UNIVERSITY OF OSLO

Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Mid-Term Exam in: GEF 4310 Cloud Physics
Examination Date: 31 March 2009
Time of examination: 15:00-18:00
The examination set is 5 pages long
Attachments: None
Permitted aids (textbook, calculator, etc.) : None

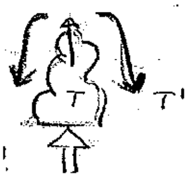
Please make sure that the examination set is complete before you start solving the problems.

Les mer om hvorfor rett i egne notater!

The first 7 problems are multiple choice problems. Write an "x" or a tick mark in front of the correct answer. There is only one correct answer for each problem. In problems 8 – 9, detailed responses are required. Problems 1 – 7 count 10% each, while each of the problems 8 – 9 count 15% of the total.

Problem 1

T : temperaturen i skyen
T' : temperaturen i omgivelsene ⇒ Stor diff T − T' gir mye oppdrift



Snakker om: ikke entrainment!

Compensating downward motions mainly influence parcel buoyancy by:

nei a) Cooling and drying the cloudy air, thus reducing $T - T'$. → No, but cloud-top entrainment can do this to in-cloud air..
nei b) Evaporating cloud water near cloud top, hence generating downward acceleration.
nei ~~c) Evaporating cloud water at the edges of the cloud, thus reducing $T - T'$.~~ → Fordampn. ville heller føre til avkjøling av T' så økn. av T − T'
X d) Warming the air in the surroundings, thus reducing $T - T'$. T' blir varmere pga. adiab. oppv. når • synker ⇒ mindre T − T' og redusert oppdr.
nei e) Strengthening aerodynamic resistance, hence suppressing the buoyancy of the parcel.

Problem 2 Se fig. 4.15 s. 168 i W&H

maritime: r ~ 30 μm

Some characteristic values for droplet size (radius, r), cloud droplet number concentration (N_c) and liquid water content (LWC) in moderate, non-precipitating, continental, convective clouds are:

nei a) r = 20 μm, N_c = 50 cm^{-3}, LWC = 1.5 g m^{-3}.
nei b) r = 5 μm, N_c = 500 cm^{-3}, LWC = 5.0 g m^{-3}.
nei c) r = 10 μm, N_c = 1000 cm^{-3}, LWC = 1.0 g m^{-3}.
nei d) r = 10 μm, N_c = 100 cm^{-3}, LWC = 0.1 g m^{-3}.
X e) r = 10 μm, N_c = 500 cm^{-3}, LWC = 0.5 g m^{-3}.

1) Se fig. 5.9 s. 73: typisk r i kontinentale skyer er ~ 10 μm
2) Fra forelesningene: konvektive skyer har LWC ~ 1 g/m³, så utelukker d)..
3) Se fig. 5.7 s. 69: typisk N ~ 500 cm⁻³. Skulle velge tall for en moderat sky, så utelukker c)

Problem 3

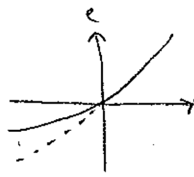
Where do we usually draw the line between cloud droplets and rain drops, and what is that division based on?

nei a) r = 100 μm, based on the fact that rain drops are slightly flattened at the base
nei b) r = 1 mm, based on the fact that rain drops are slightly flattened at the base
nei c) r = 4 mm, based on the fact that rain drops are slightly flattened at the base
X d) r = 100 μm, based on the ability of falling particles to avoid evaporation before reaching the ground. ↳ = 0.1mm , s.105 tab. 7.3
nei e) r = 1 mm, based on the ability of falling particles to avoid evaporation before reaching the ground.

↳ terminalhastigheten øker med r_0^2
↳ avstanden dråpen faller øker med r_0^4 !
Tabell 7.3 s.105

Problem 4

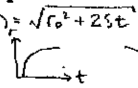
Kan bremse dråpeveksten ved kondensering for ringår i nevneren som korreksjonsledd, s. 114



To siste avsnitt side 162/163. Er med på å bestemme krystallstrukturen.

