

Física 2 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda

AULA 09 – 31/03/2025

crmiranda@usp.br



Cronograma

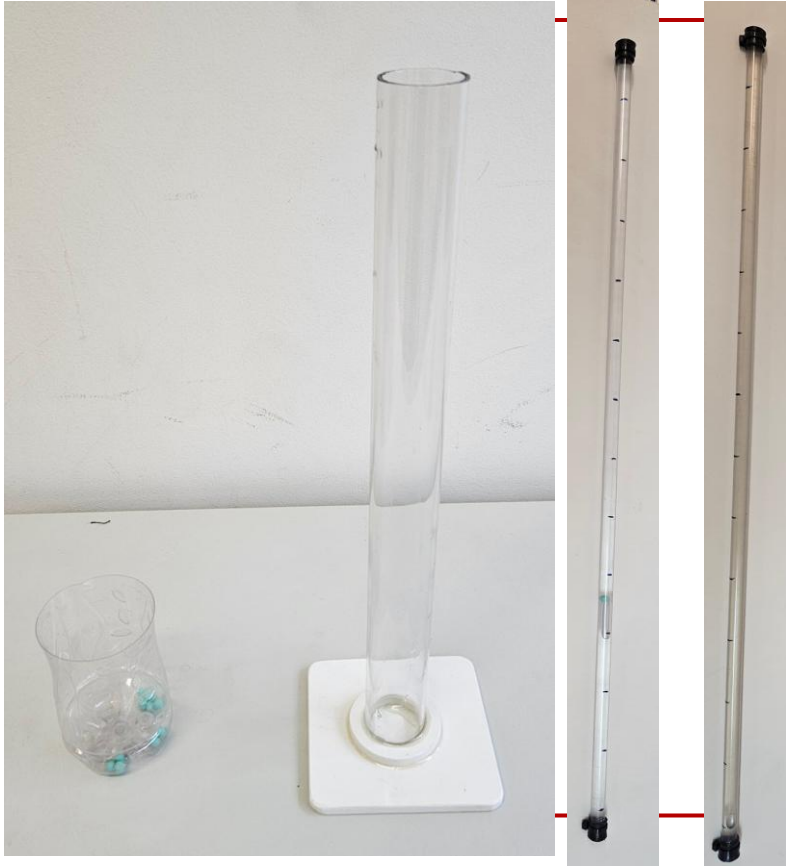
CRONOGRAMA TENTATIVO - FÍSICA II - CCM					
DATA	aula n°	Segundas (16h - 18h)	aula n°	Quartas (09h - 12h)	DATA
24/2	1	Apresentação do curso	2	Projeto - Definição	26/2
3/3	Feriado	Carnaval	Feriado	Carnaval	5/3
10/3	3	Revisão matemática	4	Projeto - Ideação	12/3
17/3	5	DEMO 1 - Pressão	6	Estática dos Fluidos	19/3
24/3	7	DEMO 2 - Hidrodinâmica	8	Hidrodinâmica	26/3
31/3	9	DEMO 3 - Hidrodinâmica II	10	Hidrodinâmica	2/4
7/4	11	Revisão - P1	12	PROVA 1	9/4
14/4	Feriado	Semana Santa	Feriado	Semana Santa	16/4
21/4	Feriado	Tiradentes	13	Oscilações I	23/4
28/4	14	DEMO 4 - Corda vibrante / Molas / Ondulatória	15	Oscilações II	30/4
5/5	16	Ondas	17	Ondas	7/5
12/5	18	DEMO 5 - Barulhinho bom	19	Som	14/5
19/5	20	Revisão - P2	21	PROVA 2	21/5
26/5	22	DEMO 6 - Fenômenos Térmicos e Gases	23	Primeira Lei e Gases	28/5
2/6	24	DEMO 7 - Máquinas térmicas	25	Segunda Lei	4/6
9/6	26	DEMO 8 - Cinética & Mecânica Estatística	27	Cinética dos Gases e Mecânica Estatística	11/6
16/6	Feriado	Corpus Christi	Feriado	Corpus Christi	18/6
23/6	28	Projeto	29	Apresentações	25/6
30/6	30	PROVA SUB	31	VISTA	2/7

