

Laboration

Mi 4

Impaktorn och partiklars tröghet

Målsättning: att förstå den fysikaliska principen bakom storleksortering av partiklar samt beräkna sorteringsparametrar för en impaktor och jämföra med experimentell värden.

INNEHÅLL

1. Inledning.....	2
2. Principen för impaktorns storleksuppdelning	3
3. Krafter på partiklar i en flödande aerosol	3
4. Vilka partiklar impakterar.....	4
5. Gränsen mellan storleksintervallen	5
6. En modell för beräkning av impaktorns effektivitet.....	5
7. Kaskadimpaktorn	6

Namn: _____

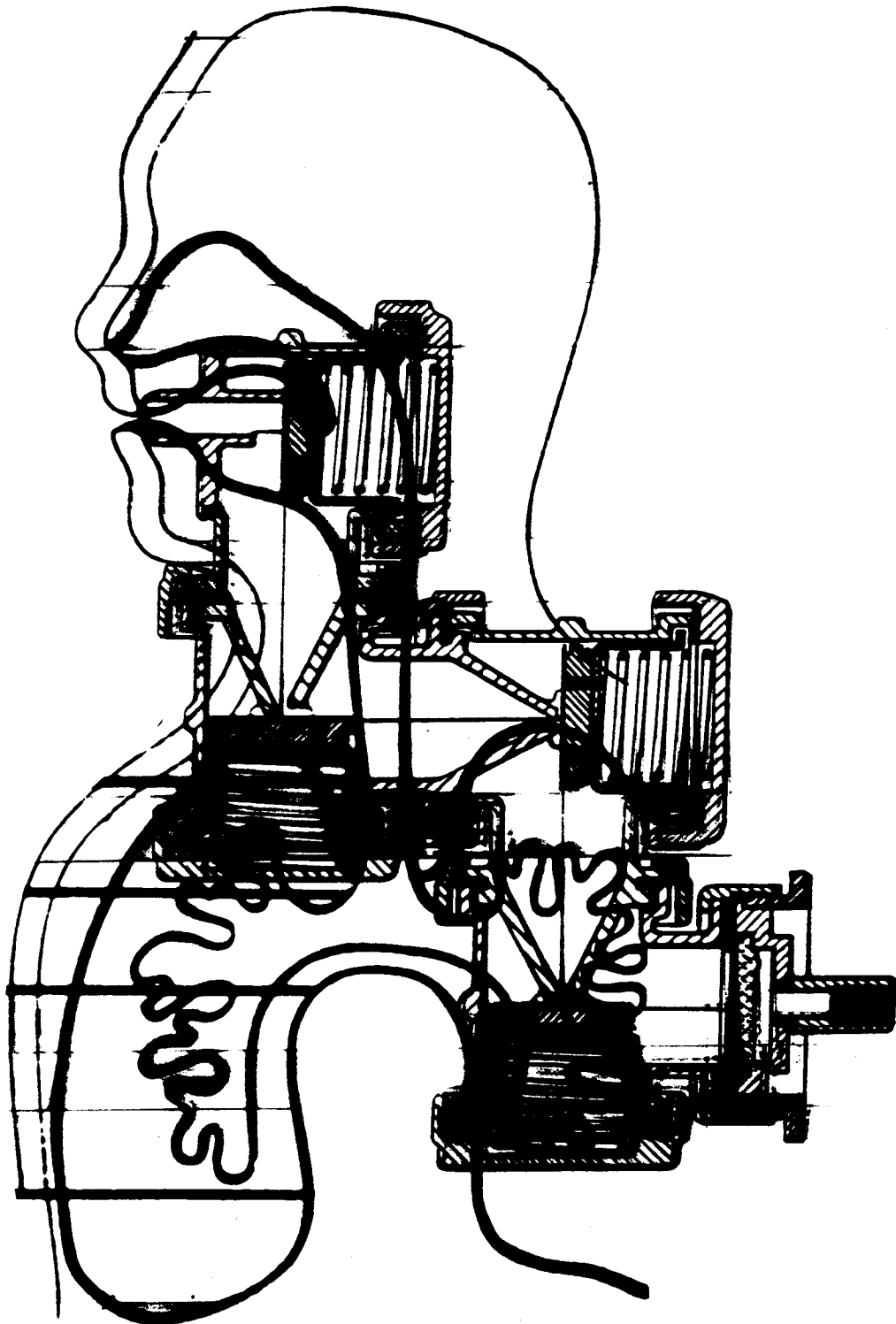
Handledare: _____

Laborationen utförd den: _____

Inlämnad den: _____

Godkänd den: _____ av: _____

Impaktorn och partiklars tröghet



IMPAKTORN OCH PARTIKLARS TRÖGHET

UPPGIFT

I den här laborationen ska luftens partikelinnehåll studeras med hjälp av en sik impaktor. Impaktorn sorterar luftens partiklar efter deras storlek. Uppgiften blir att samla in partiklar i impaktorssteg och med hjälp av mikroskop bestämma storleken av partiklarna som hamnat på impaktorplattorna. Stämmer storleken med vad man kan förvänta sig från teorin? Motivera varför! Om det inte stämmer, vad kan orsakerna till detta vara?

INLEDNING

Det finns fullt av små partiklar i luften och mängden skiljer sig åt i stads- och lantluften. En amerikansk bok har uppgifter om att det i ett tätbefolkat område är vanligt med koncentrationer på ca $150 \mu\text{g} / \text{m}^3$ medan den i lantluft brukar ligga runt $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Man säger att "icke förorenad" luft ska innehålla högst 700 partiklar per cm^3 . I den här laborationen kommer kritdamm att tillföras luften för att få fler stora partiklar.

