بسم الله الرحمن الرحیم

درس مکانیک سیالات ۱

مراجع:

1-*Fundamentals of Fluid Mechanics* ,Bruce R. Munson, Alric P. Rothmayer, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, 5th Edition (9th Edition) 2020

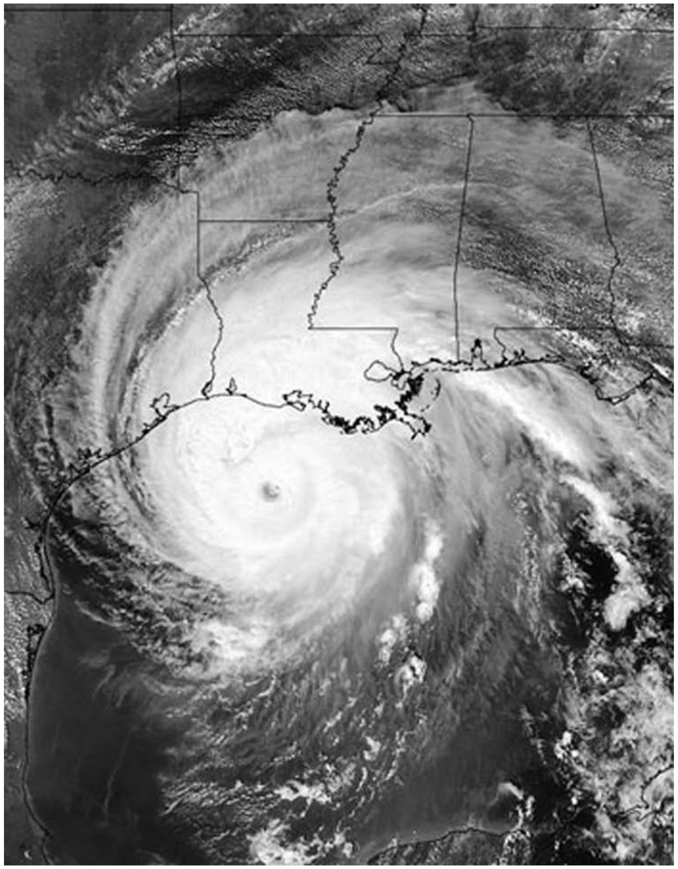
2-Fluid Mechanics, Frank White, 4th Edition (9th Edition)-2021

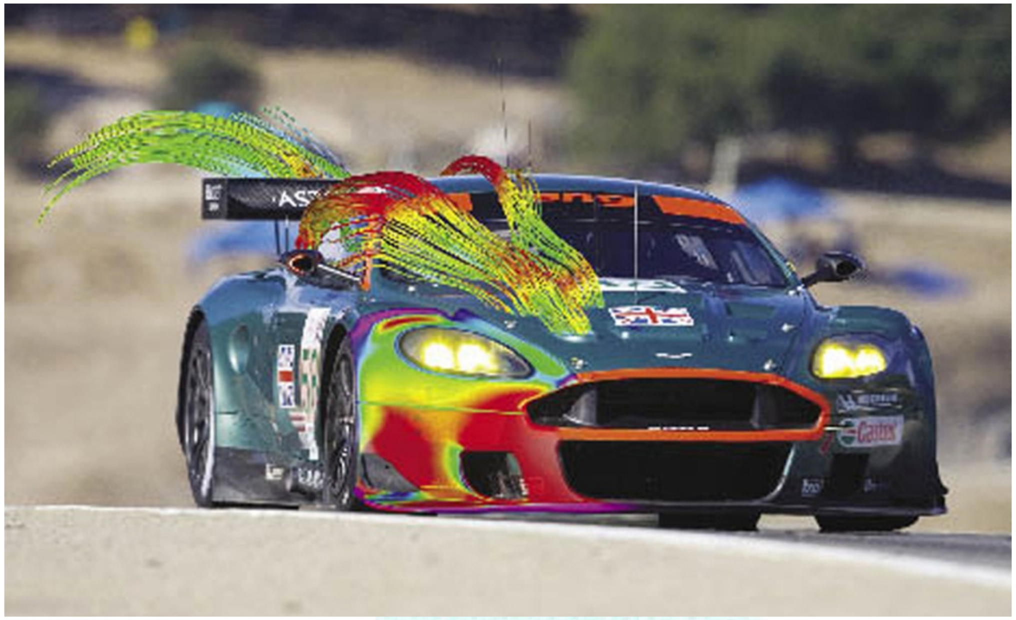
3-Introduction to Fluid Mechanics, Fox, 10th Edition(2020)

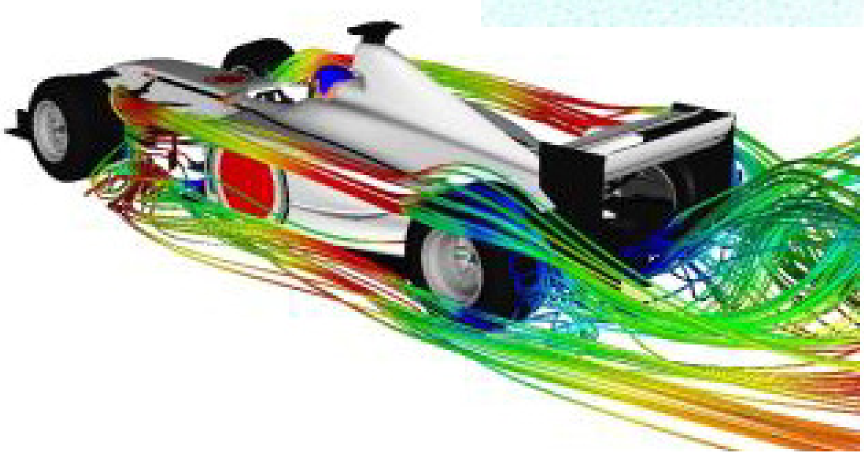
4- Fluid Mechanics, 2th Russel Hibbeler, 2021

5- Introduction to Fluid Mechanics, 6th, William S Janna, 2020

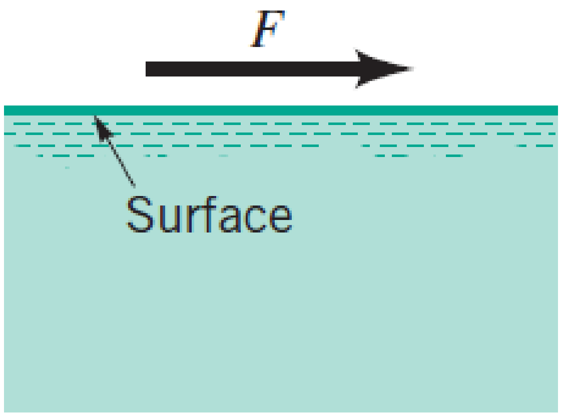
- ✓ مکانیک سیالات به رفتار سیالات مایع یا گاز در شرایط سکون و یا حرکت می پردازد.
- ✓ محدوده این بررسی، جریان خون که در رگهای بسیار ریز (با قطر میلیمتر) تا جریانهای بسیار وسیع مانند رودخانه های بزرگ و طوفانهای عظیم با پهنای کیلومتری را در بر می گیرد

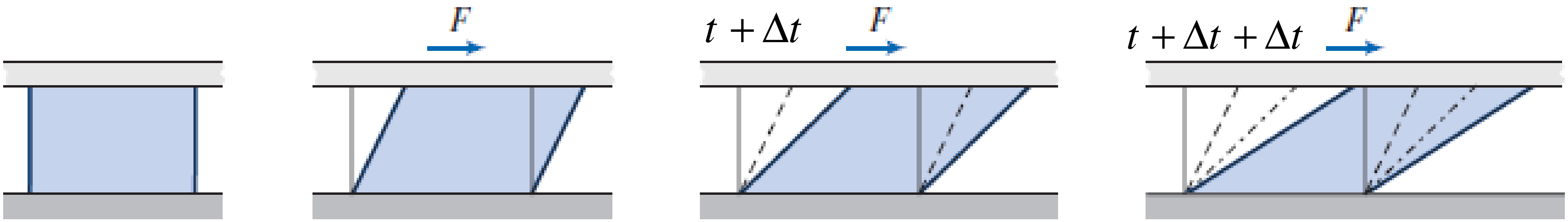






- سوال مهم: به چه چیزی سیال گفته می شود؟ در نگاه ساختارمولکولی این دو حالت دارای تفاوت ماهیتی می باشند
- تغییر شکل یک سیال و جامد در اثر اعمال یک نیروی ثابت





(*a*) Solid or fluid (*b*) Solid or fluid (*c*) Fluid only (*d*) Fluid only

- سیال ماده ای است که در اثر نیروی برشی با هر اندازه ای دارای تغییر شکل دایم خواهد بود

- ✓برخی مواد مانند خمیر دندان، قیر، بتونه و غیره در صورت اعمال تنش برشی خیلی کوچک رفتاری شبیه به جسم جامد داشته که در اثر افزایش تنش، رفتاری شبیه به سیال پیدا می کنند. علم مربوط به این مواد تحت عنوان Rheology (علم تغییر شکل مواد) می باشد.

