مقدمه :

مکانیک سیالات : علم بررسی رفتار سیالات در حالت سکون یا حرکت و اثرات سیال بر مرزهای جامد یا سیال .

مکانیک سیالات از دو دیدگاه مورد بررسی قرار می گیرد { تئوری / تجربی

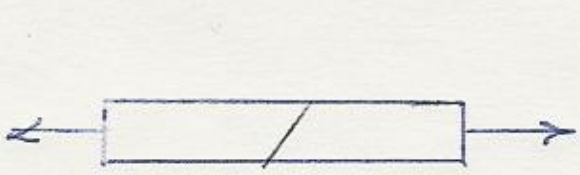
بررسی حرکت سیالات در حالت کلی بسیار پیچیده می باشد بنابراین همواره با استفاده از ساده سازی ها و فرض های مختلف راه را برای بررسی های تئوری هموار می نمائیم و برای جلوگیری از خطاهای مختلف از تلفیق روش های تجربی و تئوری استفاده می کنیم .

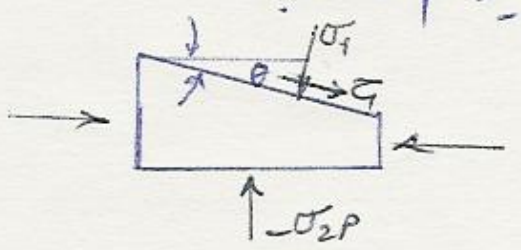
حالت های مختلف ماده : { - سیال / - جامد

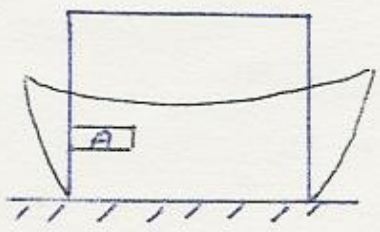
تفاوت اساسی این دو دسته در واکنش آنها نسبت به نیروی برشی وارد بر هر کدام مشخص می شود .

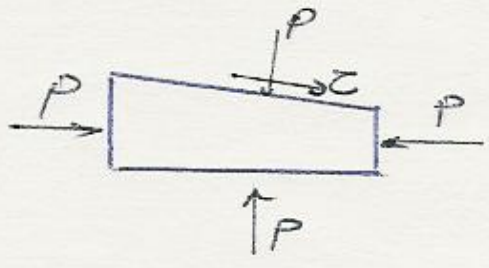
* جامد در مقابل یک تنش برشی با یک تغییر شکل معین و ثابت مقاومت می کند (حافظه دار)

* اگر تنش برشی (هر قدر هم کوچک باشد) به یک سیال وارد شود (تا زمانی که این تنش برسیال اعمال شود) سیال در حال تغییر فرم خواهد بود .



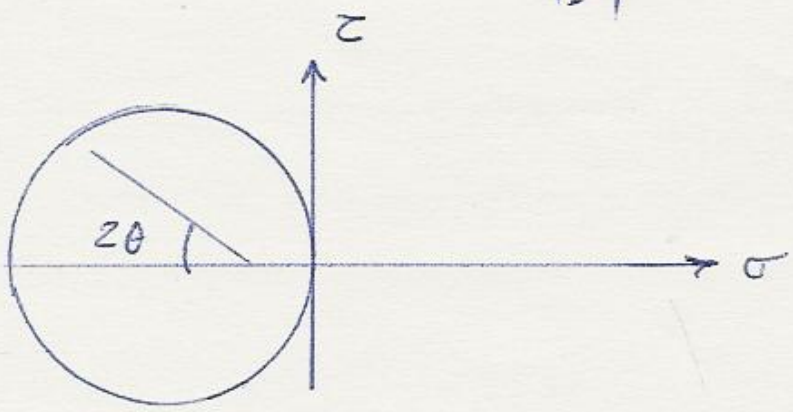




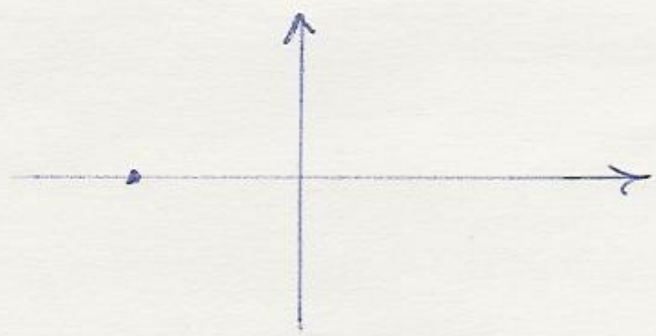


Www.20file.org

در سیال ها داریم ولی تنش برشی نخواهیم داشت ، اگر دایره مور را رسم کنیم :



(دایره موهر برای جامد)

