



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Aerosolpartiklar och hur man mäter dem

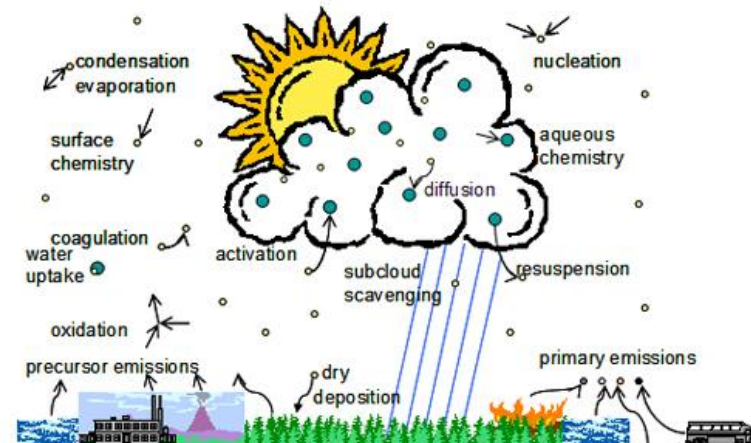
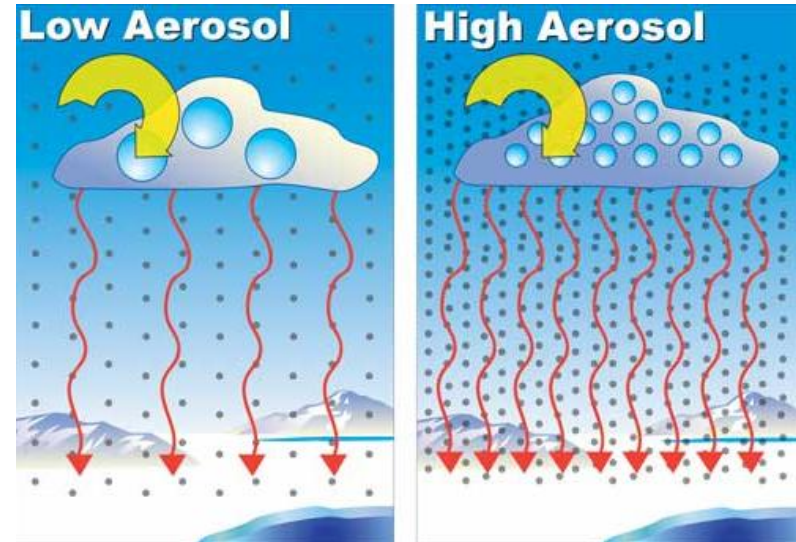
John Backman





Föredragets innehåll

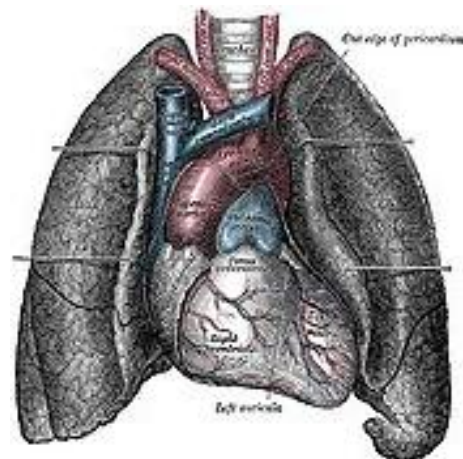
- Allmänt
- Källor
- Storleksfördelningar
- Grundläggande fysik
- Optiska egenskaper
- DMA/DMPS
- CPC
- PSAP
- Nephelometer
- Forskning
- Källor





Allmänt

- Aerosol är en blandning av luftburna droppar eller partiklar i en gas, vanligen luft.
 - Kontorsluft $\sim 1000 \text{ cm}^{-3}$
 - Vid en vältrafikerad väg $\sim 60\,000 \text{ cm}^{-3}$
 - Vid en laserprinter $\sim 100\,000 \text{ cm}^{-3}$ (VOC vanligen)
 - Ett vanligt andetag är på 500 cm^3 och 15 ggr / minut

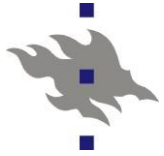




Allmänt

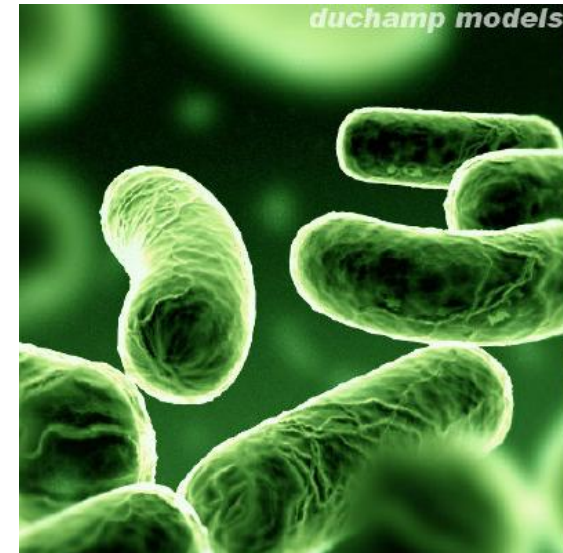
- I över hundra år har aerosolpartiklars hälsoeffekter intresserat forskare.
- Aerosolpartiklar kan användas inom läkemedelsindustrin eftersom de minsta partiklarna kan ta sig direkt in i blodomloppet
- Inga moln under RH ~200% utan aerosolpartiklar.





Allmänt

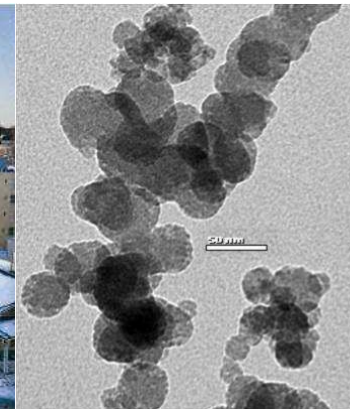
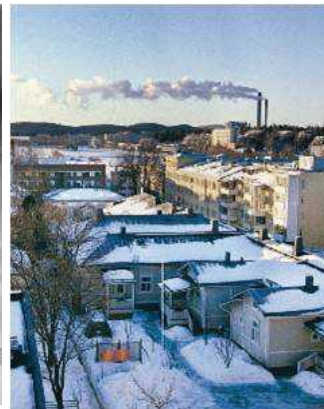
- Hypoteser om att aerosoler har varit grunden till liv har presenterats.
- Redan de gamla grekerna märkte att stendamm och asbest är skadar lungorna (alveolerna) hos slavar





Källor

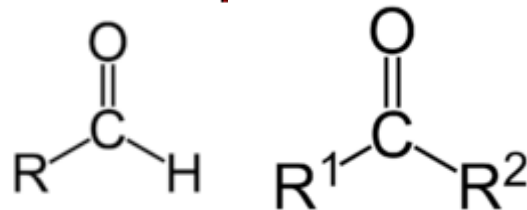
- Aerosolpartiklar kan introduceras i atmosfären som primära partiklar som pollen, avgaser, havssalt, damm, rök, vulkanisk aska mm.

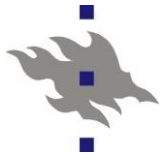




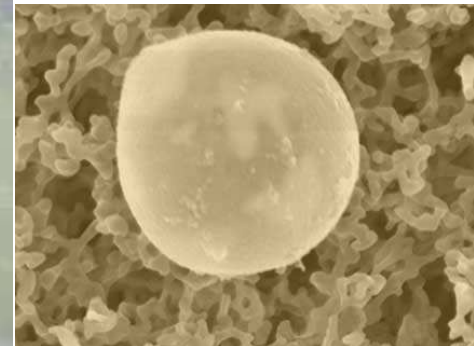
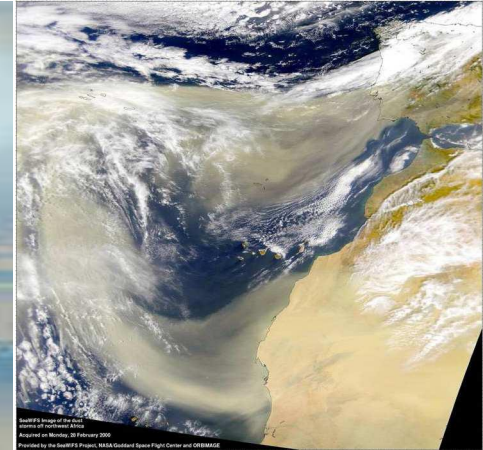
Källor

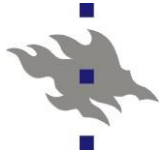
- Aerosolpartiklar kan också skapas i atmosfären och då kallas de för sekundära aerosolpartiklar. Dessa kan vara VOC (aldehyd, keton), svaveloxider, kväveoxider, ammoniak mm.
 - VOC definieras i Europa som en kemisk förening baserad på kol som har en kokpunkt under 250C @ STP. VOC reagerar med OH radikaler som sänker ångtrycket (*eng. vapour pressure*) så att partiklar kan skapas.





Källor





Grunder

- Aerosolpartiklar är luftburna partiklar från några nanometer till ca. 100 mikrometer
- Aerosolpartiklarnas volym sträcker sig över 15 storleksordningar
 - Jämförbart med en luftballong och jorden
- Sätter stora krav på instrumenten som mäter dem





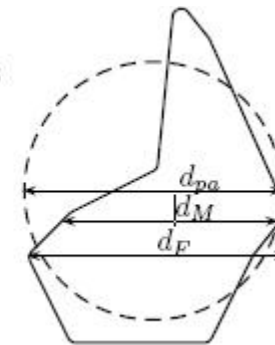
Grunder

- Aerosolpartiklar kan beskrivs med hjälp av diameter
 - Nanopartiklar har en diameter på under 50 nm
 - Ultrasmå partiklar har en diameter under 100 nm
 - Små partiklar har en diameter på 0,1 – 2 μm
 - Grova partiklar har en diameter på 2 – 100 μm
 - Dessa definitioner är inte standardiserade och varierar i litteraturen.

Some representative diameters d_p of typical aerosol particles and related objects

Type	d_p (nm)	Type	d_p (μm)
"Air molecule"	0.37	<i>E. coli</i> (bacterium)	0.8
Fullerene C_{60}	1	Talc	10
Metal oxide fume	50	Flour dust	20
Sea-salt particle, CCN ^a	100	Drizzle or cloud drop	100
Tobacco smoke	250	Raindrop	500

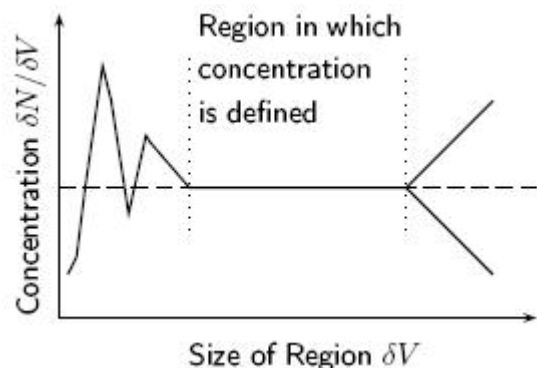
^a cloud condensation nucleus





Grunder

- Aerosolpartiklar kan beskrivs med hjälp av koncentration
 - Koncentrationen kan vara massa koncentration, partikel koncentration mm.
- Koncentrationen kan inte bestämmas med säkerhetifall man har för få partiklar ($dN \ll 1$) eller om man har allt för stora volymer eftersom koncentrationen kan vara lokal
 - Man kan inte heller sampla allt för fort eftersom det inverkar negativt på dN



$$n = \frac{\delta N}{\delta V}$$

$$C = \frac{\delta m}{\delta V}$$

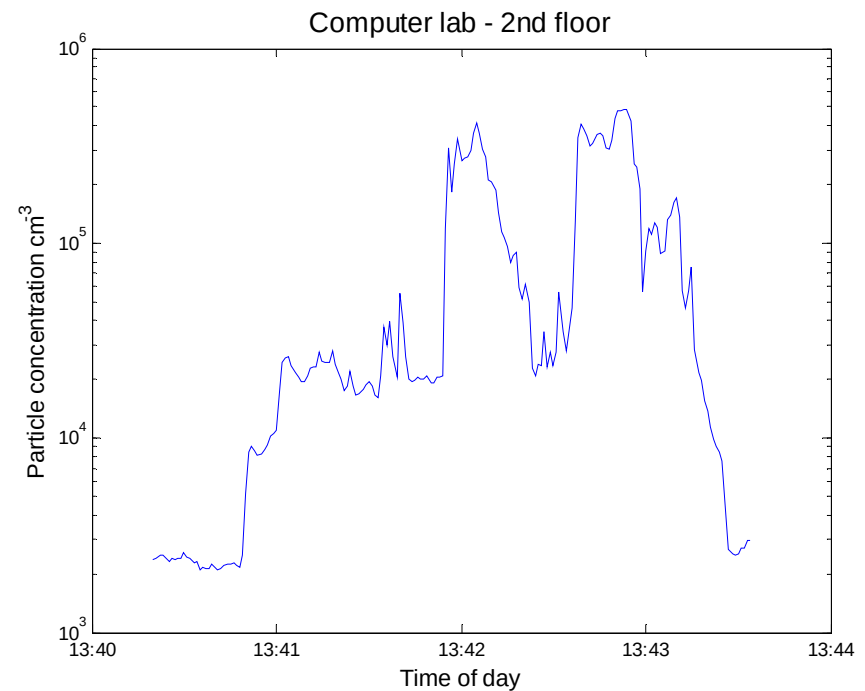


Grunder

- Exempel på olika partikelkoncentrationer
 - PM10 är partiklar som har en aerodynamisk diameter $< 10\mu\text{m}$
 - PM2.5 är partiklar som har en aerodynamisk diameter $< 2.5\mu\text{m}$