- ✓بررسی رفتارسیال با استفاده از دیگاه مولکولی بسیار دشوار و در بسیاری از موارد تقریبا غیر ممکن است.

برای یک گاز در شرایط دما و فشار معمولی فاصله بین مولکولی 10^{-6}mm

برای یک مایع در شرایط دما و فشار معمولی فاصله بین مولکولی 10^{-7}mm

لذا در ابعاد یک مکعب به طول ۱ میلی متر، 10^{18} مولکول گاز و 10^{21} مولکول مایع وجود دارد.

- ✓لذا سیال بصورت یک محیط پیوسته مورد بررسی قرار می گیرد.

✓جهت بیان مشخصات سیال و بررسی رفتار آن بصورت کیفی و کمی نیازمند استفاده ازیک سیستم واحد می باشیم.

- کمیات کیفی بیانگر طبیعت، نوع و مشخصه سیال می باشند مانند طول، زمان، سرعت و غیره
- کمیات کمی بیانگر اندازه گیری مقداری این مشخصه ها می باشد. مانند متر برای طول، ثانیه برای زمان و غیره

- غالبا کمیتها بصورت کمیتهای اولیه و ثانویه تعریف می شوند. این دسته بندی با توجه به واحد استاندارد اندازه گیری متفاوت است.
- در سیستم استاندارد بین المللی، کمیتهای طول، زمان و جرم به عنوان کمیتهای اولیه بوده ولی در سیستم انگلیسی، کمیتهای طول، زمان و نیرومبنای اولیه می باشند.

$$A\,(area)\ m^2 = L^2$$

$$V\ (velocity)\ \frac{m}{s} = LT^{-1}$$

$$\rho(density)\frac{Kg}{m^3} = ML^{-3}$$

L=طول
T=زمان
M=جرم

$$F = MLT^{-2}$$

$$\sigma(stress) = ML^{-1}T^{-2}$$

❖نکته: در معادلات حتما باید طرفین معادله دارای یک کمیت اندازه گیری باشند.

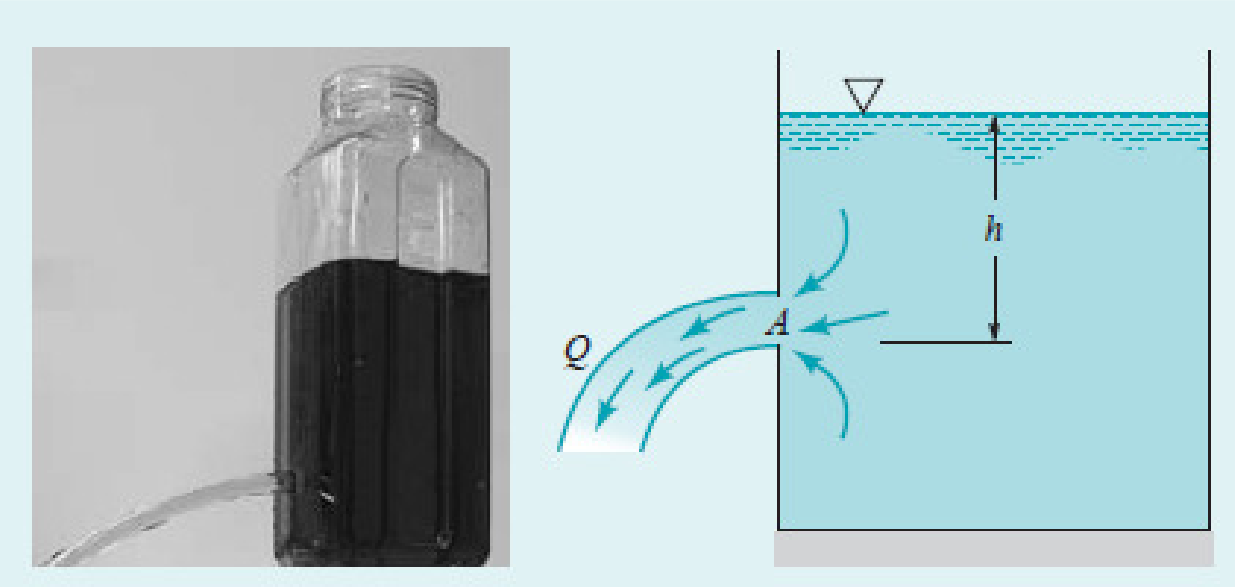
$$V = V_0 + at \rightarrow LT^{-1} = LT^{-1} + LT^{-2}\times T$$

TABLE 1.1

Dimensions Associated with Common Physical Quantities

	FLT System	*MLT* System
Acceleration	LT^{-2}	LT^{-2}
Angle	$F^0L^0T^0$	$M^0L^0T^0$
Angular acceleration	T^{-2}	T^{-2}
Angular velocity	T^{-1}	T^{-1}
Area	L^2	L^2
Density	$FL^{-4}T^2$	ML^{-3}
Energy	FL	ML^2T^{-2}
Force	F	MLT^{-2}
Frequency	T^{-1}	T^{-1}
Heat	FL	ML^2T^{-2}
Length	L	L
Mass	$FL^{-1}T^2$	M
Modulus of elasticity	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Moment of a force	FL	ML^2T^{-2}
Moment of inertia (area)	L^4	L^4
Moment of inertia (mass)	FLT^2	ML^2
Momentum	FT	MLT^{-1}
Power	FLT^{-1}	ML^2T^{-3}
Pressure	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Specific heat	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$
Specific weight	FL^{-3}	$ML^{-2}T^{-2}$
Strain	$F^0L^0T^0$	$M^0L^0T^0$
Stress	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Surface tension	FL^{-1}	MT^{-2}
Temperature	Θ	Θ
Time	T	T
Torque	FL	ML^2T^{-2}
Velocity	LT^{-1}	LT^{-1}
Viscosity (dynamic)	$FL^{-2}T$	$ML^{-1}T^{-1}$
Viscosity (kinematic)	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
Volume	L^3	L^3
Work	FL	ML^2T^{-2}

EXAMPLE 1.1



دبی خروجی از یک اوریفیس (مجرا) در کنار دیواره یک منبع بصورت زیر بیان می شود. از دیدگاه ابعادی رابطه را بررسی نمایید

