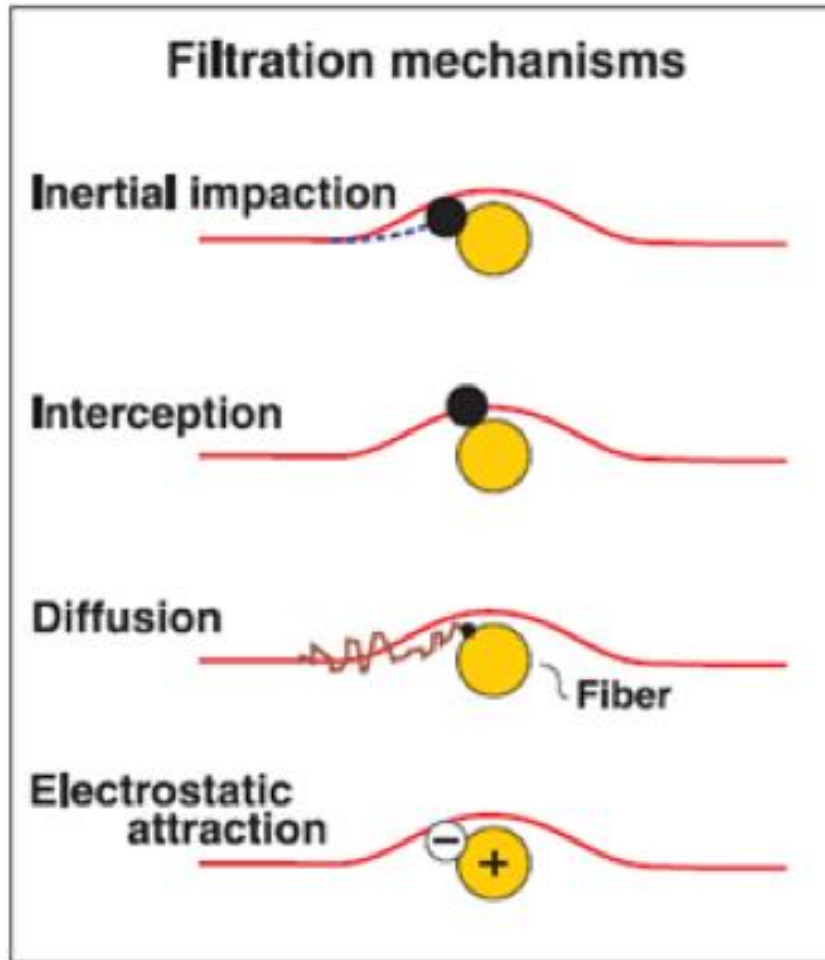




به نام خدا

دینامیک گازها و آئروسول‌ها



کارشناسی پیوسته مهندسی بهداشت حرفه‌ای - ترم ۳

دانشگاه علوم پزشکی نیشابور

دانشکده بهداشت

مهدی جلالی

مربی و عضو هیئت علمی

دانشگاه علوم پزشکی نیشابور



❖ ویژگی‌های آئروسول‌ها

- تعریف واژه‌ها
- شکل و دانسیته آئروسول‌ها
- غلظت آئروسول‌ها
- اندازه آئروسول‌ها (قطر ذرات):
 - ✓ قطر فرت (Feret Diameter) یا d_F
 - ✓ قطر مارتین (Martin Diameter) یا d_M
 - ✓ قطر معادل آئروآینامیکی (Equivalent Aerodynamic Diameter) یا d_{ae}
 - ✓ قطر استوکس (Stockes Diameter) یا d_S
 - ✓ قطر مساحت معادل تصویر ذره (Equivalent Projected Area Diameter) یا d_p
 - ✓ قطر مساحت معادل سطح خارجی (Equivalent Surface Area Diameter) یا d_A
 - ✓ قطر حجم معادل (Equivalent Volume Diameter) یا d_V



Dust and Gas Technology-5 Session

بررسی مشخصات سیال حاوی ذرات

۱- مقدمه



❑ از آنجایی که یک آئروسل متشکل از ذرات معلق در هواست، رفتار آئروسل وابستگی زیادی به ویژگی‌ها و رفتار هوا خواهد داشت.