ENTREGA 1

ENTREGA 2

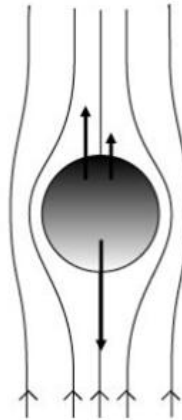
ENTREGA 3

Stokes e a viscosidade:

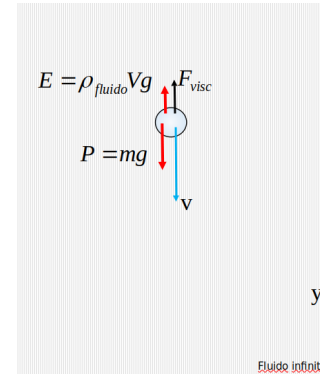


Considerando um escoamento do tipo laminar, as equações físicas para descrever o movimento de uma esfera em um cilindro ficam mais simples...

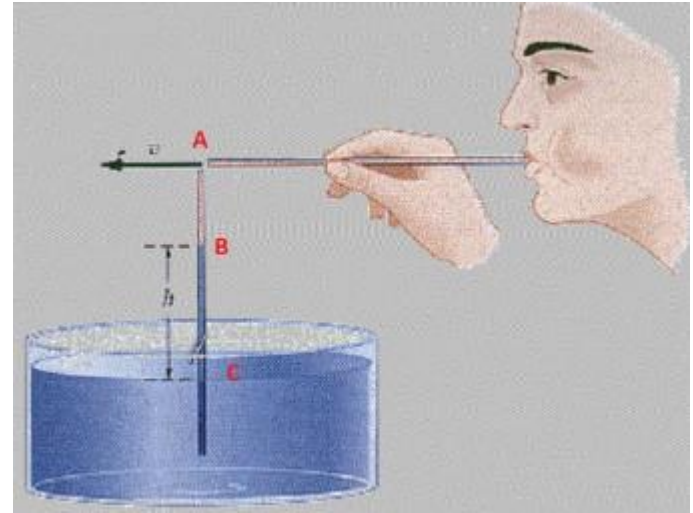
Lei de Stokes (1851): fluido infinito



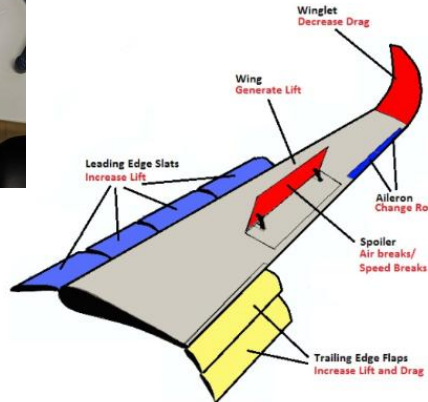
$$F_{\text{viscosa}} = -6\pi\eta r v$$



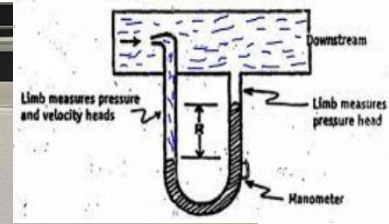
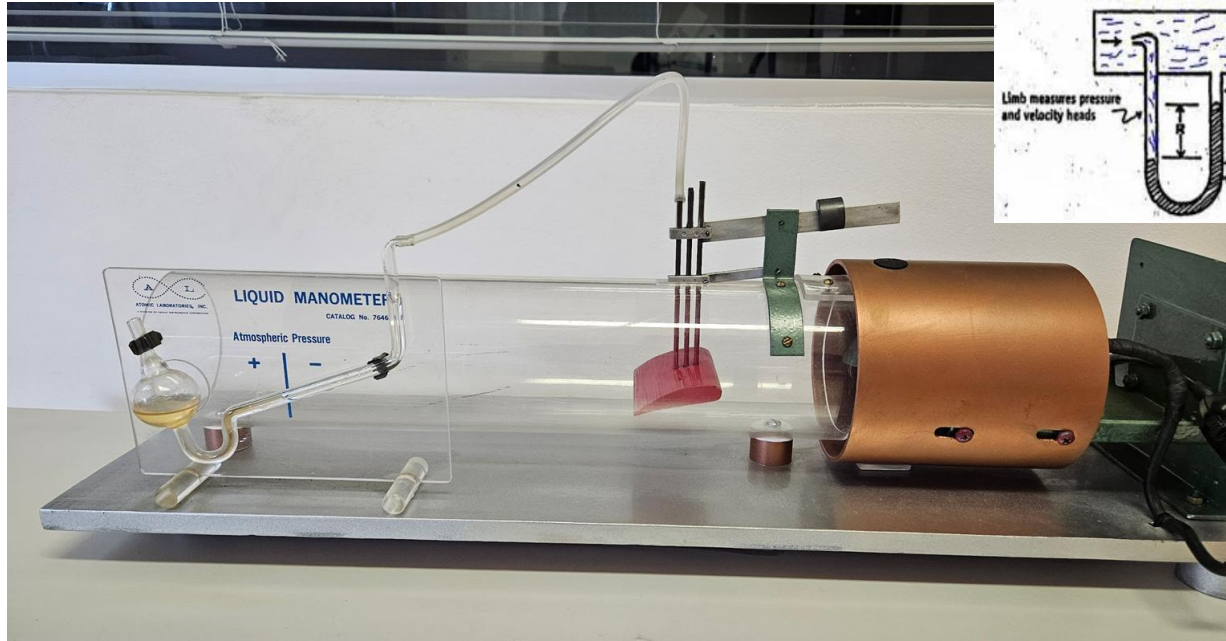