Partiklarna kommer från naturliga källor och från mänsklig aktivitet och totalt sett står de naturliga källorna för det största bidraget men i industrialiserade områden är människans bidrag stort. Den största delen av partiklarnas massa i atmosfären uppkommer genom gasutsläpp. Gaspartiklarna växer till i atmosfären genom olika processer såsom koagulation och kondensation. De största partiklarna, med en diameter större än $2 \mu\text{m}$, kan avsättas på ytor, som till exempel löv, genom sedimentation eller impaktion, eller följa med nederbörden och på så sätt avlägsnas ur atmosfären. Impaktion är den process där partiklar med stor massa, och tröghet, deponeras på en yta så att de inte följer gasens strömlinjer runt ett hinder.

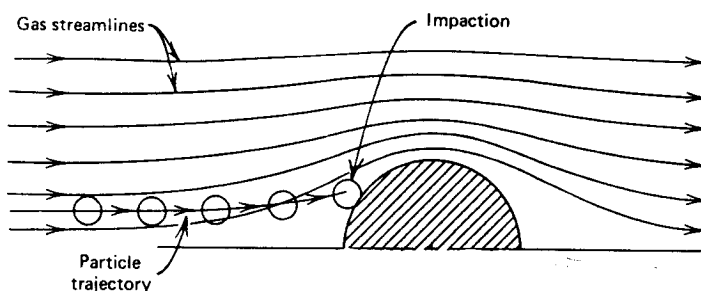


Bild 1: En partikel deponeras på ett hinder på grund av impaktion.

Omgivningsluft är alltså en aerosol. En aerosol är en gas som innehåller partiklar inom storleksintervallet $0.001 \mu\text{m}$ till över $100 \mu\text{m}$. Det finns teknik för att undersöka aerosolers egenskaper. Vill man till exempel veta hur stora partiklarna i luften är har man användning för en sik impaktor. Den här laborationen ska handla om impaktorn och hur den särskiljer partikelstorleken.

