentet fra beregninger med "Telford-modellen". Figuren viser at:

_X_ a) Statistiske effekter er viktige for å initiere koalesens, men deretter kan ligningene for kontinuerlig dråpevekst anvendes.

nei b) Statistiske/stokastiske effekter har liten betydning. s.118, de fleste ting tyder på at effekter på konal. er liten.

nei c) Statistiske effekter er viktige for kondensasjonsvekst, men har liten betydning for koalesens.

nei d) Telford-modellen kan ikke forklare hvorfor nedbør kan oppstå i løpet av 20 minutter. Altså, jo det kan den!!

nei e) Telford-modellen gir omtrent samme resultat som Bowen-modellen.

en dråpe med dobbel masse av de andre. Tar for lang tid. Ellers ok.

→ Bowen-modellen tilsvarer midler av PDFene, basert på "midlet" kontinuerlige koalesensliten.

Oppgave 9

Vi tar utgangspunkt i ligningen $r\dfrac{dr}{dt} = \dfrac{S - 1 - \dfrac{a}{r} + \dfrac{b}{r^3}}{F_k + F_d}$

→ overmetning
→ krumningsledd
→ løsningsledd
→ vanndampdiffusjonsledd
→ termodynamisk ledd (se 7.17 s. 102)

a) Forklar kort hva ligningen uttrykker.
b) Foreta en hensiktsmessig forenkling av ligningen, og kom frem til en analytisk løsning.
c) Ta utgangspunkt i den analytiske løsningen, og skisser variasjonen av r med t.
d) Forklar (utledning ikke nødvendig) hvordan ligningen kan brukes til å definere en grense mellom regndråper og yrdråper.
e) Hvor ligger denne grensen?

a) Endring i dråpevekst med tiden.

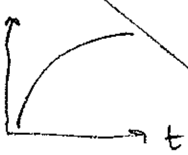
b) Kan anta store nok dråper til at krumn. og løsningsleddet forsvinner $\left(\frac{a}{r}, \frac{b}{r^3} \to 0\right)$, hvilket er gyldig $\gtrsim 0.1\mu m$

$$\Rightarrow^{(*)} r\frac{dr}{dt} = \frac{S-1}{F_k + F_d} \overset{\text{def.}}{=} \xi = (S-1)\xi_1, \quad \xi_1 = \frac{1}{F_k + F_d}$$

$$\int_{r_0}^{r} r\,dr = \int_0^t \xi\,dt$$

$$\frac{1}{2}(r^2 - r_0^2) = \xi(t - 0) \longrightarrow \underline{\underline{r = \sqrt{r_0^2 + 2\xi t}}}$$

c) Siden $r \propto \sqrt{t}$, så vil vi få en kurve:



Hvilket viser at store dråper vokser saktere enn små

d) Kan nå definere en regndråpe som en som når bakken uten å ha fordampet. Avstanden en dråpe faller før den fordamper finnes ved å integrere (*) fra r_0 til 0 og z_0 til z, og vil være svært avhengig av dråpens startstørrelse og overmetningen under skyen.

e) Grensen settes typisk på $r \gtrsim 0.1$ mm (100 μm)

Oppgave 8

Figuren ovenfor er hentet fra beregninger med "Telford-modellen". Figuren viser at:

__•__ a) Statistiske effekter er viktige for å initiere koalesens, men deretter kan ligningene for kontinuerlig dråpevekst anvendes.
____ b) Statistiske/stokastiske effekter har liten betydning.
____ c) Statistiske effekter er viktige for kondensasjonsvekst, men har liten betydning for koalesens.
____ d) Telford-modellen kan ikke forklare hvorfor nedbør kan oppstå i løpet av 20 minutter.
____ e) Telford-modellen gir omtrent samme resultat som Bowen-modellen.

Oppgave 9

Vi tar utgangspunkt i ligningen $r\dfrac{dr}{dt} = \dfrac{S-1-\dfrac{a}{r}+\dfrac{b}{r^3}}{F_k + F_d}$

$\frac{a}{r} \to 0$ for $r > 0.12\,\mu m$

$\frac{b}{r^3} \to 0$ for $r > 0.02\,\mu m$

a) Forklar kort hva ligningen uttrykker.
b) Foreta en hensiktsmessig forenkling av ligningen, og kom frem til en analytisk løsning.
c) Ta utgangspunkt i den analytiske løsningen, og skisser variasjonen av r med t.
d) Forklar (utledning ikke nødvendig) hvordan ligningen kan brukes til å definere en grense mellom regndråper og yrdråper. $\longrightarrow$ Fra forelesn: $r > 100\,\mu m = 0.1\,mm$ ~ regndråpe
$r = 100\,\mu m = 0.1\,mm$ ~ yrdråpe
$r < 100\,\mu m = 0.1\,mm$ ~ skydråpe (Typisk $10\,\mu m$)
e) Hvor ligger denne grensen?

a) Dråpevekst ved kondensasjon.

b) Forenkling $\to$ $r\dfrac{dr}{dt} = \xi$, $\xi = \dfrac{S-1}{F_d + F_k}$

Dråpene er store nok til at krumnings- og løsningsledd forsvinner.

$r\,dr = \xi\,dt$

$\int_{r_0}^{r} r\,dr = \int_0^t \xi\,dt$ — Antar at atm. forhold er konst.

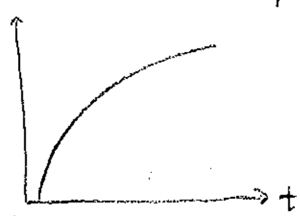
$\left[\frac{1}{2}r^2\right]_{r_0}^{r} = \xi t$

$\frac{1}{2}r^2 - \frac{1}{2}r_0^2 = \xi t$

$r^2 = r_0^2 + 2\xi t$

(*) $\underline{\underline{r = \sqrt{r_0^2 + 2\xi t}}}$

c) $r \propto \sqrt{t}$



Viser at små dråper vokser fortere enn store

d) 1. Finn tiden en dråpe faller før den fordamper ved å sette $r(t_e) = 0$ i (*) $\to t_e = -\dfrac{r_0^2}{2\xi}$
2. Bruk f.eks. Stokes lov hvis $r \lesssim 30\,\mu m$: $u(r) = -\dfrac{dr}{dz} = k_1 r(t)^2$ og integrér denne fra $z_0 - z_e$ og fra 0 til t_e, hvor t_e er den t som gir (*) = 0.
$\Rightarrow \Delta z = -\dfrac{k_1}{4\xi} r_0^4$, $\xi = (S-1)\xi_1$
Kan nå sette inn for ulike verdier av r_0 og ξ (overmetn.) og se hvor langt dråpen faller, hvis langt nok til å nå bakken: definér som regndråpe.

e) $r \sim 0.1\,mm = 100\,\mu m$