❑ دو جنبه از مکانیک سیالات با رفتار آئروسل ارتباط پیدا می‌کند.

❑ **سطح میکروسکوپی:** جریان هوا بر روی سطح و اطراف یک ذره کوچک هوابرد

❑ **سطح ماکروسکوپی:** توجه بر روی رفتار سیستم‌های هوای جاری با مقیاس بزرگتر که آئروسل در آن پراکنده است (مثلاً اتمسفر محیط کار در مقیاس گسترده، در اطراف نمونه بردارها، در کانال‌ها، در تجهیزات پاکسازی هوا و ...)

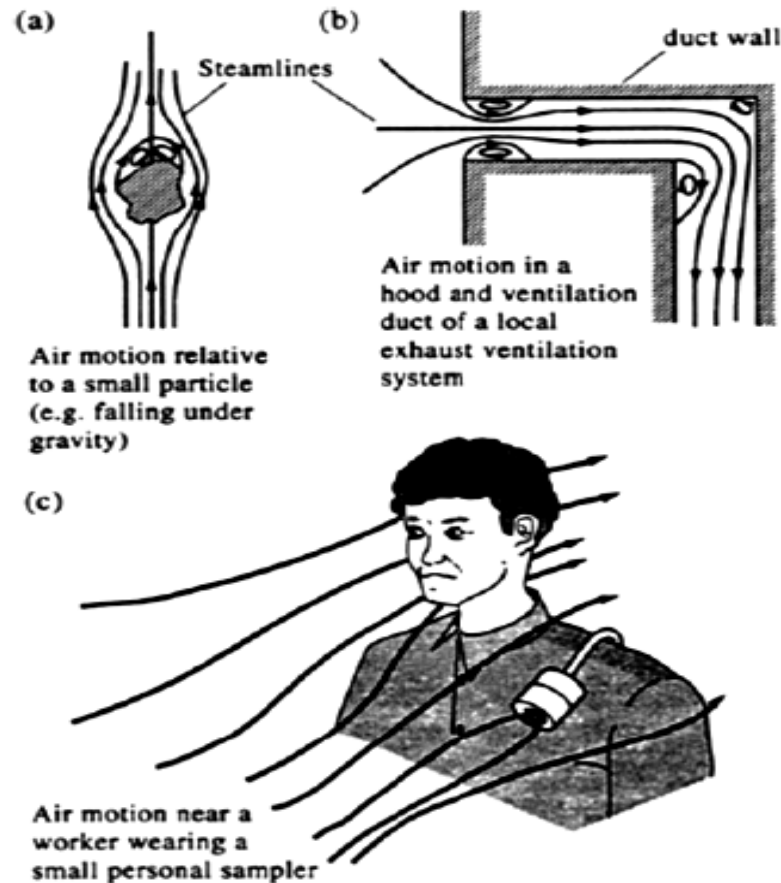


Figure 2.5. Some streamline patterns typical of flows of interest to industrial hygienists: (a) flow about a particle falling under gravity; (b) flow into the hood of a local exhaust ventilation system and then through the ventilation ducting; and (c) flow about a worker (facing the wind) and into a small aspirating personal aerosol sampler attached to his body.