$$Q = 0.61\,A\sqrt{2gh}$$

$A = \text{area} \doteq L^2$

$h = \text{height} \doteq L$

$Q = \text{volume/time} \doteq L^3T^{-1}$

$g = \text{acceleration of gravity} \doteq LT^{-2}$

$$(L^3T^{-1}) \doteq (0.61)(L^2)(\sqrt{2})(LT^{-2})^{1/2}(L)^{1/2}$$

$$(L^3T^{-1}) \doteq [(0.61)\sqrt{2}](L^3T^{-1})$$

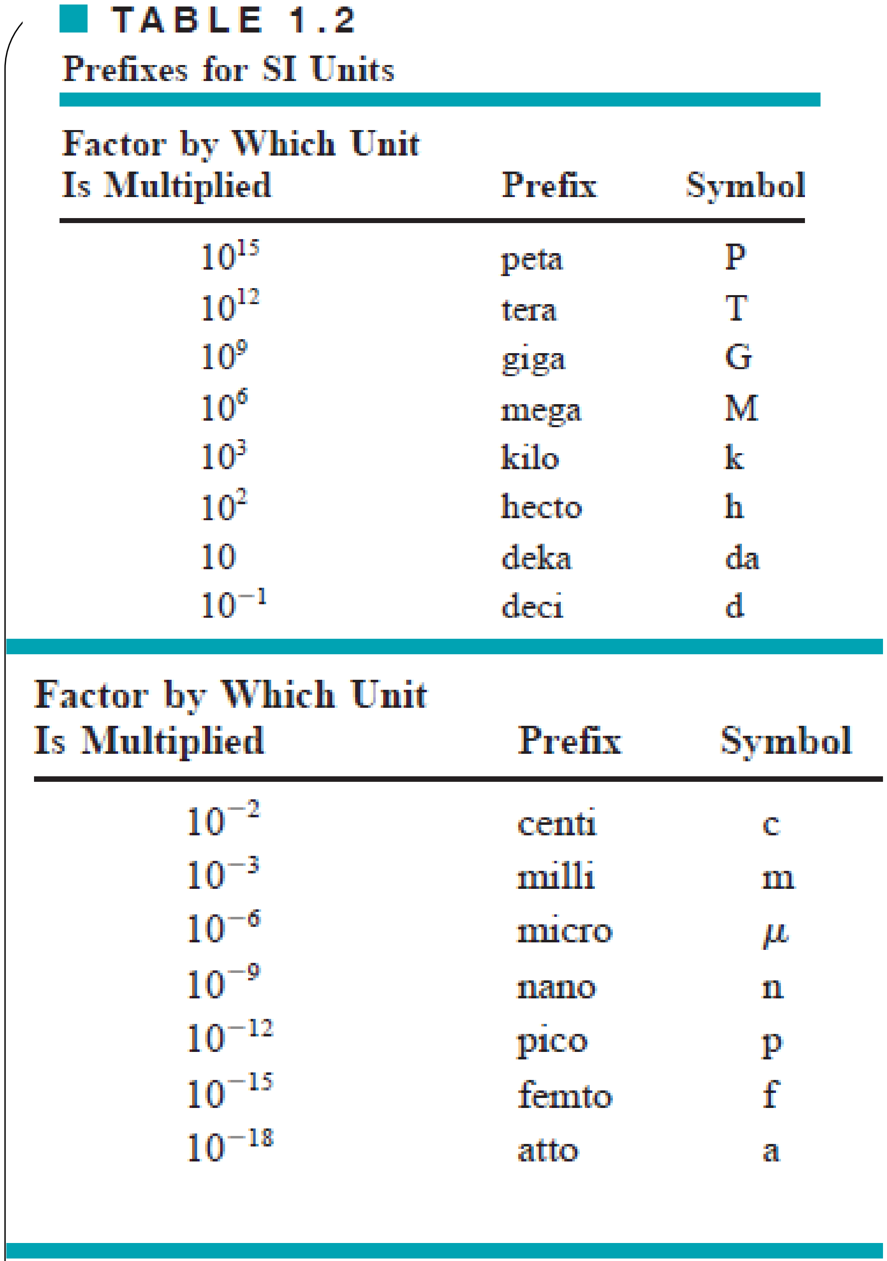


TABLE 1.2

Prefixes for SI Units

Factor by Which Unit Is Multiplied	Prefix	Symbol
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

International System (SI).

Length = meter (m), time= second (s), mass =kilogram (kg), temperature= kelvin (K)

British Gravitational (BG) System

length=foot (ft), time= second (s), force= pound (lb), temperature = Fahrenheit (F)
or the absolute temperature = Rankine(R)

The mass unit, called the *slug*

$$1 \text{ lb} = (1 \text{ slug})(1 \text{ ft/s}^2)$$

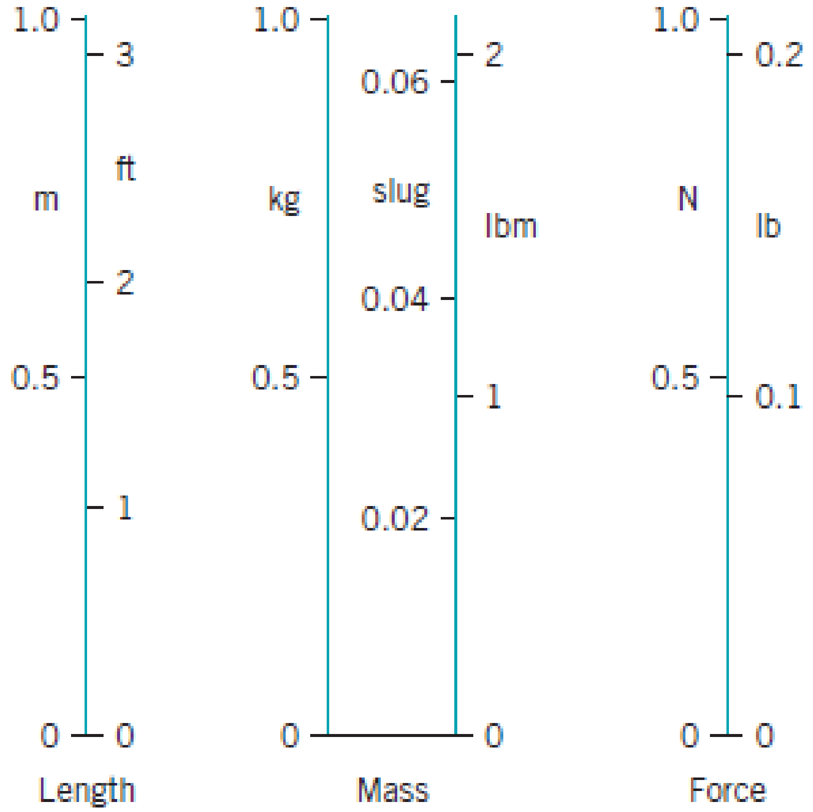
standard gravity is taken as $g = 32.174 \text{ ft/s}^2$

English Engineering (EE) System

The basic unit of mass = pound mass (lbm), force =pound (lb)
length= foot (ft), time=second (s),
absolute temperature= Rankine (R)

$$\mathbf{F} = \frac{ma}{g_c} \qquad g_c = \frac{(1 \text{ lbm})(32.174 \text{ ft/s}^2)}{(1 \text{ lb})}$$

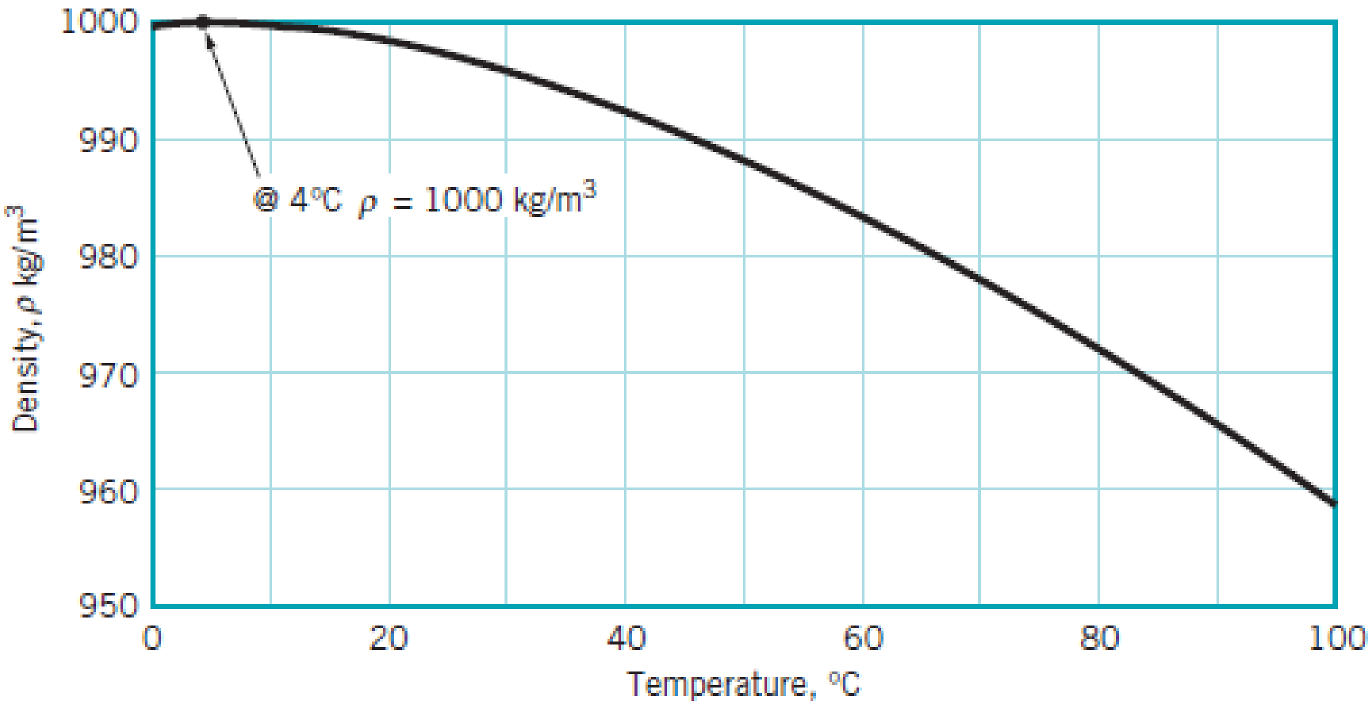
Primary dimension	SI unit	BG unit	Conversion factor
Mass $\{M\}$	Kilogram (kg)	Slug	1 slug = 14.5939 kg
Length $\{L\}$	Meter (m)	Foot (ft)	1 ft = 0.3048 m
Time $\{T\}$	Second (s)	Second (s)	1 s = 1 s
Temperature $\{\Theta\}$	Kelvin (K)	Rankine (°R)	1 K = 1.8°R


