



Chương 1 CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA LƯU CHẤT

1. Tính chất của chất lỏng

1.1. Vai trò của ứng suất trong dòng chảy

1.2. Khối lượng riêng

2. Độ nhớt

2.1 Đo độ nhớt của lưu chất

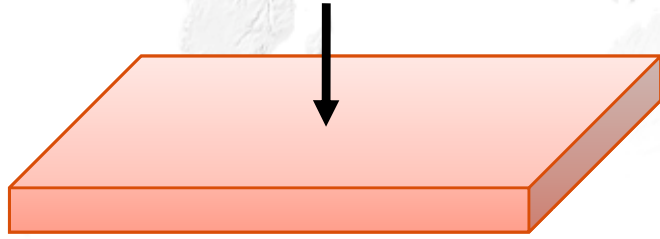
2.2. Nhớt kế mao quản

2.2. Nhớt kế roto



1. Tính chất của chất lỏng

F (lực tác dụng)



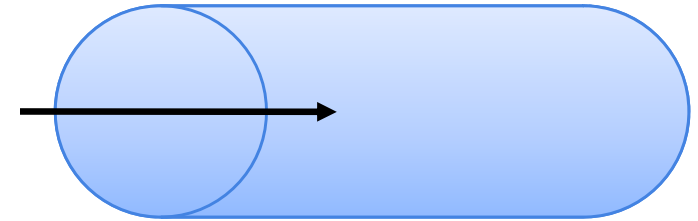
Lực tác động theo phương thẳng đứng với bề mặt



Áp suất
Pressure

$$P = \frac{\text{Lực}}{\text{Diện tích mặt cắt ngang}}$$

F (lực tác dụng)



Lực tác động theo Phương song song với bề mặt



Ứng suất cắt
Shear tress

$$\tau = \frac{\text{Lực}}{\text{Diện tích tiếp xúc theo phương song song}}$$

$$\frac{N}{m^2} = Pa$$

Pa: Pascal



Đơn vị đo áp suất

	pascal (Pa)	bar (bar)	technical atmosphere (at)	atmosphere (atm)	torr (Torr)	pound-force per square inch (psi)
1 Pa	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	10^{-5}	1.0197×10^{-5}	9.8692×10^{-6}	7.5006×10^{-3}	145.04×10^{-6}
1 bar	100,000	$\equiv 10^6 \text{ dyn/cm}^2$	1.0197	0.98692	750.06	14.5037744
1 at	98,066.5	0.980665	$\equiv 1 \text{ kgf/cm}^2$	0.96784	735.56	14.223
1 atm	101,325	1.01325	1.0332	$\equiv 1 \text{ atm}$	760	14.696
1 torr	133.322	1.3332×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	1.3158×10^{-3}	$\equiv 1 \text{ Torr}; \approx 1 \text{ mmHg}$	19.337×10^{-3}
1 psi	6,894.76	68.948×10^{-3}	70.307×10^{-3}	68.046×10^{-3}	51.715	$\equiv 1 \text{ lbf/in}^2$

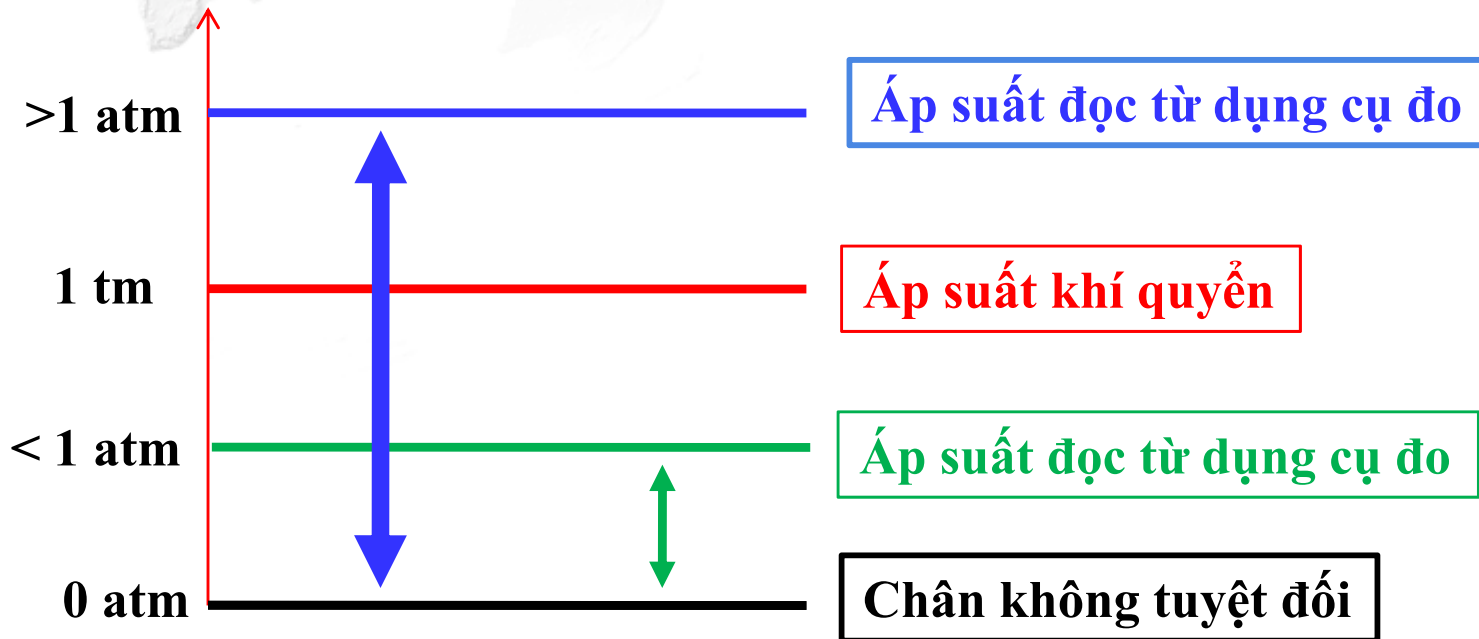


Blaise Pascal (1623-1662)





