

Chương 2: Tính chất cơ học của lưu chất

Bài giảng của TS. Nguyễn Quốc Ý
nguyenquocy@hcmut.edu.vn

Ngày 26 tháng 1 năm 2013

Nội dung cần nắm

- Các tính chất cơ học: $\rho, \gamma, \delta, K, \nu, \mu$
- Định luật Newton về ma sát nhớt $\tau, du/dy$ + Bài tập
- Các hiện tượng: căng bề mặt, mao dẫn, cavitation

Khối lượng riêng ρ

Tổng quát

$$\rho = \frac{\text{khối lượng}}{\text{thể tích tương ứng}} = \frac{m}{V}, \text{ kg/m}^3$$

Theo nhiệt độ

: $\rho \searrow$ khi nhiệt độ \nearrow

Temperature (°C)		0	10	15	20	40	60	80	100
ρ (kg/m ³)	Water	999.8	999.7	999.1	998.2	992.2	983.2	971.8	958.4
	Air	1.293	1.247	1.226	1.205	1.128	1.060	1.000	0.9464

Đo Khối lượng riêng:

- đo m, đo V
- Cách nào khác?

Khối lượng riêng của chất khí:

khí lý tưởng (khí không gần trạng thái hóa lỏng)

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

trong đó:

p : áp suất tuyệt đối (N/m^2)

T : nhiệt độ tuyệt đối ($^{\circ}K$)

R : hằng số chất khí ($J/(Kg^{\circ}K)$), $287.1J/(Kg^{\circ}K)$

e.g. ở $20^{\circ}C=293.15^{\circ}K$, $p_{at} = 101KN/m^2 = 101,000N/m^2$

$$\rho_{air} = \frac{p}{RT} = \frac{101,000}{287 \times 293.15} = 1.2kg/m^3$$

Tỉ trọng/ tỉ khối:

là tỉ số giữa KLR ρ chất đó và KLR nước ρ_w ở 4°C ($1000\text{kg}/\text{m}^3$)

$$\delta = \frac{\rho}{\rho_w}$$

Trọng lượng riêng:

trọng lượng trên một thể tích đơn vị (1m^3 , $1\text{l} \dots$)

$$\gamma = \rho g, \text{N}/\text{m}^3$$

Thể tích riêng:

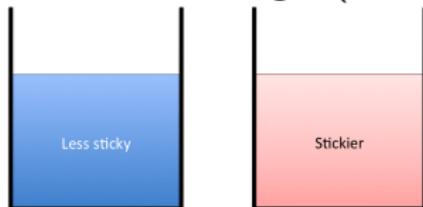
thể tích trên một khối lượng đơn vị

$$v = \frac{1}{\rho}, \text{m}^3/\text{kg}$$

Độ nhớt

Độ nhớt của một lưu chất:

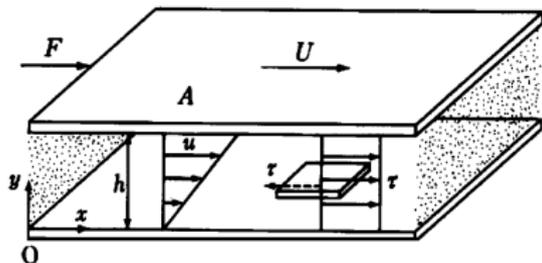
- thể hiện tính chất gì? (so sánh cốc nước- cốc syrup)



Which cup contains syrup, then?

- độ nhớt lớn, ma sát lớn hay nhỏ?
so sánh: nước & dầu chảy trên mặt nghiêng
bôi trơn

Thí nghiệm độ nhớt- ma sát

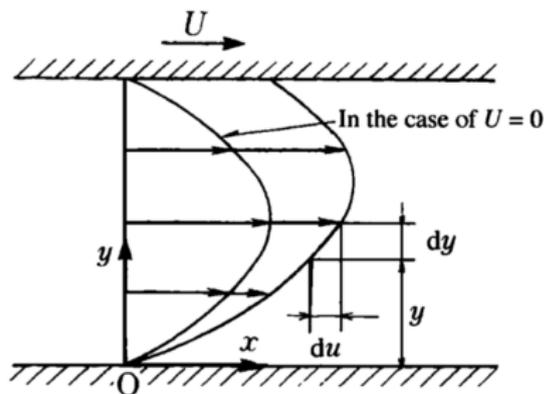


- Chất lỏng giữa hai tấm phẳng (mặt dưới cố định, mặt trên có vận tốc $U = \text{const.}$).
- Lực F cần để đẩy mặt trên.