1.0
0.5
0
m
3
2
1
0
ft
Length
1.0
0.5
0
kg
0.06
0.04
0.02
slug
2
1
0
lbm
Mass
1.0
0.5
0
N
0.2
0.1
0
lb
Force

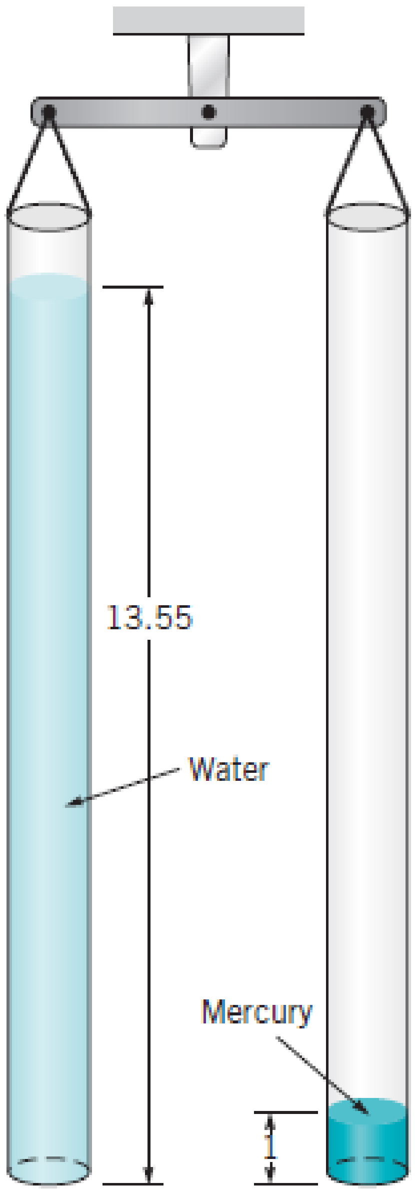
خواص سیال

دانسیته (Density) $\rho(\frac{kg}{m^3})$ ⟵ $v = \frac{1}{\rho}$ حجم مخصوص m^3/kg

تعریف: به نسبت جرم در واحد حجم دانسیته یا چگالی گفته می شود



Density of water as a function of temperature.



$\gamma=\rho g\,(\mathrm{N/m^3})$ (Specific weight) وزن مخصوص

تعریف: وزن بر واحد حجم را وزن مخصوص می نامند

جاذبه مخصوص (Specific Gravity)

$$SG=\frac{\rho}{\rho_{\mathrm{H_2O@4\,^\circ C}}}$$

تعریف: نسبت دانسیته سیال به دانسیته آب در دمای ۴ درجه سانتی گراد

نکته: جاذبه مخصوص (SG) از سیستم اندازه گیری مستقل می باشد.

$$SG=\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}}=13.55$$

$$\rho_{\mathrm{Hg}}=(13.55)(1.94\ \mathrm{slugs/ft^3})=26.3\ \mathrm{slugs/ft^3}$$

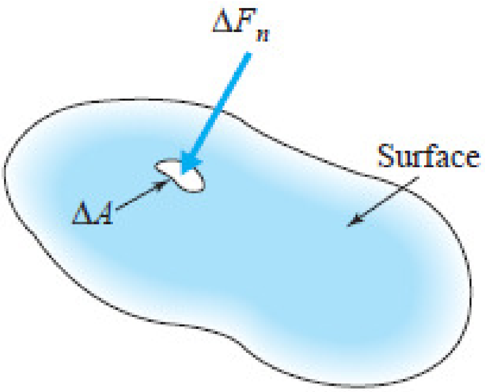
$$\rho_{\mathrm{Hg}}=(13.55)(1000\ \mathrm{kg/m^3})=13.6\times10^3\ \mathrm{kg/m^3}$$

قانون گاز کامل (Ideal Gas Law)

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

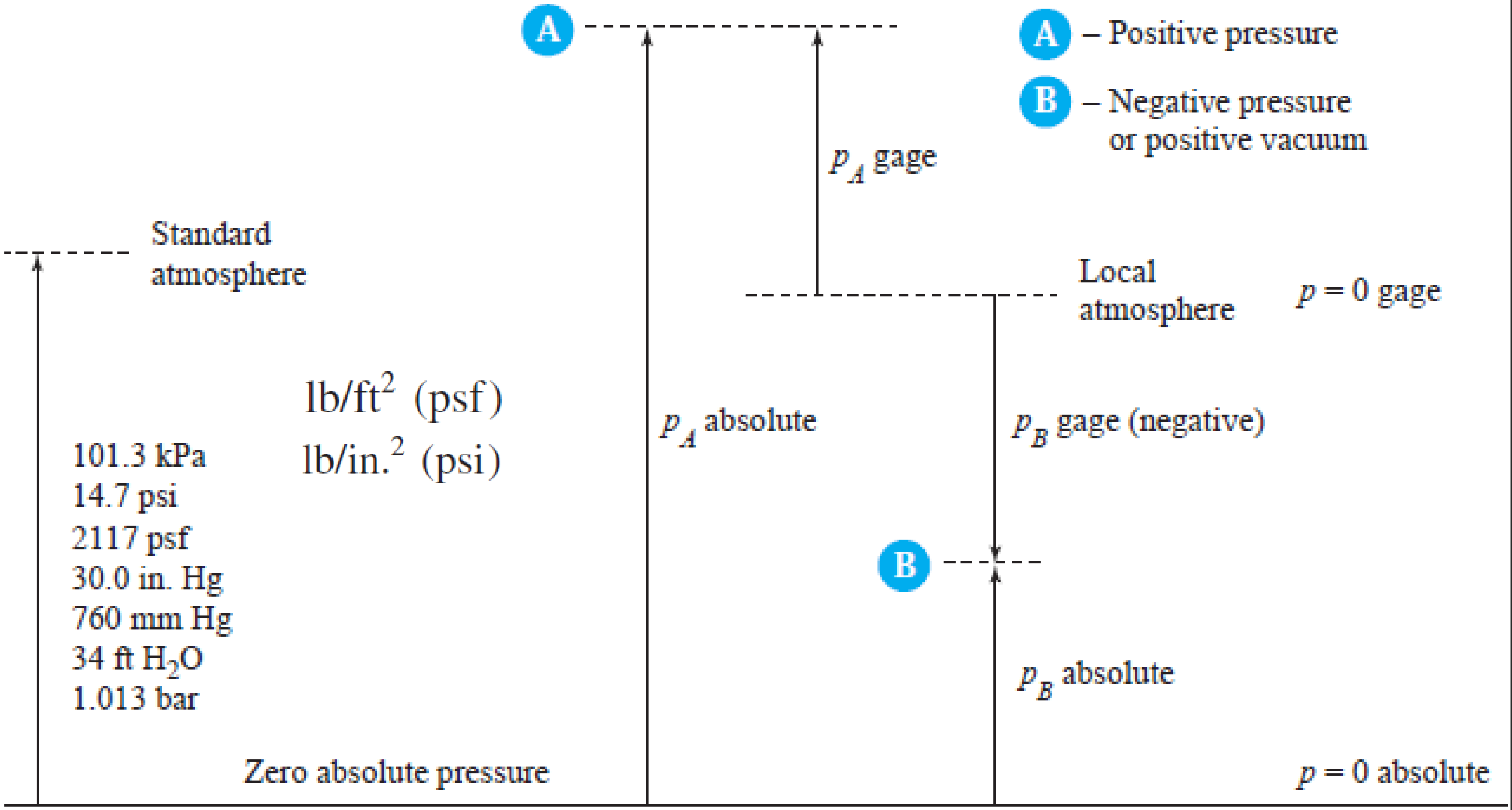
P فشار مطلق، Tدمای مطلق (کلوین) و R ثابت گازها