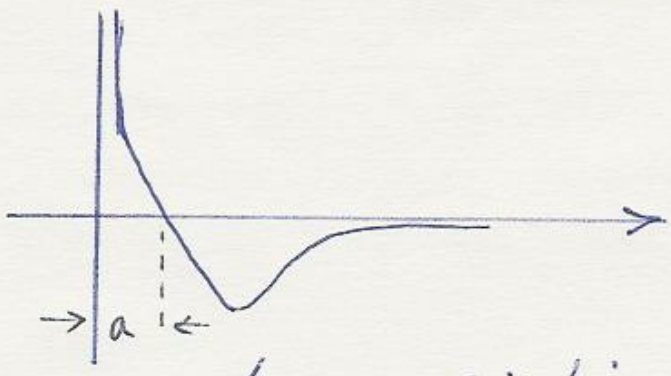


(دایره موهر برای سیال)

تحلیل نیروی در سیالات :
- استاتیکی : سیال تحت هیچ گونه تنش برشی قرار ندارد .
- دینامیکی : سیال تحت تنش برشی قرار دارد .

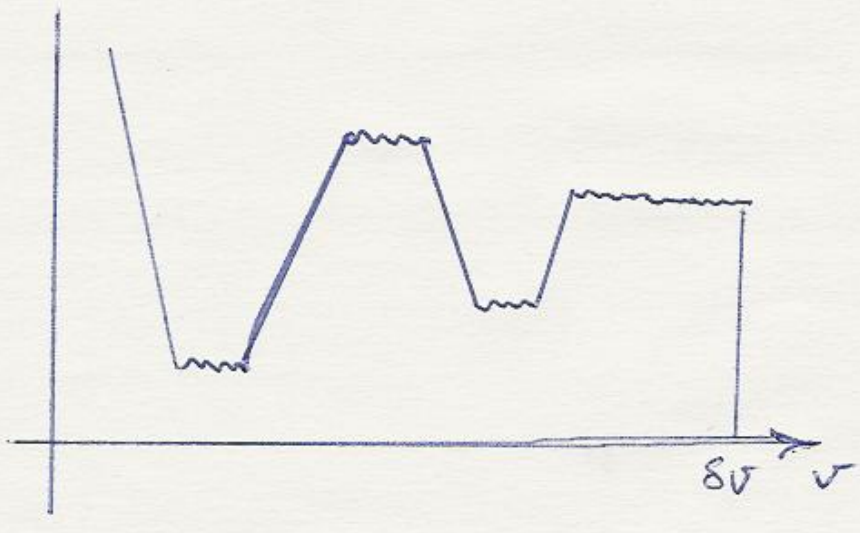
دسته بندی سیالات :
- مایعات : نیروی پیوستگی قویتری نسبت به گازها دارند بنابراین شکل ظرف را بخود می گیرند
- گازها

فرضیه محیط پیوسته : هر ماده ای از مولکول هایی تشکیل یافته که بین آنها نیروهای قوی اثر می کنند



در فاصله های خیلی نزدیک یک نیروی قوی دافعه پیش می آید و در فاصله زیاد یک نیروی جاذبه ایجاد می شود که با زیاد شدن فاصله ابتدا بزرگ و سپس به طرف صفر میل می کند فاصله a که در آن نیروی برآیند صفر می شود فاصله تعادل یا بین مولکول هاست .

حال اگر یک دستگاه اندازه گیری چگالی را تجسم نمائیم که عبور آن تابعی از حجم در نظر گرفته شده به منظور اندازه گیری باشد شکل مقابل پس از اندازه گیری بدست خواهد آمد .



Www.20file.org

در محدوده ابعاد مولکولی عقیده دانشمندان علت بخش غیر پیوسته بودن جرم مقادیر متفاوتی را نشان می دهد، همانطور که از شکل پیداست، یک حجم حدی δV^* وجود دارد که در حجم کمتر از آن تغییرات مولکولی اهمیت دارد و در حجم بزرگتر از آن تغییرات تجمع مولکولی اهمیت دارد، بنابراین بهترین تعریف برای چگالی عبارتست از:

$$\rho = \lim_{\delta V \to \delta V^*} \frac{\delta m}{\delta V}$$

حجم حدی δV^* برای تمام مایعات و گازها در فشار 1 atm، $10^{-9}\ mm^3$ است. با در نظر گرفتن حجم بزرگتر از δV^* جهت تحلیل ابعاد مسائل، سیال را می توان یک سیال پیوسته در نظر گرفت.

* با فرض یک محیط پیوسته متغیرهای مختلف که در تحلیل مسائل ظاهر می شوند، تابعی پیوسته از مکان و زمان هستند و مشابه تعریف حدود پیوستگی که در پیوستگی تابع مقادیر حدی است و چیز با مقدار تابع در آن نقطه برابر است.

ابعاد و واحدها:

* بعد یا دیمانسیون به عنوان ابزاری برای اندازه گیری به کار می رود.

