

مقدم :

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

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 عموماً به استقانه از ساده سازی

های مختلف راه را برای بررسی های نوین عموماً نمی توانیم و برای حلگری از خطاهای مختلف

از تلفیق روش های تجربی و تئوری استقانه می کنیم .

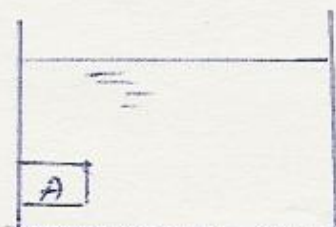
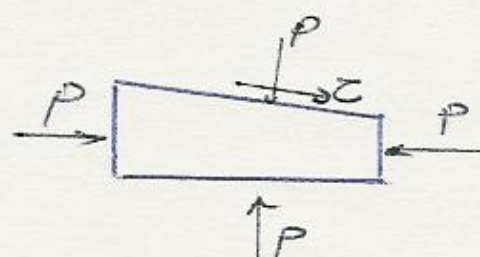
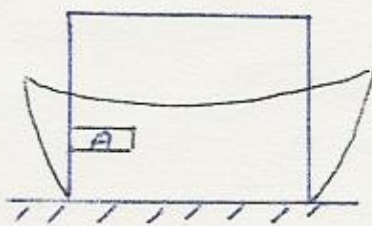
حالت های مختلف ماده :
- سیال
- جامد

تفاوت اساسی این دو دسته در واکنش آنها نسبت به نیروی برشی وارده بر یکدیگر مشخص می شود .

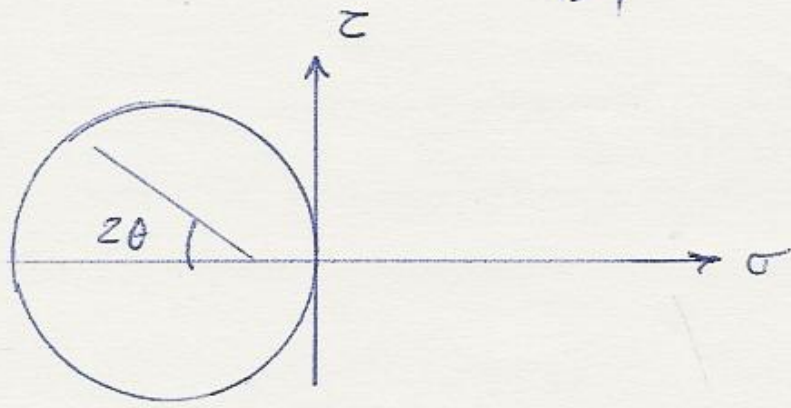
جامد در مقابل کشش برشی با یک تغییر شکل معین و ثابت مقاومت می کند (حافظه دار)

اگر کشش برشی (هر قدر هم کوچک باشد) به یک سیال وارد شود (تا زمانی که این کشش به سیال

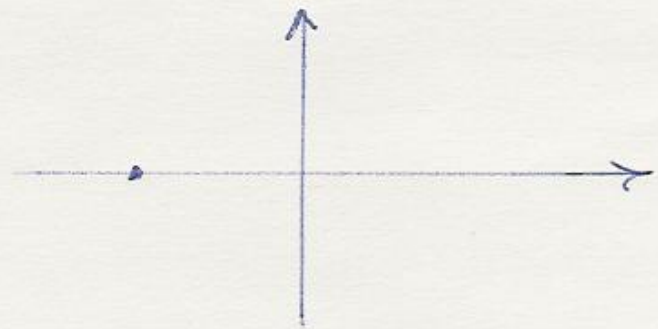
اعمال شود سیال در حال تغییر فرم خواهد بود .