Canudo de Bernoulli:



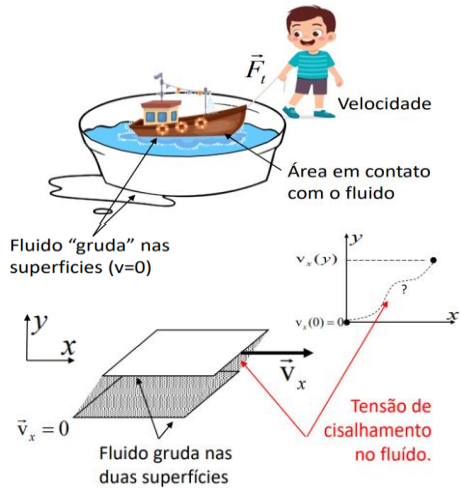
Bernoulli e o avião:



Tubo de Pitot:



Viscosímetro de Stokes:



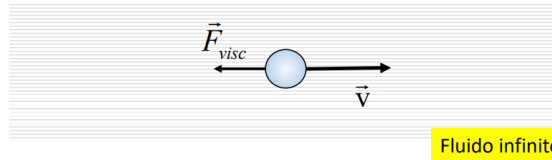
$$\bar{\tau} = \frac{\vec{F}_t}{A} = \eta \frac{\partial \vec{v}_x(y)}{\partial y}$$

Viscosidade dinâmica
 $[\eta] = \text{N.s.m}^{-2}$ ou Pa.s

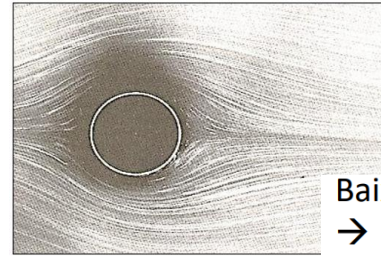
$$\vec{F}_{\text{viscosa}} = -6\pi\eta r\vec{v}$$

Raio e velocidade da esfera

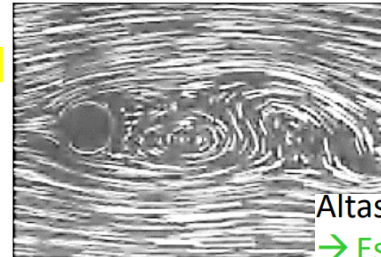
Viscosidade dinâmica (Pa.s, ou poise)