* در مکانیک سیالات تنها چهار دیمانسیون اصلی وجود دارد که تمام دیمانسیون های فرعی دیگر را می توان از آنها بدست آورد، این دیمانسیون ها عبارتند از: جرم، طول، زمان و دما

سیستم های آحاد:
- SI : دستگاه آحاد استاندارد بین المللی
- BG : دستگاه آحاد انگلیسی

ابعاد اصلی	SI	BG
جرم M	kg	slug
طول L	m	ft
زمان T	s	s
دما θ	K	R

Www.20file.org

مثال : اگر جرم فردی 150 lbf باشد، جرم او را برحسب slug بدست آورید؟

$$W = mg \rightarrow m = \frac{w}{g} = \frac{150\,(lbf)}{32.2\,(ft/s^2)} = 4.66\ slug$$

خواص سیالات : - خواص سینماتیکی سیالات
- خواص ترمودینامیکی سیالات

خواص سینماتیکی سیالات :

سوال : سرعت ذرات سیال چیست ؟

* مهمترین ویژگی سینماتیکی سیال میدان سرعت است
* در بررسی سینماتیکی سیال دو دیدگاه وجود دارد { اویلری / لاگرانژی
* دیدگاه اویلری میدان جریان را مورد توجه قرار می دهد و در این دیدگاه از یک دستگاه مختصات ساکن استفاده می شود
* دیدگاه لاگرانژی یک ذره انتخابی متحرک را در میدان جریان دنبال می کند و در این دیدگاه دستگاه مختصات بر روی ذره ای که مورد بررسی قرار می گیرد، قرار دارد.

میدان سرعت : $\vec{V}(x,y,z,t) = \hat{i}\,u(x,y,z,t) + \hat{j}\,v(x,y,z,t) + \hat{k}\,w(x,y,z,t)$

$\vec{V}$ مشتق = شتاب $\rightarrow$ $a(x,y,z,t) = \frac{\delta \vec{V}}{\delta t} =$

$$\frac{\delta V}{\delta t} + \frac{\delta V}{\delta x} \times \frac{\delta x}{\delta t} + \frac{\delta V}{\delta y} \times \frac{\delta y}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial z} \times \frac{\partial z}{\partial t} =$$

Www.20file.org

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \left(u\frac{\partial V}{\partial x} + v\frac{\partial V}{\partial y} + w\frac{\partial V}{\partial z} \right)$$

$\frac{\partial V}{\partial t}$: شتاب محلی یا موضعی (local) است و در یک نقطه مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای جریان پایدار و دائمی که با زمان تغییر نمی‌کند صفر است.

$u\frac{\partial V}{\partial x} + v\frac{\partial V}{\partial y} + w\frac{\partial V}{\partial z}$: شتاب انتقالی بیان کننده آن است که سیال در نقاط مختلف دارای سرعت‌های متفاوتی می‌باشد (برخلاف جسم صلب)

دبی جرمی = انتگرال $\vec{V}$: $Q = \int_S (V \cdot n)\, dA = \int_S \vec{V} \cdot d\vec{A}$

* از طریق دبی جرمی در حجم مخصوص، دبی وزنی ($\dot{w}$) بدست می‌آید $\dot{m} = \rho Q$

$\vec{V}$ واگرایی = انبساط حجمی $\frac{1}{V}\frac{dV}{dt} = \operatorname{div} \vec{V} = \nabla \cdot \vec{V}$

مخالف صفر بودن این عبارت نشان دهنده تراکم پذیری جریان است $\left(\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}\right)$

$\vec{V}$ کرل = سرعت زاویه‌ای موضعی ذرات سیال : $\omega = \frac{1}{2}\operatorname{curl} \vec{V} = \frac{1}{2}\nabla \times \vec{V}$

مخالف صفر بودن این عبارت نمایش دهنده چرخشی بودن جریان است.

Www.20file.org

خواص ترمودینامیکی سیالات :

(1- فشار (P) 2- حجم مخصوص (v) 3- دما (T)) ← همراهان دائمی بردار سرعت

(4- انرژی داخلی (e) 5- آنتالپی (h) 6- آنتروپی (s) 7- گرمای ویژه (c_v, c_p))

زمانی که با کار، گرما، موازنه انرژی سروکار داشته باشیم، اهمیت خواهند داشت

8- ضریب لزجت (μ) ← اثرات مربوط به اصطکاک

9- ضریب هدایت حرارتی (k) ← اثرات مربوط به هدایت حرارتی

* خواص ترمودینامیکی حالت یک سیستم را مشخص می‌کند

* سیستم : مجموعه‌ای از مواد با ماهیتی ثابت است که با محیط اطراف خود در حال تاثیر متقابل است .

* خواص ترمودینامیکی نامیده می‌شوند که در سیال به صورت پیوسته تغییر می‌کنند .