در سیال ۲ داریم ولی تنش برش نخواهیم داشت، اگر دایره مرور را رسم کنیم:



(دایره مرور برای جامد)

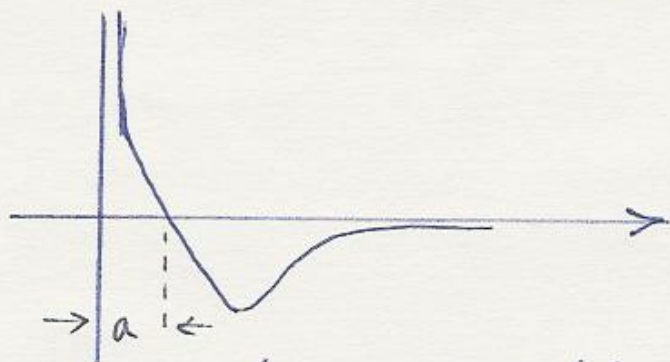


(دایره مرور برای سیال)

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

در سه 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 های تشکیل یافته که بین آنها نیروهای قوی اثر می کنند



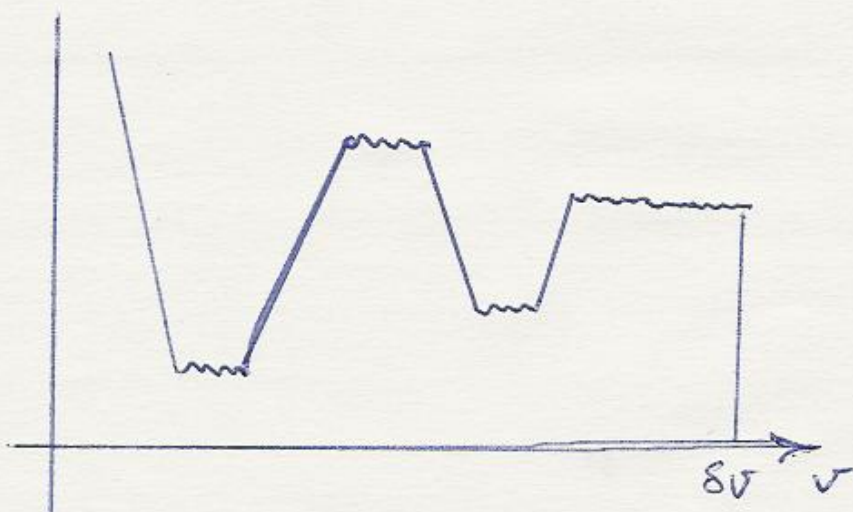
در فاصله های خیلی نزدیک یک نیروی تری را دفع پیش می آید در

فاصله زیاد یک نیروی جاذبه ایجاد می شود که باز با داشتن فاصله ابتدا

بزرگ و سپس به طرف صفر میل می کند فاصله a که در آن نیروی برآیند صفر می شود مکانی متعادل یا دایره مولکول است.

حال اگر یک دستگاه اندازه گیری چگالی را جسم نمانیم که عموماً آن تابعی از حجم در نظر گرفته شده به منظور اندازه گیری

باشد شکل متغییر این از اندازه گیری بدست خواهد آمد.



در محدوده ابعاد مولکولی عبور دستگاه به علت بخش غیر یکنواخت جرم معادله متفاوتی را نشان می دهد، همانطور که از شکل پدیدار می آید، یک حجم حدی δv وجود دارد که در حجم کمتر از آن تغییرات مولکولی اهمیت دارد و در حجم بزرگتر از آن تغییرات جمع مولکولی اهمیت دارد، بنابراین بهترین تعریف برای چگالی عبارتست از:

$$\rho = \frac{\delta m}{\delta v}$$

حجم حدی δv^* برای تمام مایعات و گازها در فشار 1 atm ، 10^{-9} m^3 است. با در نظر گرفتن حجم بزرگتر

از δv^* جهت تحلیل اجزاء مائیل، مائیل زای توان یک مائیل پیوسته در نظر گرفته می شود.

* با فرض یک محیط پیوسته متغیر کمی مختلف که در تحلیل مائیل ظاهر می شود، تابعی پیوسته از مکان و زمان

حسند و مشابه تعریف حد پیوستگی که در پیوستگی تابع معادله حرارت و چگالی با معادله ترمودینامیک در آن نقطه برابر است.

