

Laboration

Mi 1

Partikelstorleksmätning

Målsättning: att förstå principen bakom två metoder för partikelstorleksmätning, få insikt i mätmetodikens möjligheter och begränsningar. Dessutom lära känna storleksfördelningar av vanliga aerosoler inomhus och utomhus.

INNEHÅLL

1. Inledning; Partikelstorlek och partikelstorleksfördelningar	3
8. INSTRUMENT FÖR MÄTNING AV PARTIKELSTORLEK.....	11
9. Differential Mobility Particle Sizer, DMPS/C	11
9.1. Elektrostatiske storlekssorteraren, EC	11
9.1.1. Flödessystemet.....	11
9.1.2. Laddningsfördelning	12
9.2. Kondensationskärneräknaren, CPC.....	12
9.2.1. Kondensation på små partiklar	13
9.2.2. Sensorn	13
9.3. Dataanalys.....	15
10. Aerodynamic Particle Sizer, APS	16
10.1. Sensor och flödessytem.....	16
10.2. Dataanalys	17

Namn: _____

Handledare: _____

Laborationen utförd den: _____

Inlämnad den: _____

Godkänd den: _____ av: _____

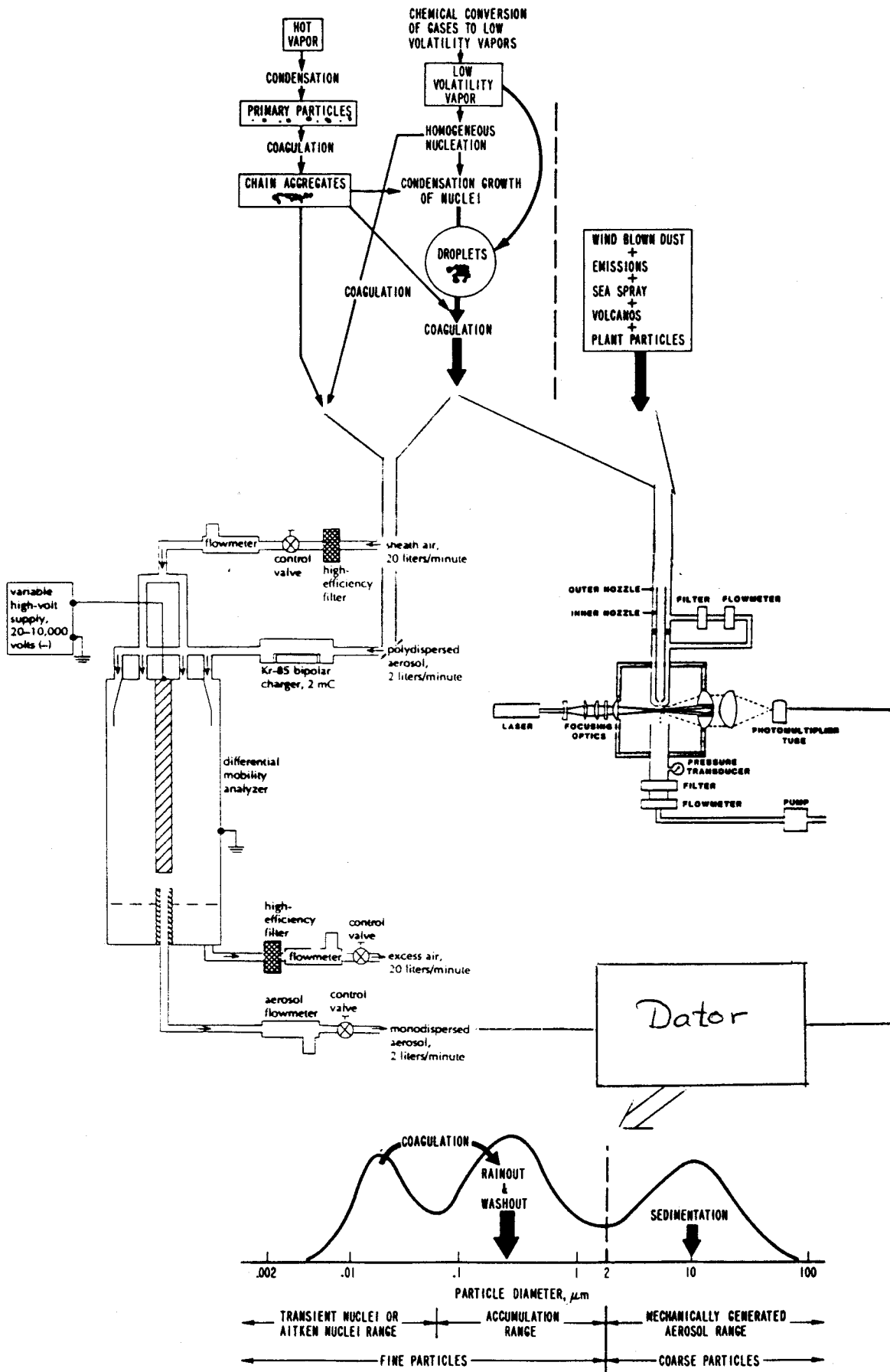


Figure 1.5. Idealized schematic of the distribution of particle surface area of an atmospheric aerosol (Whitby and Cantrell, 1976). The principal modes, sources, and particle formation and removal mechanisms are indicated.