1- فشار :

* فشار یک گاز اصلی نمی‌باشد (از نظر ماکروسکوپی) بلکه گاز است که خود از ذرات گاز در سطح مشترک سرچشمه گرفته است .

* فشار سیال حاصل تبادل اندازه حرکت میان مولکول‌های سیال و دیواره ظرف است .

2- حجم مخصوص :

$$\rho = \lim_{\delta v \to \delta v^*} \frac{\delta m}{\delta v}$$

3- دما :

* دما عبارتی از جنبش مولکولی می‌باشد یا به عبارتی دیگر دما عبارتی از بهره‌ی انرژی جنبشی محسوب می‌شود .

Www.20file.org

۴ - انرژی داخلی

* در ترمودینامیک تنها انرژی موجود در ماده انرژی داخلی است که در نتیجه فعالیت مولکولی و نیروهای پیوندی مولکولی ایجاد شده، در سیستم ذخیره می‌شود.

* در جریان یک سیال علاوه بر انرژی داخلی، دو انرژی دیگر به خاطر انرژی مکانیک نیوتونی یعنی انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی به آن اضافه می‌شود.

$$e = u + \frac{1}{2}v^2 + gz$$

e: انرژی داخلی کل
u: انرژی داخلی مربوط به جنبش مولکولی
$\frac{1}{2}v^2$: انرژی جنبشی
gz: انرژی پتانسیل

۵ - آنتالپی

* انرژی داخلی به علاوه کار جریان (Flow work) آنتالپی را تشکیل می‌دهد.

$$h = u + \frac{P}{\rho} = u + Pv \qquad v = \frac{V}{M}$$

v: حجم مخصوص

۶ - آنتروپی

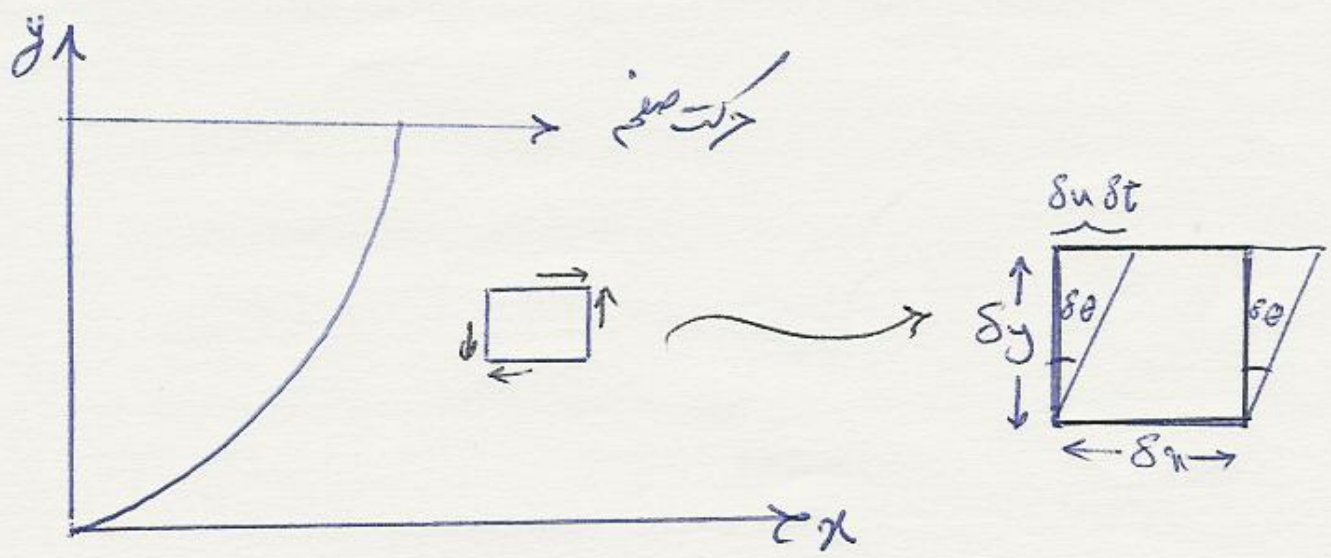
* معیاری از بی‌نظمی است.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T_0}$$

۷ - گرمای ویژه

$$\begin{cases} C_p = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_p & \text{(در فشار ثابت)} \\ C_v = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_v & \text{(در حجم ثابت)} \end{cases}$$

۸ - لزجت



Www.20file.org

* ارتباط بین تنش برشی موضعی یک جزء سیال متحرک با میزان کرنش را ضریب لزجت معین می کند.

* تا زمانی که تنش برشی (τ) وجود داشته باشد، سبب افزایش $\delta\theta$ و حرکت سطح بالایی المان نسبت به سطح پایینی المان با سرعت δu می شود.