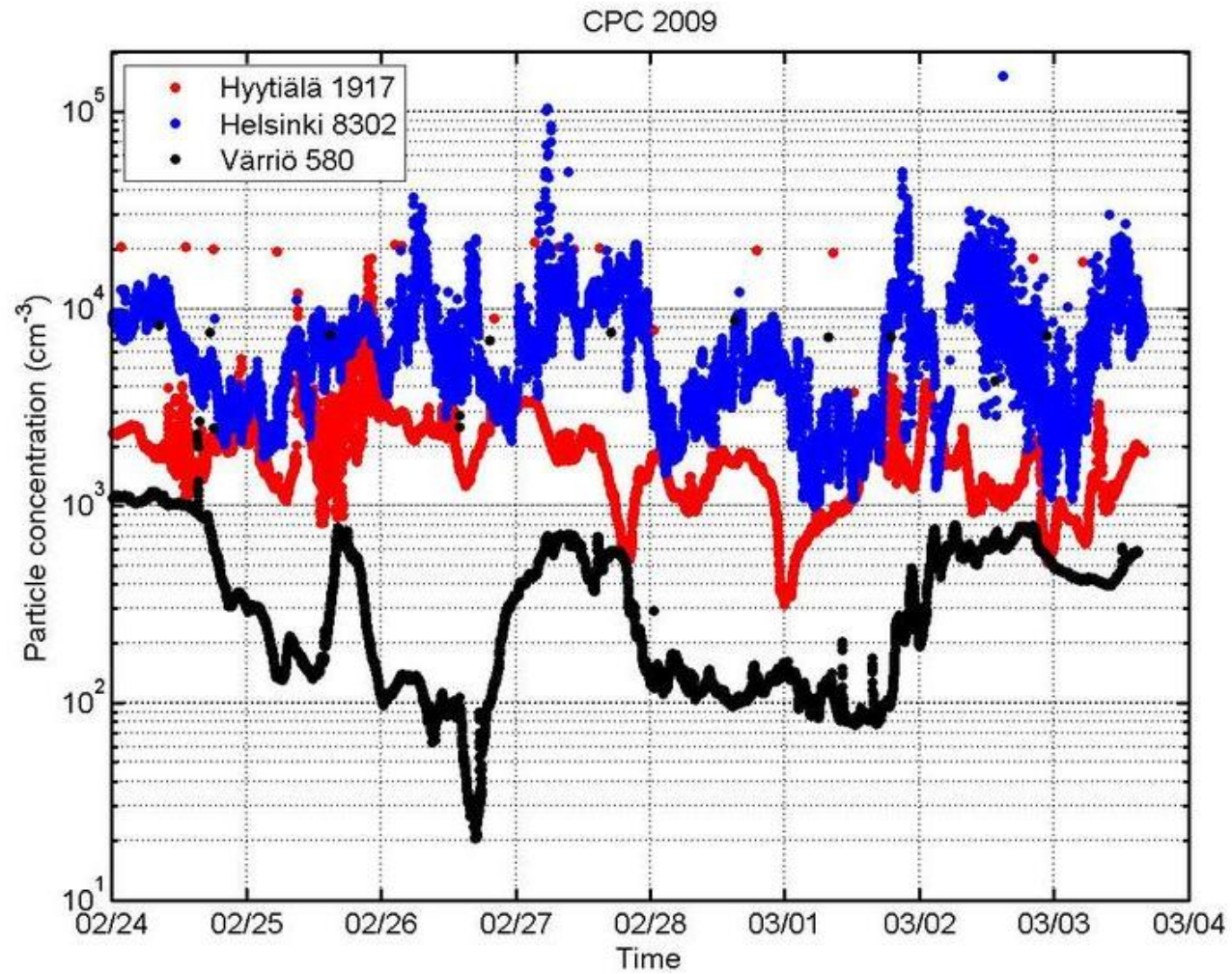
Orders of magnitude of typical aerosol mass concentrations.

Aerosol	C (mg/m ³)
Dust storm	1000
Fog	10
Threshold limit value for nuisance dust	1
Polluted air	0.1
Clean background air	0.01





Grunder





Storleksfördelningar

- Eftersom en partikels egenskaper varierar beroende på dess storlek är det önskvärt att känna till storleksfördelningen och inte endast koncentrationen av partiklarna
- Endast koncentrationen säger inte så mycket om helheten
- Storleksfördelningen på partiklarna inverkar t.ex. på hur de upptas i lungorna, hur de sprider och absorberar ljus samt vilka processer som sker i luften

Läpimitta [μm]	ΔN [hiukkasta/ cm^3]	Kumulatiivinen [hiukkasta/ cm^3]
0.1 - 0.2	50	50
0.2 - 0.4	460	510
0.4 - 0.7	1055	1565
0.7 - 1.0	980	2545
1.0 - 2.0	1705	4250
2.0 - 4.0	680	4930
4.0 - 7.0	102	5032
7.0 - 10.0	10	5042
10.0 - 20.0	2	5044



Storleksfördelningar

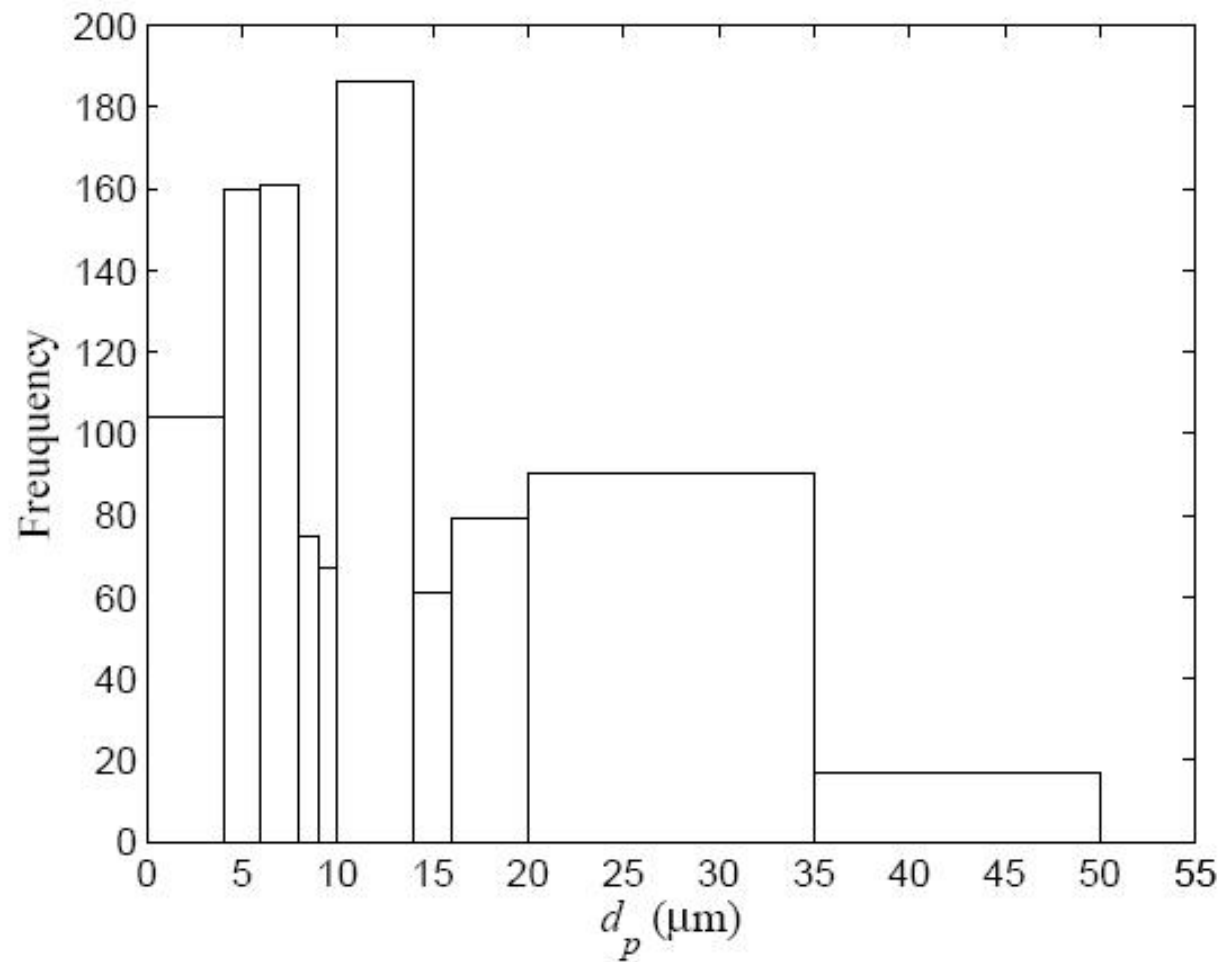


Figure 1: Histogram of frequency vs. particle size.



Storleksfördelningar

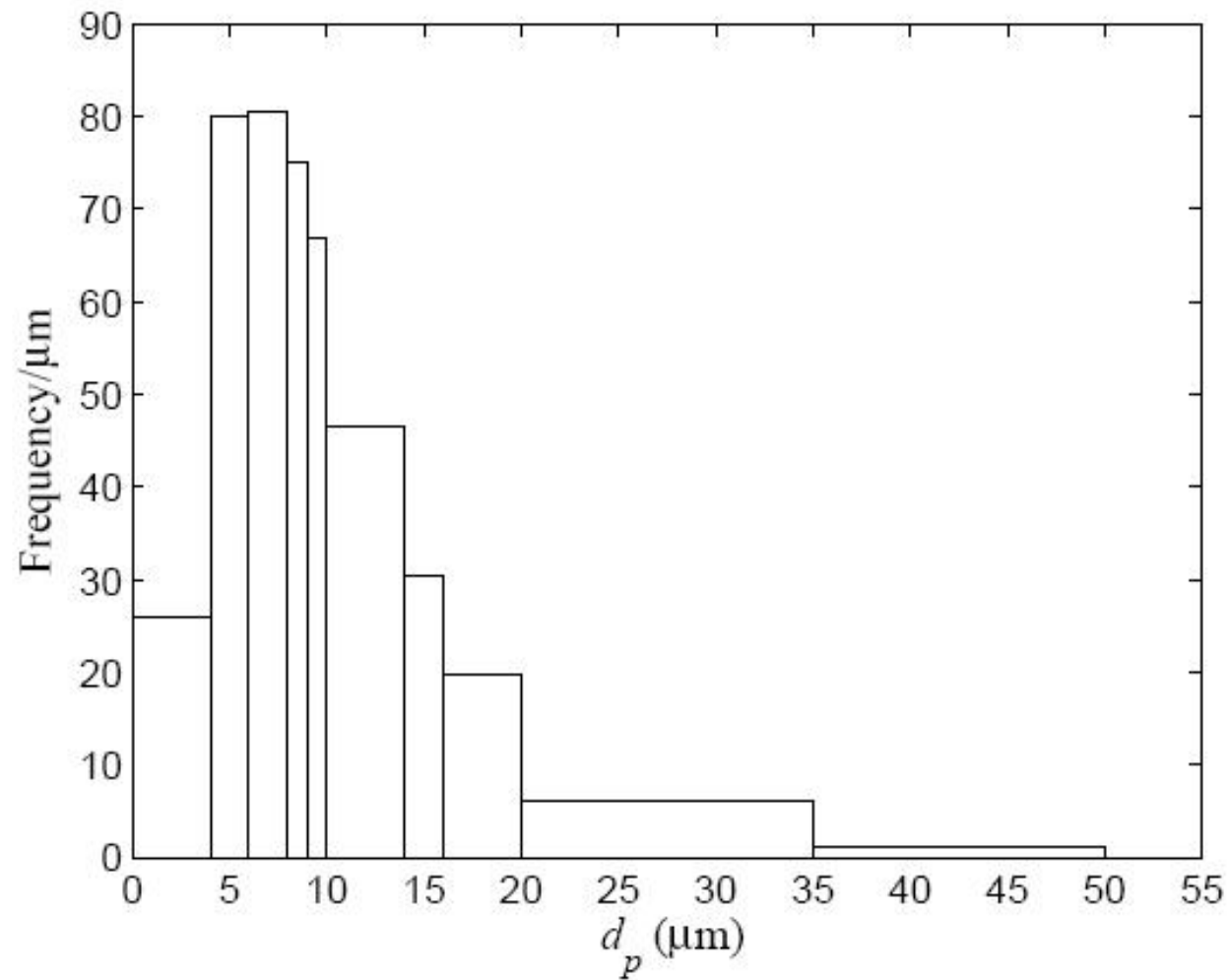


Figure 2: Histogram of frequency/ μm vs. particle size.