Comparing the growth of ice crystals and cloud droplets in clouds,

X a) the diffusional growth is much larger for the ice crystals than for the cloud droplets.
nei b) kinetic effects are much more important for the cloud droplets than for the ice crystals.
nei c) precipitation is initiated more rapidly in the case of cloud droplets than ice crystals. → omvendt. Fordi $e_i < e_s$ og fordi få IN så lite konkurranse
nei d) stochastic effects are crucial in the case of ice crystals, but not cloud droplets.
nei e) ice crystals grow most rapidly in maritime air, cloud droplets in continental air (for the same updraft speed).



Jo, avgjørende for å få sparket igang koalesens
Kondensering: → dråper opp til 10μm
Koalesens: effektivt fra 20μm

Problem 5

+ ca 5 % av alle aerosoler er CCN (hav: 10 %, land: 1 %)

Most CCN in nature are:

nei a) Hydrophobic. — En CCN kan per def ikke være hydrofobiske!
X b) Accumulation mode particles (0.1 μm < D < 1 μm).
nei c) Giant sea salt particles.
nei d) Good ice nuclei. Iskjerner er veldig mye mer sjeldne enn CCN, og er dessuten ofte dårlige CCN
nei e) Coarse mode particles (10 μm < D < 20 μm). Få av disse, faller ut først..

Problem 6
s.139

Fra den stokastiske koalesensmodellen

sannsynlighetsfordeling hvor alle dråper kan kollidere

Sannsynligheten for at en dråpe med volum V vil samle opp en dråpe med volum v

antall små dråper

In the equation $\frac{\partial}{\partial t}n(v)dv = \frac{1}{2}dv\int_0^v H(\delta,u)n(\delta)n(u)du - n(v)dv\int_0^\infty H(V,v)n(V)dV$:

↳ sammenslåinger av dråpepar (derfor ½) som gir volum v øker antall dråper med volum v..

Antall koalesenser per tidsenhet som de små dråpene opplever, reduserer dråpeantallet i v, v+dv. Påvirker ikke antallet i V, V+dV

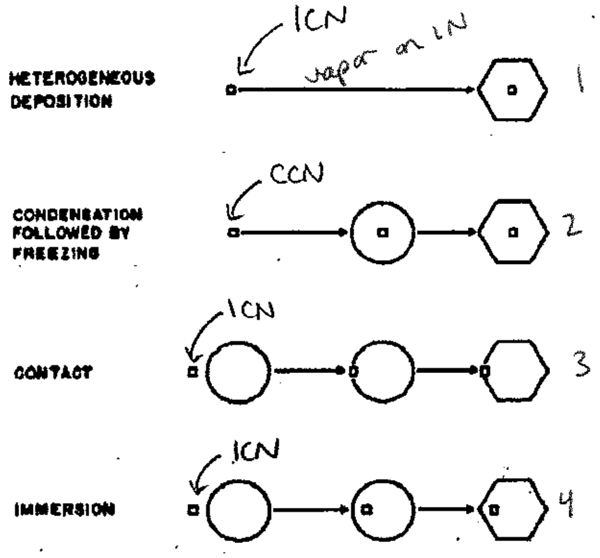
Kollisjon bare mellom små dråper, se 2. fig. s.142

nei a) the first term on the right represents growth by auto-conversion.
nei b) the factor ½ in the first term on the right is due to competition for available vapour.
X c) the deterministic solution corresponds to an average value of $n(v,t)$ over many realizations.
nei d) the second term on the right represents accretion and self-collection. Uttrykker hvor mange små dråper med volum i [v, v+dv] som blir slukt av store dråper per tid per volumenhet.
nei e) statistical / stochastic effects are ignored. Ingen forenklinger!

↳ kollisjoner mellom to dråper skal ikke telles to ganger, derfor ½

↳ første leddet på høyre side uttrykker endring/økning i dråpekonsentrasjonen av dråper i intervallet [v, v+dv] pga koalisens mellom par av mindre dråper som tilsammen blir i (v, v+dv)

Problem 7



ICE NUCLEATION MECHANISMS

Fig 9.1 p152

1, 3, 4 viktige: avh. av skyens historie og omliggende forhold. Dårlig kjent hva som dominerer når

The above figure shows schematically the different ways in which atmospheric ice nuclei can account for ice formation. How important are these mechanisms in nature?

nei a) None of the 4 mechanisms shown here are important, because ice crystals usually form by homogeneous freezing. → men gjør det for T < -40°C

nei b) The first mechanism (heteorogeneous deposition) is not important, because a droplet has to form before freezing can take place.