$$p = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$


ΔF_n
Surface
ΔA

$$p_{\text{absolute}} = p_{\text{atmospheric}} + p_{\text{gage}}$$

P فشار مطلق صفر یعنی رسیدن به خلاء ایده ال


A
– Positive pressure
B
– Negative pressure
or positive vacuum
p_A gage
Standard
atmosphere
Local
atmosphere
$p = 0$ gage
101.3 kPa
14.7 psi
2117 psf
30.0 in. Hg
760 mm Hg
34 ft H_2O
1.013 bar
p_A absolute
p_B gage (negative)
B
p_B absolute
Zero absolute pressure
$p = 0$ absolute

lb/ft^2 (psf)

lb/in.^{2} (psi)

$$\text{universal gas constant } \mathcal{R} \; (\mathcal{R} = 8314.3 \text{ J/mol K})$$

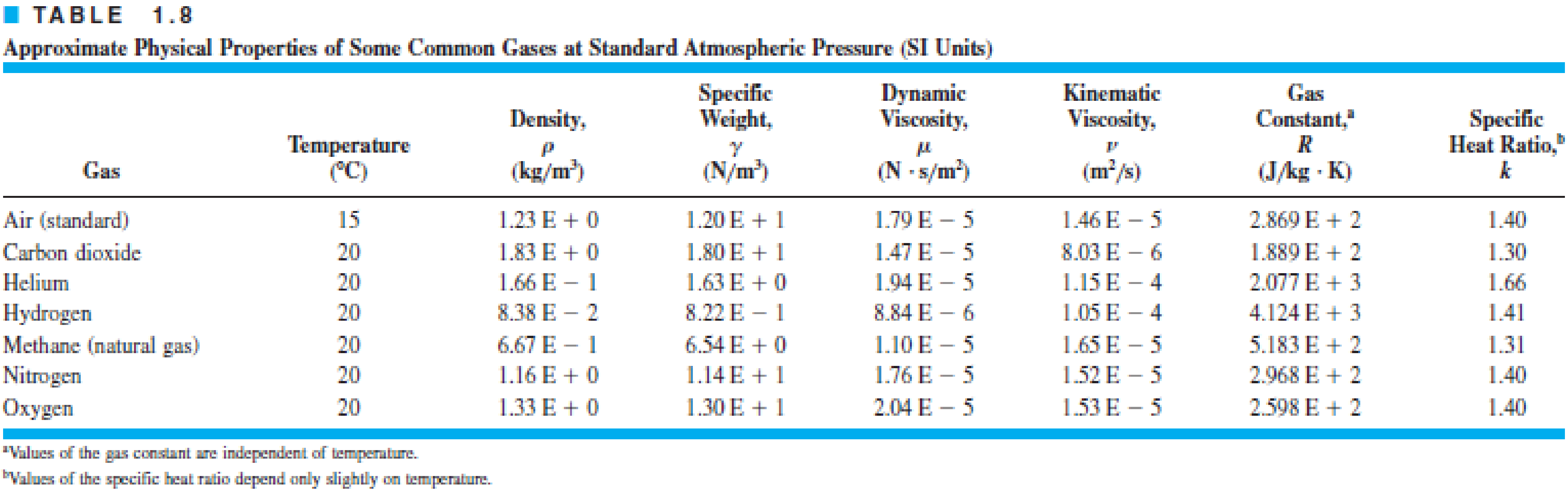


TABLE 1.8

Approximate Physical Properties of Some Common Gases at Standard Atmospheric Pressure (SI Units)

Gas	Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m^3)	Specific Weight, γ (N/m^3)	Dynamic Viscosity, μ (N · s/m^2)	Kinematic Viscosity, ν (m^2/s)	Gas Constant,[a] R (J/kg · K)	Specific Heat Ratio,[b] k
Air (standard)	15	1.23 E + 0	1.20 E + 1	1.79 E − 5	1.46 E − 5	2.869 E + 2	1.40
Carbon dioxide	20	1.83 E + 0	1.80 E + 1	1.47 E − 5	8.03 E − 6	1.889 E + 2	1.30
Helium	20	1.66 E − 1	1.63 E + 0	1.94 E − 5	1.15 E − 4	2.077 E + 3	1.66
Hydrogen	20	8.38 E − 2	8.22 E − 1	8.84 E − 6	1.05 E − 4	4.124 E + 3	1.41
Methane (natural gas)	20	6.67 E − 1	6.54 E + 0	1.10 E − 5	1.65 E − 5	5.183 E + 2	1.31
Nitrogen	20	1.16 E + 0	1.14 E + 1	1.76 E − 5	1.52 E − 5	2.968 E + 2	1.40
Oxygen	20	1.33 E + 0	1.30 E + 1	2.04 E − 5	1.53 E − 5	2.598 E + 2	1.40

[a] Values of the gas constant are independent of temperature.

[b] Values of the specific heat ratio depend only slightly on temperature.

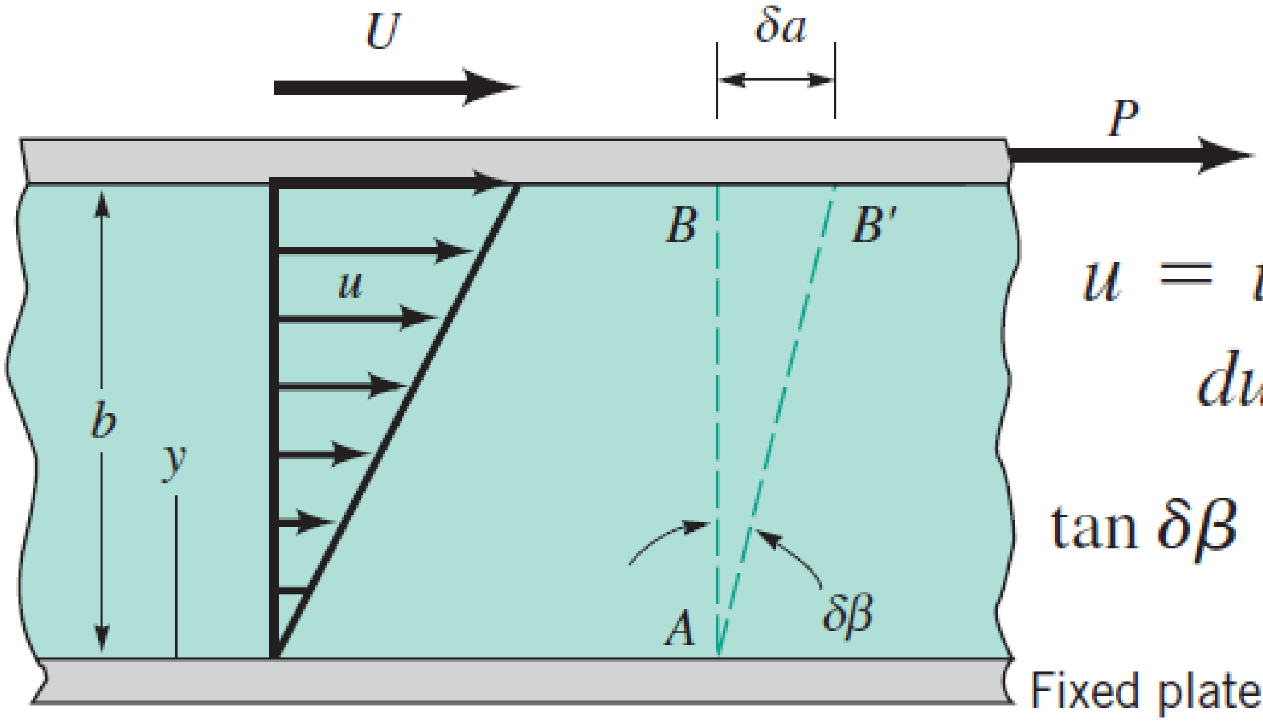
دما: بر اساس درجه سانتی گراد (C) و یا درجه فارنهایت (F) تعریف می شود که بر اساس نقطه جوش و نقطه انجماد آب در سیستم SI و انگلیسی تعریف می شوند

$$^\circ\text{C} = 5/9(^\circ\text{F} - 32),$$

$$\text{K} = {}^\circ\text{C} + 273.15$$

$$^\circ\text{R} = {}^\circ\text{F} + 459.67$$

لزجت (Viscosity)



$$u = u(y) \qquad u = Uy/b$$

$$du/dy = U/b$$

$$\left.\begin{aligned} \tan \delta\beta \approx \delta\beta &= \frac{\delta a}{b} \\ \delta a &= U\,\delta t \end{aligned}\right\} \delta\beta = \frac{U\,\delta t}{b}$$

rate of shearing strain,

نرخ کرنش برشی

$$\dot{\gamma} = \lim_{\delta t \to 0} \frac{\delta\beta}{\delta t} \longleftarrow$$