Innehåll:

1. Laborationens syfte
2. Laborationsuppgift

del A, Teori:

3. Inledning
4. Partikelstorlek
5. Partikelstorleksfördelningar
6. Presentation av storleksfördelningar av aerosolpartiklar
7. Fördelningen i matematisk form

del B, Instrument för mätning av partikelstorlek:

8. Inledning
9. DMPS/C, Differential Mobility Particle Sizer
 - 9.1. EC, Elektrostatisk storlekssorterare
 - 9.1.1. Flödessystemet
 - 9.1.2. Laddningsfördelning
 - 9.2. Kondensationskärneräknaren, CPC
 - 9.2.1. Kondensation på små partiklar
 - 9.2.2. Sensorn
- 9.3. Dataanalys
10. Aerodynamisk partikelsorterare, APS
 - 10.1. Sensor och flödessystem
 - 10.2. Dataanalys
 - 10.3. Partikelkoincidens

1. Laborationens syfte:

Laborationen avser att göra dig förtrogen med principer för mätning av storleksfördelningar för aerosolpartiklar. Vidare att du skall få erfarenhet av att arbeta med instrument som används i modern aerosolforskning, samt insikt i mätmetodiken och dess möjligheter och begränsningar.

2. Din laborationsuppgift är att för en okänd aerosol bestämma antal-, yt- och massfördelningen av partiklar som funktion av partikeldiameter. Fördelningarna bestäms med två kompletterande instrument som mäter partiklar med storlek från 0.01 μm till 30 μm . Med stöd av mätningen skall du ge svara på vilka egenskaper den uppmätta aerosolen har. Bland annat om den är hälsovådlig. Du skall också bestämma de felkällor som har betydelse för mätningen.

Hur du skall gå till väga vid mätningen får du reda på vid laborationstillfället.

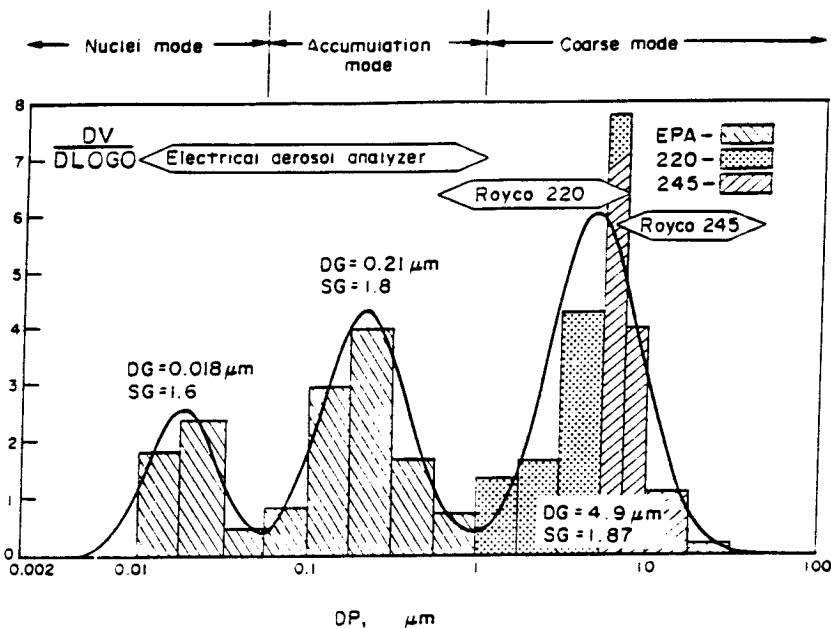
3. Inledning:

Naturligt förekommande aerosolpartiklar har storlek allt ifrån nanometer till centimeter. Gränserna är inte, och behöver inte vara väldefinierade. Särskilt gränsen för stora partiklar är oklar. En av pionjärerna inom modern aerosolfysik, K. Whitby, har föreslagit att asteroiderna skall räknas in bland aerosolpartiklarna men då som de största. Ur mätteknisk synpunkt är det dock en ohanterlig definition. Däremot är det helt klart så att partiklarnas storlek är av mycket stor betydelse. Alla fysikaliska egenskaper, och många kemiska, beror av partikelstorleken. Det är således väl motiverat att studera storlek, storleksfördelningar och mätmetoder som används för storleksmätning.

Aerosoler som samlats in ur omgivningsluft uppvisar vanligen en storleksfördelning som har två moder eller klasser. I kompendiet har dessa betecknats som "fina" och "grova" partiklar. En sådan fördelning visas i figur 5, sidan 7 i kompendiet. I denna figur visas också att grova partiklar kommer från naturliga källor, medan "fina" partiklar har skapats i antropogena källor, dvs av människan tillverkade källor. De senare kan också vara en sekundär aerosol, vilket innebär att de inte skapats vid källan - primärt -, utan de genereras i atmosfären vid kemiska processer. Exempel på detta är bildandet av sulfatpartiklar sekundärt i atmosfären som bidrar till det sura nedfallet. Storleken på aerosolpartiklarna är av betydelse vid omvandling till sulfat, under transporten av den sura aerosolen och för vilken effekt den kommer att ha efter deposition.

Eftersom olika källor genererar partiklar med skilda storlekar ger en storleksfördelning en indikation om varifrån partiklarna kommer. Ett mer signifikant avtryck från den emitterande källan syns i figur 1. Här uppvisar storleksfördelningen tre pucklar eller moder och den nya moden

utgörs av mycket små partiklar, storlek mindre än ca $0.1 \mu\text{m}$. Denna klass visar att en förbränningskälla har genererat partiklarna, men framförallt är den ett bevis för att källan finns relativt nära mätplatsen. Dessa mycket små partiklar koagulerar nämligen snabbt och bildar större som passar in i klassen "fina" partiklar.



Figur 1. Storleksfördelning uppmätt mitt i intensiv biltrafik på en amerikansk motorväg.

Båda dessa exempel visar på nödvändigheten att känna till aerosolpartiklarnas storleksfördelning och därmed också metoder för att bestämma denna.