X c) The second mechanism (condensation followed by freezing) is not important, because good CCN are usually not good IN, and vice versa.

nei d) The third mechanism (contact freezing) is not important, because a high energy barrier must be overcome for contact freezing to take place.

nei e) The fourth mechanism (immersion freezing) is not important, because it is highly unrealistic that ice nuclei can become immersed in cloud droplets.

The ICN have properties that makes freezing onto them easy, e.g. crystalline ice-like molecular structure.

MIDTERM 2009

s. 4:5

$$CKE = \frac{1}{2} M (u(R) - u(r))^2, \quad M = \frac{4}{3}\pi \rho_L \frac{R}{1+\gamma^3}, \quad \gamma = \frac{R}{r}$$

$$= \frac{4}{3}\pi\rho_L (R^3 + r^3) \text{ rekkeutvikling gir}$$

$$= \frac{1}{2}\cdot\frac{4}{3}\pi\rho_L \frac{R^3}{1+\gamma^3}(\Delta u)^2$$

$$= \frac{2}{3}\pi\rho_L \frac{R^3}{1+\gamma^3}(\Delta u)^2$$

Store dråper dannes pga kollisjoner og koal. av mindre dråper. Når så store dråper kolliderer med andre dråper blir den kollisjons-kinetiske energien (CKE) så stor at dråper sprekker opp via prosessene beskrevet av Low and List (1982).

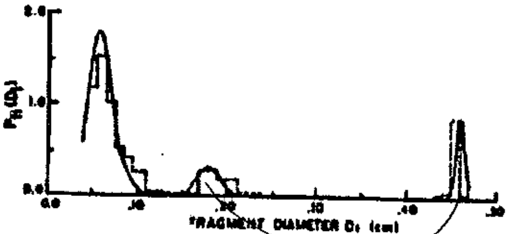
Problem 8

a) Rain drops up to about 10 mm in diameter have been observed, but larger sizes are very infrequent. What is the main reason for that?

~~Eller: Spontan oppsplitting når luftmotstand > overflatespenning~~ Rayleigh-Taylor instabilitet?

b) What does the figure below show? s. 178

Dråpefordelingen etter ulike typer oppsplitting (kollisjoner), hvor vi starter med én stor og én liten dråpe.. for de ulike prosessene beskrevet av Low og List.



De to opprinnelige dråpene

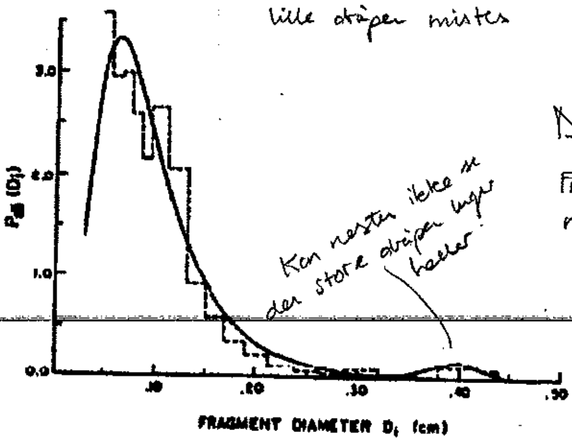
Halsoppsplitting: Stryker borti hverandre, halsen går i oppløsn. og smådråper lages..

Neck/fillament breakup, takes place in glacing collisions. The identity of both the original drops (D=0,46 cm and D=0,18 cm) is intact, but in addition we get a large number of smaller droplets.

Identiteten til den lille dråpen mistes

Skiveoppsplitting: Den ene dråpen river et stykke av den andre s.a. en stor dråpe fortsatt blir igjen. Høyere CKE.

Sheet breakup, which involves more CKE than neck breakup. The identity of the large drop is intact, while the identity of the small drop is lost. A number of smaller drops is formed.