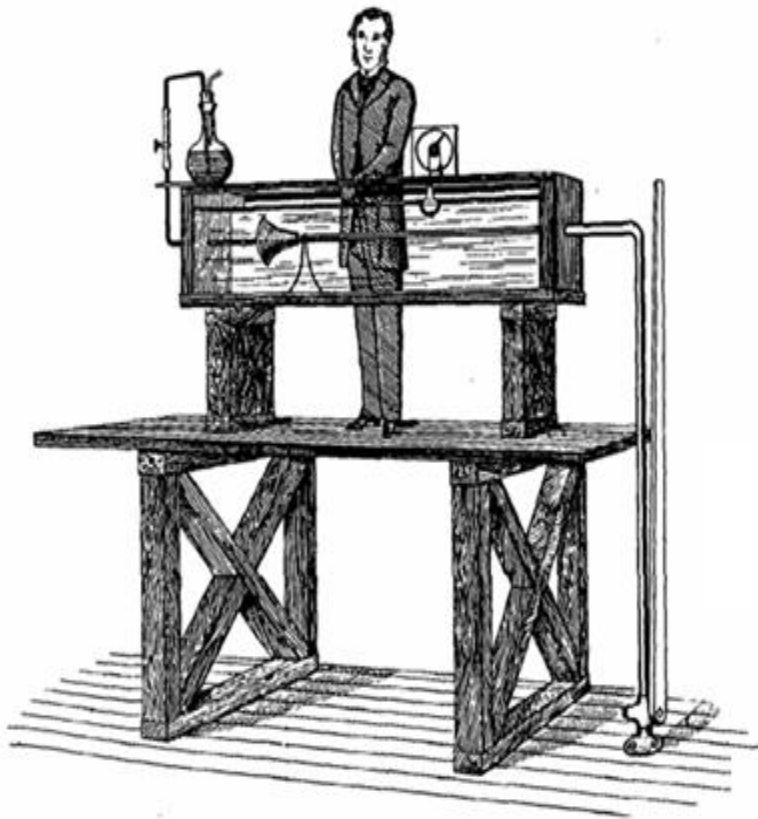
Dust and Gas Technology-5 Session

بررسی مشخصات سیال حاوی ذرات

۲- عدد رینولدز



- ❖ در سال ۱۸۸۳، رینولدز، دانشمند ایرلندی عددی بی بعد را معرفی کرد که می توانست الگوی جریان را معلوم کند.
- ❖ او متوجه شد که این عدد به خواص استاتیکی و دینامیکی سیال، هم چون سرعت، چگالی، ویسکوزیته دینامیکی و ... وابسته است.
- ❖ بنابراین آزمایشاتی را به منظور فهمیدن دقیق این رابطه انجام داد.
- ❖ برای این منظور سیستمی را مطابق با شکل صفحه بعد طراحی کرد.
- ❖ این سیستم به این صورت بود که لوله ای نازک که حاوی سیالی رنگی بود در یک لوله اصلی محتوی آب، قرار داده شد. سپس سیال رنگی درون آب به جریان در می آمد. بنابراین امکان دیدن حرکت سیال فراهم می شد.



لایه‌ای



توربولانس



توربولانس





❖ نکته کلیدی برای فهم خواص آئرو دینامیکی ذرات معلق است.

❖ کمیتی بدون بعد که مشخصات سیال را داخل یک لوله یا اطراف مانعی مثل ذره معلق در هوا توصیف می کند.

❖ عدد رینولدز دارای ویژگیهای زیر است:

➤ شاخصی برای نوع رژیم جریان است. محکی برای تعیین خطی یا آشفته بودن جریان سیال

➤ متناسب با نسبت نیروهای اینرسی بر نیروی اصطکاک عمل کننده بر هر جزئی از سیال. این نسبت کلیدی برای تعیین این مورد است که آیا رابطه مقاومت جریان در شرایط معین درست است یا خیر

➤ عددهای رینولدز یکسان یا مشابه نشانگر شباهت هندسی جریانهای اطراف اشیاء می باشد.

عدد رینولدز از تقسیم اینرسی بر اصطکاک محاسبه می شود:

نیروی اصطکاک (F_f) اثرگذار روی یک جزء از سیال در یک سیستم با جریان یکنواخت با **رابطه ۵-۱** محاسبه می شود:

$$F_f = \eta L^2 \quad \text{رابطه ۵-۱}$$

که در آن L طول مشخصی از جزء سیال و η ویسکوزیته سیال می باشد.

نیروی اینرسی معادل میزان تغییر حرکت اجزاء سیال بوده و با **رابطه ۵-۲** محاسبه می شود:

$$F_L = \rho L^3 U \quad \text{رابطه ۵-۲}$$

که در آن ρ دانسیته سیال، L طول مشخصی از جزء سیال و U سرعت سیال می باشد.