4. Partikelstorlek:

För att beskriva en partikels storlek använder man partikeldiametern (eventuellt radien) och förutsätter att alla partiklar, eventuellt med hjälp av korrektionstermer, kan behandlas som vore de sfäriska. Dessa partiklar är mycket små, så små att de minsta kan man inte se i ett ljusmikroskop. Det innebär att så gott som alla metoder mäter partiklarnas storlek indirekt, d v s via någon annan egenskap eller hur de påverkas av givna yttre betingelser. Exempelvis, om man mäter fallhastigheten, så kan man m h a denna beräkna Stokes diameter för partikeln - se kompendiet för denna definition. I beräkningen ingår partikelns täthet, vilket långt ifrån alltid är känd. Kanske känner man ett approximativt medelvärde för alla partiklarna, som används i beräkningen. Förhållandet är liknande för andra metoder som mäter partikelstorleken på ett indirekt sätt, exempelvis m h a ljusspridning, mobilitet i elektriska fält, diffusion, avlänkning av partikelbanan m m. Alla sådana mätmetoder introducerar approximationer som man bör vara medveten då mätningar jämförs.

I denna laboration kommer du att använda två instrument som utnyttjar partiklarnas fysikaliska egenskaper för storleksbestämning, nämligen

hur de påverkas av tröghetskrafter (Aerodynamic Particle Sizer, APS) och av ett statiskt elektriskt fält (Electrostatic Classifier).

5. Partikelstorleksfördelningar:

Det vanligaste, enklaste sättet att mäta en storleksfördelning är att sortera dem i storleksintervall och räkna antalet i respektive intervall. Så skulle troligen de flesta av oss göra om det exempelvis gällde att bestämma storleksfördelningen av teknologer i årskurs tre på teknisk fysik. Resultatet utgörs då av en fördelning av antalet teknologer (i detta exempel, men i fortsättningen är allt aerosolpartiklar!). Dessa data kan sedan bearbetas och omformas ytterligare. Hur de behandlas och presenteras beror på vilken information man avser att få ut av mätningen. Detta skall vi titta närmare på.

Om instrumentet räknar antalet partiklar i varje storleksintervall så kommer vi att mäta en antalsfördelning. Den elektrostatiske storleks sorteraren och APS:en fungerar på detta sätt. En annan möjlighet är att instrumentet mäter massan (vikten) av de partiklar som tillhör respektive intervall. Ett sådant instrument anger massfördelningen som funktion av partikelstorlek. Exempel på detta är fraktionering med kaskadimpaktor och vägning av filtren på balansväg.

Metod anger vilken sorts fördelning som bestäms.

- a) antals-
- b) yt-
- c) volyms-
- d) mass-fördelning

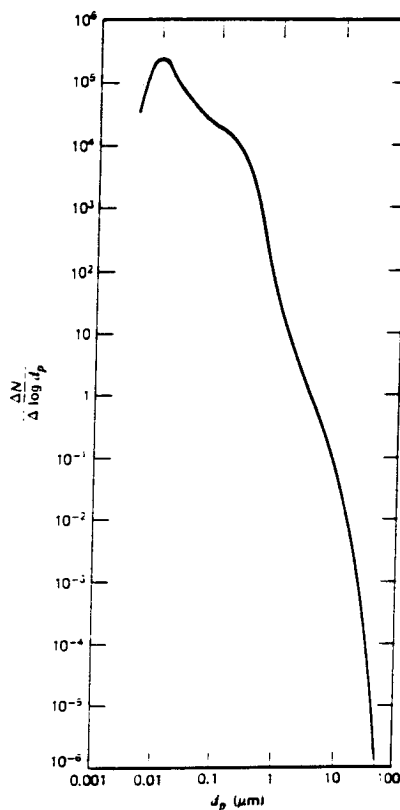
De olika fördelningarna är av intresse vid för olika spørsmål. Exempelvis är antalsfördelning intressant för renrum, initialskede av koagulationsprocesser m fl där den enskilda partikelns existens har betydelse, men inte dess storlek, form, laddning eller annat. Ytfördelning är viktig för alla former av spridning av elektromagnetisk strålning, kondensations- och katalyserande processer där ytan av partiklarna är den avgörande parametern. Massfördelning är intressant vid alla former av deposition vare sig det gäller i människans andningssystem, på konstföremål eller av sura aerosoler i skogsområden. Totala mängden av olika ämnen är i dessa fall den avgörande faktorn.

Frågeställningen avgör vilken fördelning som är intressant! Exempelvis vid filtertester jämförs partikelfördelning före och efter för att bestämma filtrets avskiljningseffektivitet. Om filtret skall användas för att rena inluften till en bostad så säger regelverket att det inte får finnas mer än 10 µg partiklar per kubikmeter luft; massfördelningen är intressant. Men om filter skall sitta i ett renrum för nanometerelektronik, så vill användaren att färre än 1 partikel per kubikcentimeter skall penetrera filtret; antalsfördelning.

6. Presentation av storleksfördelning av aerosolpartiklar:

I kompendiet sidan 7 figur 5 visas en idealiserad massfördelning, där massan ritas som funktion av logaritmen för partikeldiametern. Massan har avsatts på en linjär ordinata axel. Om nu den inritade massfördelningen följer en normalfördelningskurva, så är den log-normalfördelad med avseende på partikeldiametern. I figuren är klasserna "fina" och "grova" partiklar var för sig log-normalfördelade (du kan urskilja summan av två normalfördelningskurvor med centrum runt 0.01 μm , respektive 10 μm). Totala fördelningen är inte log-normalfördelad, men de enskilda delarna är det.

Varför denna typen av fördelning? och hur testar man mer rigoröst om fördelningen är log-normal?