* بنابراین تغییرات زمانی $\delta\theta$ متناسب با τ است.

$$\tau \propto \frac{\delta\theta}{\delta t}$$

$$\delta\theta = \frac{\delta u \cdot \delta t}{\delta y} \xrightarrow{\text{تغییرات بینهایت کوچک}} \tan\delta\theta = \frac{\delta u \cdot \delta t}{\delta y} \longleftarrow \text{با توجه به شکل}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\delta u}{\delta y} = \frac{\delta\theta}{\delta t}}$$

$$\Rightarrow \tau \propto \frac{\delta u}{\delta y} \Rightarrow \boxed{\tau = \mu \frac{\delta u}{\delta y}} \rightsquigarrow \text{سیالات نیوتنی}$$

* سیالاتی که از رابطه زیر پیروی می کنند را سیالات نیوتنی می گویند.

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

$$\{\tau\} = \{N/m^2\} = \left\{\frac{kg\,m/s^2}{m^2}\right\} = \{kg/m\,s^2\} = \left\{\frac{M}{LT^2}\right\}$$

$$\{\delta u\} = \{m/s\} = \{L/T\} \Rightarrow \{\mu\} = \left\{\frac{M/LT}{}\right\} = \{kg/m.s\}$$

$$\{\delta y\} = \{m\} = \{L\}$$

* ضریب لزجت سیالات نیوتنی یک خاصیت واقعی ترمودینامیکی است که با فشار و دما تغییر می کند.

* لزجت گازها با افزایش دما افزایش می یابد، لزجت مایعات با افزایش دما، کاهش می یابد.

* μ به عنوان لزجت دینامیکی شناخته می شود.

Www.20file.org

* از تقسیم μ بر ρ لزجت سینماتیکی حاصل می‌شود.

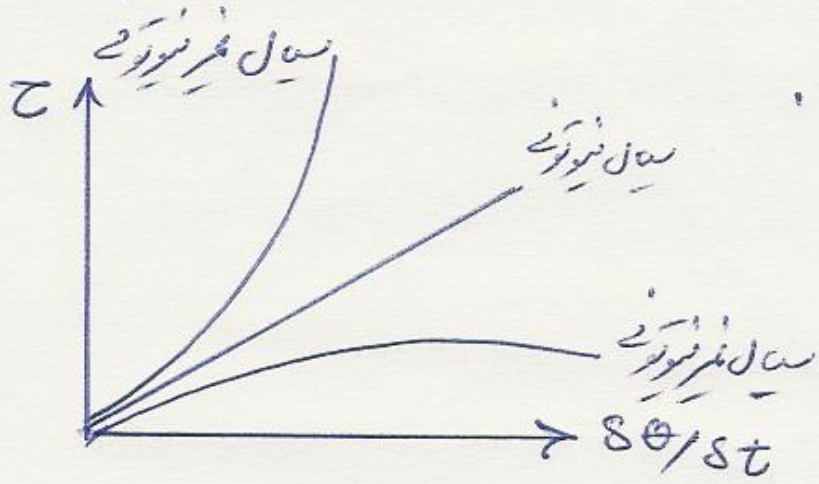
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \{\nu\} = \left\{\frac{L^2}{T}\right\}$$

ضرائب لزجت چند ماده:

	$20^\circ C$, 1 atm
هوا	$\mu = 8.8 \times 10^{-6}$ kg/m.s $\nu = 1.05 \times 10^{-4}$ m^2/s
آب	$\mu = 10^{-3}$ kg/m.s $\nu = 1.01 \times 10^{-6}$ m^2/s
جیوه	$\mu = 1.5 \times 10^{-3}$ kg/m.s $\nu = 1.16 \times 10^{-7}$ m^2/s

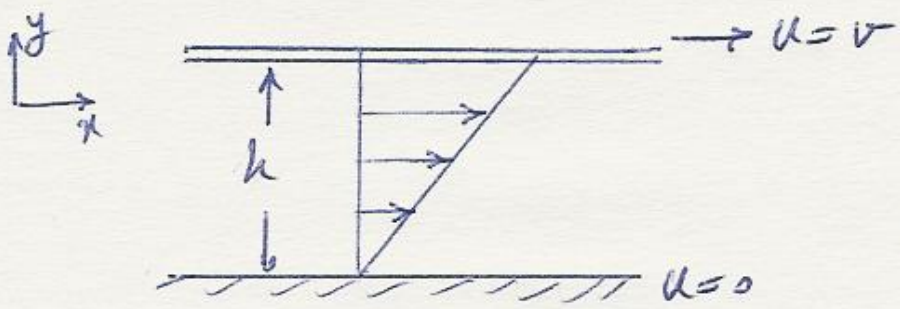
سیالات غیر نیوتنی:

* در سیالات غیر نیوتنی μ ثابت نبوده، تابعی از نرخ کرنش $\left(\frac{\delta\theta}{\delta t}\right)$ می‌باشد.
* شاخه‌ای از سیالات که به مطالعه رفتار سیالات غیر نیوتونی می‌پردازد، رئولوژی نام دارد.
* بسیاری از سیالات غیر نیوتونی حافظه‌دار هستند.