- $\frac{F}{A}$ cần để di chuyển tấm phẳng = **ứng suất tiếp**, $\sim U$, $\sim \frac{1}{h}$

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h}$$

μ : độ nhớt, hay hệ số nhớt, hay **hệ số nhớt động lực học**



- Mở rộng: phân bố vận tốc tuyến tính, $\frac{U}{h} = \frac{du}{dy}$
- Tổng quát

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

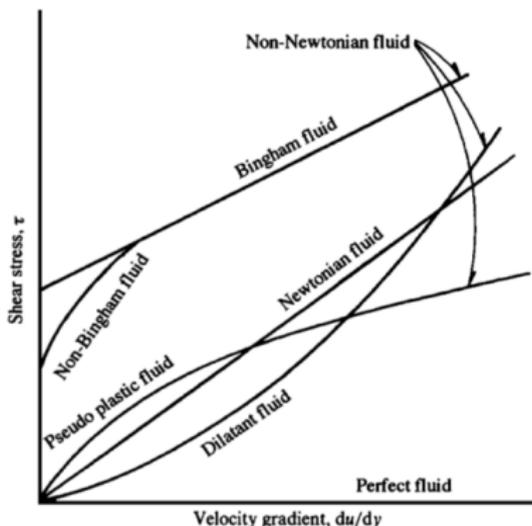
Định luật Newton về ma sát nhớt,

- Lực ma sát $F = \tau A_{\text{ma sát}} = \tau \frac{du}{dy} A_{\text{ma sát}}$

Bàn luận: $A_{\text{ma sát}}$ của tấm phẳng, trục tròn...

Làm sao để giảm ma sát giữa hai bề mặt

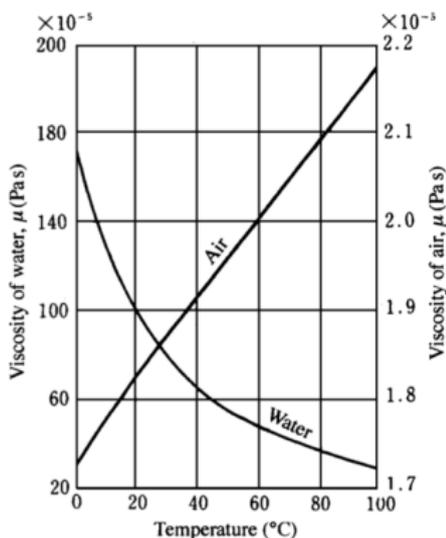
Lưu chất Newtonian & Phi-Newtonian



Quan hệ giữa τ và du/dy cho

- Lưu chất Newton: $y = a.x$,
- Lưu chất Phi Newton: $y \neq a.x$
- Lưu chất lý tưởng: $\tau = 0$ hay $\mu = 0$

Độ nhớt thay đổi theo nhiệt độ



Các công thức thực nghiệm:

Khí : công thức Sutherland

$$\mu = \frac{CT^{3/2}}{T + S}$$

Lỏng : công thức Andrade

$$\mu = De^{B/T}$$

- Đơn vị của μ : Pa s, $\frac{g}{m.s}$,

Poise (P)

$$1P = 100cP = 0.1Pa.s$$

Bàn luận: ví dụ thực tế?

ứng xử khác nhau khi nhiệt độ tăng giữa chất lỏng và chất khí?