Áp suất tuyệt đối - áp suất đo đạc – dụng cụ đo áp suất



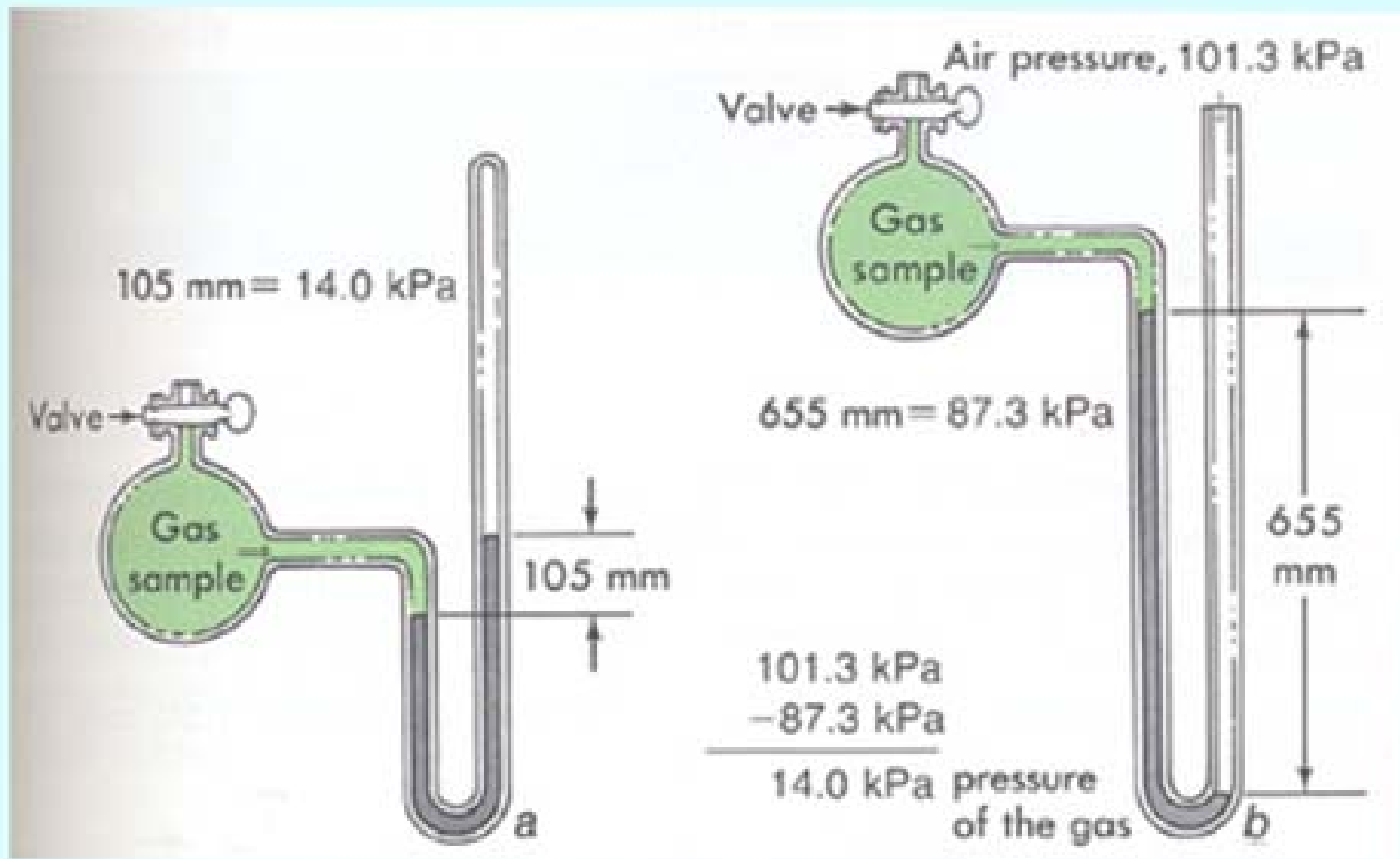
Áp suất tuyệt đối trong trường hợp
> Áp suất khí quyển

Áp suất tuyệt đối trong trường hợp
< Áp suất khí quyển









**One atmosphere = 760mm of Hg = 101 kPa.
So 1mm of Hg = 0.13 kPa.**



Khối lượng riêng và tỉ trọng của vật liệu

❑ Được định nghĩa là khối lượng trên một đơn vị thể tích. Trong hệ SI khối lượng riêng có đơn vị và $[\text{kg}/\text{m}^3]$. Khối lượng riêng (*density*) của lưu chất phụ thuộc vào nhiệt độ.

❑ Tỷ trọng (*specific gravity*) không đơn vị được là tỉ lệ giữa khối lượng riêng của chất cần xác định với một chất nào đó (thường là nước ở $4^\circ\text{C} = 1000\text{kg}/\text{m}^3$) có thể đo bằng Baumé kế (độ Bé) (*hydrometer*) hay Brix kế, chiết quang kế (*refractometer*)...

Khối lượng riêng
(*Density*)

$$= \frac{\text{Trọng lượng vật thể } [\text{kg}]}{\text{Thể tích vật thể } [\text{m}^3]}$$

ở cùng điều kiện
xác định

Tỉ trọng
(*Specific gravity*)

Khối lượng riêng vật thể $[\text{kg}/\text{m}^3]$

Khối lượng riêng của H_2O $[\text{kg}/\text{m}^3]$
ở $4^\circ\text{C} = 1000 [\text{kg}/\text{m}^3]$





Khối lượng riêng (Tỉ trọng) phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất

Quan hệ giữa Bé và khối lượng riêng

+ Tỉ trọng $d > 1$

$${}^{\circ}Be' = 145 - \frac{145}{d}$$

+Tỉ trọng $d < 1$

$${}^{\circ}Be' = \frac{140}{d} - 130$$





Làm thế nào để xác định nồng độ các chất ?



Phân tích để tính toán nồng độ



Dùng các phương pháp vật lý để thể hiện nồng độ



Sử dụng **Khối lượng riêng** hay **tỉ trọng** trọng là phương pháp xác định nhanh chóng nồng độ



Dựa trên nguyên tắc
Nồng độ các chất có quan hệ với
khối lượng riêng (tỉ trọng)
Nồng độ = F(khối lượng riêng)



Ứng dụng

- Đo nồng độ acid, bazơ...
- Đo nồng độ các dung môi hữu cơ: Cồn...
- Đo nồng độ các chất tan : Đường, muối...