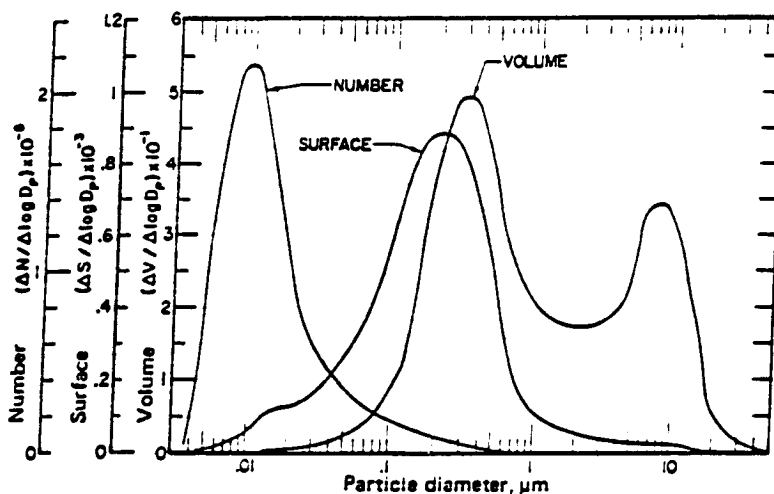
Figur 2. Storleksfördelning av Los Angeles aerosol uppmätt under år 1969.

Ända fram till mitten av mitten av 70-talet ritades fördelningar i lin - lin eller log - log skala. Orsaken till det, som du kanske minns från kursen i Experimentell problemlösning, var att mätningar övertygat aerosolsamhället om att partikelfördelningar kunde väl approximeras med potensfunktioner. Exempelvis redovisades en stor studie gjord i Los Angeles, USA, på det sätt som visas i figur 2. Logaritmisk skala på båda axlarna och fördelningen har anpassats med potensfunktionen

$$f(d_p) = K V_T d_p^{-3} \quad (1)$$

där konstanten V_T är totala partikelvolymen per luftvolymenhet.

Man kan här skönja variationer i kurvan, men det är svårt att göra beräkningar med rimlig grad av statistisk säkerhet. Därför var det ett stort steg framåt för tolkning av aerosolmätningar när R.B. Husar och K.T. Whitby visade hur dessa fördelningar såg ut i en lin - log skala. Figur 3 presenterar samma data som visades i figur 2, men nu i lin - log skala så att en eventuell log - normal fördelning kan upptäckas. Det omedelbara intrycket är att man här ser mer detaljer i fördelningen. Det är också därför man uteslutande presenterar aerosoldata i lin - log skala i dag.



Figur 3. Linjär - log diagram över Los Angeles aerosol från 1969. Jämför figur 2.

I figur 3 redovisas tre fördelningar som funktion av partikeldiametern: antal partiklar, partikelytan och partiklarnas volym. Det framgår klart av figuren att fördelningarna inte är identiska och att exempelvis medelvärdet för de tre fördelningarna är olika. Vi måste alltså göra skillnad på medelvärden som baserar sig på olika fördelningar, liksom vi tidigare konstaterat att den diameter vi mäter beror av vilken fysikalisk princip vår mätmetod bygger på. Låt oss bringa reda!

7. Medelvärden och fördelningar:

Medelvärdet av partikeldiametern d_p ges av:

$$d_p = \sum_i \frac{d_i}{N} \quad (2)$$

d_1, d_2, \dots, d_N är de enskilda partiklarnas diameter
 N är totala antalet partiklar.

Instrumentet fraktionerar partiklar i ändliga storleksintervall, och deras mittdiametrar betecknar vi d_1, d_2, \dots, d_N Antalet partiklar i respektive intervall betecknas n_i . Medeldiametern skrivs då

$$d_p = \frac{\sum_i n_i d_i}{\sum_i n_i} = \sum_i f_i d_i \quad (3)$$

f_i är fördelningsfunktionen för antalet partiklar.

Ovan definierades medeldiametern $m_h a$ fördelningsfunktionen för antalet partiklar. Det är också möjligt att definiera en medeldiameter $m_h a$ yt- respektive massfördelningen. Dessa ges a

$$d_{sm} = \sum_i \frac{s_i}{S} d_i \quad (4)$$

s_i är ytan för respektive partikel, och S är totala ytan av alla partiklar

Analogt för massan

$$d_{mm} = \sum_i \frac{m_i}{M} d_i \quad (5)$$

Notera att vi på detta sätt definierat tre olika diametrar, nämligen

d_p = antalsmedeldiameter

d_{sm} = ytmedeldiameter

d_{mm} = massmedeldiameter

Om man skall beräkna massmedeldiametern enligt ekvation 5, så måste man känna massan av de enskilda partiklarna. Det gör man inte alltid. För de metoder vi använder på laborationen mäter vi diametern för varje partikel och med hjälp av denna kan massmedeldiametern beräknas enligt

$$d_{mm} = \frac{4}{3} \frac{\pi \rho}{M} \sum_i \left(\frac{d_i}{2}\right)^3 \quad (6)$$

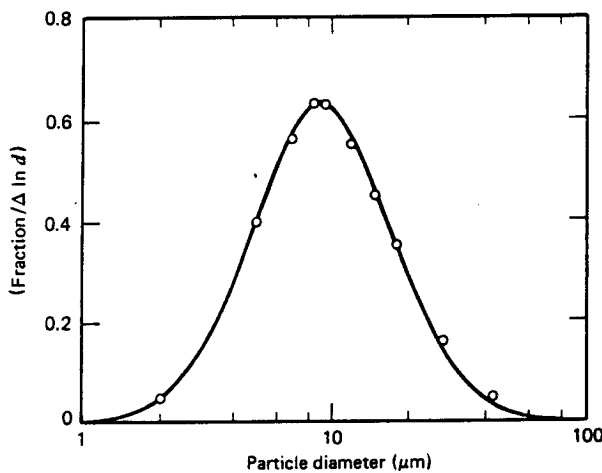
Observera att vi förutsatt att partikeln är sfärisk, vilket inte alltid är fallet. Dock, vi kan inte registrera den enskilda partikelns form och därför måste man göra något form av antagande (jämför begreppet ekvivalent diameter). Vidare ingår också tätheten för den enskilda partikeln. Om det är en obekant faktor, antar man vanligen värdet $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$. Det är en användbar approximation för utomhusluft.