Kan nesten ikke se den store dråpen lenger

Diskoppsplitting: Frontkollisjon, treffer midt på hverandre

Disk breakup, 'head on' collisions. The identity of both the original drops are lost and a large number of small droplets with differing sizes is formed.

c) Explain all the symbols in the following equation:

$$E_T \equiv CKE + 4\pi\sigma(r^2 + R^2) - 4\pi\sigma(r^3 + R^3)^{2/3}$$

- E_T: total energi
- CKE: kollisjons-kinetisk-energi (s. 176: collisional kin. energy of the drop pair relative to its center of mass.)
- σ: overflatespenning – surface energy per unit area.
- R, r: radius på to kolliderende dråper

Overskudds-overflateenergien pga. reduksjon i overflateareal når to dråper slår seg sammen [Energi frigjøres når det totale overflatearealet reduseres]

d) What does this equation express (physically)?

Høy CKE gir høy E_T, som gir lavere koalesens-effektivitet $\mathcal{E}$, s. 177

e) What is the relationship between the equation and the figure?

→ Stor CKE: alle typer oppsplitting kan forekomme

Mindre CKE + liten γ: kun halsoppsplitting

Veldig liten CKE: koalesens såfremt E_T kan dissiperes via vannets bevegelser inni dråpen

- Veldig små CKE: coalescence
- "Midt" CKE og små γ: fillament breakup
- Høy CKE: alle typer kan inntreffe avh. av point of impact.

E_T inngår som ledd av "koalesensfraksjonen / effektiviteten". Denne må være lav om vi ikke skal ha oppsplitting (Høy = oppsplitting). Hvilken type oppsplitting vi får avh. av CKE og $\gamma = \frac{R}{r}$ og derfor E_T.

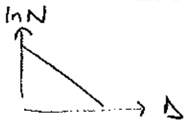
Om E_T kan dissiperes via oscillasjoner og deformering av total dråpe og intern sirkulasjon av vann inni dråpen, får vi ikke oppsplitting.

Problem 9

a) What is meant by "a Marshall-Palmer distribution"? Set up the equations that define this distribution. Explain all the terms in the equations.

b) When is the Marshall-Palmer distribution applicable?

c) What are the main similarities and differences between the results of Marshall & Palmer (1948) and of Gunn & Marshall (1958)?



a) Når størrelsesfordelingen av nedbørspartikler har en negativ eksponensiell form har vi en M-P fordeling. Empirisk.

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$$

D: partikkelens diameter

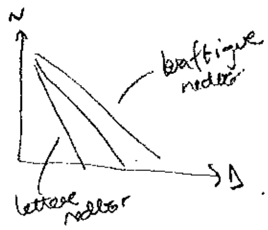
$N_0 = 0.08\ cm^{-4}$ (empirisk, skjæringspunktet i figuren). Konstant!

slope factor, enhet cm^{-1}: $\Lambda(R) = 41 R^{-0.21}$, hvor R: nedbørsintensitet i mm/h

$N(D)$: antall dråper med radius D per enhets volum

b) For kontinental luft med stratiform/kontinuerlig nedbør

(D: Jo større dråpediameter, des færre er det av dem
D: Jo mer intens nedbør, des flere større dråper..)



c) G&M fant en liknende eksponensiell avh. mellom D (diameter til smeltet snøflak) og R, men dette var en størrelsesfordeling av snøflak og ikke regndråper.

Fant $\Lambda(R) = 25.5 R^{-0.48}$ — 1) Høyere enn for regn, så større avh. av R-intensiteten (flatere kurve). For f.eks. R = 1 mm/h gir G&M største partikler.

$N_0(R) = 0.038 R^{-0.87}$ — 2) N_0 er ikke konst. for snø, men avhenger også av R... (avtar med R så blir veldig liten for kraftig nedbør)

Similarities:

- In both cases the number of particles falls rapidly with increasing size.
- In both cases approximately straight lines are obtained when the spectra are displayed in a semi-logarithmic plot, i.e. log N vs D. p 172.

Diff:

- intercept parameter is constant in Marshall-Palmer, but decreasing function of precip rate in the Gunn & Marshall formulation, yielding a smaller number of very small particles in the latter case.
- Slope parameter more sensitive to the precip rate in Gunn & Marshall, meaning that for a given precip rate (e.g. 1 mm/h) the particles are generally somewhat larger in the G&M formulation for snow than in M&P for rain.