ابعاد واحد:

* 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 فیزیکی 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

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

سؤال: اگر وزن فزونی 150 lbf باشد، جرم او را بدست آورید؟

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

خواص سیالات: ۱ - خواص سینماتیک سیالات
۲ - خواص توربینی سیالات

خواص سینماتیک سیالات ۱

سؤال: سه نوشتار هر ذره لزبیل چیست؟

* بهترین روشی سینماتیک سیال میدان سرعت است

* در بررسی سینماتیک سیال دو دیدگاه وجود دارد: اولی دیدگاه لاینرالی

* دیدگاه اولی میدان جریان را بر روی تمام نقاط در این دیدگاه از یک دستگاه مختصات ساکن استفاده باشد

* دیدگاه لاینرالی یک ذره انفرادی متحرک را در میدان جریان دنبال می کنند و در این دیدگاه دستگاه مختصات

بر روی ذره ای که مورد بررسی قرار می گیرد قرار دارد.

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

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

$$\frac{\delta v}{\delta t} + \frac{\delta v}{\delta x} \alpha \frac{\delta x}{\delta t} + \frac{\delta v}{\delta y} \alpha \frac{\delta y}{\delta t} + \frac{\delta v}{\delta z} \alpha \frac{\delta z}{\delta t} =$$

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

$\frac{\partial v}{\partial t}$: شتاب محلی یا موضعی (local) است و در یک نقطه در یک برهه زمانی معین برای

جریان پایدار و دائمی، زمان بستگی ندارد.

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} : شتاب انتقال و بیان کننده آن است که بیان در نقاط$$

مختلف دارای سرعت‌های متفاوتی باشد (بر خطوط جسم صلب)

$$Q = \int_{\Sigma} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA = \int_{\Sigma} \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

\vec{v} انتقال =

$$m = \rho Q$$

* از طرفی ρ جرم مخصوص، m جرم است

$$\frac{1}{v} \frac{dv}{dt} = \text{div } \vec{v} = \nabla \cdot \vec{v}$$

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

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \text{curl } \vec{v} = \frac{1}{2} \nabla \times \vec{v}$$

$\vec{\omega}$ کرل =

سرعت زاویه‌ای

مخالف صورتی این عبارت نشان دهنده چرخش است.

خواص ترمودینامیکی سیالات :

(۱- فشار (P) 2- جرم (M) 3- (T) ← عمده‌ترین دامن بردار بر حالت

(4- انرژی داخلی (E) 5- آنتالپی (h) 6- آنتروپی (S) 7- ترمایی ویژه (Cp, Cv))

زمانی که با کار، گرما، موازنه انرژی سرد و کار 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 می‌کنند

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

* خواص نه‌گانه نامبرده کمیت‌های نقطه‌ای هستند که در سیال به صورت پیوسته تغییر می‌کنند.

۱- فشار :

* فشار یک کمیت اصلی نمی‌باشد (از نظر ریاضی) بلکه کمیتی است که خود از دو کمیت نیرو و سطح مشتق شده است.

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

۲- جرم مخصوص :

$$p = \rho \cdot \frac{\delta m}{\delta v} \quad \delta v \rightarrow \delta v^*$$

۳- دما :

* معیار از جنبش مولکولی می‌باشد یا به عبارتی معیار از سرد و گرمی اجسام می‌باشد

* ارتباط بین تنش‌های مؤثری یک جزء سیال متحرک با میزان کرنش را ضریب لزجت معین می‌کنند.

* تا زمانی که تنش برشی (ح) وجود داشته باشد، بهب افزایش $\delta\theta$ و حرکت سطح بالایی الانبساط

به سطح پایینی الانقباض است δu در شش.