Dung dịch chất cần phân tích



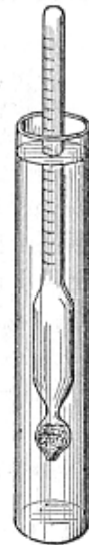
Đo khối lượng riêng
hoặc tỉ trọng



Tra bảng
Trong các sổ tay



Nồng độ các chất
cần xác định



Baumé kế
(hydrometer)

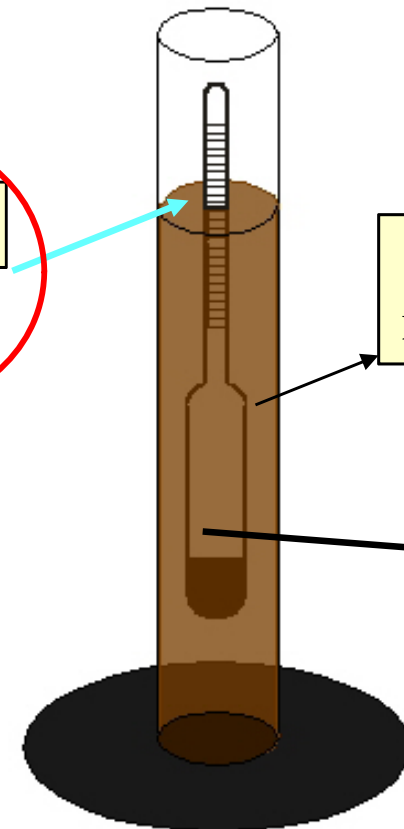


Tỉ trọng

°Bé

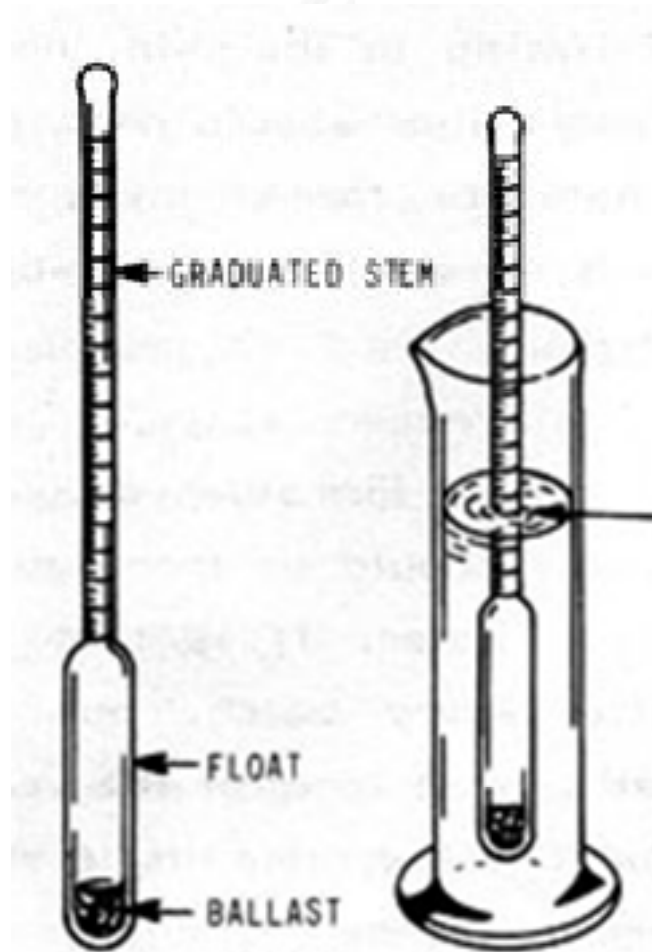
Dung dịch cần
xác định nồng độ

Baumé kế

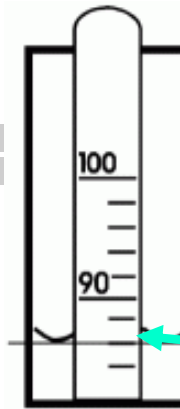




Brix kế
Saccharometer



**Cấu tạo và cách đo tỉ trọng bằng
baume kế (hydrometer)**



86%

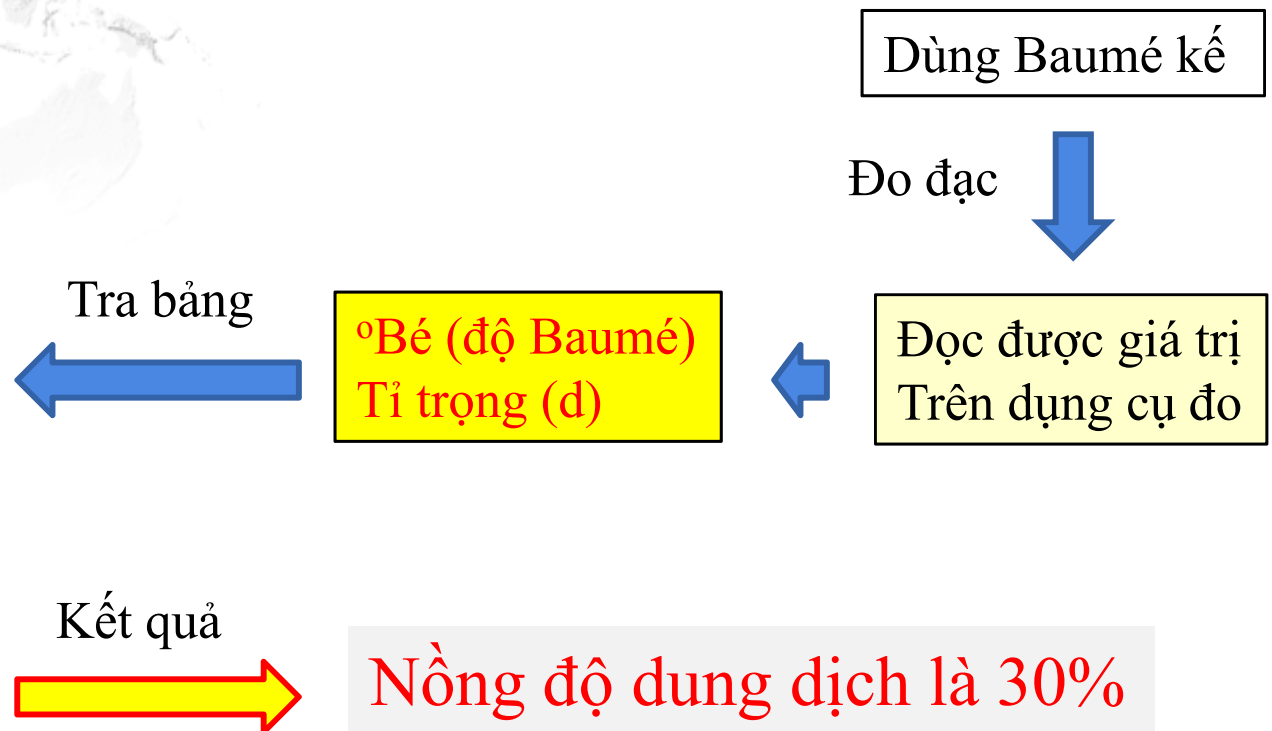


Cồn kế
alcohol meter



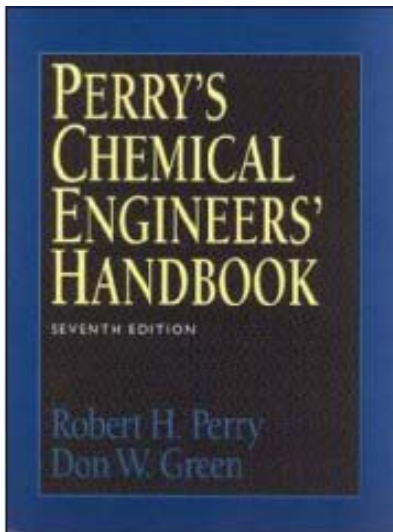
Ví dụ xác định nồng độ dung dịch HCl

Nồng độ (%)	Tỉ trọng d
10%	1,048
20%	1,098
30%	1,149
32%	1,159
34%	1,169
36%	1,179
38%	1,189





Sổ Tay Quá Trình Và Thiết Bị Công Nghệ Hóa Chất - Tập 1
Kỹ sư Hồ Lê Viên
Nhà nhà bản khoa học kỹ thuật - 2005