مثال: جریان لزج بین دو صفحه:

دو صفحه تخت و موازی به فاصله h از هم‌دیگر قرار دارند، صفحه پائین ثابت و صفحه بالایی با سرعت U در حال حرکت است، با فرض سیال نیوتونی و پروفیل خطی سرعت مقادیر پروفیل سرعت و تنش برشی را بدست آورید.



- توزیع سرعت تنها در جهت x می‌باشد
- در جهات y و z هیچ گونه جریانی نداریم، بنابراین $v = w = 0$
- شتاب در کلیه جهات صفر می‌شود.

Www.20file.org

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

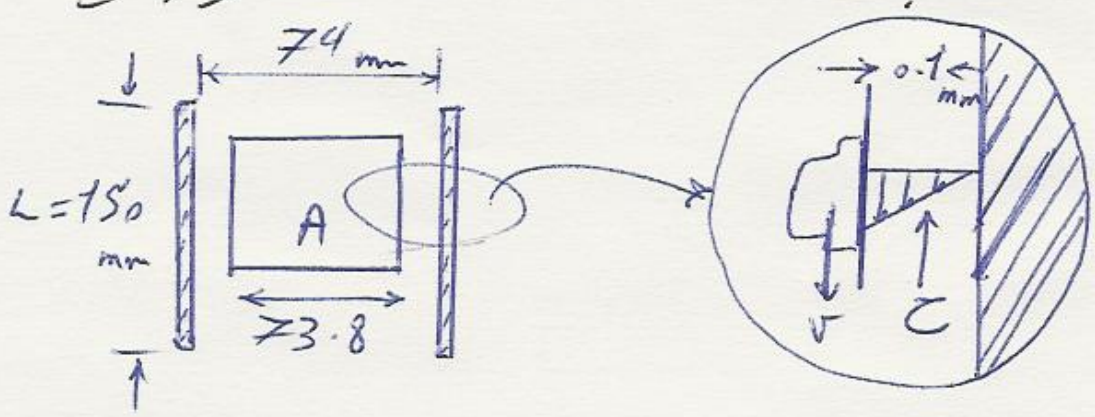
$\frac{du}{dy} = const \Rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{\tau}{\mu} = const$ پروفیل خطی سرعت

انتگرال‌گیری $\longrightarrow u(y) = \frac{\tau}{\mu} y + c$

شرط مرزی $\begin{cases} y=0 \\ u=0 \end{cases} \Rightarrow c=0 \Rightarrow \boxed{u(y) = \frac{\tau}{\mu} y}$ معادله پروفیل سرعت

شرط مرزی $\begin{cases} y=h \\ u=v \end{cases} \Rightarrow \boxed{\tau = \frac{\mu v}{h}}$ تنش برشی

مثال: استوانه‌ای جامد (A) به جرم 2.5 kg طوری که در شکل نشان داده شده است در داخل لوله‌ای قرار می‌یابد. این لوله حاوی روغن، و استوانه و لوله به طور کامل هم محور بوده، لایه‌ای از روغن بین سطوح آن قرار دارد. ضریب لزجت روغن $7 \times 10^{-3}\ N.s/m^2$ می‌باشد. سرعت حد استوانه چقدر است؟ (از اثرات انتهایی صرف نظر کنید و پروفیل سرعت را خطی در نظر بگیرید)



پروفیل سرعت خطی است $\rightsquigarrow \frac{du}{dx} = \frac{v-0}{0.0001} = 10000v \ (1/s)$

$\tau = \mu \frac{du}{dx} = 7 \times 10^{-3} (10000v) = 70v$

* زمانی استوانه به سرعت حدی می‌رسد که نیروی وزن استوانه با نیروی حاصل از تنش برشی متعادل شود

$mg = w = \tau (\pi DL) \Rightarrow (2.5 \times 9.81) = (70v)(\pi)(0.0738)(0.15)$

$\Rightarrow \boxed{v = 10.07 \ m/s}$

Www.20file.org

۹- هدایت حرارتی :

* خاصیتی شبیه ضریب لزجت به نام ضریب هدایت حرارتی (k) وجود دارد که رابطه بین بردار نرخ جریان حرارتی q (در واحد سطح) و بردار شیب دما ∇T است.

* قانون حاکم بین نرخ جریان حرارتی و بردار شیب دما، قانون فوریه است.

$$q_s = -k \nabla T \begin{cases} q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \\ q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \\ q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \end{cases}$$

خوانده میشود.

علامت منفی بدلیل این است که شار حرارتی در جهت کاهش دما مثبت است.

تراکم پذیری سیالات

گاز و روابط حالت :

* خواص ترمودینامیکی گازها به وسیله روابط حالت که برای ماده متعادل است، بهم مربوط می شوند.