* بنابراین تغییرات زمانی $\delta\theta$ متناسب با ح است. $\tau \propto \frac{\delta\theta}{\delta t}$

تغییرات انبساطی کوچک $\delta\theta = \frac{\delta u \cdot \delta t}{\delta y}$ $\rightarrow \tan \delta\theta = \frac{\delta u \cdot \delta t}{\delta y}$ با توجه به شکل

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

سیال نیوتنی $\Rightarrow \tau = \mu \frac{\delta u}{\delta y}$ $\Rightarrow \tau \propto \frac{\delta u}{\delta y}$

* سیال‌هایی که از رابطه زیر پیروی می‌کنند را سیال نیوتنی می‌گویند $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

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

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

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

* ضریب لزجت سیال نیوتنی یک خاصیت واقعی ترمودینامیکی است که با فشار و دما تغییر می‌کند

* لزجت گازها با افزایش دما افزایش می‌یابد، لزجت مایعات با افزایش دما کاهش می‌یابد.

* μ به عنوان لزجت دینامیکی شناخته می‌شود

از تقسیم μ بر ρ لزجت سینماتیکی حاصل می‌شود .

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

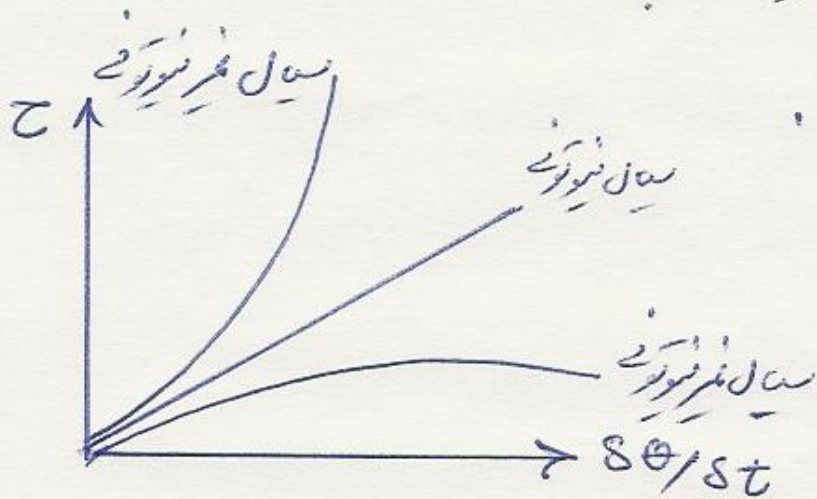
ضرایب لزجت چند ماده :

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

سیالات غیر نیوتنی :

در سیالات غیر نیوتنی μ ثابت نبوده، تابعی از نرخ کرنش $\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)$ می‌باشد .

شش فضای از سیالات که به مطالعه رفتار سیالات غیر نیوتنی در پردازش رنولودی نام دارد .

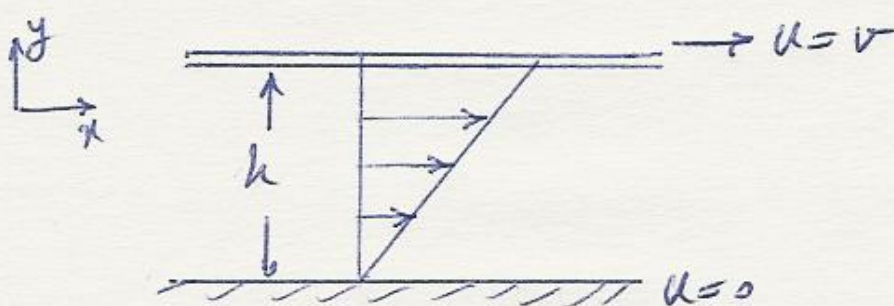


بسیاری از سیالات غیر نیوتنی حلقه‌دار هستند .

مثال : جریح لزوج بین دو صفحه :

دو صفحه تخت و موازی به فاصله h از هم در برابر هم قرار دارند، صفحه پایینی ثابت و صفحه بالایی با سرعت U در حال

حرکت است، با فرض سیال نیوتنی و پر و فیل خطی سرعت معادله پر و فیل سرعت و تنش برشی را بدست آورید .



- توزیع سرعت تنها در جهت x می‌باشد

- در جهات y و z هیچ گونه جریح نداریم، بنابراین $v=w=0$

- شتاب در کلیه جهات صفر می‌باشد .