Att veta storleken på luftens partiklar är viktigt till exempel för att uppskatta riskerna för människan att inandas dem. Människans andningssystem är nämligen ett effektivt försvar mot att hälsovådliga partiklar når ner till den känsliga lungregionen. Partiklar avsätts på olika nivåer i systemet och det är deras storlek som avgör om de hamnar i munnen, strupen eller någon annanstans. Till lungorna når nästan inga partiklar som har en aerodynamisk diameter större än $10 \mu\text{m}$. Den aerodynamiska diametern, d_a , är den diameter som en sfär med densiteten $1 \text{g} / \text{cm}^3$, till exempel en vattendroppe ska ha för att få samma sluthastighet som partikeln har när den faller i luft. Partiklar med samma d_a fungerar aerodynamiskt på samma sätt, exempelvis faller de med samma hastighet på grund av tyngdkraften.

Ju mindre partiklar desto fler når till lungorna. För de minsta partiklarna, med $d_a < 2 \mu\text{m}$, gäller att de huvudsakligen når lungblåsorna, avsätts och kan passera in i blodet. Impaktion gör att stora partiklar fastnar i andningssystemets övre del. Om man andas genom näsan eller munnen

påverkar hur stor andel av partiklarna som avsätts i huvudregionen. Flödes hastigheten, hur stor volym man andas per tidsenhet, och partikelstorleken är också avgörande. Exempel på detta är att vid munandning med flödes hastigheten 30 L / min deponeras 20 % av partiklarna med den areodynamiska diametern 5 µm och 70 % av 10-µm-partiklarna innan de når strupen. Vid näsandning gäller att 70 % av 5-µm-partiklarna och 100 % av 10-µm-partiklarna avsätts i näsan. Det avsätts mera om man andas med större flödes hastighet.

IMPAKTORNS PRINCIP

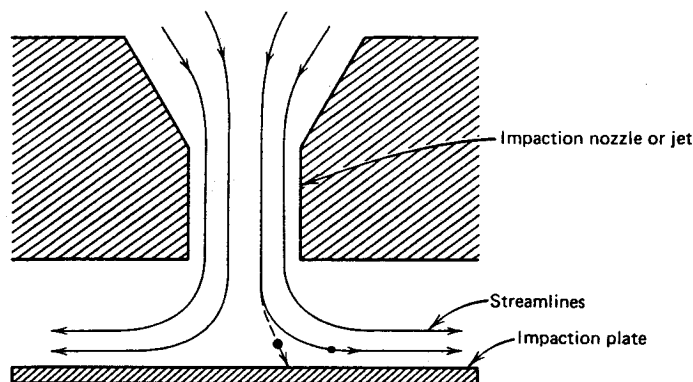


Bild 2: En partikel som avlägsnas ur luftströmmen och samlas in på ett impaktorsteg.

I en impaktor strömmar en aerosol genom ett munstycke som är riktat mot en plan platta. Plattan gör att flödet böjer av 90 grader. Partiklar med tillräckligt stor tröghet mot riktningförändringar, dvs med stor massa, kommer inte att följa strömlinjerna utan faller in mot plattan. Här förenklar vi och antar att partiklarna fastnar på plattan men det finns fall där partiklar studsar och fortsätter förbi plattan. Följden av att de största partiklarna fastnar blir att impaktorn separerar aerosolen i två storleksområden. Partiklarna med en aerodynamisk diameter som är tillräckligt stor avlägsnas från luftströmmen medan de som är mindre förblir luftburna och passerar genom impaktorn.

KRAFTER PÅ PARTIKLAR I EN FLÖDANDE AEROSOL

En partikel i en laminärt flödande gas följer välordnade strömlinjer, laminär strömning. Den påverkas av viskösa friktionskrafter och tyngdkraften (Jfr Physics s 341). Vid laminär strömning är den viskösa dragkraften F_d på en sfär

$$F_d = 6\pi Rv\eta \quad (1)$$

Detta är Stokes' lag. R = partikelns radie, v =partikelns hastighet relativt gasen, η =gasens viskositet. Jfr bild 3.