Độ nhớt động học

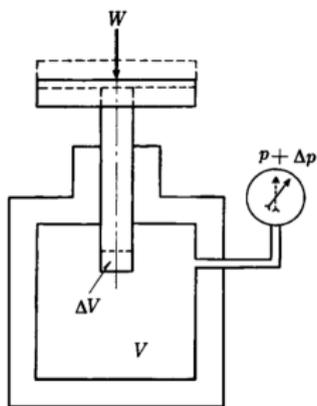
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- thể hiện ảnh hưởng của độ nhớt lên chuyển động (vận tốc, PT Navier-Stokes)
- Đơn vị: m^2/s , St
 $1St = 1cm^2/s$

cần nhớ

- Độ nhớt của nước ở điều kiện thường,
- Khối lượng riêng của nước ở điều kiện thường

Tính nén



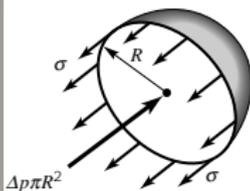
- thể tích V ở áp suất $p \rightarrow$ thể tích $V + dV$ ở áp suất $p + dp$, vậy:

$$\text{suất đàn hồi: } K = -\frac{dp}{dV/V}$$

- Tính nén được $\beta = \frac{1}{K}$
mà $m = \rho V$, $K = \frac{dp}{d\rho/\rho}$
 - Nén, giãn nở của khí:
 - đẳng nhiệt:
 $p = \rho RT \rightarrow \frac{p}{\rho} = \text{const.} \rightarrow K = p$
 - đoạn nhiệt:
 $\frac{p}{\rho^k} = \text{const.} \rightarrow K = kp$
where $k = \frac{c_p}{c_v}$
- So sánh K và β của chất lỏng- khí

Sức căng bề mặt

Xét giọt nước/ chất lỏng (đơn giản hóa) hình cầu:



σ : sức căng bề mặt (N/m)

Δp : chênh lệch áp suất bên trong
bên ngoài giọt chất lỏng

cân bằng lực: $\pi d \sigma = \Delta p \pi R^2$

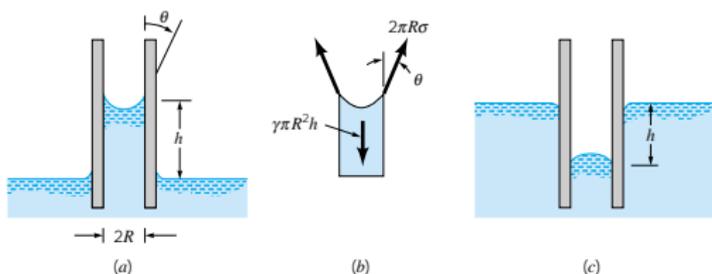
$$\text{or } \Delta p = 2\sigma/R$$

Table 2.4 Surface tension of liquid (20°C)

Liquid	Surface liquid	N/m
Water	Air	0.0728
Mercury	Air	0.476
Mercury	Water	0.373
Methyl alcohol	Air	0.023



Mao dẫn



Hình: a) dính ướt. b) free-body diagram. c) không dính ướt

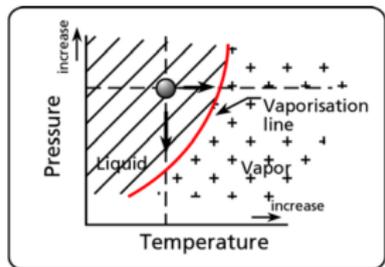
Cân bằng lực theo phương đứng:

lực căng bề mặt = trọng lực

$$2\pi R\sigma \cos\theta = \gamma\pi R^2 h \Rightarrow h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\gamma R} \lesseqgtr 0, \text{ nên } h \propto \frac{1}{R}$$

★ nước/cồn - ống thủy tinh: $\theta \approx 0^\circ$, thủy ngân- ống thủy tinh:
 $\theta \approx 130 - 140^\circ$

Áp suất hơi bão hòa-Cavitation



- Áp suất bên trong chất lỏng = ASHBH \rightarrow bắt đầu sôi!
- Trong dòng lưu chất, vận tốc lớn \rightarrow a_s nhỏ,
 \rightarrow có thể sôi cục bộ,
 \rightarrow cavitation

HẾT CHƯƠNG 2!