OBSERVERA att när fördelningsfunktionen ritas i ett histogram skall termerna i respektive funktion, dvs n_i/N , s_i/S och m_i/M normaliseras mot intervallängden. Detta för att histogrammet rätt skall representera fördelningsfunktionen och att ytan under staplarna skall vara lika med totala antalet partiklar, partiklarnas totala yta respektive totala massa.

(**OBS !!** I programmet för ett av de instrument (APS) du skall arbeta med kallas detta för: **differential number**, surface respektive mass concentraion).

Vi har tidigare konstaterat att fördelningar av aerosolpartiklar nära ansluter sig till en log - normal fördelning. Vi skall till och med anta att de fördelningar vi mäter upp under laborationen är "log - normala" och testa om denna hypotes är riktig.

Logaritmen av partikeldiametern är normalfördelad, se figur 4. Det betyder att medelvärdet för fördelningen är lika med det geometriska medelvärdet av diametern (se nedan) och för en normalfördelning också lika med medianvärdet av diametern. Fördelningens spridning ges av den geometriska standardavvikelsen, σ_g .



Figur 4 Exempel på en partikelstorhet som är logaritmiskt normalfördelad m a p diametern.

Det aritmetiska medelvärdet av logaritmen av diametern ges av

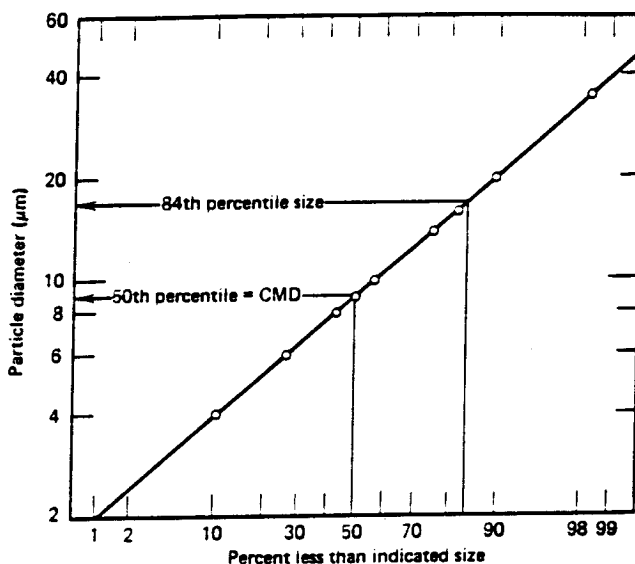
$$\ln d_g = \frac{\sum_i n_i \ln d_i}{N} \quad (7)$$

vilket är detsamma som

$$d_g = \left[\prod_i d_i^{n_i} \right]^{1/N} \quad (8)$$

Detta är definition av geometriskt medelvärde.

Om du har ritat in de experimentella data i ett diagram så har du en frekvensfunktion framför dig. Är fördelningen log - normal? Finns det säkrare metoder, som ger möjlighet till kvantifiering, att bestämma om fördelningens form än att okulärt jämföra den med normalkurvans klockform? Rita data på nytt, men denna gång i ett diagram vars abskissa (x-axeln) är en sannolikhetskala, för normalfördelning, och ordinatan y-axeln) är logaritmisk. Detta är ett s k log - sannolikhets diagram, se figur 5. Om fördelningen är log - normal så kommer du att få en rät linje. Om data följer en rät linje är mycket enkelt att kontrollera!



Figur 5. I ett log - sannolikhets diagram har man ritat in antalet partiklar som funktion av diametern.

Ur detta diagram är det lätt att finna medianvärdet (Count Median Diameter, CMD) för fördelningen, liksom standardavvikelsen, jämför figur 5, och följande två ekvationer

$$\ln \sigma_g = \ln d_{84\%} - \ln d_{50\%} \quad (9)$$

eller

$$\sigma_g = \frac{d_{84\%}}{d_{50\%}} \quad (10)$$

Denna median diameter CMD (bestämd från antalsfördelningen) och den geometriska standardavvikelsen σ_g , bestämmer fullständigt den log - normala fördelningen.

INSTRUMENT FÖR MÄTNING AV PARTIKELSTORLEK

8. Inledning

Vi skall här beskriva två system för att studera storleksfördelningen av mikrometerstora partiklar. Ingen av mätmetoderna tar hänsyn till kemisk sammansättning av partiklarna. Båda systemen arbetar med kontinuerligt luftflöde vilket naturligtvis är en avsevärd fördel då man exempelvis vill undersöka avgaser från en förbränningsmotor eller undersöka partikelmängden i atmosfären, man kan medelvärdesbilda över kort eller lång tid. Tillsammans spänner systemen över ett storleksområde från 10 nm upp till 30 μm .

9. DMPS/C, Differential Mobility Particle Sizer

Detta mätsystem, DMPS/C, består av en storleksklassare, EC, och en kondensationskärneräknare, CPC. Kondensationskärneräknaren kan detektera partiklar som har en minsta storlek av 10 nm i diameter. Så små partiklar låter sig dock inte upptäckas direkt. De måste först förstoras med hjälp av en vätska som bringas att kondensera på partikeln. Den bildade droppen kan sedan detekteras optiskt.