Om strömningen runt ett hinder, t ex en partikel, blir laminär eller ej beror på förhållandet mellan tyngdkraften och friktionskrafterna vilket ges av Reynolds tal (Jfr Physics s 346)

$$Re = \rho v R / \eta \quad (2)$$

ρ =gasens densitet, v =partikelns hastighet relativt gasen, η =gasens viskositet. Eftersom aerosolpartiklars hastighet v relativt gasen är liten och diametern R är liten blir ofta Re litet, vilket det ska vara vid laminär strömning.

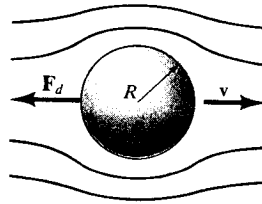


Bild3: En sfär med hastigheten v påverkas av den viskösa kraften F_d .

VILKA PARTIKLAR IMPAKTERAR ?

För att beräkna storleken på partiklar som impakterar har man användning för det så kallade Stokes tal som relaterar partiklars rörelse till ett hinders dimensioner. *Relaxationstiden* τ och *stoppsträckan* S för en partikel är två begrepp som behövs för att beräkna Stokes' tal och ur detta fås en gränsdiameter för partiklar som skiljs ut ur luftflödet.

Relaxationstiden τ : Detta är den tid det tar för en partikel att anpassa sin hastighet till nya kraftvillkor, t ex när fluiden ändrar strömriktning tar det en viss tid för partikeln att få samma riktning. τ ges av

$$\tau = \rho_p d_p^2 C_c / 18\eta \quad (3)$$

ρ_p = partikelns densitet, d_p = partikelns diameter, C_c = en korrektionsfaktor för små partiklar, η = gasens viskositet

Stoppsträckan S : En partikel som har en utgångshastighet v_0 kommer, om inga yttre krafter verkar på den, att röra sig sträckan S innan hastigheten gått ner till noll. Luftfriktionen gör att partikeln bromsas upp. Ett uttryck för stoppsträckan är

$$S = v_0 \tau \quad (4)$$

Stokes' tal fås om man dividerar stoppsträckan med en karakteristisk dimension av hindret som luftströmmen passerar

$$\text{Stk} = S/d_c = \tau v_0 / d_c \quad (5)$$

Här är d_c en karakteristisk diameter. Förändringar i Stokes' tal får till följd att strömningen runt ett hinder förändras. Ekvation 3 och 5 visar alltså att partiklars densitet och diameter är betydande för dess rörelse vid ett hinder.

Stk för impaktorn ges av partikelns stoppsträcka vid mynningshastigheten U dividerat med munstycksradien $D_j/2$:

$$\text{Stk} = \tau U / (D_j/2) = \rho_p d_p^2 U C_c / 9\eta D_j \quad (6)$$

Ur detta kan man beräkna diametern på de partiklar som fastnar i impaktorsteget. Den diametern får man ur det Stk som motsvarar att 50 % av partiklarna impakterar, Stk_{50} . Hur Stk_{50} kan beräknas visas senare. "Gränsdiametern" d_{50} fås ur formel (7) om man möblerar om lite

$$d_{50} C_c^{1/2} = (9\eta D_j (\text{Stk}_{50}) / \rho_p U)^{1/2} \quad (7)$$

För att enkelt få fram d_{50} behöver man kunna försumma korrektionsfaktorn C_c , vilket går bra för partiklar större än ca 1 μm . De partiklar med en diameter större än d_{50} kommer att fastna i impaktorn. Ekvation 7 är alltså ett uttryck för den diameter som avgränsar de storleksintervall som impaktorn delar upp aerosolen i.