Perry's Chemical Engineers' Handbook
Robert H Perry, Don W Green
2007





Chiếc quang kế (*refractometer*)

Dựa trên nguyên lý: dung dịch có tỉ trọng khác nhau sẽ có chiết xuất khác nhau và chỉ số khúc xạ khác nhau

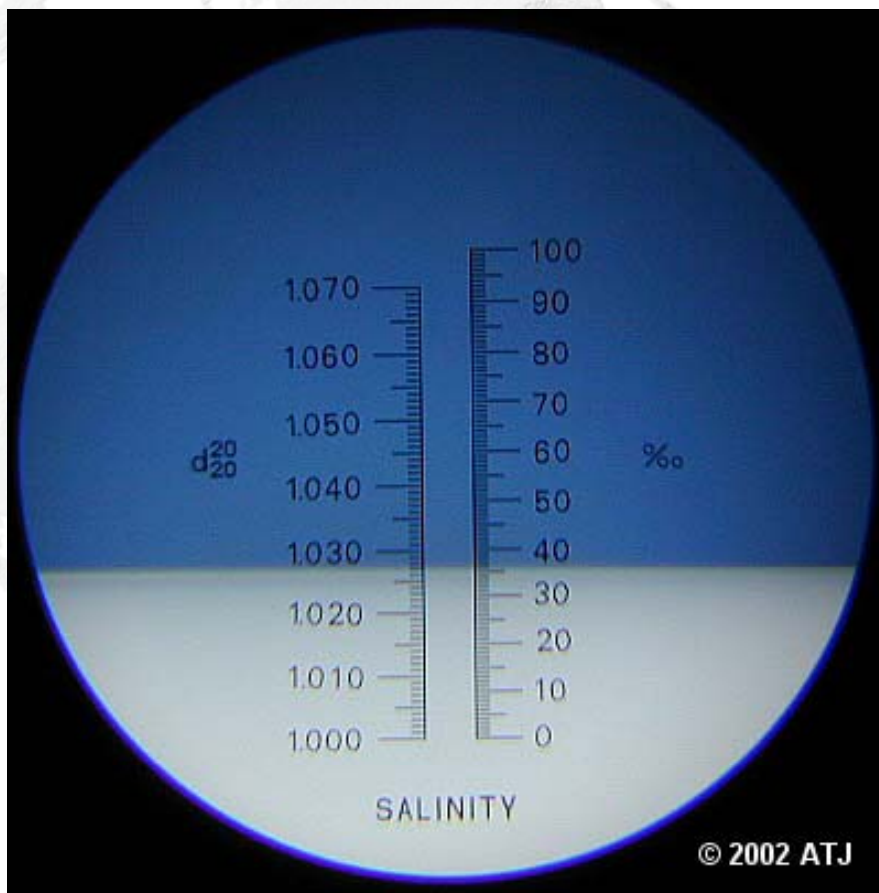
Chiếc quang kế là dụng cụ đo trực tiếp nồng độ chất khô?



Chiếc quang kế đo được **chỉ số khúc xạ**, từ chỉ số khúc xạ chuyển sang **°Brix**

Nếu dung dịch đo là **Đường tinh khiết** °Brix chính là % của đường hay chất khô dung dịch
Nếu chất lỏng trong suốt khác Đường, **phải sử dụng bảng tra quan hệ giữa Brix và nồng độ chất khô**





Chiếc quang kế dùng đo nồng độ dung dịch **muối**



Chiếc quang kế dùng đo nồng độ dung dịch **đường**



Thí dụ đo đặc nồng độ chất khô dung dịch Cà Chua bằng chiếc quang kế

TABLE 30-2: Tomato Paste Table (Contd.)