$\delta\beta$ تابعی از نیرو (سرعت U) و زمان می باشد

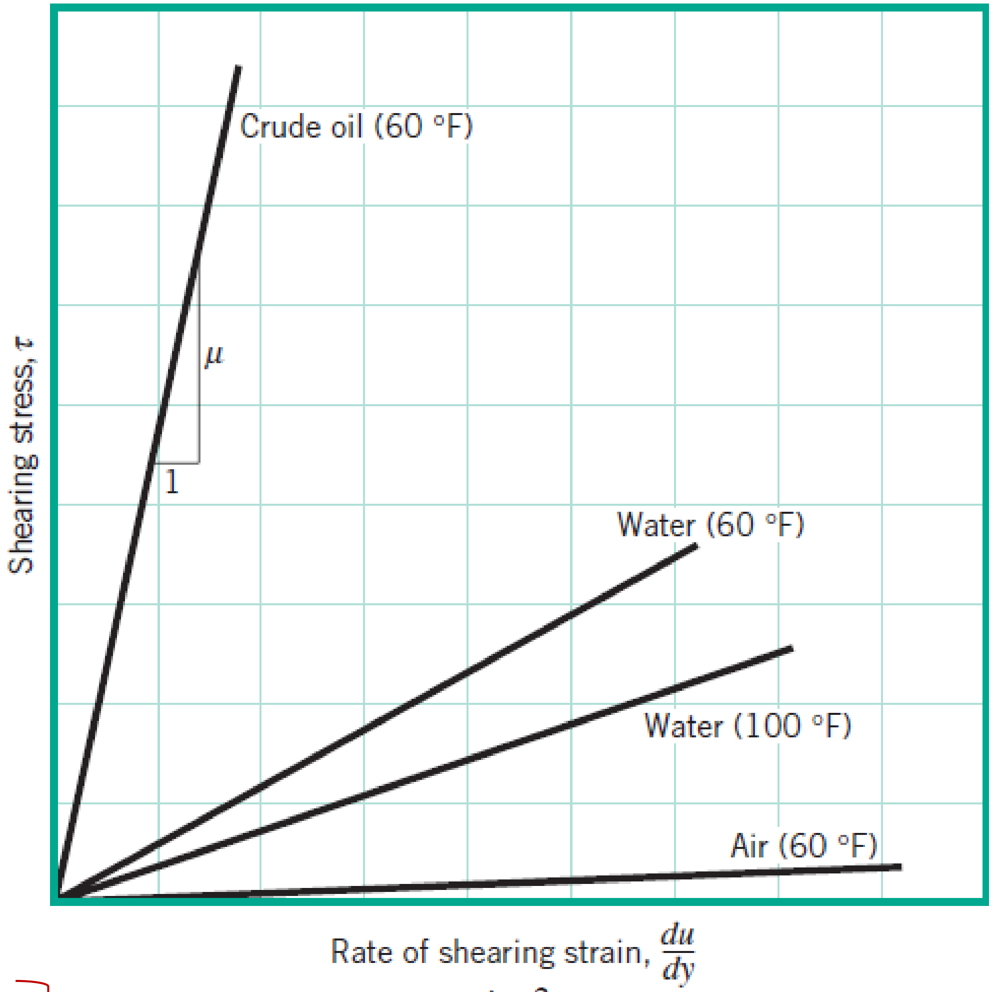
$$\left.\begin{aligned} \delta\beta &= \frac{U\,\delta t}{b} \\ \dot{\gamma} &= \lim_{\delta t \to 0} \frac{\delta\beta}{\delta t} \end{aligned}\right\} \dot{\gamma} = \frac{U}{b} = \frac{du}{dy}$$

این آزمایش نشان می دهد که تنش برشی با افزایش نیرو ی P افزایش می یابد.

نرخ کرنش برشی نیز با این افزایش، مستقیما رشد می نماید. $\tau = P/A$

$$\tau \propto \dot{\gamma} \longrightarrow \tau \propto \frac{du}{dy}$$

نمایش فیلم شرط عدم لغزش و لزجت متفاوت V1-1 ,V1-2



برای بسیاری از سیالات معمول تنش برشی با گرادیان سرعت دارای یک رفتار خطی است. شیب این خط که برای هر سیال یک مقدار ثابت است، لزجت نامیده می شود.

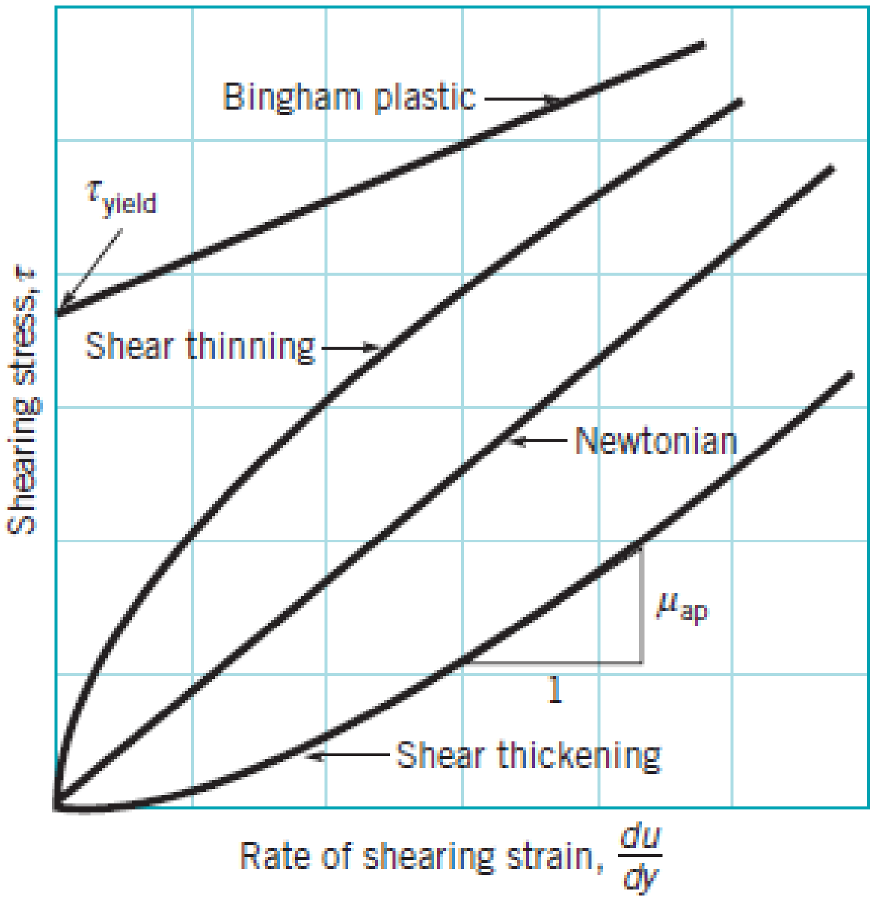
$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

لزجت نسبت به دما حساس بوده و با دما تغییر می نماید.