GRÄNSEN MELLAN STORLEKSINTERVALLEN

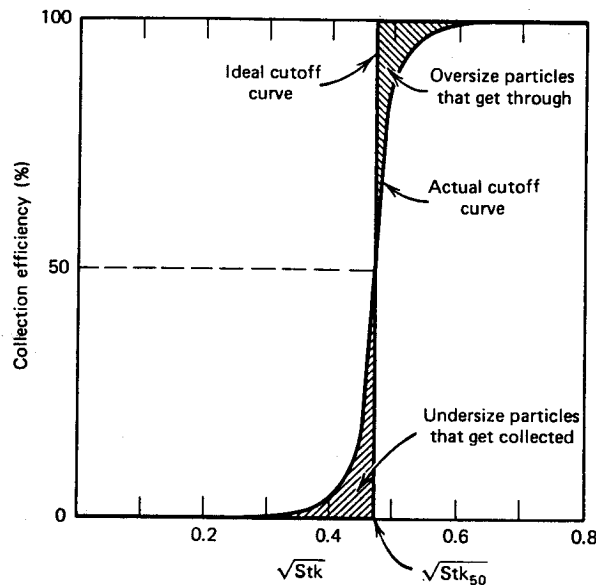


Bild 4: Den oskarpa gränsen mellan de storleksområden impaktorn separerar impaktorn i. Gränsdiametern fås ur det tal som motsvarar 50 % uppsamlingseffektivitet.

Övergången mellan diametrar på partiklar som passerar resp. impakterar i impaktorn är inte helt skarp. I bild 4 kan man se hur uppsamlingseffektiviteten varierar med Stokes' tal. Till varje Stokes' tal hör, för en bestämd flödes hastighet och munstycks diameter, en gräns diameter. Stokes' tal är proportionellt mot kvadraten på partikeldiametern, jfr formel 6. Därför har man avsatt roten ur Stokes' tal mot effektiviteten, som i bild 4, för att lättare se hur den beror av partikelstorleken. Som gräns diameter, d_{50} , brukar man, enligt ovan, ange den för vilken 50% av partiklarna impakterar. I bild 4 syns den oskarpa gränsen. Stk_{50} hamnar mitt i detta gränsintervall och ger ett lämpligt värde på gränsdiametern enligt ekv 7. Det antal partiklar som impakterar trots att diametern är mindre än d_{50} uppväger dem som passerar impaktorplattan trots att de är för stora. Massan som fångas in kommer på så sätt att bli nästan densamma som om impaktorn varit ideal, dvs haft en skarp gräns.

EN MODELL FÖR BERÄKNING AV IMPAKTORNS EFFEKTIVITET VID OLIKA PARTIKELSTORLEKAR

I kompendiet Aerosolfysik beskrivs en modell för att beräkna med vilken effektivitet partiklarna samlas upp i impaktorn. Modellen är förenklad och ger inte något korrekt värde men visar att Stokes' tal är den parameter som bestämmer effektiviteten i partikelupptaget.

I modellen förenklar man och antar att flödet är konstant över hela munstyckets öppning när aerosolen lämnar det och att strömlinjerna är cirkelbågar vid avböjningen. För en partikel som följer dessa strömlinjer tar det en viss tid att anpassa sig till de nya kraftförhållandena när luftströmmen böjs av och därför rör sig partikeln ett stycke mot impaktionsplattan. Ett stort Stk innebär att partiklarna impakterar jfr bild 4.

I fig. 5 visas tvärsnittet hos ett rektangulärt impaktormunstycke. Pga symmetrin behöver man bara betrakta ena halvans strömning. Om partikelns avlänkning från den ursprungliga strömlinjen är liten kommer partikeln att avvika med en konstant radiell hastighet V_r i den krökta delen

$$V_r = \tau a_r = \tau U^2 / r \quad (8)$$

där a_r är centripetalaccelerationen, r kurvans radie och U är gashastigheten som antagits vara konstant i denna del. τ är relaxationstiden.