Refractive index 25° C	Sugar scale*		Salt- free solids	Total solids	Refrac- tive index 25° C	Sugar scale*		Salt- free solids	Total solids
	25° C	20° C				25° C	20° C		
I. 3816	30.3	30.7	31.7	32.2	I. 3841	31.7	32.1	33.1	33.6
17	30.3	30.7	31.7	32.2	42	31.7	32.1	33.2	33.7
18	30.4	30.8	31.8	32.3	43	31.8	32.2	33.3	33.8
19	30.4	30.8	31.8	32.3	44	31.8	32.2	33.3	33.8
20	30.5	30.9	31.9	32.4	45	31.9	32.3	33.4	33.9
21	30.6	31.0	32.0	32.5	46	31.9	32.3	33.4	33.9
22	30.6	31.0	32.0	32.5	47	32.0	32.4	33.5	34.0
23	30.7	31.1	32.1	32.6	48	32.1	32.5	33.6	34.1
24	30.7	31.1	32.1	32.6	49	32.1	32.5	33.6	34.1
25	30.8	31.2	32.2	32.7	50	32.2	32.6	33.7	34.2
26	30.8	31.2	32.2	32.7	51	32.2	32.6	33.7	34.2
27	30.9	31.3	32.3	32.8	52	32.3	32.7	33.8	34.3
28	30.9	31.3	32.3	32.8	53	32.3	32.7	33.8	34.3
29	31.0	31.4	32.4	32.9	54	32.4	32.8	33.9	34.4
30	31.1	31.5	32.5	33.0	55	32.4	32.8	33.9	34.4



Độ nhớt

Có thể di chuyển

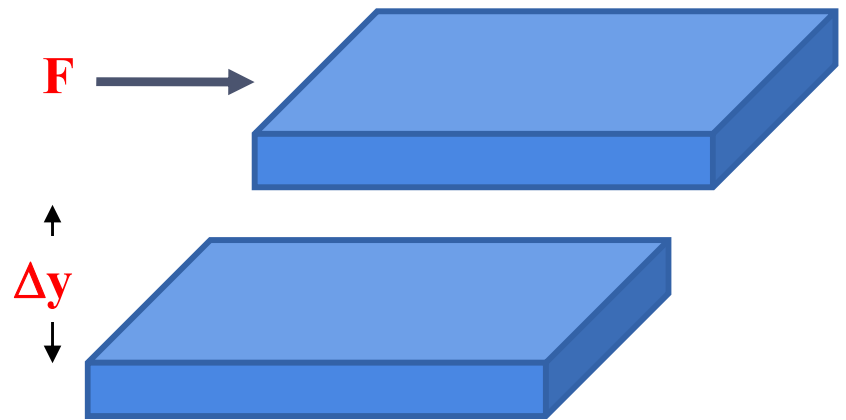
$F=0$



Đứng yên $u=0$

Đi chuyển $u=u$

F

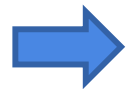


Đứng yên $u=0$

Khác biệt vận tốc giữa 2 trạng thái là $\Delta u=0-u$

Gradient vận tốc (γ)

$$F \propto A \frac{\Delta u}{\Delta y}$$




$$\frac{F}{A} = \mu \left[-\frac{\Delta u}{\Delta y} \right]$$



$$\tau = \mu \left(-\frac{du}{dy} \right)$$

μ là hằng số được gọi là độ nhớt

Diện tích bề mặt A (m^2)



Ứng suất cắt tác động lên chất lỏng



Chất lỏng bị biến dạng (di chuyển)



Cơ sở để phân loại vật liệu

Vật liệu
đàn hồi

Vật liệu kém
đàn hồi

Vật liệu rắn
tuyệt đối

Chất lỏng
Newton

Chất lỏng
Phi Newton

Chất khí



Phân loại vật liệu dựa trên ứng suất cắt tác dụng lên vật liệu

Chất rắn			Chất lỏng		
Tuyệt đối <i>Euclidian</i>	Đàn hồi <i>Hookean</i>	Kém đàn hồi <i>Non-Hookean</i>	Phi Newton <i>Non-Newtonian</i>	CL Newton <i>Newtonian</i>	Khí
$\gamma = 0$	$\tau = G \cdot \gamma$ hay $G = \tau / \gamma$ Với G là hệ số đàn hồi	$\tau = F(\gamma)$ hay $G = \tau / \gamma$ với $G = F(\gamma, \tau)$	$\tau = F(\gamma)$ hay $\eta = \tau / \dot{\gamma}$ với η là đại lượng đặc trung cho tính nhớt $\eta = F(\tau, \dot{\gamma})$	$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$ hay $\mu = \tau / \dot{\gamma}$ với μ là độ nhớt đơn vị [Pa.s]	$\tau = 0$ nhưng khí vẫn di chuyển



Đơn vị của độ nhớt

$$\tau = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = [\text{Pa}]$$

$$\frac{du}{dy} = \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \frac{1}{\text{m}} \right] = \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$$



Đơn vị của độ nhớt [Pa.s]

Ngoài [Pa.s] người ta còn dùng **Poise (P)** hay **Centipoise (Cp)**

$$1 \text{ Cp (centipoise)} = 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$1 \text{ Cp (centipoise)} = 0.01 \text{ P (poise)}$$

Độ nhớt là đại lượng phụ thuộc vào nhiệt độ





Độ nhớt của một số lưu chất (Newton) ở nhiệt độ phòng

Lưu chất	Độ nhớt (Pa.s)
- Không khí	10^{-5}
- Nước	10^{-3}
- Dầu	10^{-4}
- Glycerin	1
- Mật ong	10



Chất lỏng Phi Newton (Non Newtonian)

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

K: Độ sệt [Pa.sⁿ]

n: chỉ số biểu thị độ sệt
(Thông thường $n < 1$)

[không đơn vị]



Xác định độ sệt (K) và chỉ số thể hiện độ sệt (n)