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

سید نیوتنی

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

$$\text{شرایط انتگرالی} \rightarrow u(y) = \frac{\tau}{\mu} y + C$$

$$\text{معارف پروفیل سرعت} \rightarrow \left. \begin{array}{l} y=0 \\ u=0 \end{array} \right\} \text{شرایط} \Rightarrow C=0 \Rightarrow \boxed{u(y) = \frac{\tau}{\mu} y}$$

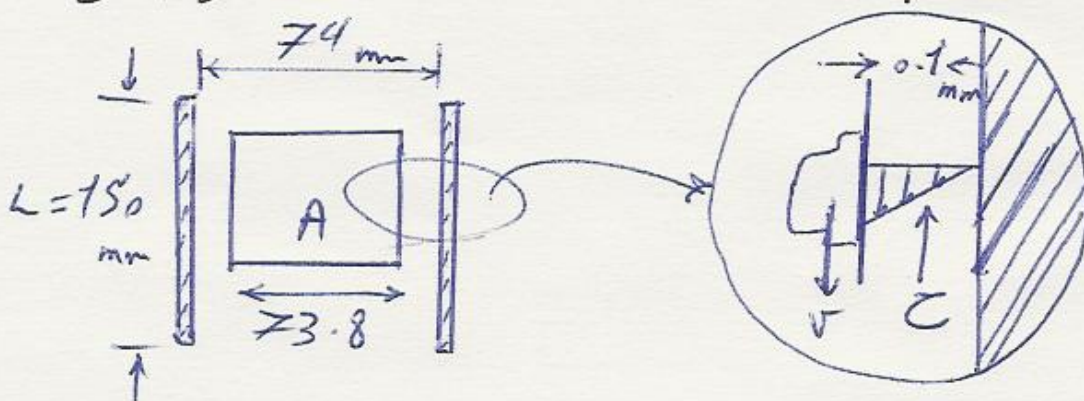
$$\text{تشن برشی} \rightarrow \left. \begin{array}{l} y=h \\ u=v \end{array} \right\} \text{شرایط} \Rightarrow \boxed{\tau = \frac{\mu v}{h}}$$

مثال: استوانه اجاد (A) به طول 2.5 m به طور عمود بر شکل نشان داده شده در داخل لوله به طرف

چپین می لغزد، استوانه در طول به طور کامل هم محور بودن، لوله از روغن بین سطح آن و لوله صریب لغز است

روغن $\mu = 7 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ باشد. سرعت جدا استوانه چقدر است؟ (لذا اثرات فشار هوا منظر کشید و پروفیل سرعت

را خطی در نظر بگیرید)



$$\text{پروفیل سرعت خطی است} \rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{v-0}{0.0001} = 10000 v \quad (1/5)$$

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

* وزن استوانه به سمت چپ می رود که نیروی وزن استوانه با نیروی حاصل از تنش برشی متعادل شده

$$m g = w = \tau (\pi D L) \Rightarrow (2.5 \times 9.81) = (70 v) (\pi) (0.0738) (0.15)$$

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

۹- هدایت حرارتی

* خاصیت مشابه ضریب لزجت به نام ضریب هدایت حرارتی (k) وجود دارد که رابطه بین بردار نرخ جریان حرارتی و بردار گرادیان دما در یک ماده را بیان می‌کند.

حرارتی (در واحد سطح) و بردار گرادیان دما در جهت حرارت ∇T است.

* قانون حاکم بین نرخ جریان حرارتی و بردار گرادیان دما در جهت حرارت ∇T ، «قانون فوری»

$$q_s = -k \nabla T \quad \left\{ \begin{array}{l} q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \\ q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \\ q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \end{array} \right. \quad \text{خواننده فرم شود}$$

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

تراکم پیروری سیالات

گاز و روابط حالت:

* خواص ترمودینامیکی گازها به وسیله روابط حالت که برای ماده متفاوت است، به هم مربوط می‌شوند.