<https://www.youtube.com/watch?v=QzuzbwJWIYs>



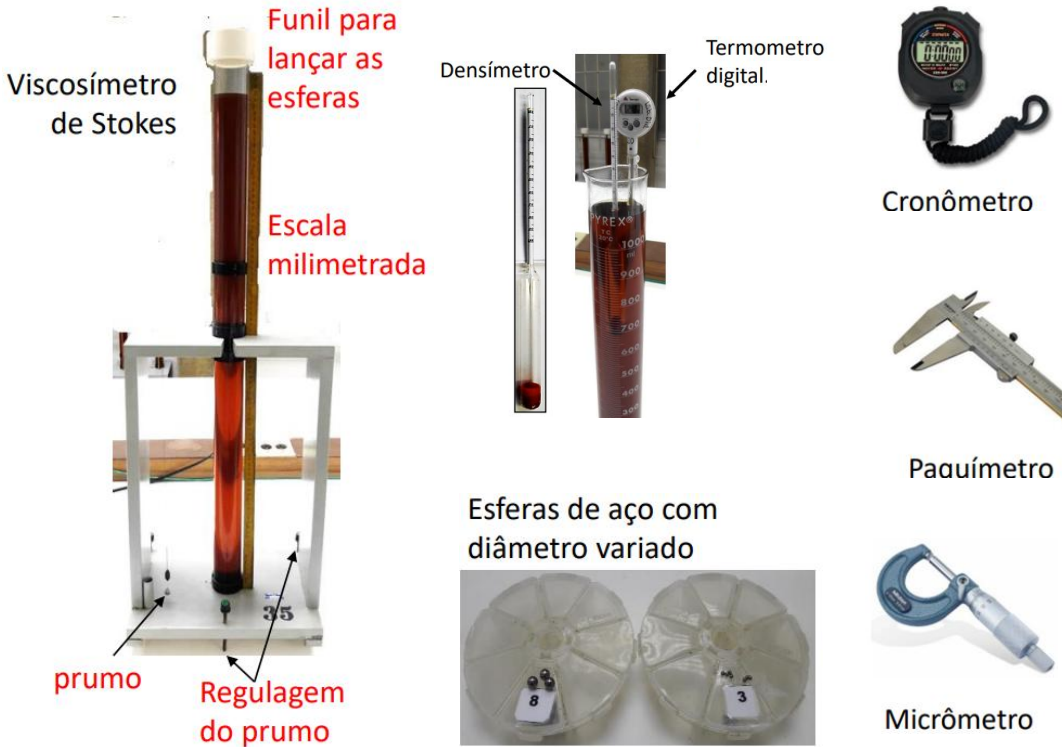
Baixas velocidades
 → **Escoamento laminar**
 → Equações físicas simples



Altas velocidades
 → **Escoamento turbulento**
 → Equações físicas complexas

https://www.youtube.com/watch?v=q-DZ0f0_NCA

Viscosímetro de Stokes:



15 MINUTOS POR GRUPO - CADA GRUPO COM UM CONJUNTO DE ESFERAS:

- CALCULAR O DIÂMETRO DAS ESFERAS (mm);
- JOGAR ELAS NO LÍQUIDO E CRONOMETRAR O TEMPO DE QUEDA (s);
- CALCULAR O DIÂMETRO DO TUBO (cm); e
- ALTURA DE QUEDA (cm).

Viscosímetro de Stokes:

A velocidade v_{∞}

$$v_{\infty} = f \cdot v_D$$

$$v_{\infty} = \frac{2g}{9\eta} (\rho_{esf} - \rho_{fluido}) r^2$$

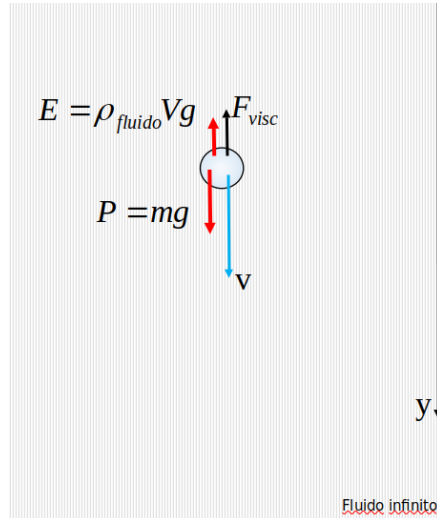
15 MINUTOS POR GRUPO - CADA GRUPO COM UM CONJUNTO DE ESFERAS:

- CALCULAR O DIÂMETRO DAS ESFERAS (mm);
- JOGAR ELAS NO LÍQUIDO E CRONOMETRAR O TEMPO DE QUEDA (s);
- CALCULAR O DIÂMETRO DO TUBO (cm); e
- ALTURA DE QUEDA (cm).

Demandas:

- Análise de quantitativa do viscosímetro de Stokes: medir valor do diâmetro interno do tubo, tempo de queda, diâmetros das suas esferas e altura do tubo.
- Análise qualitativa do fenômeno de planagem;
- Análise qualitativa comparando os diferentes fluidos; e
- Comparar os tubos fechados com a esfera e estimar o tempo de descida.

Viscosímetro de Stokes:



$$m_{esf} \vec{a} = \sum_i \vec{F}_i = \vec{P} + \vec{E} + \vec{F}_{visc}$$

$$m_{esf} \frac{dv}{dt} = m_{esf} g - m_{fluido} g - 6\pi\eta r v$$

usando $m = \rho V$

$$V_{esf} \rho_{esf} \frac{dv}{dt} = V_{esf} \rho_{esf} g - V_{esf} \rho_{fluido} g - 6\pi\eta r v$$

↗ Cresce com v

Em algum momento $\rho_{esf} \frac{dv}{dt} = 0$

É a velocidade limite

$$0 = V_{esf} \rho_{esf} g - V_{esf} \rho_{fluido} g - 6\pi\eta r v$$

$$v_{limite} = \frac{V_{esf} \rho_{esf} g - V_{esf} \rho_{fluido} g}{6\pi\eta r}$$

$$v_{limite} = \frac{V_{esf} g}{6\pi\eta r} (\rho_{esf} - \rho_{fluido})$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$v_{limite} = \frac{2g}{9\eta} (\rho_{esf} - \rho_{fluido}) r^2$$

$$v_{\infty} = f \cdot v_D$$

$$f = (1 + x + x^2) \text{ com } x = \frac{9r}{2D}$$

r = raio da esfera

D = diâmetro do cilindro

Rudolf Ladenburg, Über den Einfluß von Wänden auf die Bewegung einer Kugel in einer reibenden Flüssigkeit, Annalen der Physik, 328, pg 447-458, (1907)

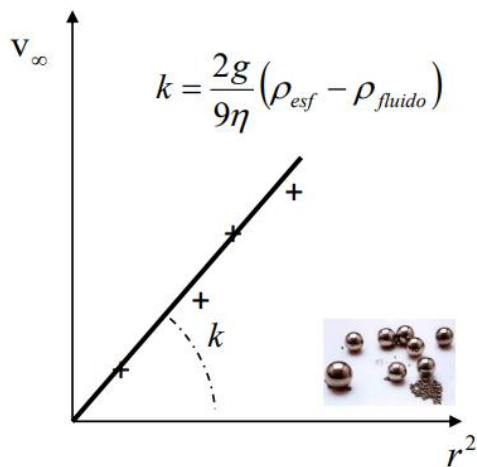
Sobre a influência das paredes no movimento de uma esfera em um fluido friccional

Viscosímetro de Stokes:

A velocidade v_{∞}

$$v_{\infty} = f \cdot v_D$$

$$v_{\infty} = \frac{2g}{9\eta} (\rho_{esf} - \rho_{fluido}) r^2$$



15 MINUTOS POR GRUPO - CADA GRUPO COM UM CONJUNTO DE ESFERAS:

- CALCULAR O DIÂMETRO DAS ESFERAS (mm);
- JOGAR ELAS NO LÍQUIDO E CRONOMETRAR O TEMPO DE QUEDA (s);
- CALCULAR O DIÂMETRO DO TUBO (cm); e
- ALTURA DE QUEDA (cm).