Thí nghiệm trên chất lỏng Phi Newton có quan hệ giữa ứng suất cắt (τ) và gradient vận tốc (γ) ở bảng sau:

$$\tau = K\gamma^n$$

$$\ln(\tau) = \ln(K) + n \ln(\gamma)$$

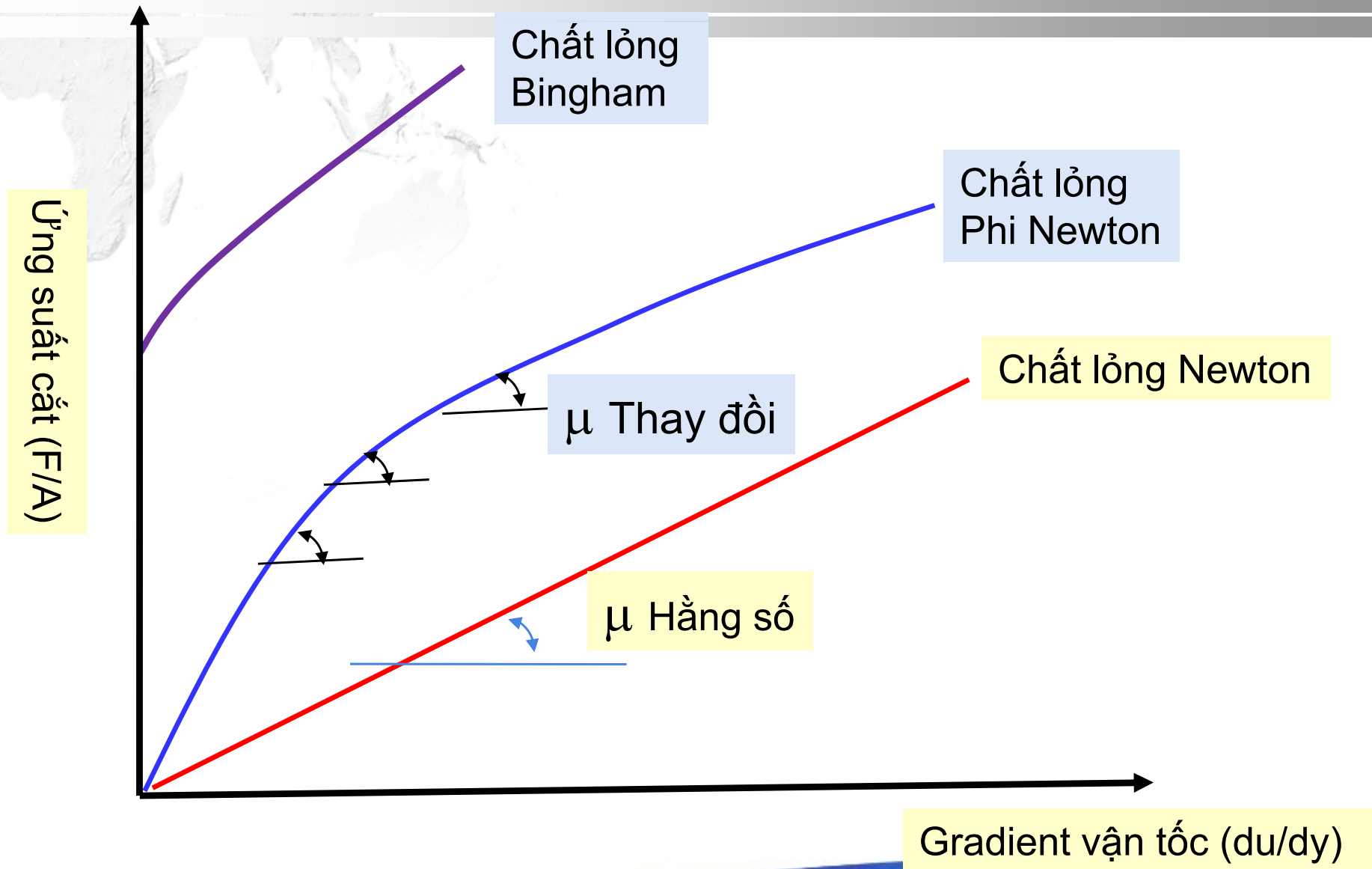
Kết quả

τ (Pa)	γ (1/s)
0.000137	2
0.000162	3
0.000180	4
0.000201	5
0.000210	6
0.000221	7

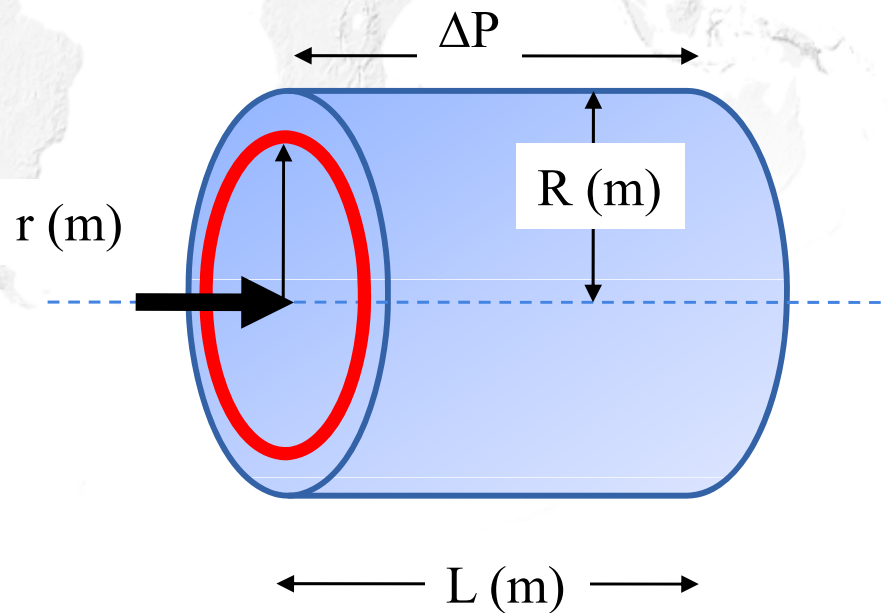
$\ln(\tau)$	$\ln(\gamma)$
-8.8955	0.69315
-8.7279	1.09861
-8.6226	1.38629
-8.5122	1.60944
-8.4684	1.79176
-8.4173	1.94591