* آتم گاز در دمای بالا و فشار کمی با تقریب بسیار خوبی از قانون گاز حاصل بقیت می‌کنند.

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

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

$$R = \frac{\bar{R}}{M} \quad \bar{R} = 8310 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} = \frac{\mathcal{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

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

تراکم پذیری در مایعات :

* مایعات در اثر فشار به میزان بسیار کمی تراکم می شوند

* قابلیت تراکم با معرفی دو کمیت زیر سنجیده می شوند

$$\beta = \frac{-1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

ضریب تراکم پذیری

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

مدول حجمی

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 نیروی پیوستگی یکدیگر را خنثی می کنند و در سطح آزاد نیروی پیوستگی یکدیگر را خنثی

نکرده و از پایین اثر می کنند و از نیروی چسبندگی مربوط به گاز در بالا بیشتر شده ، به سبب ایجاد کشش سطحی می شود .

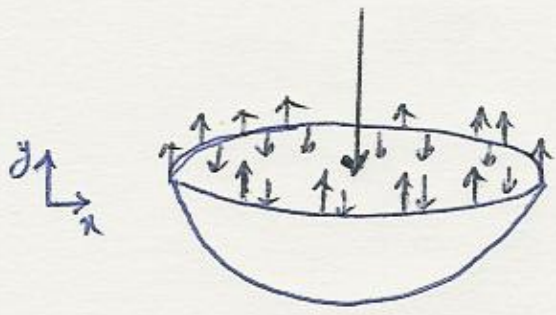
* مولکول های که در عمق مایع قرار دارند ، به علت فشردگی یکدیگر را می رانند و مولکول های که در سطح قرار دارند ،

کمتر تراکم بوده ، در نتیجه یکدیگر را جذب می کنند

* مقدار کشش سطحی به عنوان شدت بارگذاری خطی (σ) ماکس بر سطح بیان می شود ، بر واحد طول خطی

منطبق بر سطح آزاد دان می شود

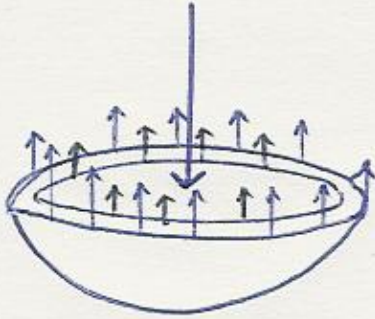
مثال: قطره آب در حال تعادل



توازن نیروی: $-(P_i)_{z} (\pi R^2) + \sigma (2\pi R) = 0$

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

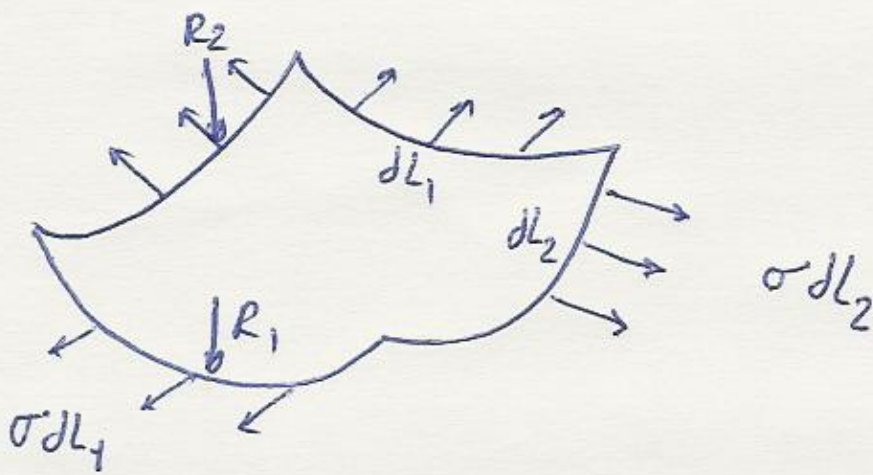
مثال ۱: حباب



با توجه به اینکه ضخامت دیواره یک حباب بسیار نازک است ، بنابراین شعاع داخلی آن با شعاع خارجی برابر در نظر گرفته می شود .