Storleksfördelningar

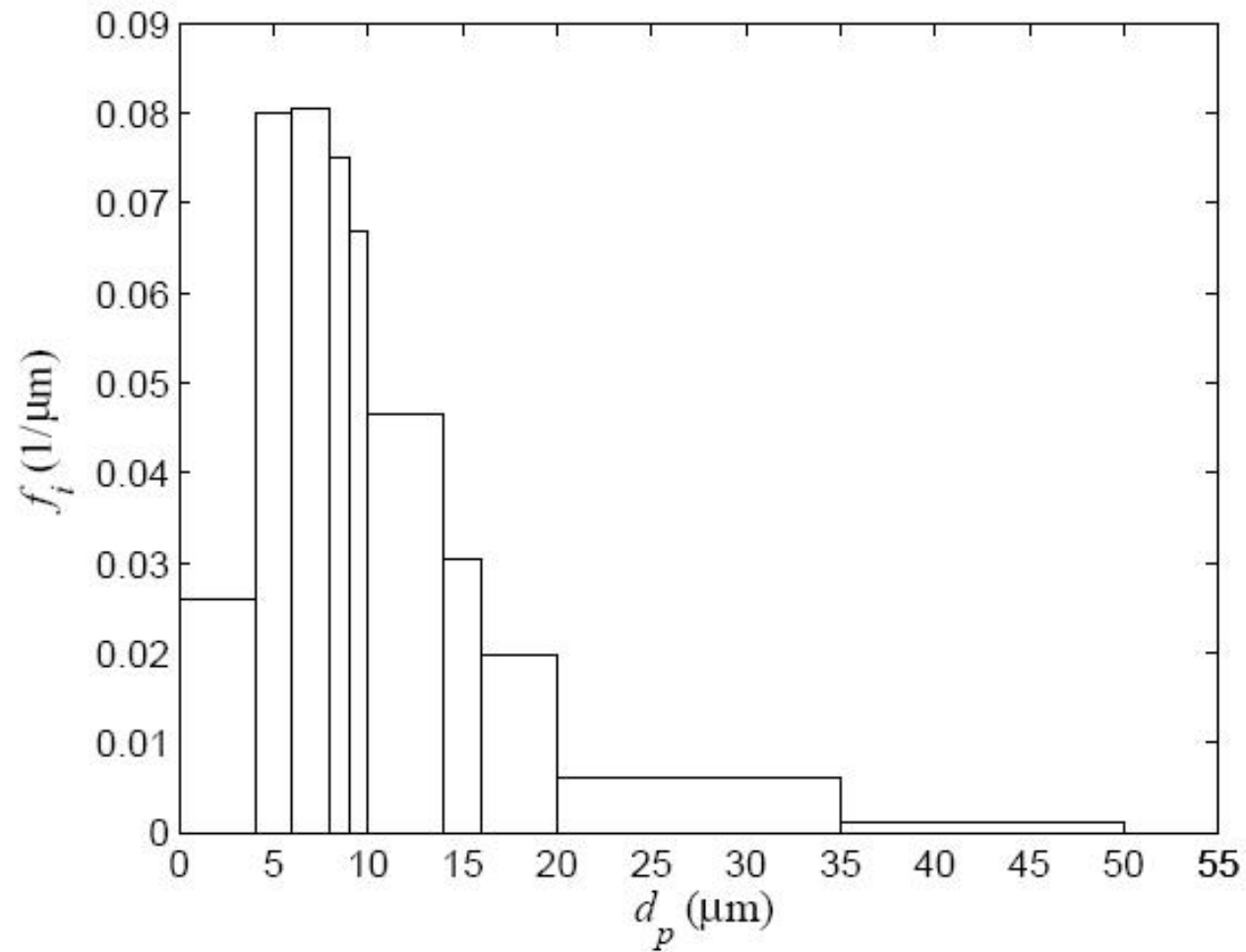
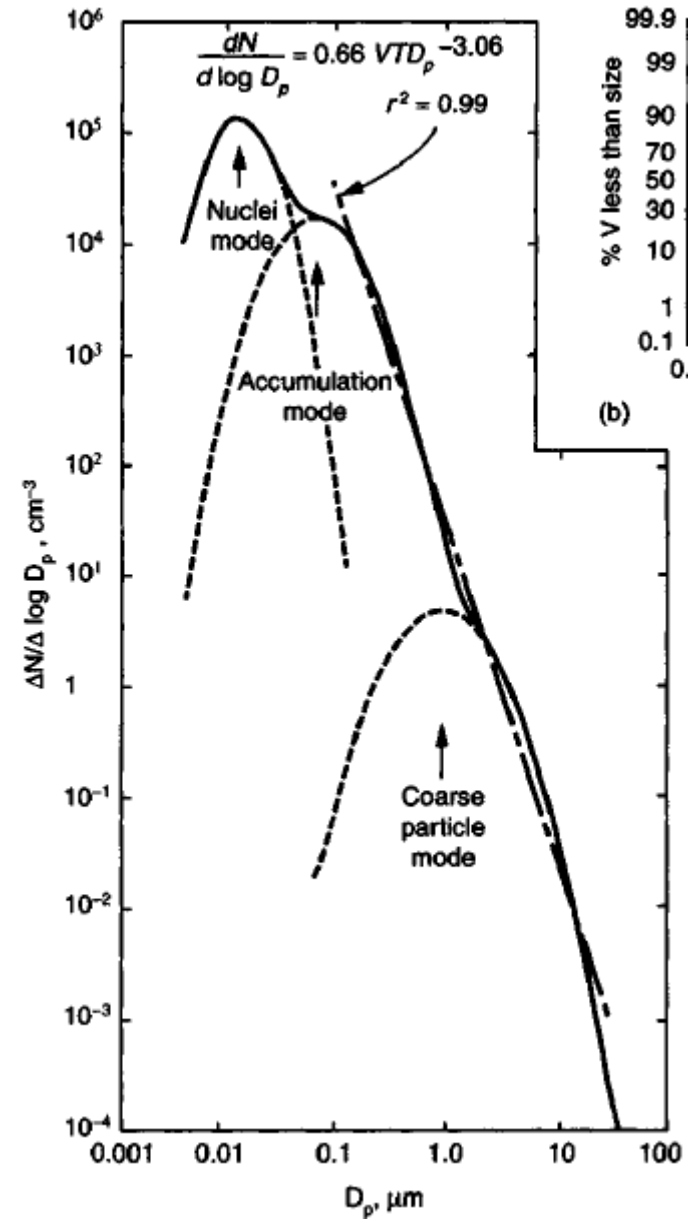


Figure 3: Discrete size distribution function f_i of particles.



Storleksfördelningar

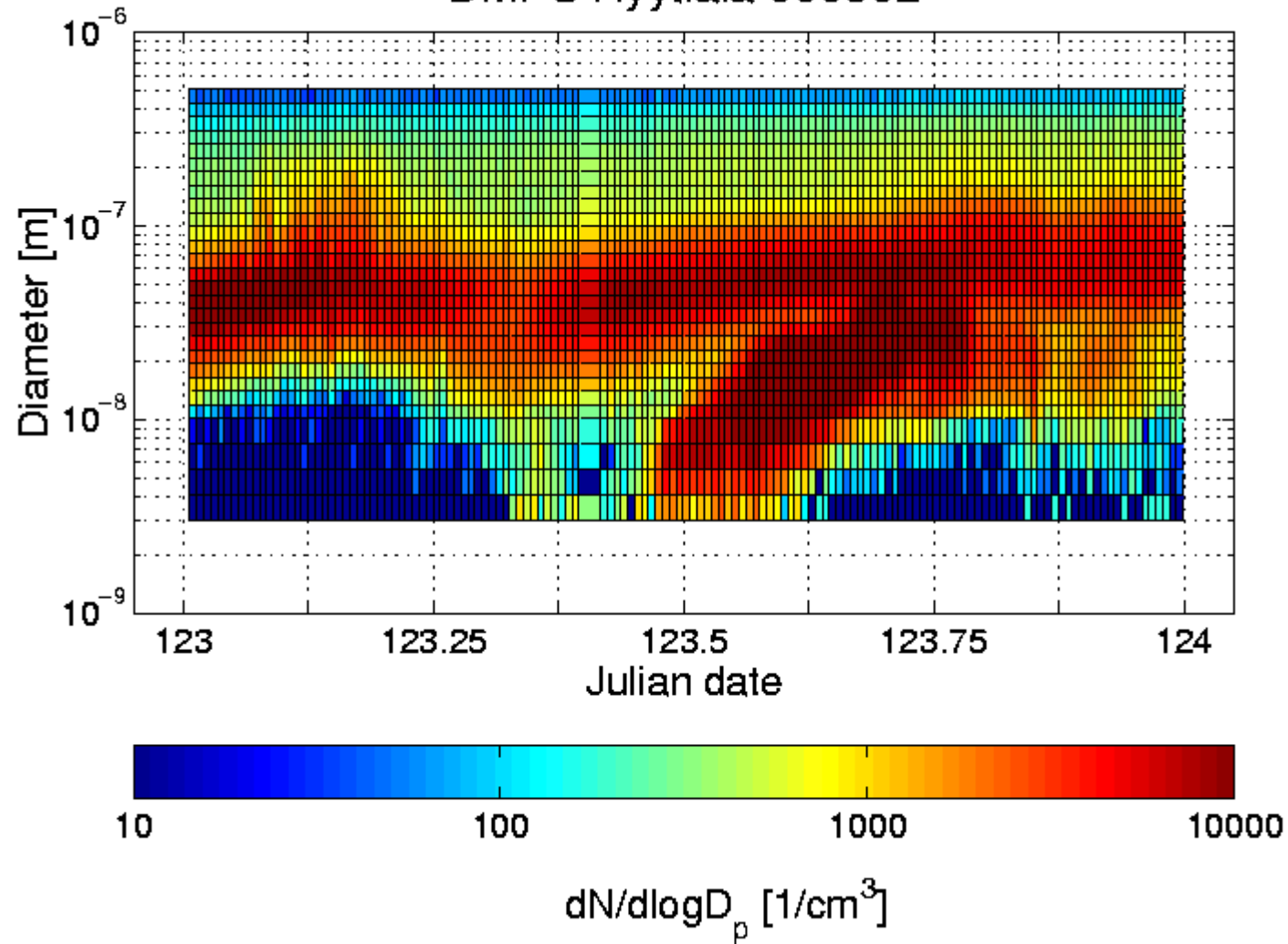
- Storleksfördelningen skvallrar om vad som sker i luften
- Tidsskalorna för processerna kan vara långa (timmar)