$n = 0.38612$
 $\ln(K) = -9.1559$
 $K = 0.00011 \text{ Pas}^n$





Đo đặc độ nhớt bằng nhớt kế mao quản



Áp lực tác dụng trên thành ống theo phương song song

$$\tau = \frac{F}{2\pi r L}$$

Áp lực tác dụng theo phương thẳng góc

$$\Delta P = \frac{F}{\pi r^2}$$



$$\tau = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot L} = \mu \left[- \frac{du}{dr} \right]$$



$$du = - \frac{\Delta P}{2 \mu L} dr$$

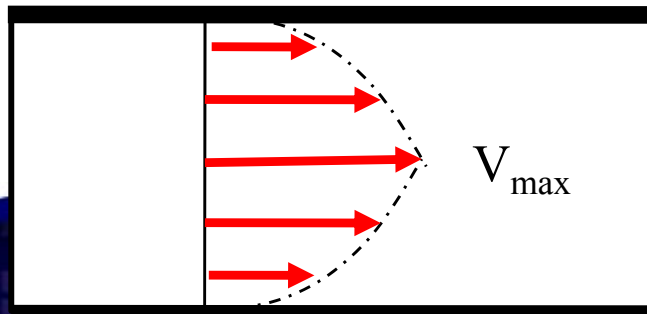
Tại sát thành ống dẫn vận tốc $u=0$ tương ứng với $r=R$ (R bán kính ống dẫn) và Tại vị trí bất kỳ r ta có $u(r)$

$$\int_0^{u(r)} du = \int_R^r \frac{\Delta P \cdot r}{2\mu L} dr$$

Vận tốc tại vị trí bất kỳ trong ống dẫn hình trụ

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

Vận tốc chất lỏng phân bố trong ống dẫn theo hình Parapol



Thí dụ

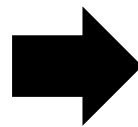
Một chất lỏng chảy trong ống nằm ngang có đường kính 2 cm dài 10cm . tổn thất áp lực ΔP được ghi nhận là 11Pa, độ nhớt của chất lỏng $\mu = 5\text{Pa}\cdot\text{s}$. Tính toán vận tốc của chất lỏng tại một số vị trí trong ống.

$$R = 1\text{cm} = 0,01\text{m} \quad \Delta P = 11\text{Pa}$$

$$L = 10\text{cm} = 0,1\text{m} \quad \mu = 5\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

Vị trí
$r_1 = 0$
$r_2 = 0,0025$
$r_3 = 0,005$
$r_4 = 0,0075$
$r_5 = 0,1$

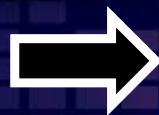


Vận tốc U (m/s)
$U_1 = 0,000550$
$U_2 = 0,000516$
$U_3 = 0,000413$
$U_4 = 0,000241$
$U_5 = 0,000000$



Vận tốc trung bình

$$\bar{U} = 0,00034$$



$$\text{Vận tốc trung bình } \bar{U} = 0,6 * U_{\max}$$



Gọi tiết diện cắt ngang của ống mao quản là $A = \pi r^2$
 có thể diễn giải phần diện tích vô cùng bé $dA = 2 \pi .r.dr$

V là thể tích của chất lỏng di chuyển qua khối ống trên một đơn vị thời gian hay còn gọi là lưu lượng (m^3/s)

Với u là vận tốc trung bình của lưu thể chảy trong ống (m/s)

Ta có $V = u.A \rightarrow dV = u. dA = u.(2. \pi .r.dr)$

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

Với bán kính thay đổi từ $r=0$ đến thành ống mao quản $r=R$ Tương ứng với lưu lượng $V=0$ đến $V=V$

$$\int_0^V dV = \int_0^R 2\pi r \frac{\Delta P}{4\mu L} (R^2 - r^2).dr \Rightarrow V = \int_0^R 2\pi r \frac{\Delta P}{4\mu L} (R^2 - r^2)dr$$

$$V = \frac{\pi \Delta P R^4}{8\mu L}$$

$$\mu = \frac{\pi \Delta P R^4}{8VL}$$

Đây là phương trình tính độ nhớt của chất lỏng Newton bằng nhớt kế bao quản

Thí dụ

Một nhớt kế mao quản dùng đo độ nhớt của mật ong tại 30°C. Ống mao dẫn có bán kính 2,5cm, dài 25cm.

Dữ liệu thu nhận được cho ở bảng sau:

- Tính toán độ nhớt tương ứng với dữ liệu thu nhận.
- Có nhận xét gì về kết quả?

ΔP (Pa)	V (cm ³ /s)
10,0	1,25
12,5	1,55
15,0	1,80
17,5	2,05
20,0	2,55

$$\mu = \frac{\pi \Delta P R^4}{8 V L}$$

ΔP (Pa)	V (m ³ /s)	μ (Pa.s)
10.0	0.00000125	4,91
12.5	0.00000155	4,95
15.0	0.00000180	5,11
17.5	0.00000205	5,24
20.0	0.00000255	4,81

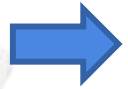
Nhận xét: Với áp lực khác nhau kết quả thu được có giá trị tương đương, vì vậy chất lỏng đo đạc là chất lỏng NEWTON

Và độ nhớt trung bình là **5,004 Pa.s**

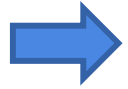




Với chất lỏng phi newton (*chất lỏng có độ nhớt thay đổi tùy theo lực tác dụng*)



Chất lỏng phi newton **KHÔNG CÓ ĐỘ NHỚT THẬT**



ĐỘ NHỚT BIỂU KIẾN μ_{app}

$$\mu_{app} = \frac{\pi \Delta P R^4}{8 V L}$$

Từ $\mu_{app} = \frac{\Delta P R^2}{8 \bar{U} L}$ và $\tau = \frac{\Delta P R}{2 L}$ \Rightarrow $\mu_{app} = \tau \cdot \frac{R}{4 \bar{U}}$

$$\tau = \mu_{app} \frac{4 \bar{U}}{R} \Rightarrow \gamma = \frac{4 \bar{U}}{R}$$

$$\text{Với } \tau = K \gamma^n \Rightarrow \tau = K \cdot \left[\frac{4 \bar{U}}{R} \right]^n \Rightarrow \tau \left[\frac{R}{4 \bar{U}} \right] = K \left[\frac{R}{4 \bar{U}} \right] \left[\frac{4 \bar{U}}{R} \right]^n$$



$$\mu_{app} = K\gamma^{n-1}$$

Khi vận tốc dòng chảy thay đổi (γ sẽ thay đổi) ta sẽ có 1 độ nhớt biểu kiến tương ứng

Từ mối quan hệ này ta sẽ xác định được Độ sệt (K) và chỉ số biểu diễn độ sệt (n)



$$\ln(\mu_{app}) = \ln(K) + (n - 1) \ln(\gamma)$$

➤ Bài tập

$$\mu_{app} = K \gamma^{n-1}$$



$$\ln(\mu_{app}) = \ln(K) + (n - 1) \ln(\gamma)$$

Độ nhớt biểu kiến Pa.s	Gradient vận tốc (1/s)
0.406	121
0.301	205
0.255	285
0.209	380
0.174	505