9.1. EC, Elektrostatiske storlekssorteraren

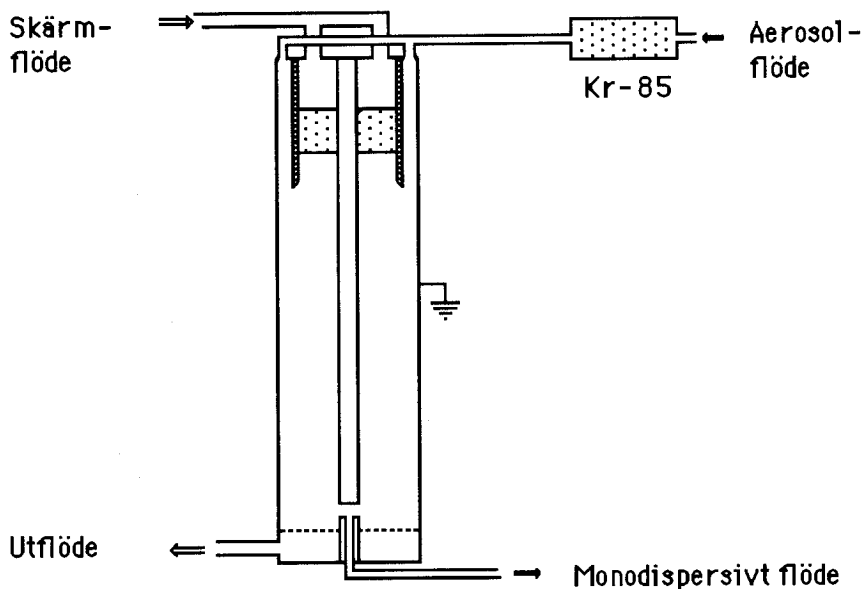
Mätförfarandet består i att ge aerosolen en bestämd och känd laddningsfördelning. Partiklar av skilda storlekar kommer därav att få olika mobilitet (de kommer att vandra olika fort) i ett elektriskt fält. I storleksklassaren sorteras en storlek i sänder ut och transporteras vidare till räknaren (CPC).

9.1.1. Flödessystemet

På utsidan av storleksklassaren sitter en impaktor. Denna tar bort partiklar över en viss storlek genom att böja av luftströmmen 90°. Partiklar med tillräcklig rörelsemängd följer då inte strömningslinjerna utan avsätts på en impaktionsplatta. För att beskriva den diameter där storleksfördelningen bryts av talar man om 50% gränsen, dvs den diameter där hälften av partiklarna fastnar. Bryt-diametern beror av ett flertal faktorer såsom flödet, partiklarnas densitet, munstyckets diameter osv. Med det aktuella munstycket varierar bryt-diametern mellan 0,677 μm och 0,338 μm för flöden mellan 0,3 l/min och 1,0 l/min. Impaktorn fungerar också som flödesmätare genom att man mäter tryckfallet över munstycket som i detta fallet har en diameter av 0,457 mm.

Den centrala delen av storleksklassaren är den elektrostatiske kolonnen. Som framgår av figur 7 består kolonnen av en cylinder med en central stav, kallad kollektorn.

Genom kolonnen strömmar två av varandra oberoende luftflöden. Eftersom flödena skall hållas oberoende är det mycket viktigt att flödet genom kolonnen är laminärt. Turbulens blandar nämligen omedelbart de två flödena. Det ena flödet, aerosolflödet, introduceras i kolonnen längs periferin och omsluter på så sätt det andra flödet, skärmflödet. Luftflödet genom kolonnen kan antingen åstadkommas genom att en pump håller ett undertryck vid utflödet eller genom att flödet pressas in i kolonnen med ett övertryck.



Figur 7. Den elektrostatiske kolonnen med två oberoende luftflöden.

9.1.2. Laddningsfördelning

Eftersom storleksklassaren använder olika stora partiklars olika mobilitet i ett elektriskt fält för att separera dem är det viktigt att man vet exakt vilken fördelning av laddningar partiklarna har. Det är sedan länge känt att om en aerosol utsätts för en gas av bipolära (både positiva och negativa) joner, kommer partiklarna snabbt att nå ett tillstånd av jämvikt. Oberoende av vilken laddning partiklarna hade från början så har vi nu lika många positiva som negativa och hela aerosolen är neutral. Den del i apparaten där detta sker kallas därför neutralisatorn. Neutralisatorn innehåller en liten mängd av den radioaktiva isotopen ^{85}Kr som är en β -strålare. Den emitterade β -strålningen joniserar luften i behållaren. Jonernas snabba termiska rörelser får dessa att krocka med partiklarna i aerosolen som därmed laddas.

9.2 Kondensationskärneräknaren, CPC

Partiklarna som når räknaren är för små för att detekteras optiskt. Partiklarna bringas därför att tillväxa med hjälp av en övermättad ånga.

9.2.1. Kondensation på små partiklar

Mättnadsångtrycket är en egenskap hos en vätska eller ett fast ämne. För en viss given temperatur är det tryck som behövs för att vätskan, eller det fasta ämnet, skall stå i jämvikt med sin ånga. När partialtrycket hos en ånga är lika stor som mättnadsångtrycket råder massbalans vid ytan. Förhållandet mellan partialtrycket och mättnadsångtrycket kallas för mättnadsförhållandet.

$$\text{Mättnadsförhållande} = p/p_s.$$

Ett mättnadsförhållande mindre än ett svarar mot en omättad ånga, lika med ett mot en mättad och större än ett mot en övermättad.