* تمام گازها در دماهای بالا و فشارهای پائین با تقریب بسیار خوبی از قانون گاز کامل تبعیت می کنند.

$$P = \rho R T \qquad R = C_p - C_v$$

* ثابت هر گاز از تقسیم ثابت جهانی گازها بر جرم مولکولی همان گاز بدست می آید.

$$R = \frac{\bar{R}}{M} \qquad \bar{R} = 8310 \ \frac{m^2}{s^2 \cdot k^\circ} = \frac{J}{kg \cdot k^\circ}$$

$$= 49700 \ \frac{ft^2}{s^2 \cdot R^\circ}$$

Www.20file.org

تراکم پذیری در مایعات :

* مایعات در اثر فشار به میزان بسیار کمی متراکم می شوند
* قابلیت تراکم با معرفی دو کمیت زیر سنجیده می شوند

ضریب تراکم پذیری $\beta = \frac{-1}{V}\left(\frac{\delta V}{\delta P}\right)_T$

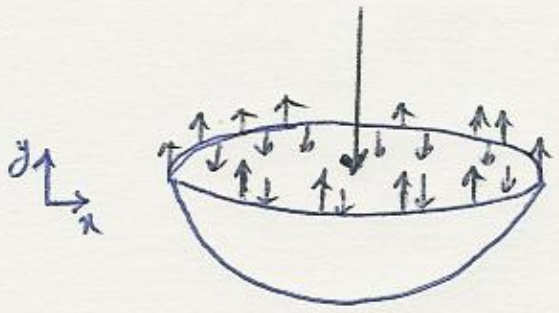
مدول حجمی $k = -V\left(\frac{\delta P}{\delta V}\right)_T = \frac{1}{\beta}$

کشش سطحی :

* کشش سطحی در سطح مشترک مایع و گاز تعریف می شود .
* پدیده کشش سطحی اساساً ناشی از جاذبه بین مولکول های یکسان (پیوستگی) و جاذبه مولکول های غیر یکسان (چسبندگی) است .
* در داخل مایع نیروهای پیوستگی یکدیگر را خنثی می کنند ، ولی در سطح آزاد مایع نیروهای پیوستگی یکدیگر را خنثی نکرده و از پائین اثر می کنند و از نیروی چسبندگی مربوط به گاز در بالا بیشتر شده ، سبب ایجاد کشش سطحی می شود .
* مولکول هایی که در عمق مایع قرار دارند ، به علت فشردگی یکدیگر را مانند مولکول های بین ، در سطح قرار دارند ، کمتر متراکم بوده ، در نتیجه یکدیگر را جذب می کنند
* مقدار کشش سطحی به عنوان شدت بارگذاری خطی (σ) عمود بر سطح بیان می شود ، بر واحد طول خطی منطبق بر سطح آزاد داده می شود .

Www.20file.org

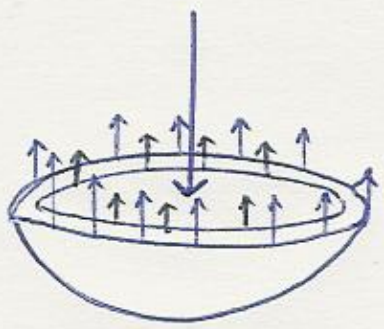
مثال: قطرهٔ آب در حال تعادل



تعادل نیروی: $-(P_i)_z(\pi R^2) + \sigma(2\pi R) = 0$

$$(P_i)_z = \frac{2\sigma}{R}$$

مثال: حباب

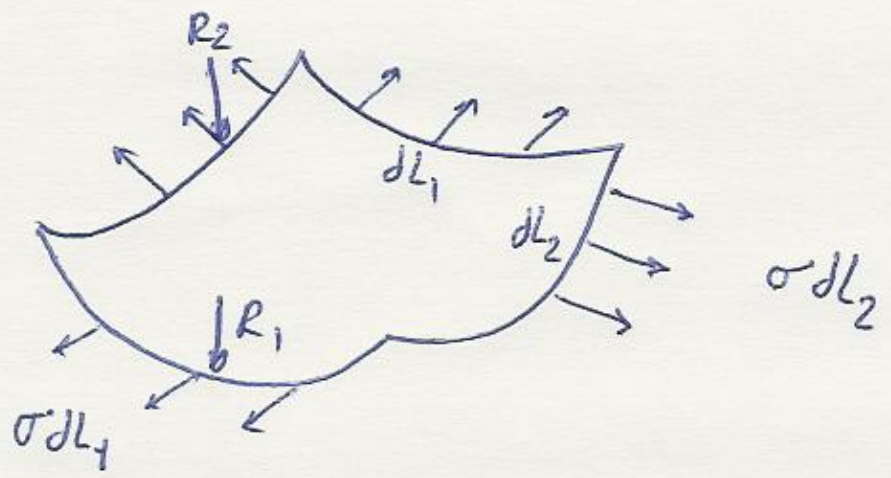


با توجه به اینکه ضخامت دیوارهٔ یک حباب بسیار نازک است،

بنابراین شعاع داخلی آن با شعاع خارجی برابر در نظر گرفته می‌شود.