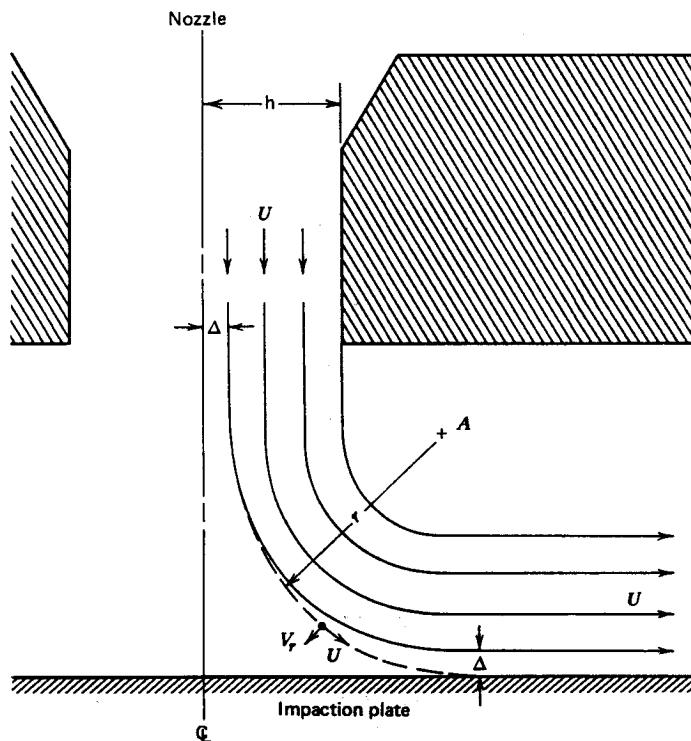


Bild 5: En förenklad impaktormodell

Den totala radiella förflyttningen partikeln gör från den ursprungliga strömlinjen ges av

$$\Delta = V_r t = \tau U / r (2\pi r / 4U) \quad (9)$$

t är den tid det tar att följa kvarts-cirkeln. Man ser i figuren att alla partiklar som finns inom avståndet Δ från centrumlinjen i munstycket kommer att impaktera. Andra kommer att skifta strömlinje, men aldrig nå impaktionsplattan. I fallet med ett rektangulärt munstycke kommer impaktionseffektiviteten, andel partiklar som impakterar, att ges av

$$E_I = \Delta/h = \pi\tau U / 2h = \pi/2 (\text{Stk}) \quad (10)$$

Här ser man hur Stokes' tal kommer in i uttrycket för effektiviteten, jfr ekv 6. En effektivitet på 50% motsvarar $\text{Stk} = 0.32$ i denna förenklade modell. Ett mer korrekt värde på Stk_{50} för ett rektangulärt munstycke, som gäller här, är $\text{Stk}_{50} = 0.59$. Genom att använda värdet $\text{Stk}_{50} = 0.59$ kan man beräkna gränsdiametern för varje impaktorsteg m h a formel (7).

KASKADIMPAKTORN

Låter man aerosolen passera flera impaktorsteg i följd kan man separera den i flera storleksområden. Då låter man gränsdiametern bli mindre och mindre i impaktorena genom att minska munstyckets vidd. På så sätt kommer partiklarna som hamnar i ett visst steg att representera alla partiklar som är mindre än gränsdiametern i steget innan, men större än gränsdiametern för det givna steget. Ett sådant impaktorsystem kallas för en kaskadimpaktor.

Efter att ha pumpat aerosolen genom en kaskadimpaktor under en viss tid undersöker man vad som hamnat på plattorna. Vill man veta hur många partiklar som hamnat i varje intervall och se vilken storlek de har kan man studera dem i ett mikroskop. Genom att räkna partiklarna på en viss andel av plattans yta kan man få fram hur många partiklar av samma storlek som fanns i den volym som pumpades genom impaktorn. Partikeltätheten måste då vara representativ för hela plattan.