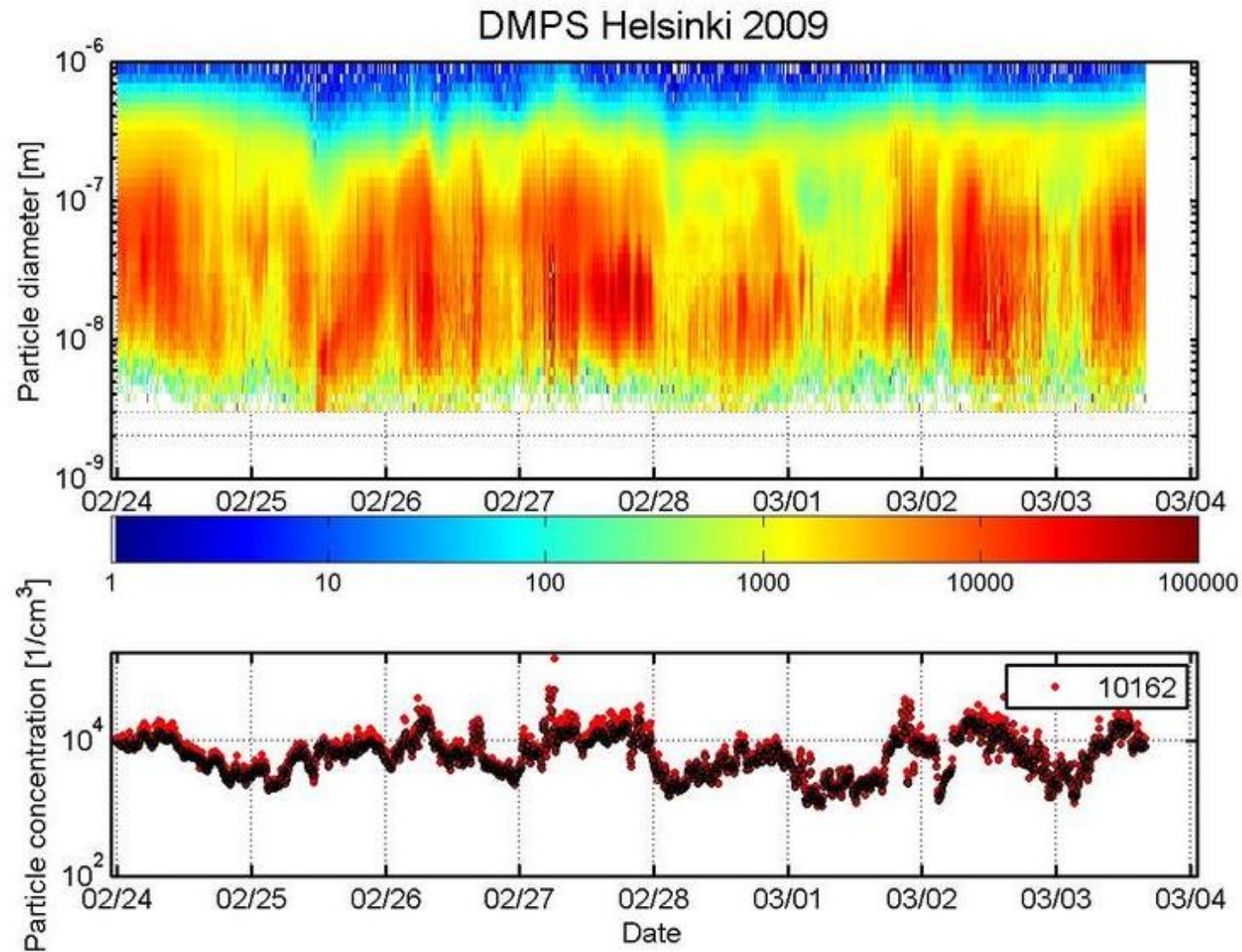
Storleksfördelningar

DMPS Hyytiälä 000502



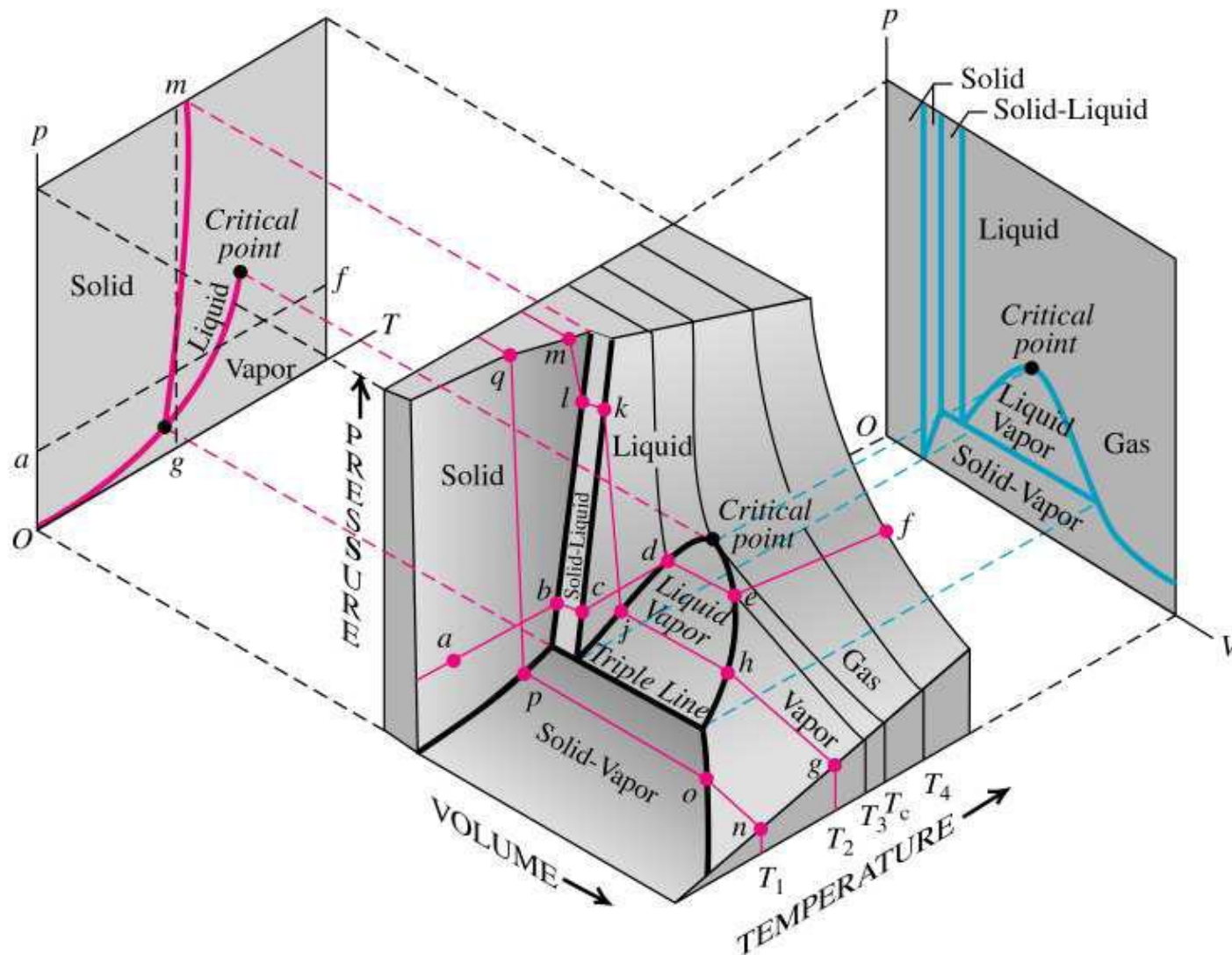


Storleksfördelningar





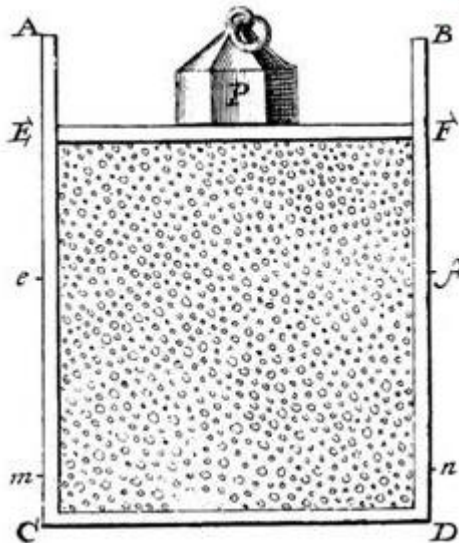
Grundläggande fysik





Grundläggande fysik

- Grunderna för hur aerosolpartiklar rör sig förstås med hjälp av den kinetiska gasteorins postulat:

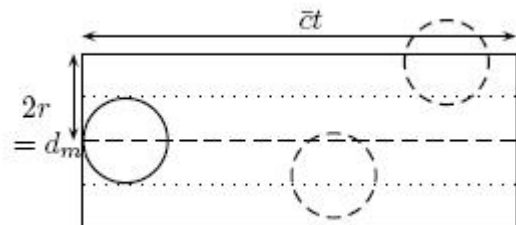


- PI Gasmolekylerna är punktlika sfäriska objekt med massan m dvs. volymen som en molekyl upptar kan försummas i jämförelse till den totala volymen
- PII Förutom genom elastiska kollisioner växelverkar molekylerna inte med varandra.
- PIII För att kunna göra en observations behövs det så många molekyler så att ett statistiskt medelvärde kan användas
- Från detta får man att molekylerna rör sig i raka banor, utan att växelverka mellan kollisionerna samt att molekylerna kolliderar så ofta att sedimentering inte förekommer



Grundläggande fysik

- Från den kinetiska gasteorin kan man härleda partialtrycket för gaser, den fria medelvägen för en partikel i en gas, kinetisk energi och temperatur.



$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n \pi d_m^2}$$

- Den fria medelvägen beror inte enbart på temperaturen utan också på koncentrationen n via trycket
- Karakterisering av en aerosolpartikel med Knudsen nummer
 - $Kn \ll 1$ kontinuitets området
 - $Kn \sim 1$ transitions området
 - $Kn \gg 1$ partikeln beter sig som en gasmolekyl

$$Kn = \frac{2\lambda}{d_p}$$

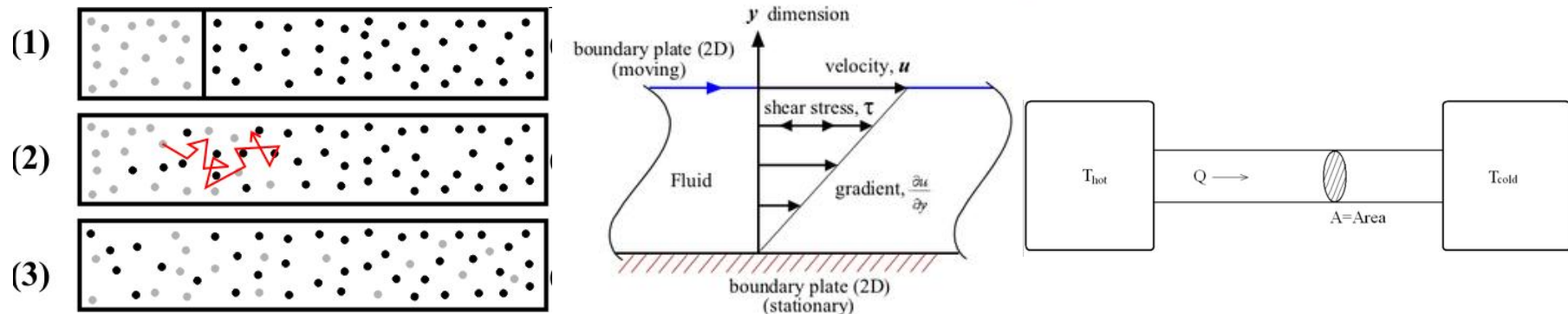


Grundläggande fysik

■ Transport fenomen

$$J = -k_Y \nabla Y$$

- Diffusion ifall Y är masskonsentration och $k_Y = D_{ba}$ som är diffusionskoefficienten för systemet
- Rörelsemängds transport ifall Y är rörelsemängd och $k_Y = \eta$ som är viskositets koefficienten.
- Transport av värme (energi) ifall Y är temperatur och





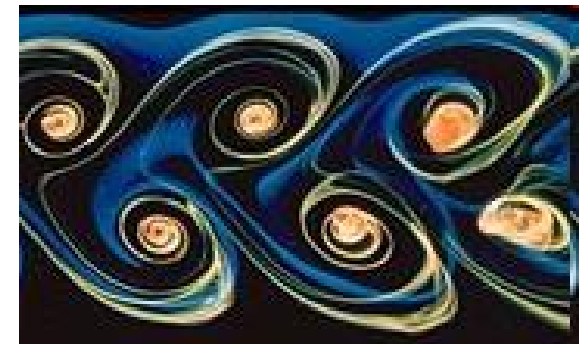
Grundläggande fysik

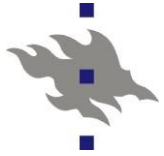
■ Reynolds nummer:

- Beskriver hur flödet runt en kropp beter sig
- Förhållandet mellan tröghetsmoment och viskos krafter
- $Re \gg 1$ ger turbulent flöde
- $Re \ll 1$ ger laminärt flöde
- Reynolds nummer används för att karakterisera partiklar som rör sig i en gas



$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$





Grundläggande fysik

■ Partikel dynamik

- Newton härledde luftmotståndet för en kanonkula som bromsas av luftpartiklarnas tröghetsmoment

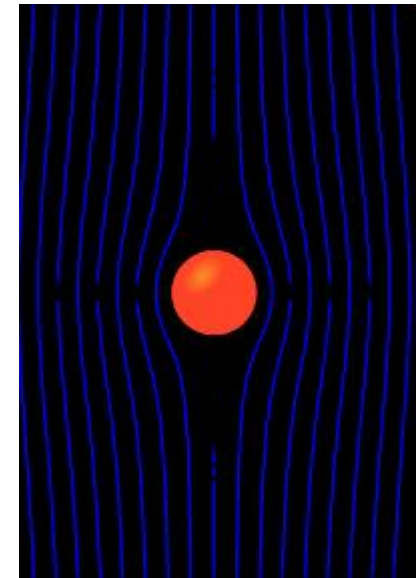
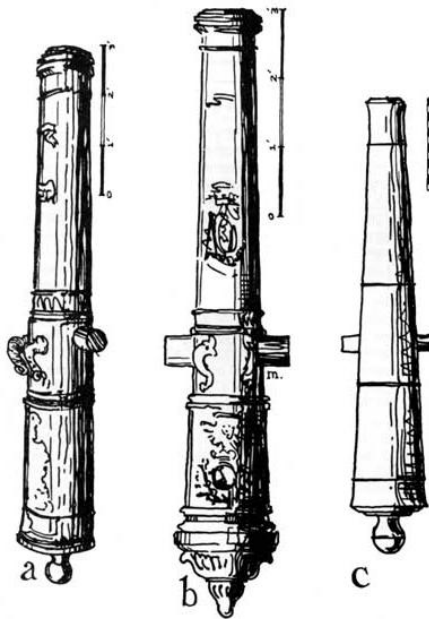
$$F_D = \frac{C_D d_p^2 \pi \rho V^2}{8}$$

$$C_D = \frac{24}{Re}, \quad Re < 0.1$$

$$C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3Re}{16} + \frac{9Re^2 \ln^2(2Re)}{160} \right), \quad 0.1 < Re < 2$$

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.15Re^{0.687}), \quad 2 < Re < 1000$$

$$C_D = 0.44, \quad 1000 < Re < 1 \cdot 10^5.$$



- Stokes ekvation som är en lösning till Navier-Stokes ekvation beskriver en partikel vars framfart hindras av viskosa

$$F_D = 3\pi\eta V d_p$$



Grundläggande fysik

■ Slinkfaktorn C_c

- Eftersom en liten partikel inte känner av ett kontinuerligt bombardemang av gasmolekyler så kommer den att lättare kunna slinka sig förbi molekylerna.

$$F_D = \frac{3\pi\eta V d_p}{C_c},$$

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d_p} \left(2.34 + 1.05e^{-0.39d_p/\lambda} \right)$$

- För en 1 μm partikel är C_c redan 1,15



Grundläggande fysik

■ Ickesfäriska partiklar

- För Icke sfäriska partiklar så introduceras en dynamisk storleksfaktor

$$F_D = 3\chi\pi\eta V d_e$$

Dynamic shape factors χ for various particle shapes

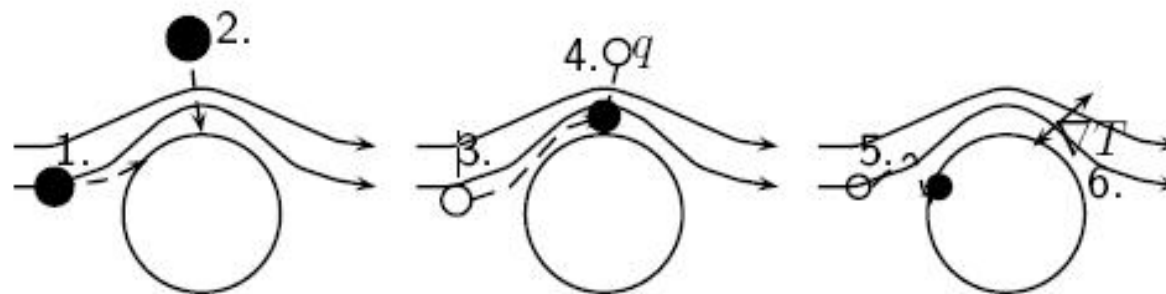
Shape	χ
<i>Geometric shapes</i>	
Sphere	1.00
Cube	1.08
Cylinder, length/diameter = 4	
– axis vertical	1.07
– axis horizontal	1.32
Cluster of spheres	
– 2 chain	1.12
– 3 chain	1.27
– 3 compact	1.15
– 4 chain	1.32
– 4 compact	1.17
– 5 chain	1.45
– 5 compact	1.19
<i>Dusts</i>	
Bituminous coal	1.05–1.11
Quartz	1.36
Sand	1.57
Talc	1.88



Grundläggande fysik

■ Deposition

1. Kollision
2. Sedimentering
3. Genskjutning
4. Elektromagnetisk växelverkan (Culomb och L-vdW)
5. Browns rörelse
6. Termophoresis

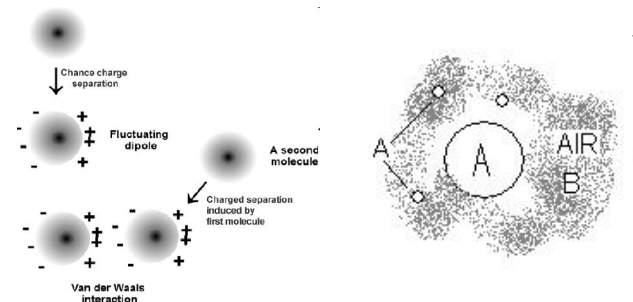
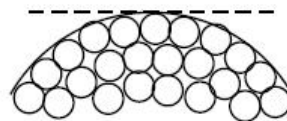
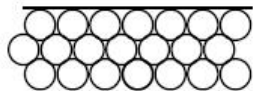


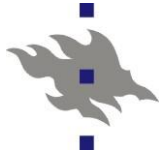


Grundläggande fysik ...