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

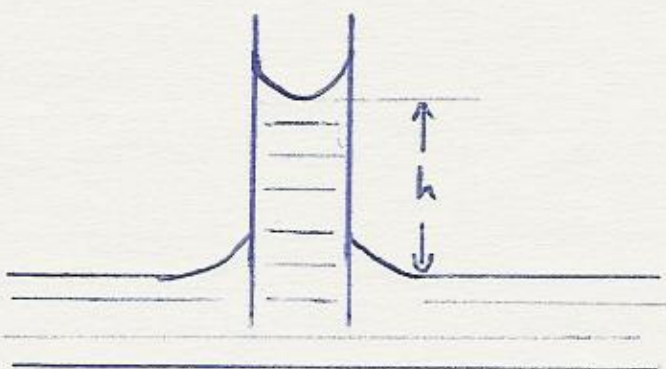
مثال ۲: صفحه دایره‌ای



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

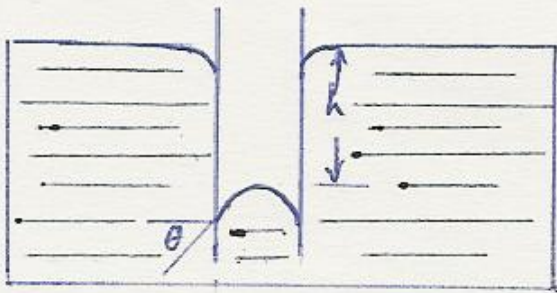
اثر مویینگی ۱

* اگر چسبندگی مایع به جامد از نیروی سنگین مایع بیشتر باشد ، مایع در داخل لوله بالا می رود ، سطح آزاد آن به صورت یک منحنی مقعر در می آید .



* اگر چسبندگی مایع به جامد از نیروی سنگین مایع کمتر باشد ، مایع در داخل آن بیشتر است .

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

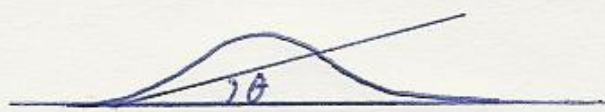


* هر چه اندازه قطر لوله کوچکتر باشد، نزول مایع در داخل آن بیشتر است.

خاصیت ترکتندگی:



سطح ترکتندگی



سطح ترکتندگی

مثال ۱ در شکل مربوط به آب و شیشه زغنه‌ای کسب قطر داخلی لوله معین 2 mm است. اگر θ برابر با 20°

و σ برای آب در مجاورت هوا 0.073 N/m باشد، ارتفاع مایع در لوله نسبت به سطح رابدها

آوردید؟

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g = 9.81 \text{ m/s}^2 \end{array} \right\}$$

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

$$\Rightarrow h = 13.99 \text{ mm}$$

فشار بخار:

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

* اگر فشار مایع به مقدار بیشتر از فشار بخار آن برسد، مایع به حالتی تغییر می‌کند و در آن فشار مایع به مقدار کمتر از

فشار بخار برسد، حباب‌های بخار در داخل آن تشکیل خواهد شد.

کاویتا سیمین :

* اثرنفت با مع به دلیل ویژگی های جوان کمترین فشار بخار شود، به پوره کاویتا سیمین رخ دهد.
* در بیشتر کاربردهای صنعتی طایقی با به پورن اسی باشد، تا از ایجاد به پوره کاویتا سیمین پیشگیری
شود.

شرایط عدم لغزش و عدم برش!

اگر چوبانگ یک سیال درست به معنی باشد، تا اثر متقابل سولول که باعث مرشد سیال
در تماس با سطح خواهد بود تعدیل انداز حرکت ولانژی با سطح باشد.

$$\begin{aligned} V &\equiv V \text{ سیال} \\ &\text{دیواره} \\ T &\equiv T \text{ سیال} \\ &\text{دیواره} \end{aligned}$$