به سیالاتی که دارای رفتار خطی بین تنش برشی و گرادیان سرعت باشد، سیال نیوتنی می گویند. در غیر این صورت تحت عنوان سیال غیر نیوتنی شناخته می شود

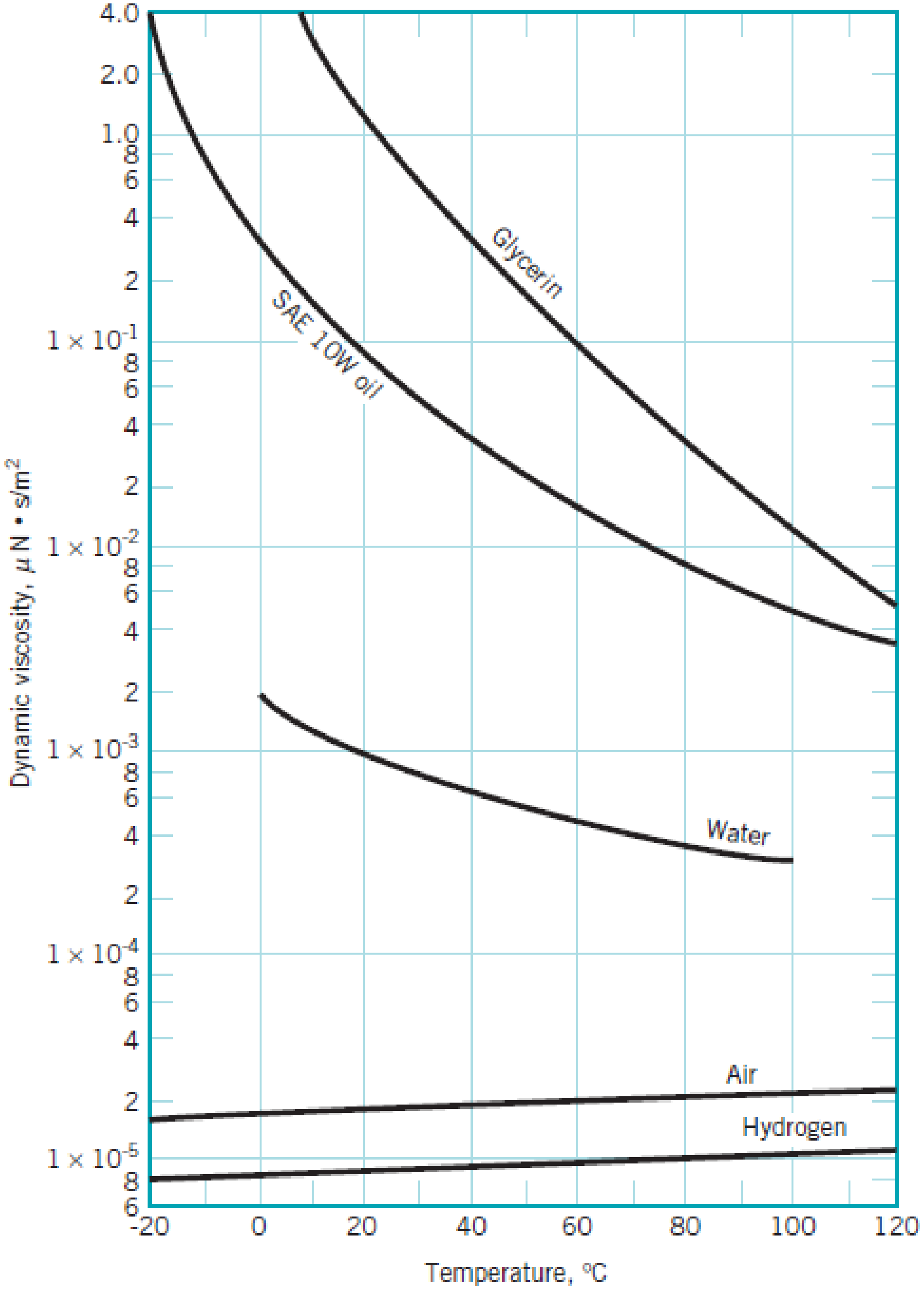
μ
- in SI units as $N \cdot s/m^2$
- BG units as $lb \cdot s/ft^2$

نمایش فیلم اندازه گیری لزجت و سیال غیر نیوتنی V1-3 ,V1-4

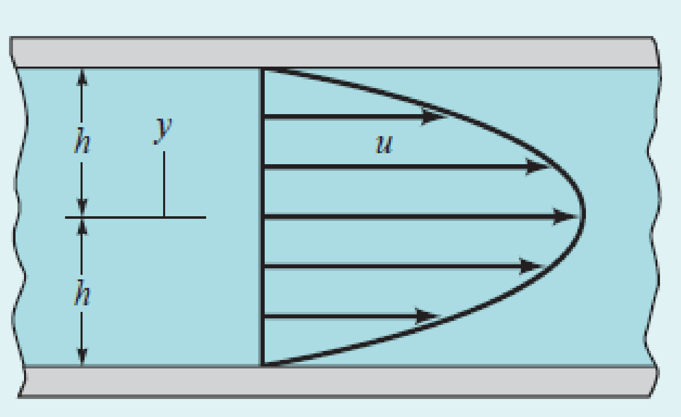


$$\mu = \frac{CT^{3/2}}{T + S}$$

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



مثال: در جریان بین دو صفحه موازی، تنش برشی را بر روی دیواره های کانال و وسط جریان محاسبه نمایید



$$u = \frac{3V}{2}\left[1 - \left(\frac{y}{h}\right)^2\right]$$

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

V is the mean velocity

$$\frac{du}{dy} = -\frac{3Vy}{h^2}$$

$$y = -h \rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{3V}{h} \rightarrow \tau_{\substack{\text{bottom}\\\text{wall}}} = \mu\left(\frac{3V}{h}\right)$$

$$y = 0 \rightarrow \frac{du}{dy} = 0 \rightarrow \tau_{\text{midplane}} = 0$$

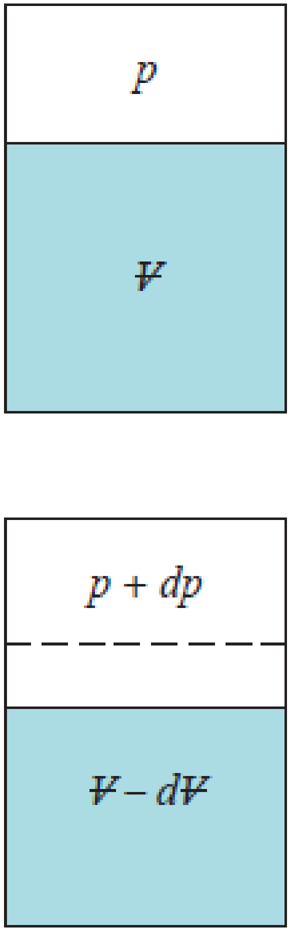
kinematic viscosity $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

SI units are m^2/s

تراکم پذیری سیال:

$$E_v = -\frac{dp}{d\not{V}/\not{V}}$$

برای بررسی تراکم پذیری سیال، ضریب بالک (Bulk modulus) مورد استفاده قرار می گیرد.



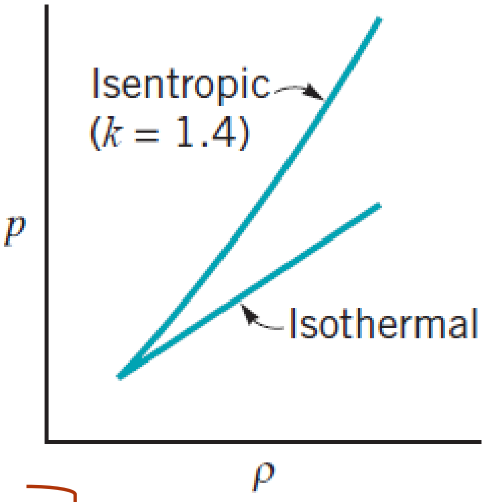
$$m = \rho \not{V} \longrightarrow 0 = \forall \partial\rho + \rho \partial\forall \Rightarrow \frac{\partial\forall}{\forall} = -\frac{\partial\rho}{\rho}$$

$$E_v = \frac{dp}{d\rho/\rho}$$ *bulk modulus of elasticity*

$\boxed{\text{a pressure of 3120 psi to compress a unit volume of water 1\%}}$

isothermal process $\frac{p}{\rho} = \text{constant}$

isentropic process $\frac{p}{\rho^k} = \text{constant}$



$$k = c_p/c_v$$

$$R = c_p - c_v$$

$$E_v = \frac{dp}{d\rho/\rho}$$

$$\frac{P}{\rho} = cons\tan t \Rightarrow \frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho} \Rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \frac{p}{\rho}$$

for an isothermal process $E_v = p$

$$\frac{P}{\rho^k} = cons\tan t \Rightarrow \frac{dp}{p} = \frac{kd\rho}{\rho} \Rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \frac{kp}{\rho}$$