با تقسیم اینرسی بر اصطکاک (**رابطه ۵-۳**)، عدد رینولدز تعیین می شود:

$$R_e = \frac{F_L}{F_f} = \frac{\rho U L}{\eta} \quad \text{رابطه ۵-۳}$$



با قرار دادن V (سرعت نسبی بین سیال و ذره) بجای U و همچنین d (قطر ذره) بجای L ، رابطه عدد رینولدز در بحث دینامیک ذرات مفیدتر و بصورت زیر خواهد شد:

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{\frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s} \times m}{Pa \times s}$$

رابطه ۴-۵

نکته:

- در مبحث عدد رینولدز ذرات، V سرعت ته نشینی ذره (متر بر ثانیه) و D قطر ذره (متر) می باشد.
- در مبحث عدد رینولدز جریان داخل یک لوله، V سرعت سیال داخل لوله (متر بر ثانیه) و D قطر لوله (متر) می باشد.
- در صورتی که دبی جریان یک لوله مشخص باشد، سرعت جریان هوا با استفاده از روابط زیر محاسبه می گردد:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{m^3}{s}$$

- که V در رابطه اول حجم هوا و در رابطه دوم سرعت جریان هوا می باشد.

$$Q = V \left(\frac{m}{s} \right) \times A (m^2)$$

- ❖ واحدهای دیگر دبی، لیتر بر دقیقه و لیتر بر ثانیه نیز می باشد که قابل تبدیل به متر مکعب بر ثانیه است. به این صورت که هر ۱۰۰۰ لیتر معادل ۱ متر مکعب است.



❖ با توجه به شرایط استاندارد (دمای ۲۰ درجه و فشار ۱ اتمسفر) برای هوا خواهیم داشت:

▪ ویسکوزیته استاندارد در سیستم SI: $1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

▪ دانسیته استاندارد در سیستم SI: 1.2 Kg/m^3

❖ در نتیجه رابطه عدد رینولدز در سیستم SI بصورت زیر قابل ساده شدن می باشد:

▪ که در آن V بر حسب m/s و d بر حسب m می باشد.

$$R_e = 66000 \times VD$$



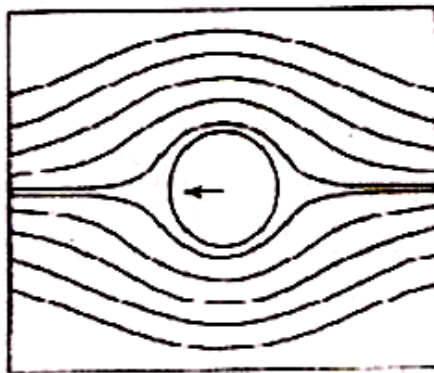
□ بر اساس مقدار عدد رینولدز می توان نوع جریان اطراف یک ذره را تعیین نمود.

□ عدد رینولدز برای ذرات:

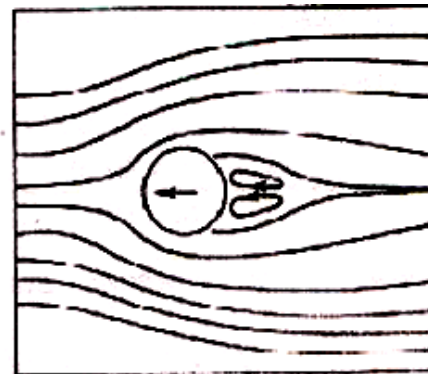
- $Re < 1$ = ناحیه جریان خطی؛ در این حالت جریان اطراف ذره خطی، لامینار یا استوکس می باشد.
- $Re > 1$ = ناحیه گذرا
- $Re > 51$ = ناحیه آشفته
- $Re > 1000$ = ناحیه نیوتنی

□ در $Re > 1$ جریان خطی، یکنواخت و پیوسته است و نیروهای ویسکوز بسیار بیشتر از نیروهای اینرسی هستند. در این وضعیت، الگوی صاف و متقارنی از خطوط جریان در دو طرف ذره ایجاد می شود.

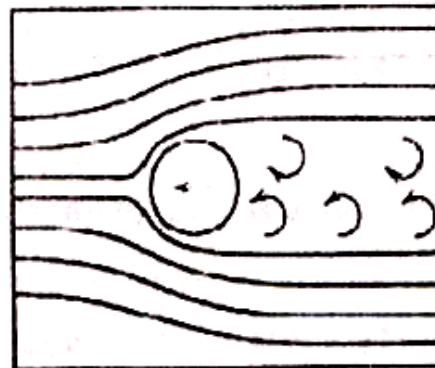
□ هر چه عدد رینولدز بیشتر از ۱ می شود، جریان های گردابی در پایین دست ذره تشکیل شده و به تدریج بیشتر و بزرگتر (شدیدتر) می شوند.