■ Övriga områden:

- Vätskedroppar faller snabbare än fasta partiklar.
- Laddade aerosolpartiklar är instabilare än neutrala pga laddningsrepulsion
- London-van der Waals krafter gör aerosolpartiklarna "klibbiga"
- Kelvin effekten
- Nukleation, kondensering (molekyl, transitions, kontinuitets regimen), coagulering



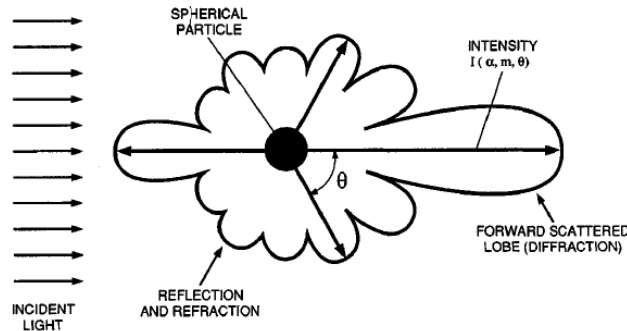


Optiska egenskaper

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

- Rayleigh-spridning då partiklarna har en storleksparameter på $x \ll 1$. För HeNe (röd) laser 633 nm $\rightarrow R \ll 0,2 \mu\text{m}$
 - Spridning av ljus av bundna elektroner
 - Spridningen är starkt våglängdsberoende λ^{-4}
 - Blått ljus sprider sig mycket mera än rött ljus
 - Sätter stora krav på mätutrustningen
 - För starka lampor kan resultera i att partiklarna förångas



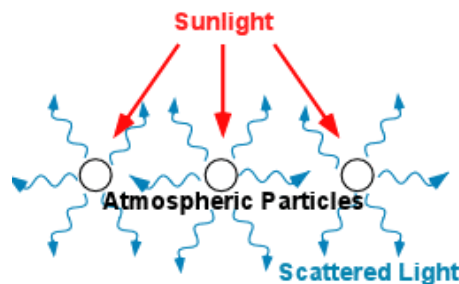


Optiska egenskaper

- Lorenz-Mie spridning då partikelstorleken är i samma storleksordning som det inkommande ljusets våglängd

- d_p typ 0,1 – 1 μm , $x \sim 1$
- Mie spridning är icke lineär och icke trivial
- Mie spridning är orsaken till att himlen nära solen är vit
- Mie spridning är orsaken till att moln är vita ($d_p \sim 20 \mu\text{m}$)

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$



$$\sigma_{sp}(\lambda) = \int Q_{sp}(\lambda, D_p) \frac{\pi D_p^2}{4} n(D_p) dD_p$$

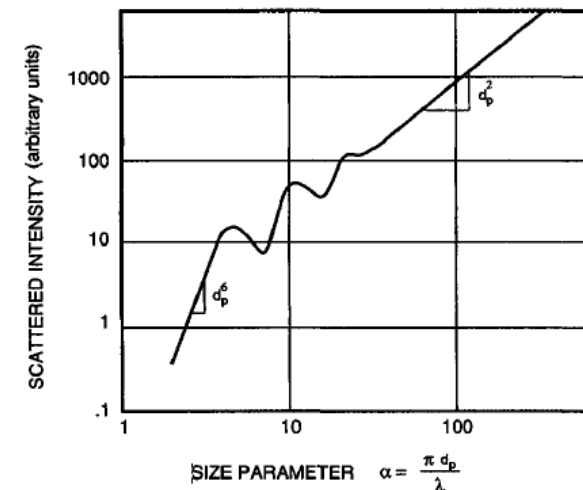
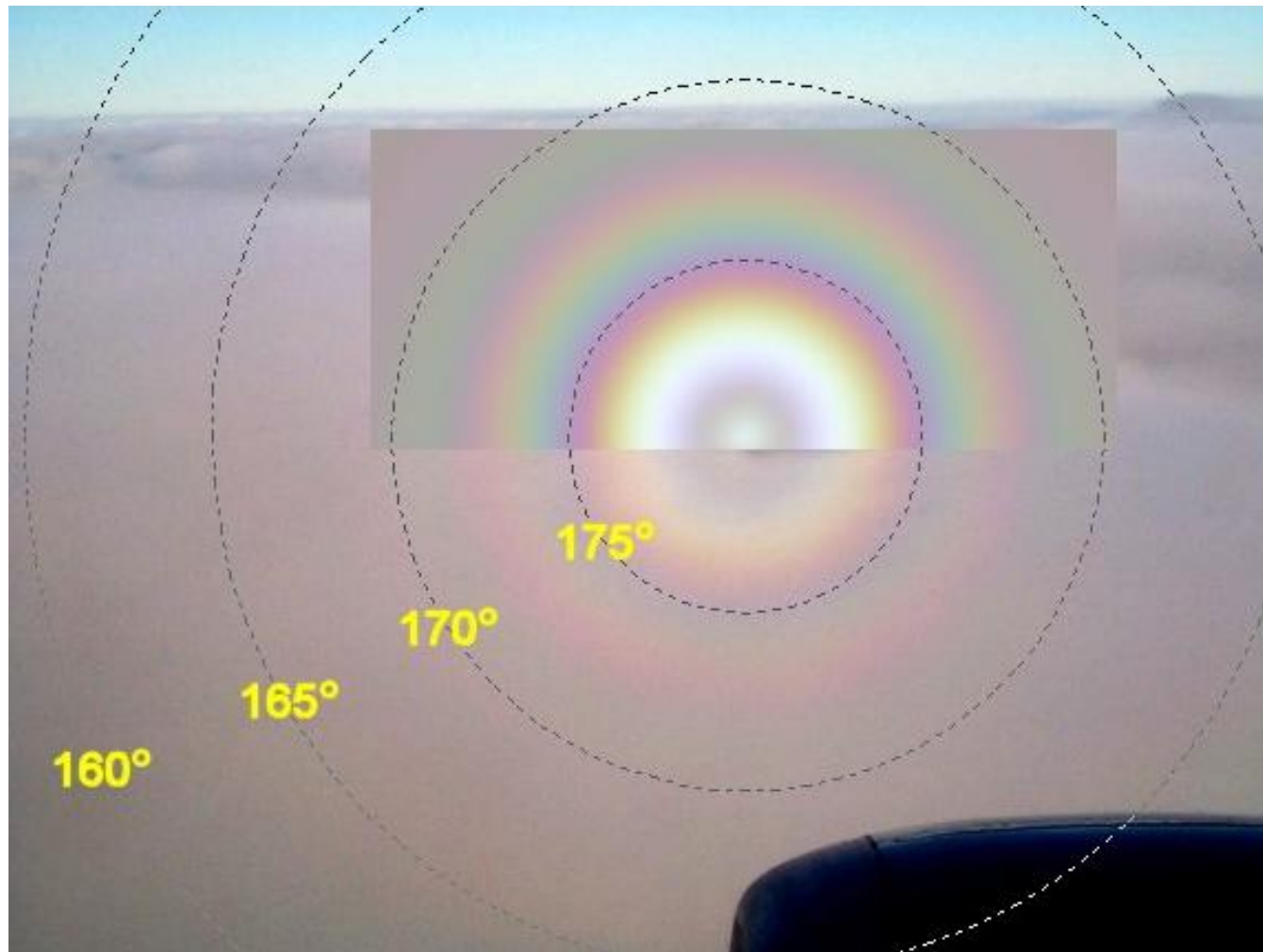


Fig. 16-2. Lorenz-Mie scattering response curve.

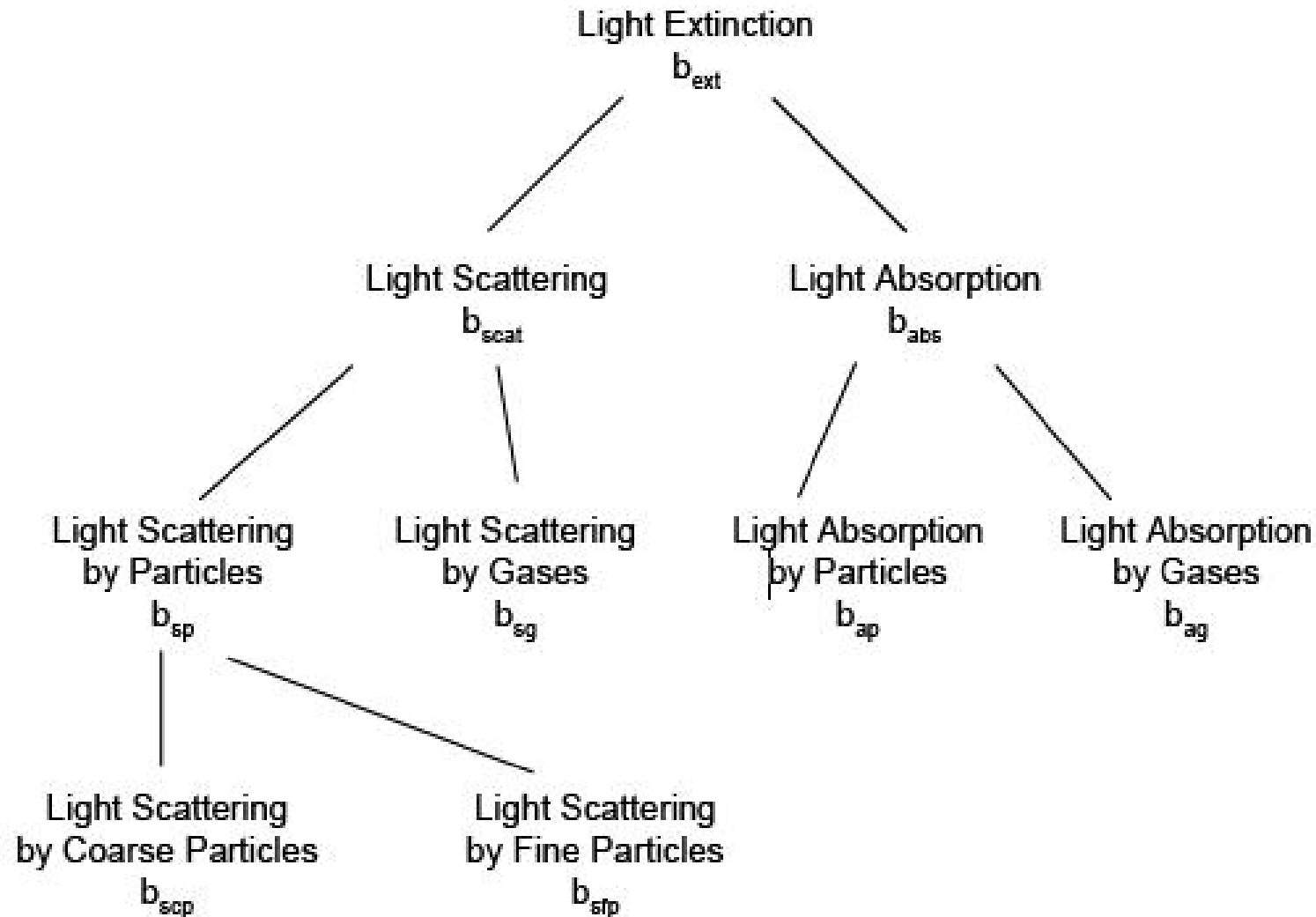


Mie simulering (www.philiplaven.com)



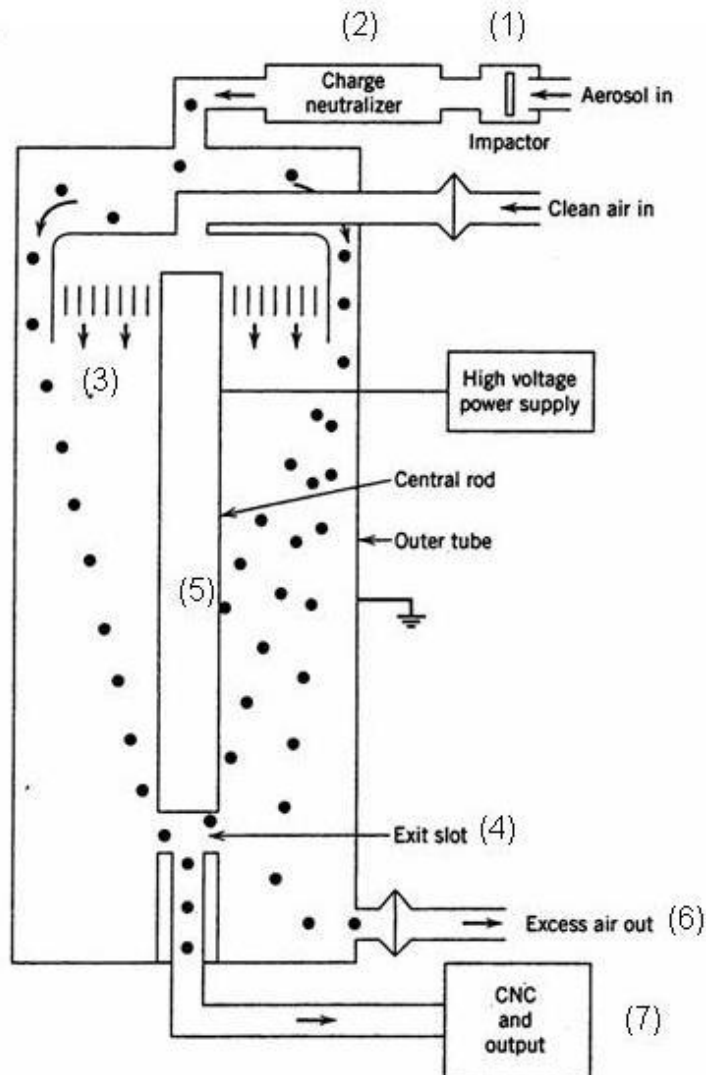


Optiska egenskaper





DMA (Differential Mobility Analyzer)