→ for an isentropic process $E_v = kp$

For air under standard atmospheric conditions with p = 14.7 psi (abs) and k = 1.40 → $E_v = 20.6 \quad psi$

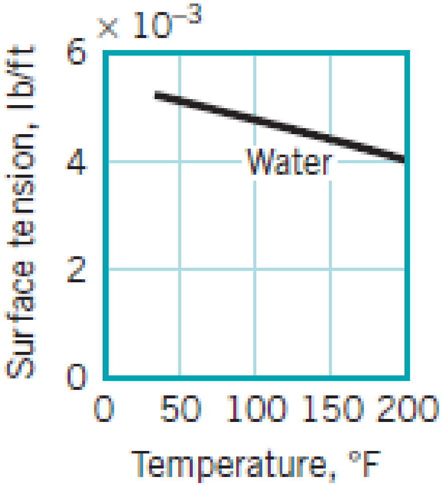
a pressure of 3120 psi → $E_v = 312000 \quad psi$

نمایش فیلم V 1-5 ، کشش سطحی

کشش سطحی (Surface Tension)

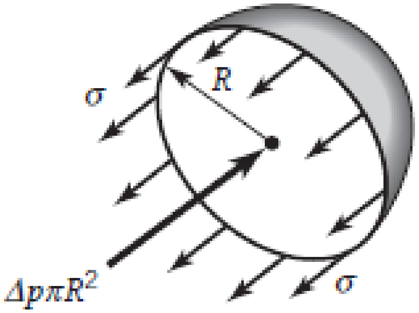
شدت جاذبه مولکولی بر واحد طول در راستای هر خطی بر روی سطح را کشش سطحی می گویند σ (sigma)

SI units of N/m



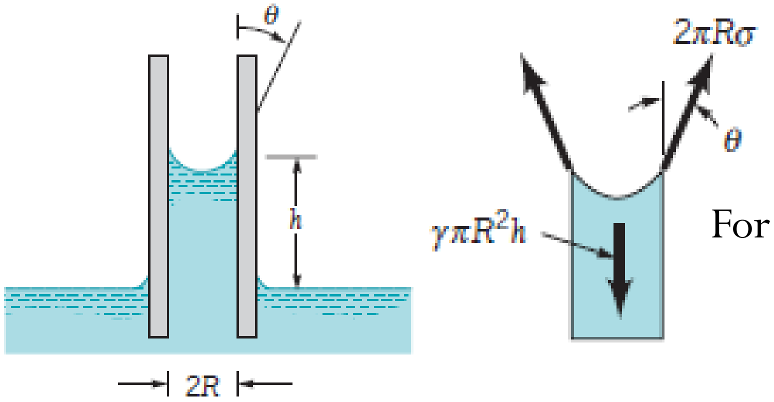
فشار داخل یک قطره مایع:

دیاگرام نیرو در نصف قطره



$$2\pi R\sigma = \Delta p\, \pi R^2 \Rightarrow \Delta p = p_i - p_e = \frac{2\sigma}{R}$$

رابطه فوق نشان می دهد که فشار داخل قطره از فشار بیرون قطره بیشتر است

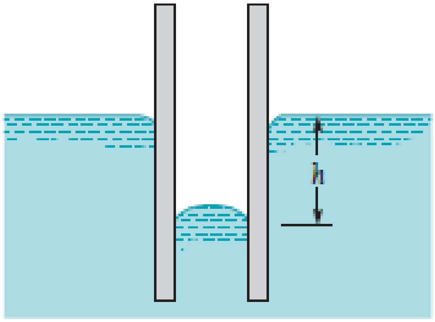


$$\gamma\pi R^2 h = 2\pi R\sigma\cos\theta$$

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma R}$$

For water in contact with clean glass

$$\theta \approx 0°$$



for mercury in contact with clean glass $\theta \approx 130°$

برای سیال غیر نیوتنی این زاویه بزرگتر از ۹۰ است.

مثال: مقدار قطر یک لوله شیشه ای تمیز را بدست آورده که با قرار دادن در ظرف آب ۲۰ درجه سانتی گراد، آب ۱ میلی متر در آن بالا رود.

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma h}$$

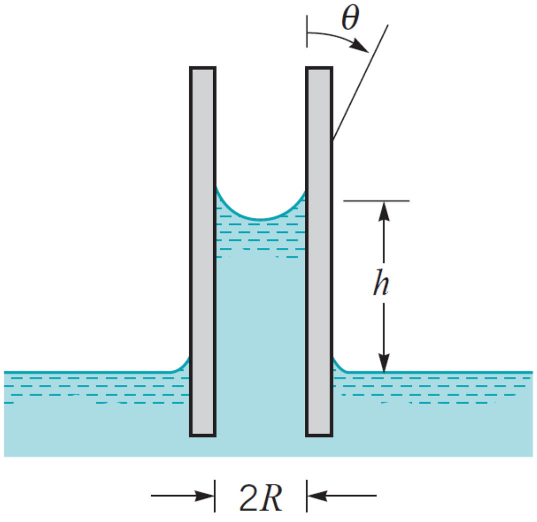
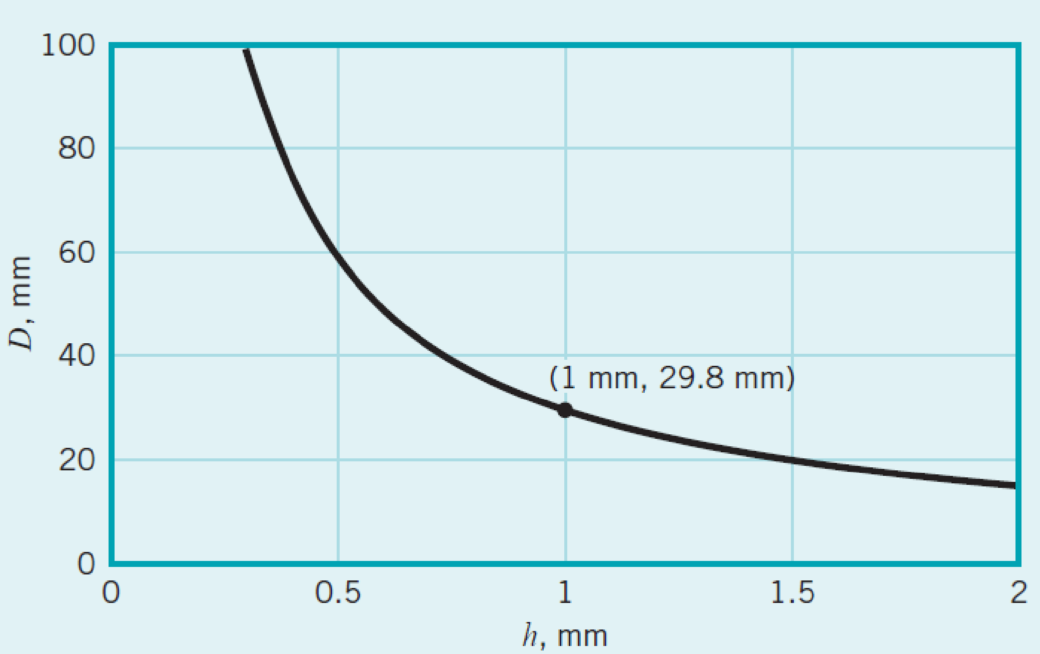
For water at 20 °C

$$\sigma = 0.0728\ \text{N/m}$$

$$\gamma = 9.789\ \text{kN/m}^3$$

$$\theta \approx 0^\circ$$

$$R = \frac{2(0.0728\ \text{N/m})(1)}{(9.789 \times 10^3\ \text{N/m}^3)(1.0\ \text{mm})(10^{-3}\ \text{m/mm})} = 0.0149\ \text{m}$$

$$D = 2R = 0.0298\ \text{m} = 29.8\ \text{mm}$$