I resonemanget ovan förutsattes vätskeytan vara plan. Då vätskeytan är skarpt krökt, som på en droppe, ökar nämligen det partialtryck som behövs för att uppehålla jämvikt. Krökningen påverkar den attraktiva kraften mellan ytmolekylerna så att för en mindre droppe har en molekyl lättare att lämna ytan. För att hindra förångning, dvs behålla jämvikt måste partialtrycket vara större än p_s .

Det mättnadsförhållande som behövs för en viss storlek hos en droppe bestäms av Kelvin-ekvationen:

$$\frac{p}{p_s} = \exp\left(\frac{4\gamma M}{\rho R T d}\right) \quad (11)$$

där γ står för ytspänningen, M molekylvikten och ρ densiteten hos vätskan, R allmänna gaskonstanten, T temperaturen och d den så kallade Kelvindiametern. För alla normala vätskor krävs att diametern åtminstone är mindre än $0,2 \mu\text{m}$ för att effekten av vätskeytans krökning skall vara märkbar. Förhållandet kommer uppenbarligen också att bestämma hur stor en partikel måste vara för att en vätska skall kunna kondensera på dess yta vid ett visst tryck.

När ångan runt en partikel når det bestämda mättnadsförhållandet börjar den att kondensera på partikeln. Detta kallas för heterogen kondensation. Ju högre mättnadsgrad desto mindre Kelvindiameter. Ökar mättnadsgraden ännu mer kan ångan börja kondensera även utan någon partikel är närvarande. Detta kallas homogen nukleation och anses bero på att molekyler bildar kluster som sedan fungerar som kondensationskärnor.

I kondensationsräknaren hålls mättnadsförhållandet på en nivå under den kritiska för homogen nukleation så att ingen kondensation sker utan partiklar.

9.2.2. Sensorn

Uppbyggnaden av sensorn i CPC:n framgår av figur 8. Sensorn består av en mättningskammare, kondensator, och en optisk detektor. Aerosolen

kommer in i mättningskammaren och passerar genom en uppvärmd vätskeindränkt duk. Vätskan förångas och mättar aerosolen med ånga. Blandningen fortsätter sedan upp i den kalla kondensorn där ångan blir övermättad. Ångan kondenserar på partiklarna som växer till en diameter på 2-3 μm .

Beroende på hur stor koncentrationen av partiklar/ cm^3 är i den inströmmande luften använder instrumentet tre olika metoder för att räkna partiklarna:

1. Vid en koncentration < 1000 partiklar/ cm^3 .

De individuella elektriska pulserna från fotodetektorn räknas alla i 'real' tid.

2. Vid en koncentration $1000 < \text{konc} < 10000$ partiklar/ cm^3 .

De individuella elektriska pulserna räknas, men bara när elektroniken är tillgänglig, denna tid kallas live-time. Under den tid en puls behandlas i räknaren kan den inte ta emot någon ny puls. Den tid det tar att detektera en partikel kallas dead-time. Instrumentet korrigerar sedan för dead-time.

3. Vid en koncentration > 10000 partiklar/ cm^3 .

Instrumentet mäter totala mängden ljus som alla droppar vid en viss tidpunkt sprider mot detektorn. Spänningen från detektorn har vid tillverkningen kalibrerats mot kända koncentrationer.

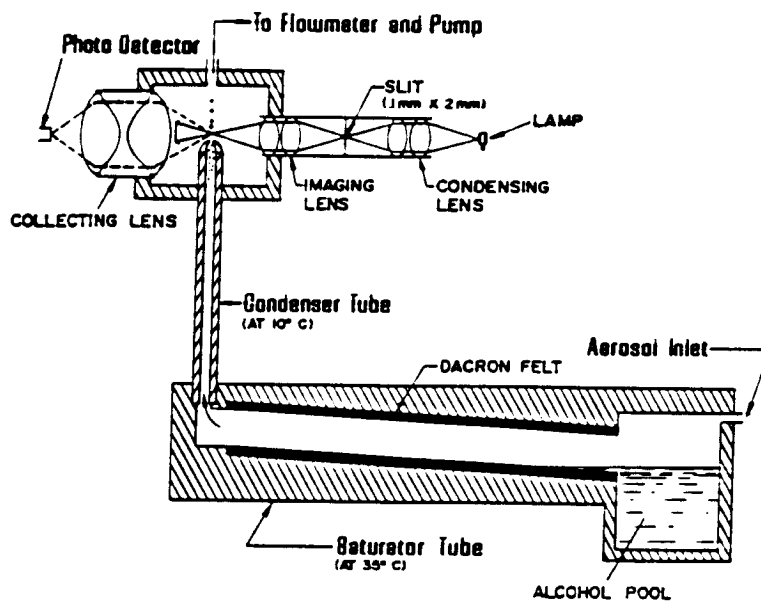


Fig.8 Sensordelen i kondensationsräknaren TSI 3022.

9.3. Data-analys

Hela DMPS/C- systemet styrs av en dator. Datorn styr spänningen på kollektorstaven i storleksklassaren, samlar in rådata från partikelräknaren och beräknar aerosolens storleksfördelning. På skärmen visas också tabeller och grafer.

Rådata föreligger i formen av antal räknade partiklar per mobilitetskanal. Då detta skall omräknas till koncentration som funktion av partikelstorlek kompliceras förhållandena av att en del partiklar ju har fått fler än en laddning. En uppmätt mobilitet kan antingen härstamma från en liten partikel med enhetsladdning eller en större med multipla laddningar. De följer båda med det monodispersiva flödet och kan inte separeras.

I varje mobilitetskanal kommer CPC:n därför att räkna både de små partiklarna med en laddning och de "dubbelt så stora" med två laddningar, de "tre gånger så stora" med tre laddningar och så vidare.