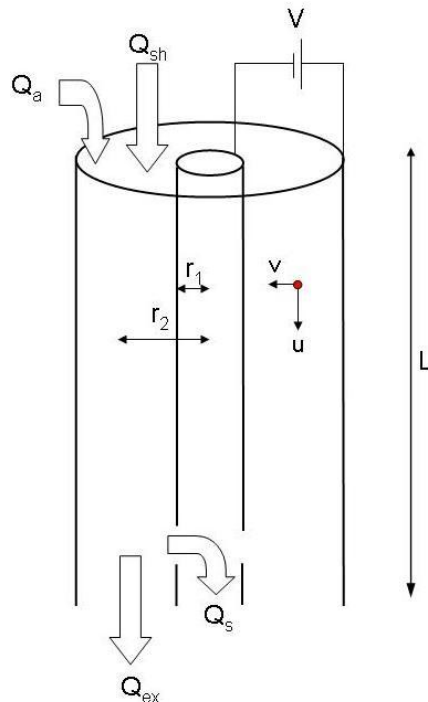
Partiklarnas mobilitet i ett el-fält berättar deras storlek

1. Impactor -> grova partiklar avlägsnas
2. Neutraliserare
3. Ren luft
4. Utgång
5. Partiklar med högre mobilitet
6. Partiklar med lägre mobilitet
7. CNC eller CPC som mäter partikelkoncentration ($1/\text{cm}^3$)



DMA (Differential Mobility Analyzer)

7.14	0.88
9494.49	0.164
7602.15	0.408
6045.67	0.951
4770.56	2.228
3731.56	3.928
2890.97	6.185
2217.04	8.108
1682.57	10.380
1263.83	13.136
939.97	15.493
692.72	17.737
506.29	20.975
367.33	25.085
264.83	26.389
189.89	25.227
135.53	22.693
96.36	22.417
68.30	20.011
48.27	20.657
34.05	17.853
23.97	14.199
16.85	8.320
11.83	2.924
8.30	0.227
5.81	0.004
0.00	0.000



- Alla flöden bör vara laminära
- Kombinationen DMA + CPC kallas för DMPS (Differential Mobility Particle Sizer)
- Spänningen kontrolleras av en dator som samtidigt sparar information om koncentrationen i de olika storleks klasserna

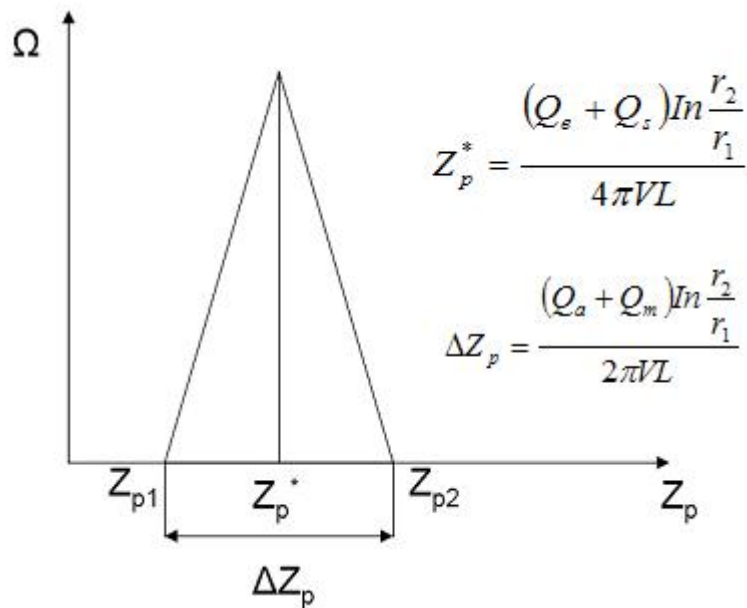
$$Z_p = \frac{neC^*}{3\pi\eta D_p}$$

$$E = \frac{V}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$v(r) = E(r)Z_p$$



DMA (Differential Mobility Analyzer)



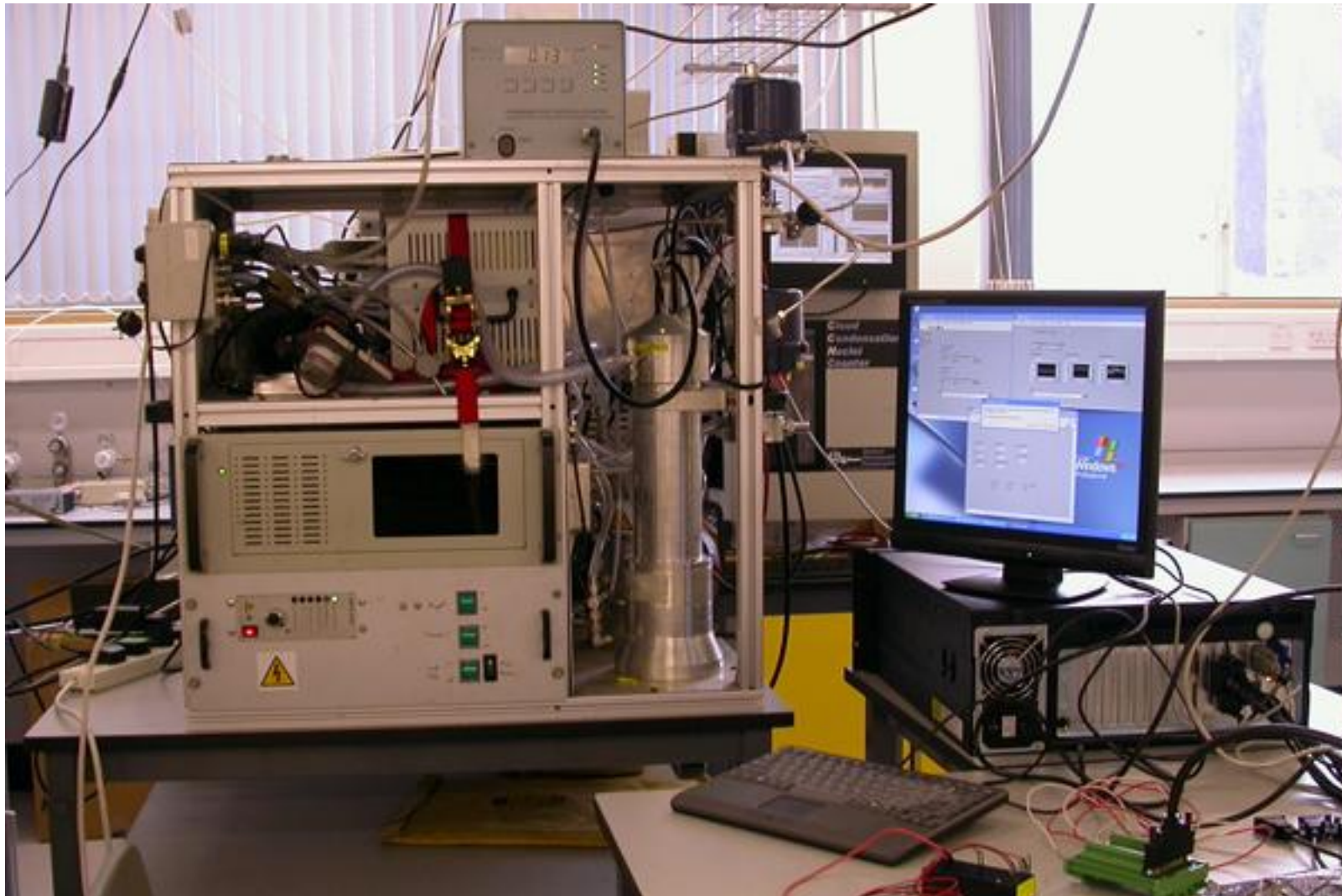
■ Överföringsfunktionen

- Kanalbredden beskrivs med överföringsfunktionen
- I det ideala fallet är den en triangel
- Det totala antalet partiklar i kanalen är den dubbla
- Diffusion gör kurvan bredare och rundar av hörnen

- Inverion -> den verkliga koncentrationen av partiklar kan fastställas

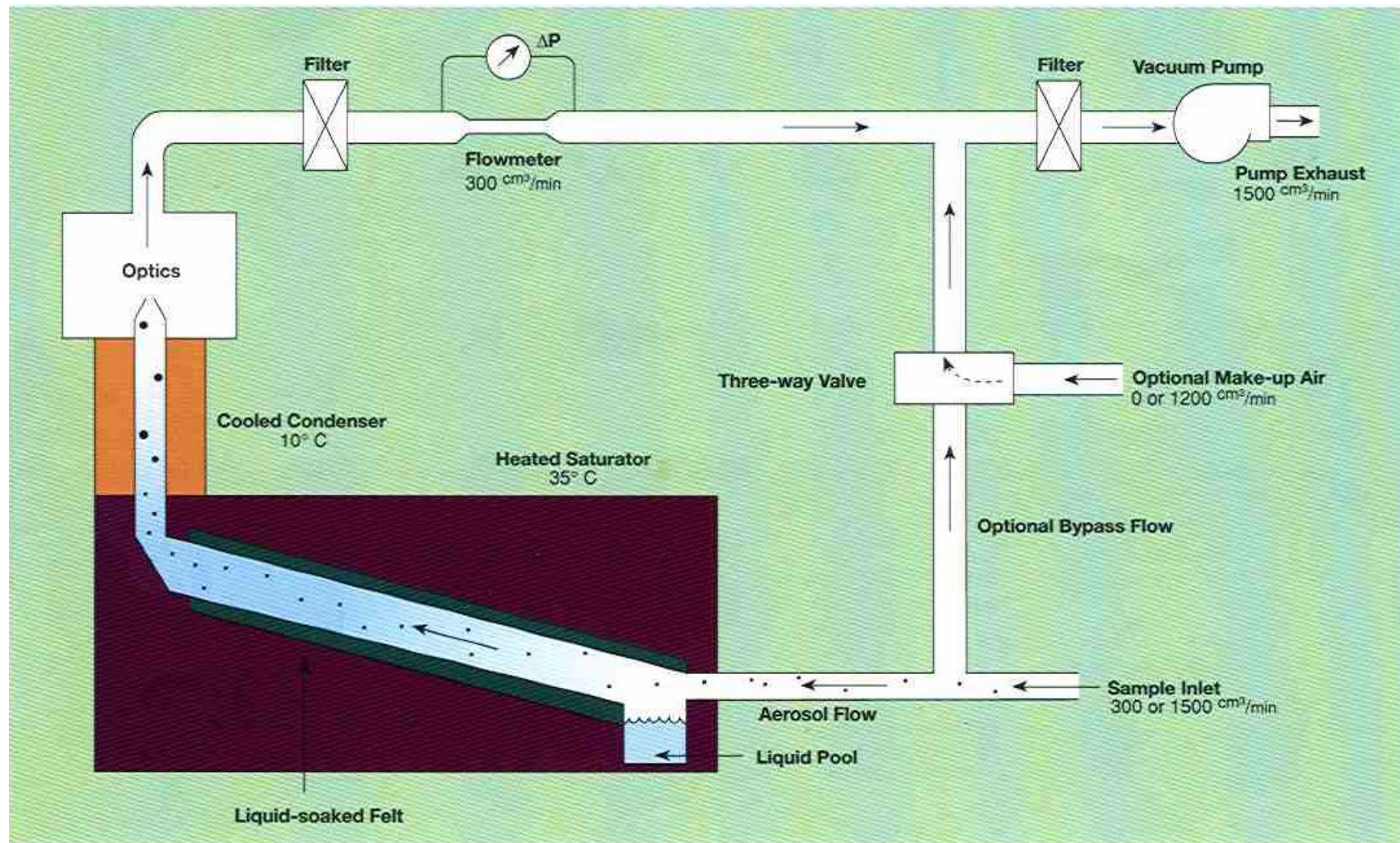


DMPS (Differential Mobility Particle Sizer)





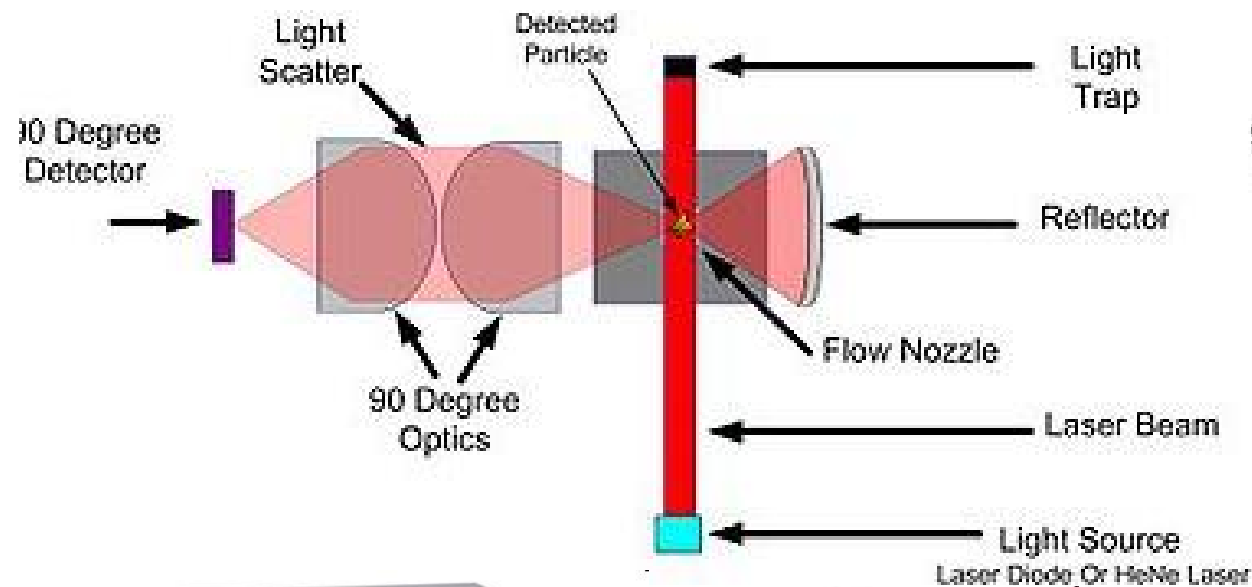
CPC (Condensation Particle Counter) eller CNC (Condensation Nucleus Counter)