$\ln(\mu_{app})$	$\ln(\gamma)$
-0.90	4.80
-1.20	5.32
-1.37	5.65
-1.57	5.94
-1.75	6.22



$(n-1) = -0.59$
$n = 0.41$
$\ln(K) = 1.936751$
$K = 6.93618$



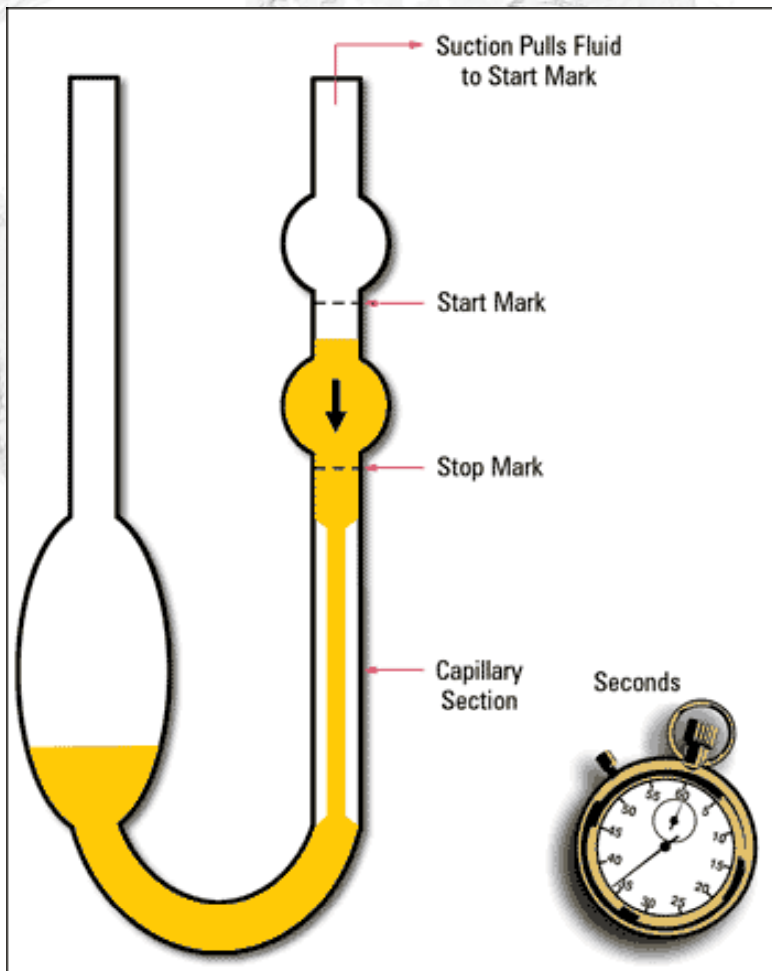
Đo độ nhớt bằng Buret

$$\mu = \frac{\pi \Delta P R^4}{8 V L} = \frac{\pi \rho g L R^4}{8 V L} = \frac{\pi \rho g R^4}{8 V} \quad \rightarrow \quad \frac{\mu}{\rho} = K t$$

Một nhớt kế mao quản dùng xác định độ nhớt của dung dịch 10Cp có thời gian chảy là 1,5 phút. chất lỏng cần đo có độ nhớt có thời gian chảy là 2,4 phút. (giả sử 2 chất lỏng có cùng khối lượng riêng)

$$\frac{\mu}{\rho} = K t \quad \mu = \rho K t \quad K = \frac{\mu}{\rho t} = \frac{10}{1,5 \rho}$$

$$\mu = \rho \left[\frac{10}{1,5 \rho} \right] 2,5 = 16,67 \text{Cp}$$



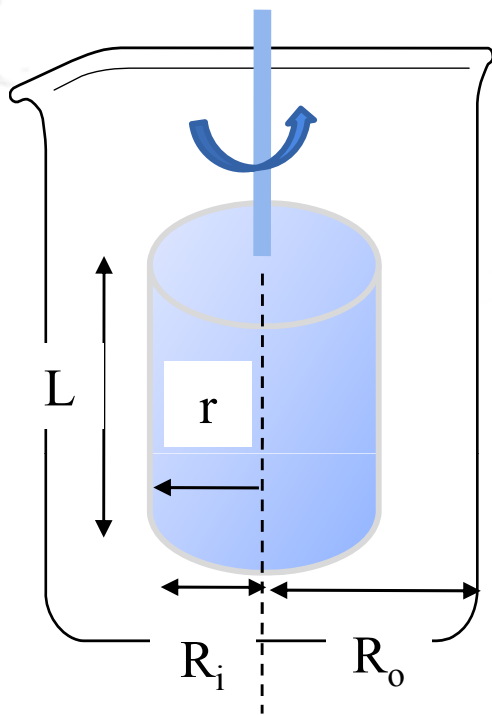


Nhớt kế roto



Nhớt kế rotor

Cấu tạo gồm một xy lanh quay quanh trục như hình vẽ Moment xoắn là đại lượng dùng để thể hiện độ nhớt.



Quan hệ moment xoắn Ω và ứng suất cắt τ

$$\Omega = 2\pi r^2 L \tau$$

$$\gamma = r \frac{d\omega}{dr} \quad \tau = -\mu \gamma$$

$$\frac{\Omega}{2\pi r^2 L} = -\mu \left(r \frac{d\omega}{dr} \right)$$

$$\int_0^{\omega_i} d\omega = -\frac{\Omega}{4\pi\mu L} \int_{R_o}^{R_i} r^{-3} dr$$

$$\omega_i = \frac{\Omega}{4\pi\mu L} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$





Với $\omega=2\pi N$ N: là số vòng quay (vòng/phút)

Phương trình tính toán độ nhớt



$$\mu = \frac{\Omega}{8\pi^2 LN} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$

$$R_o \gg R_i \Rightarrow \frac{1}{R_o^2} \rightarrow 0$$

$$\mu = \frac{\Omega}{8\pi^2 LN} \left[\frac{1}{R_i^2} \right]$$

R_i, L : bán kính và chiều dài Rotor

Ω : Moment xoắn

N : số vòng quay

Thay đổi N ta sẽ tìm được Ω



Thể hiện độ nhớt μ