I den ursprungliga aerosolen är det dock inte alla partiklar som fått någon laddning överhuvudtaget, speciellt bland de mycket små, se figur 9. Programmet korrigerar också för detta. Vid korrigeringen antas partiklar kunna ha upp till sex enhetsladdningar. Utöver detta tar programmet också hänsyn till att kondensationskärneräknarens känslighet avtar för partiklar mindre än $0,035\mu\text{m}$.

Percent of particles carrying n_p elementary charge units										
D_p μm	$n_p = -4$	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	
0.01				0.34	99.32	0.34				
0.02				5.23	89.53	5.23				
0.04			0.23	16.22	67.10	16.22	0.23			
0.06		0.01	1.25	21.30	54.88	21.30	1.25	0.01		
0.08		0.08	2.78	23.37	47.53	23.37	2.78	0.08		
0.10		0.26	4.39	24.09	42.52	24.09	4.39	0.26		
0.20	0.32	2.33	9.66	22.63	30.06	22.63	9.66	2.33	0.32	
0.40	2.19	5.92	12.05	18.44	21.26	18.44	12.05	5.92	2.19	
0.60	3.82	7.41	11.89	15.79	17.36	15.79	11.89	7.41	3.82	
0.80	4.83	7.94	11.32	14.00	15.03	14.00	11.32	7.94	4.83	
1.00	5.42	8.06	10.71	12.70	13.45	12.70	10.71	8.06	5.42	

Fig. 9 Boltzmannfördelningen för partiklar i jämvikt med en bipolär gas.

10. Aerodynamic Particle Sizer.

Detta system mäter direkt partiklarnas aerodynamiska diameter. Partiklar med diameter mellan 0,5 och 30 μm kan direkt klassifieras med avseende på storlek och antal.

10.1. Sensor och flödessystem

De två huvuddelarna i sensorn utgöres av den accelererande öppningen och den optiska flykttidsmätaren. I figur 10 visas principiellt hur sensorn är uppbyggd. Aerosolen kommer in i övre delen av sensorn med 5 l/min kontinuerligt flöde. Flödet delas upp så att 1 l/min fortsätter genom det inre röret och resterande 4 l/min filtreras med ett sk absolutfilter. Den rena luften återförs sedan som skärmflöde (sheath flow). Skärmflödet begränsar partiklarna till luftstrålens mittregion.

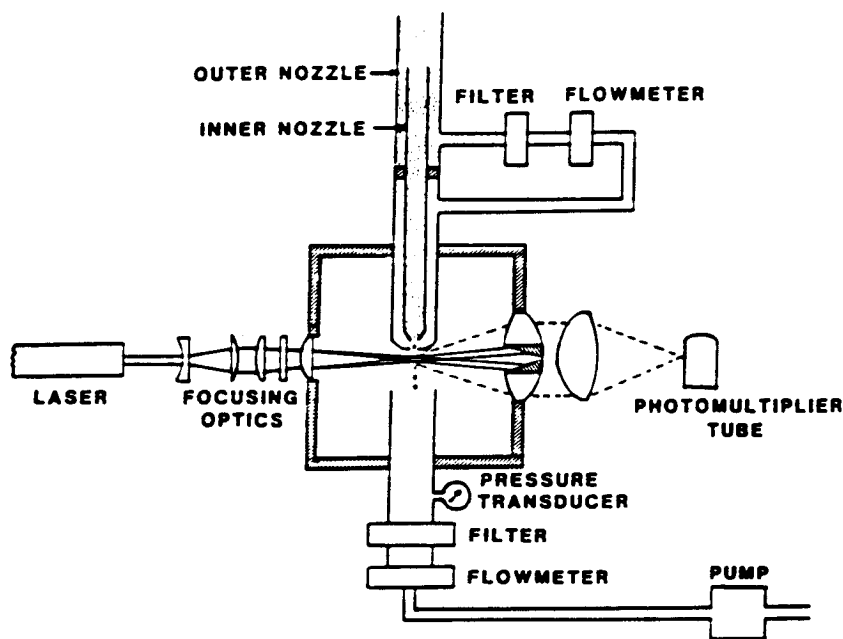


Fig. 10. Schematisk bild av sensor och luftflöden i APS 3310.

Då partiklar lämnar inre munstycket accelereras de av det rena skärmflödet och lämnar yttre munstycket i en accelererande ström. Små partiklar accelereras lättare av luftströmmen än de stora. Partiklarnas hastighet bestäms av deras aerodynamiska diameter.

För att mäta partikelns hastighet splittras en laserstråle upp i två delar. Dessa fokuseras sedan så att de utgör två skarpa strålar. Det ljus som sprids av en partikel registreras i ett fotomultiplikatorrör. Röret avger två pulser separerade av den tid det tar för en partikel att passera distansen mellan strålarna. Denna tid används sedan för att beräkna den aerodynamiska diametern för partikeln. För att hålla god upplösning över hela mätområdet använder sensorn två separata klockor, en med upplösningen 2 ns och en med upplösningen 66,67 ns. Den första tar hand om partiklar i intervallet 0,5 - 15 μm och den andra partiklar i intervallet 5 - 30 μm . Resultatet av tidmätningarna viktas sedan samman i det område där de överlappar.

10.2 Data-analys.

Liksom för DMPS/C-systemet är datorn en nödvändig länk för datanalis och exponering av resultatet. Detta gör att det tyvärr är omöjligt att med tillgång till endast en dator använda båda systemen samtidigt.

Flykttiden från klock-kretsen samlas in i en 1024-kanalig ackumulator belägen i sensorn. Härifrån hämtar datorn sedan rådata och beräknar partiklarnas diameter. I programmet har man stora möjligheter att välja olika typer av representationer.