CPC (Condensation Particle Counter) eller CNC (Condensation Nucleus Counter)

Top Down View of Particle Counter

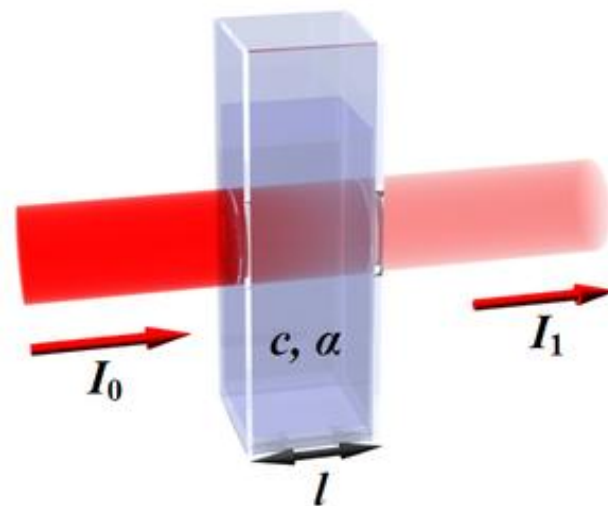




PSAP (Particle Soot Absorption Photometer)

- En PSAP mäter absorptions koefficienten hos aerosolpartiklar i nära nog realtid
- Absorptionen i filtret följer Beer–Lambert lag

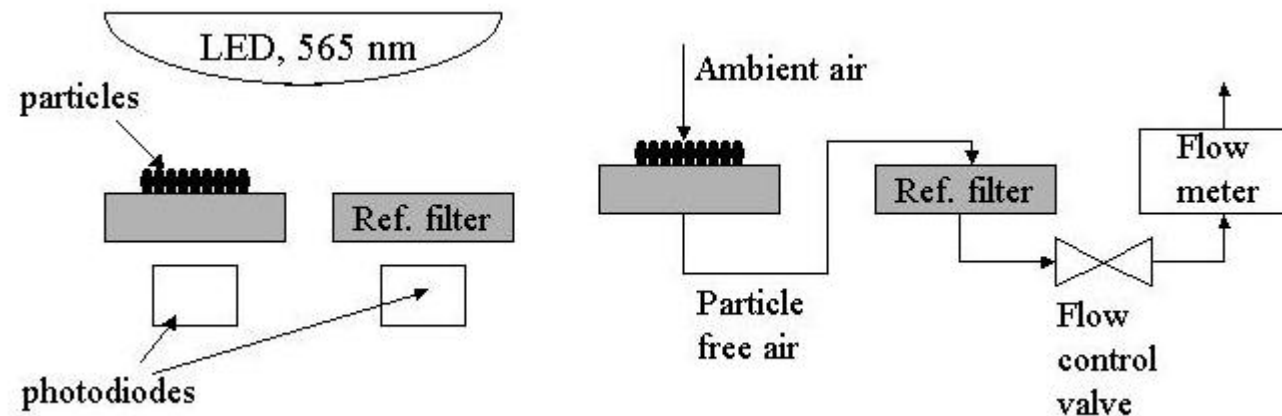
$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha' l} \quad \alpha' = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0}$$

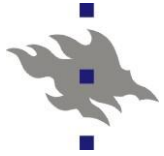




PSAP (Particle Soot Absorption Photometer)

- Luftflödet går genom ett partikelfilter där partiklarna fastnar
- Mörka aerosolpartiklar minskar transmissionen genom filtret
- Vita aerosolpartiklar minskar också transmissionen genom filtret pga. reflektion
- Kan göras med flera våglängder t.ex. röd, grön blå.
- PSAP är ett produktnamn och även MAAP och Aethalometer finns på marknaden





Nephelometer

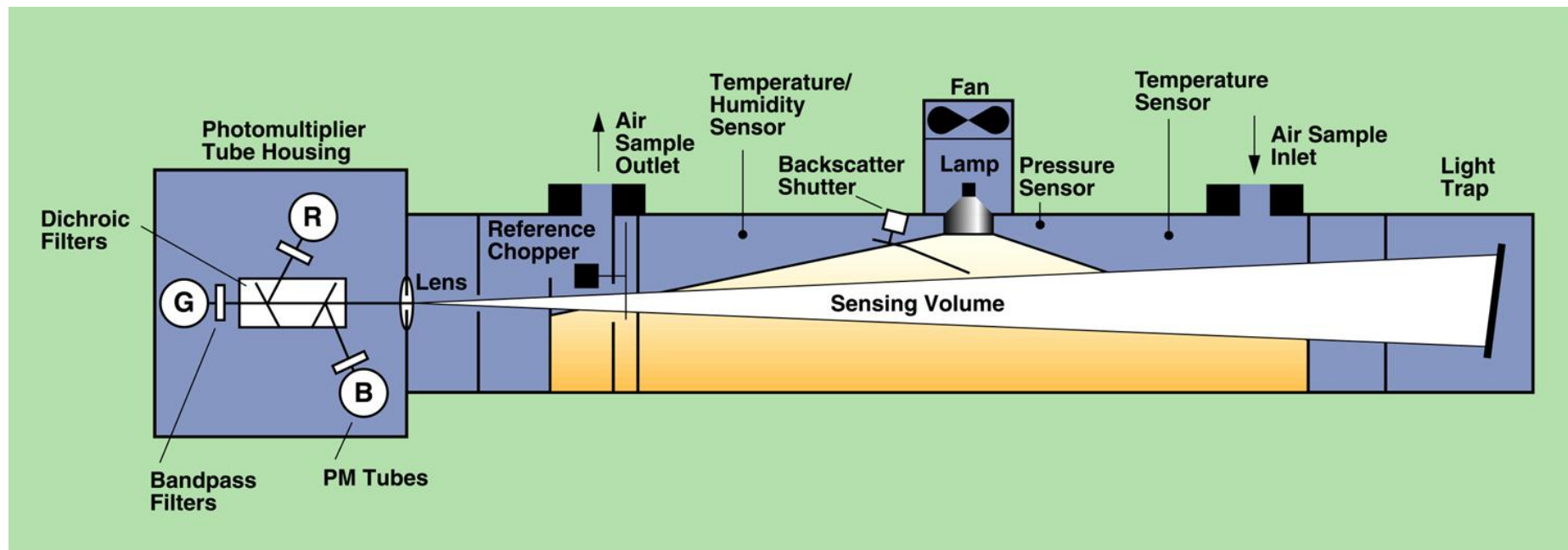
- Är ett instrument som man mäter aerosolpartiklarnas ljusspridningsförmåga (reflektion och spridning)
- För en given masskoncentration är spridningen är spridningsförmågan beroende av partiklarnas geometri, färg och reflektions förmåga
- Kan används för att studera atmosfären och ge information om visibilitet, albedo och "Single scattering albedo"





Nephelometer

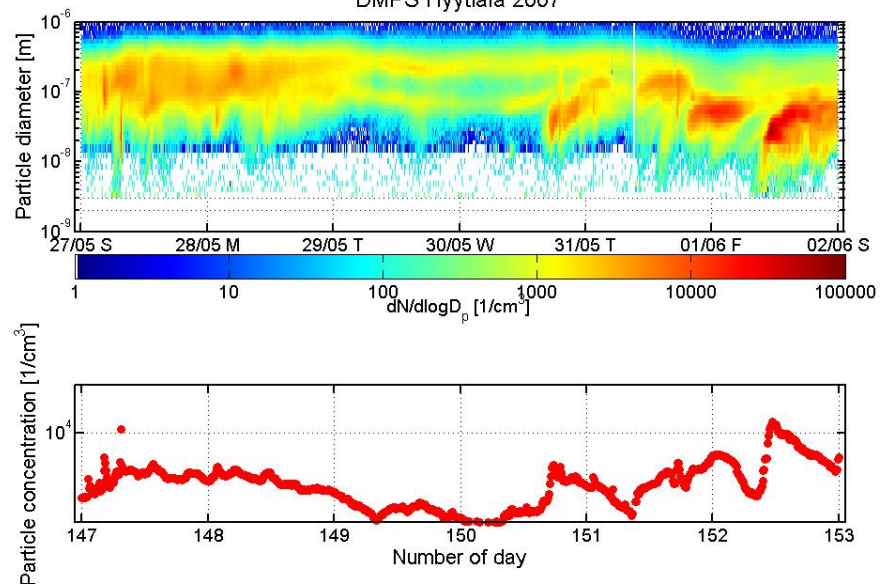
- Mäter vanligen spridning från 8° – 170°
- Mäter spridningskoefficienter (σ_{sp}) ända ner till $10^{-6}/m$
- Utan aerosoler som absorberar mäter nephelometern σ_e som kan räknas om till visibilitet