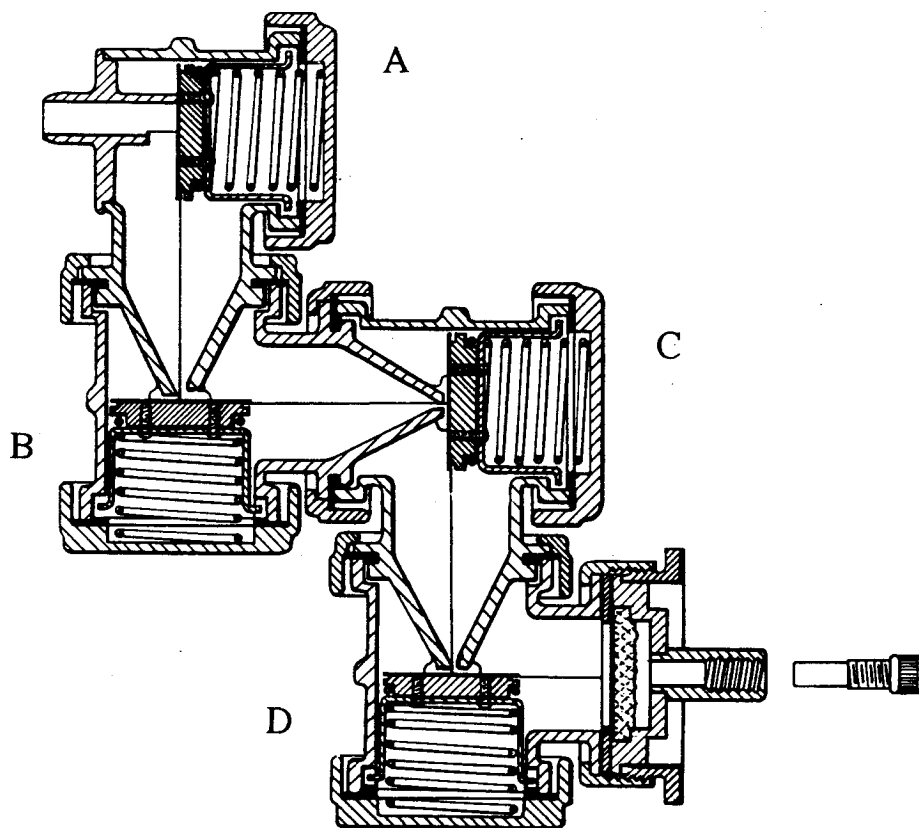


Bild 6: Laborationens impaktor

Munstyckens dimensioner i laborationens kaskadimpaktor:

- A: 1.9 cm x 0.65 cm
- B: 1.4 cm x 0.145 cm
- C: 1.4 cm x 0.075 cm
- D: 1.4 cm x 0.027 cm

Pumphastighet: 17.51 / min

UPPGIFT INFÖR LABORATIONEN:

Tänk ut hur du kan relatera framräknade gränsdiametrar till vad du ser i mikroskopet.

SYMBOLLISTA

R = partikelradieradie
 v = partikelns hastighet
 F_d = viskösa dragkraften på en sfär
 Re = Reynolds tal
 ρ = gasens densitet
 η = gasens viskositet
 τ = relaxationstiden
 d_p = partikelns diameter
 ρ_p = partikelns densitet
 C_c = korrektionsfaktor
 S = stoppsträckan
 v_0 = partikelns begynnelsehastighet
 d_c = karakteristisk diameter
 Stk = Stokes' tal
 U = gashastigheten
 D_j = munstyckets diameter/vidd
 d_{50} = gränsdiametern
 Stk_{50} =Stokes' tal motsvarande 50% uppsamlingseffektivitet
 V_r = radiell hastighet
 t = tid det tar att följa kvartscirkeln
 a_r = centripetalaccelerationen
 E_i = effektiviteten i impaktorsteget
 Δ = radiell förflyttning
 h = halva munstyckets bredd
 r = radien i kvartscirkeln

Referens: W.C. Hinds, Aerosol Technology : Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles (1982)