$Re < 1$



$0.5 < Re < 1$



$Re > 1 \dots$

عدد رینولدز برای ذرات



□ عدد رینولدز در داخل لوله‌ها

□ در داخل لوله‌ها:

- جریان برای $Re < 2000$ خطی
 - برای $Re > 4000$ آشفته (توربولانس) است.
 - بین $2000 - 4000$ جریان بینابینی
- دلیل اختلاف حد جریان خطی برای ذره و لوله‌ها، اهمیت زیاد نیروهای اینرسی برای جریان اطراف ذره در مقایسه با جریان خطی مستقیم در طول لوله می‌باشد.



□ مثال ۱

- جریانی از هوا را در نظر بگیرید که در شرایط استاندارد در داخل لوله‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر و با سرعت میانگین ۲ متر بر ثانیه در حرکت است. عدد رینولدز و ماهیت جریان چگونه می‌باشد؟

□ مثال ۲

- جریان هوایی را در نظر بگیرید که در شرایط استاندارد از اطراف یک ذره کوچک به قطر ۱۰ میکرومتر با سرعت نسبی ۱ میلی‌متر بر ثانیه در حرکت است. در رابطه با نوع این جریان قضاوت نمایید.



□ تکلیف خارج از کلاس

- از هوای تنفسی کارگری در یک صنعت ریخته‌گری، گردوغبار سیلیس با قطر ۲ میکرومتر در شرایط استاندارد با پمپ نمونه‌برداری فردی با دبی $1/2$ لیتر بر دقیقه توسط یک فیلتر PVC متصل به یک لوله تایگون با قطر ۱۰ میلی‌متر نمونه‌برداری شده است. اگر سرعت ته‌نشینی گردوغبار سیلیس در حین عبور از لوله تایگون 0.01 سانتی‌متر بر ثانیه باشد عدد رینولدز ذره و جریان را محاسبه نموده و در رابطه با نوع جریان در لوله و اطراف ذره قضاوت نمایید.



Dust and Gas Technology-5 Session

بررسی مشخصات سیال حاوی ذرات

۳- میانگین مسیر آزاد



میانگین مسیر آزاد

□ یکی از مشخصه‌های مهمی که در مبحث جریان گازی حاوی آئروسول مطرح است میانگین مسیر آزاد یا فاصله آزاد مولکول‌های گاز می‌باشد.

□ میانگین مسیر آزاد یا فاصله آزاد مولکول‌های گاز عبارت است از فاصله متوسطی که یک مولکول گاز قبل از اینکه به مولکول گاز دیگر برسد طی می‌نماید.

□ این فاکتور با توجه به رابطه زیر به ویسکوزیته هوا، دانسیته ذره و فشار هوا بستگی دارد:

$$\lambda = \frac{\mu}{I} \sqrt{\frac{\pi}{8\rho P}}$$

□ که در آن λ فاصله آزاد مولکول‌های گاز مورد نظر (بر حسب متر)، μ ویسکوزیته گاز مورد نظر (Pa.s)، ρ دانسیته گاز مورد نظر (Kg/m^3)، P فشار هوا (پاسکال) و I یک عدد ثابت و برابر با 0.499 می‌باشد.



□ مثال

فاصله آزاد مولکول‌های هوا (λ) را در شرایط استاندارد (STP) محاسبه نمایید:

▪ ویسکوزیته هوا برابر با $1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

▪ دانسیته هوا برابر با 1.2 Kg/m^3

▪ فشار هوا برابر با 1.01×10^5



❖ بررسی برخی خصوصیات سیال حاوی ذرات

➤ مقدمه در رابطه با جریان‌های مورد بررسی در مهندسی بهداشت حرفه‌ای

➤ عدد رینولدز و روش محاسبه آن

➤ میانگین فاصله آزاد مولکول‌های گازی (هوا)





خسته نباشید

با آرزوی موفقیت

jalalim1@nums.ac.ir