تعادل نیروی: $(-P_i)_z(\pi R^2) + 2[\sigma(2\pi R)] = 0 \Rightarrow (P_i)_z = \frac{4\sigma}{R}$

مثال: صفحهٔ دلخواه



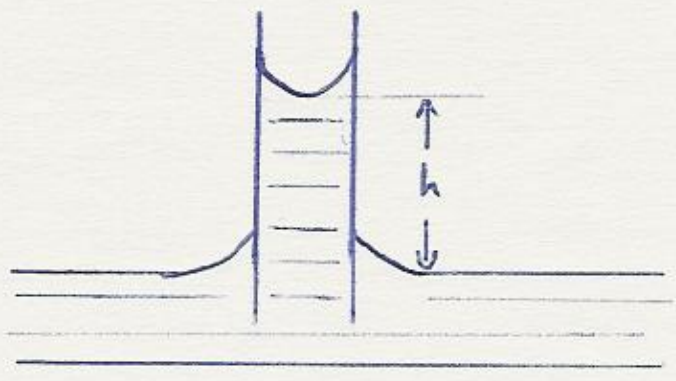
$$\Delta P = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

اثر مویینگی:

* اگر چسبندگی مایع به جامد از پیوستگی مایع بیشتر باشد، مایع در داخل لوله بالا می‌رود: سطح آزاد آن به صورت یک منحنی مقعر در می‌آید.

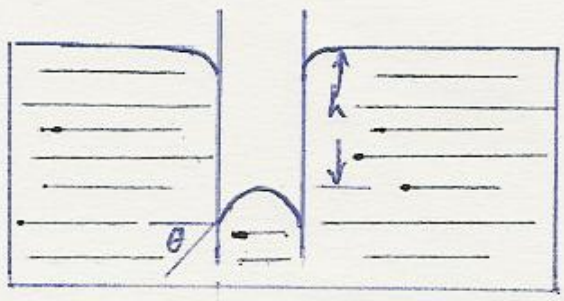
* انحنای سطح مقعر در نزدیکی جامد با زاویهٔ θ اندازه‌گیری می‌شود.

* هر چه اندازهٔ قطر لوله کوچکتر باشد صعود مایع در داخل آن بیشتر است.



Www.20file.org

* اگر چسبندگی مایع به جامد از پیوستگی مایع کمتر باشد مایع در داخل لوله پائین رفته، سطح آزاد آن به صورت یک منحنی محدب در می آید.



* هرچه اندازهٔ قطر لوله کوچکتر باشد، نزول مایع در داخل آن بیشتر است.

خاصیت ترکنندگی:

سطح ترنشده

سطح ترشده

مثال: در شکل مربوط به آب و شیشه فرض می‌کنیم قطر داخلی لولهٔ مویین $2\ mm$ است. اگر θ برابر با 20° و σ برای آب در مجاورت هوا $0.073\ (N/m)$ باشد، ارتفاع بالا رفتن آب در لولهٔ مویین را چقدر آید؟

$$(2\pi R)\sigma\cos\theta - W = 0$$

$$W = mg = \rho\frac{\pi D^2}{4}gh$$

$$\begin{cases} \rho = 1000 & kg/m^3 \\ g = 9.81 & m/s^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (0.073)\pi(0.002)\cos 20 - (9810)\frac{\pi}{4}(0.002)^2 h = 0$$

$$\Rightarrow h = 13.99\ mm$$

فشار بخار:

* فشار بخار فشاری است که در آن مایع شروع به جوشیدن کرده، با بخار خود به حالت تعادل می‌رسد.

* اگر فشار مایع به مقدار بیشتر از فشار بخار آن برسد، مایع به راحتی تبخیر شده ولی اگر فشار مایع به مقدار کمتر از فشار بخار برسد، حباب‌های بخار در داخل آن تشکیل خواهد شد.

Www.20file.org

کاویتاسیون :

* اگر فشار مایع به دلیل ویژگی‌های جریان کمتر از فشار بخار شود، پدیده‌ی کاویتاسیون رخ می‌دهد.
* در بیشتر کاربردهای صنعتی طراحی باید به گونه‌ای باشد، تا از ایجاد پدیده‌ی کاویتاسیون پیشگیری شود.

شرایط عدم لغزش و عدم برش :

اگر جریانی یک سیال در یک سطح جامد محصور باشد، تأثیر متقابل مولکول‌های سیال در تماس با سطح خواهان تعادل اندازه حرکت و انرژی با سطح باشد.

$$V_{\text{سیال}} \equiv V_{\text{دیواره}}$$

$$T_{\text{سیال}} \equiv T_{\text{دیواره}}$$

Www.20file.org