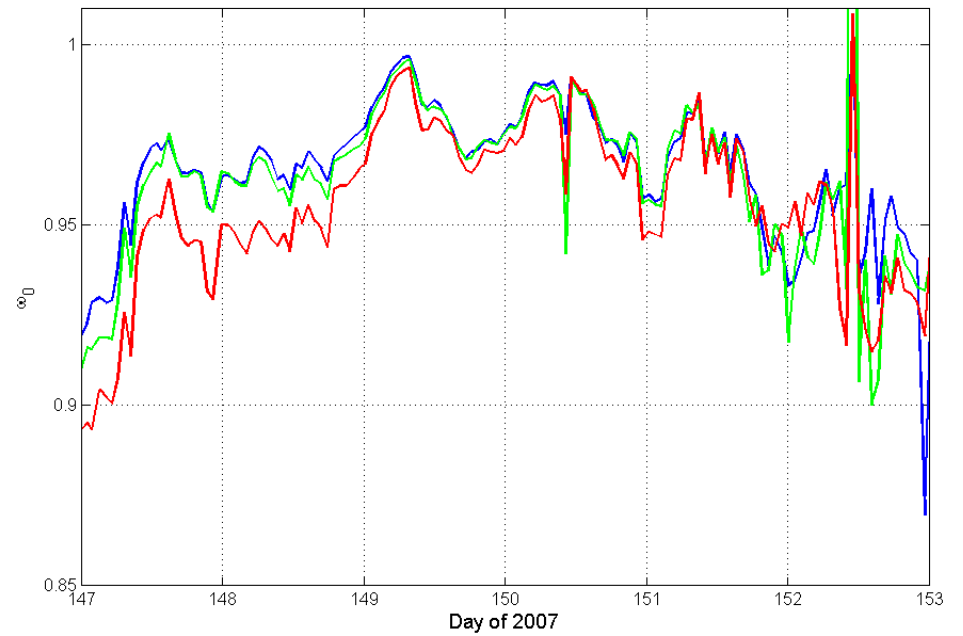


Forskning

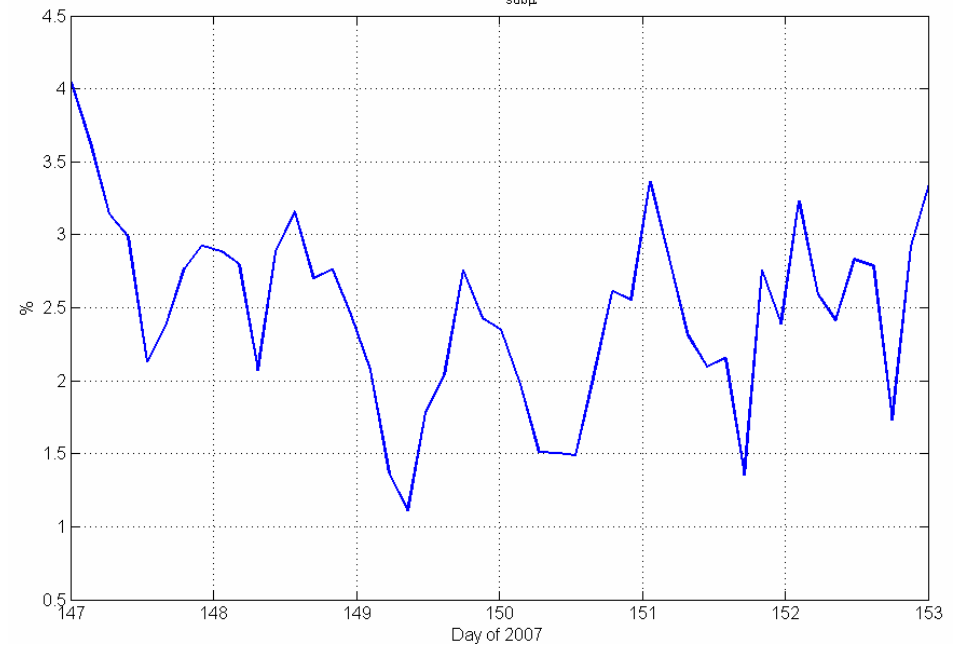
DMPS Hyytiälä 2007

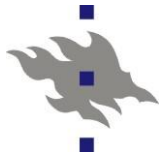


Single scattering albedo



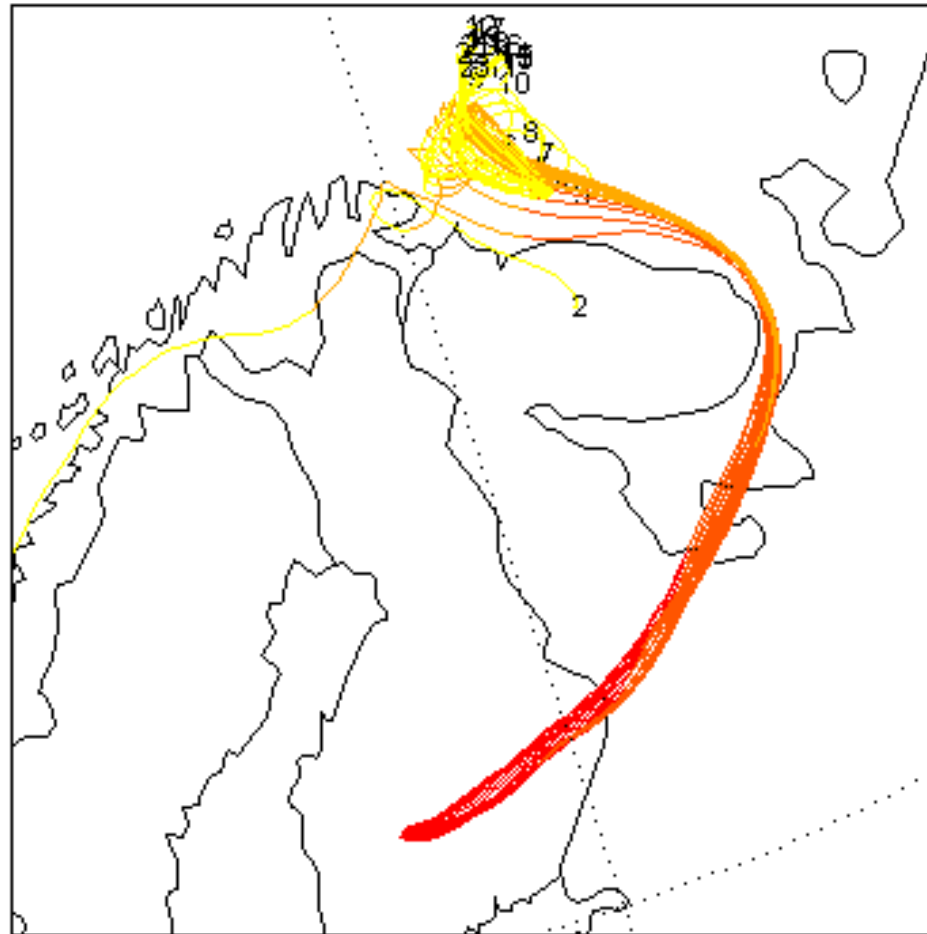
BC/ $m_{sub\mu}$





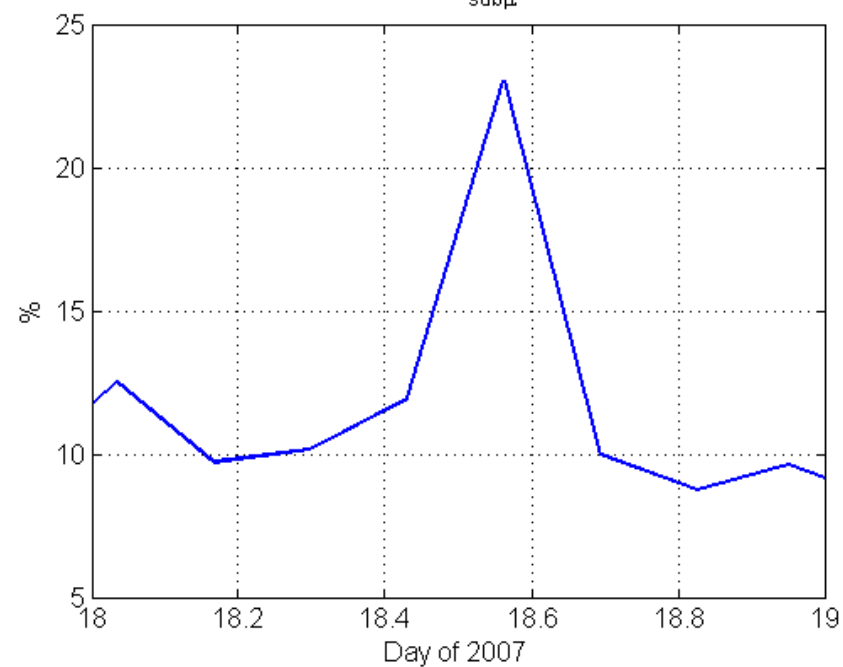
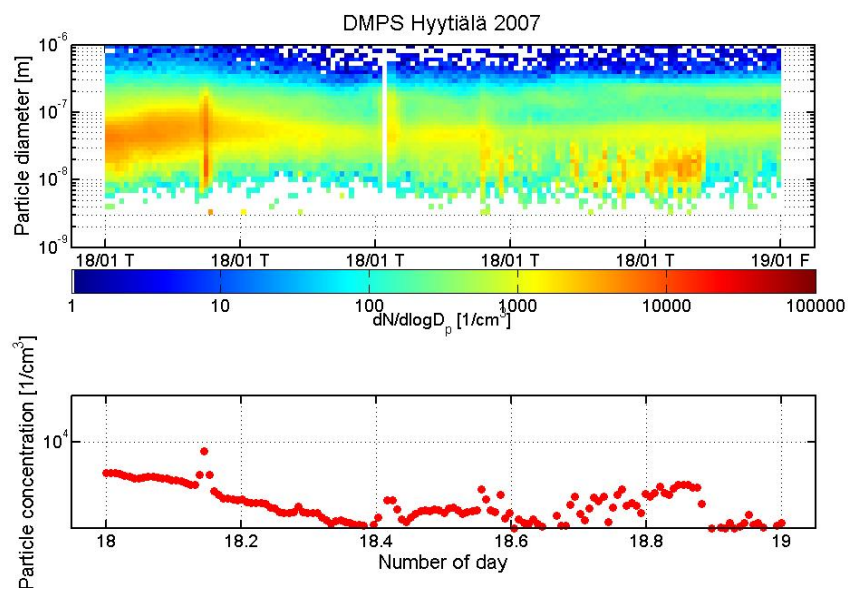
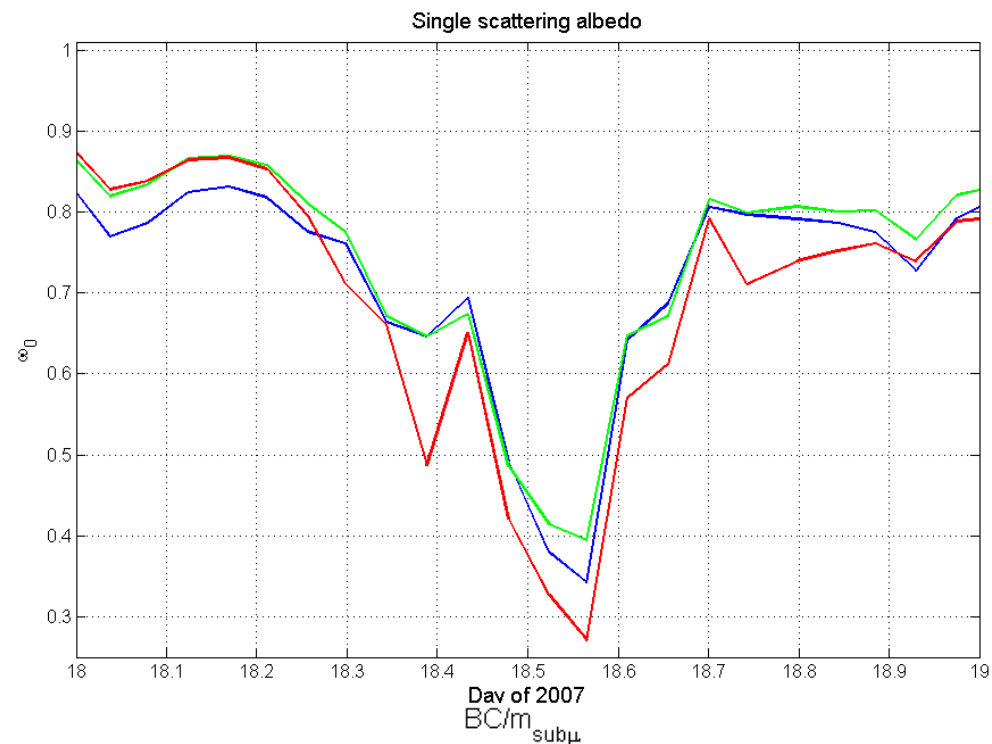
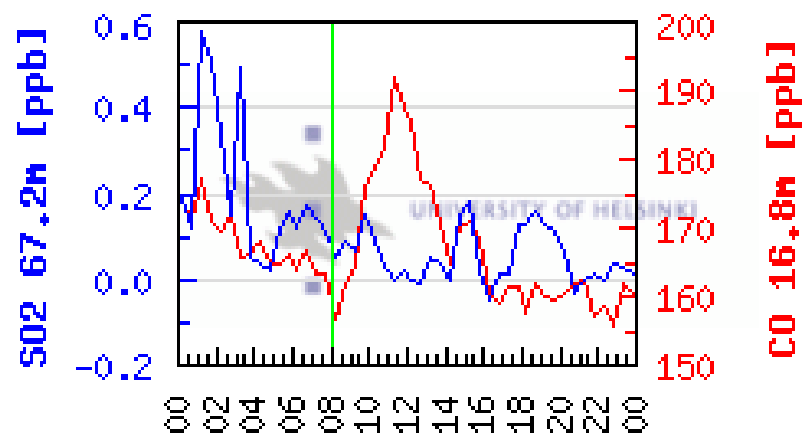
Forskning

Hyytiälä, 2007 05 30, 100m, 23h





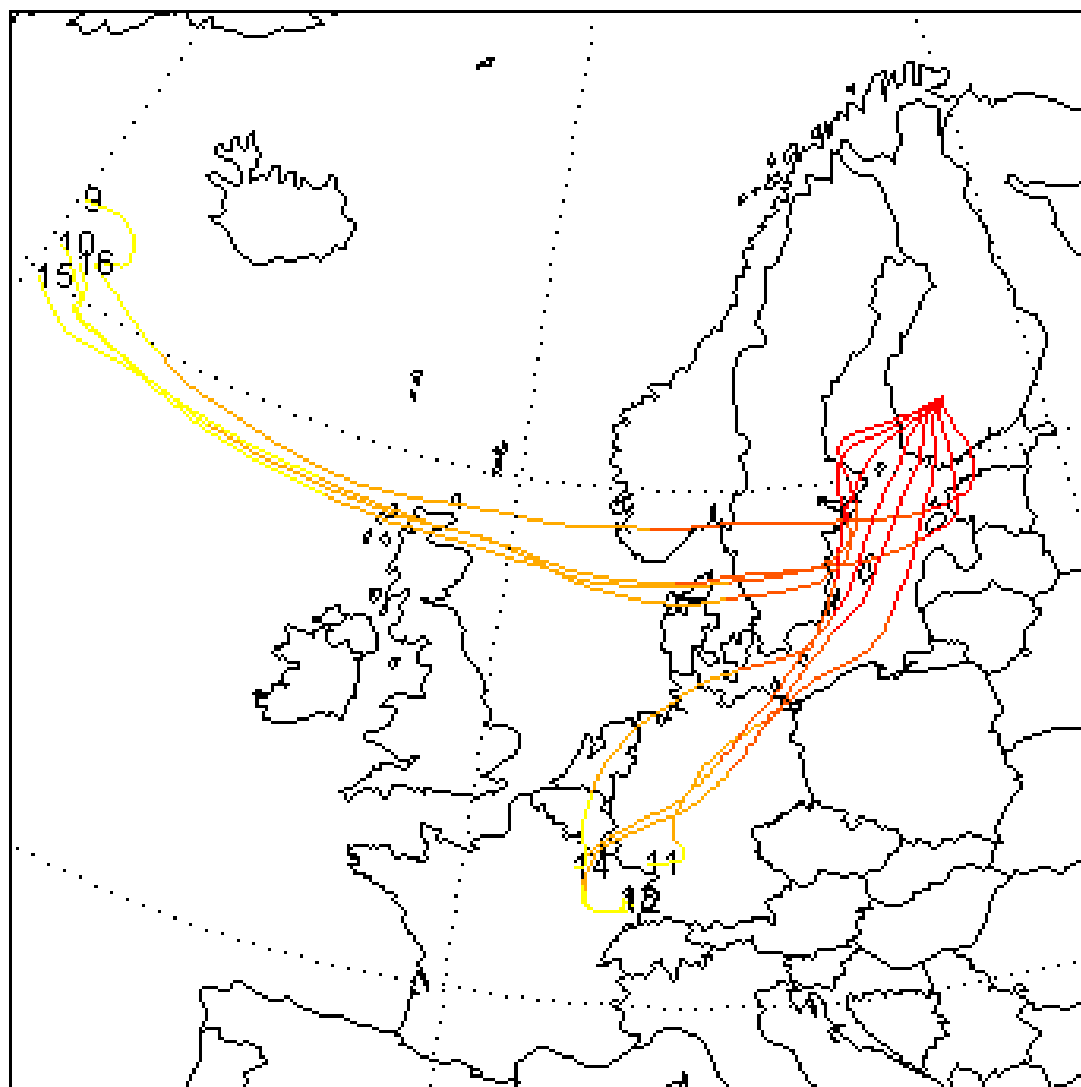
Forskning

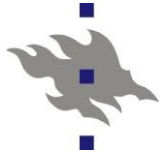




Forskning

Hyytiälä, 2007 01 18, 100m, 16h





Litteratur

- Willian C Hinds, Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, 1999
- John H. Seinfeld, Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2006
- Klaus Willike, Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications, 2005
- Wikipedia
- Internet
- <http://www.atm.helsinki.fi/~junninen/smartSearch>

