صفحه ۱

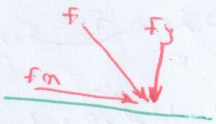
تنش برشی: اگر نیروی F را در راستای A وارد کنیم و F را به دو مولفه Fx و Fy تجزیه کنیم

حاصل تقسیم نیروی عمودی بر سطح، فشار و حاصل تقسیم نیروی افقی بر سطح، تنش برشی خواهد بود (τ)

Fx

Fy

سیال: ماده‌ای است که تحت اثر یک تنش برشی - هر چند هم که کوچک باشد - تغییر شکل می‌دهد.



$$\tau = \frac{F_n}{A}$$

$$P = \frac{F_y}{A}$$

قانون لزجت نیوتن:

قانون را چه کسی بیان کرده؟

قانون را اینطور بیان کرده است که قابل اثبات ریاضی نیست ولی در عمل صحت آن مشاهده شده است

تفاوت جامد و سیال چیست؟ جامد در مقابل تنش برشی مقاومت می‌کند ولی سیال پیوسته تغییر شکل می‌دهد.

جامد در مقابل تنش برشی مقاومت می‌کند ولی سیال پیوسته تغییر شکل می‌دهد.

تفاوت گاز و مایع؟ نیروی چسبندگی است. در مایعات مولکول‌ها به هم فشرده شده و نیروی چسبندگی قوی است و مایل است که همیشه حجم خود را حفظ کند (تراکم‌ناپذیر) ولی گاز فاصله حجم تغییر شده

مشخصی ندارند و آزادانه در فضا در حال حرکت هستند (تراکم‌پذیر)

مولکول‌های گاز همواره در حال برخورد با یکدیگر می‌باشند که

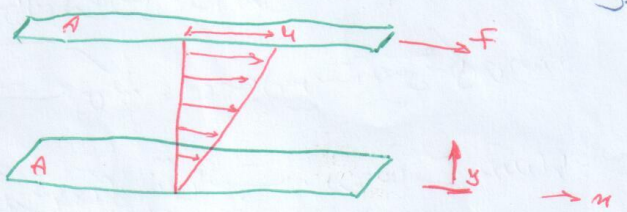
گرانروی: نسبت نیروی برشی وارد بر سطح متوسط گاز عبارت است از مسافت متوسطی که یک مولکول به عنوان یکی از مشخصه‌های خواص جسم

ماین دو برخورد متوالی طی می‌کند. اگر این نسبت کوچک باشد رفتار جریان گاز را دینامیک گاز گویند

و اگر این نسبت بزرگ باشد رفتار جریان گاز را انعطاف‌پذیر می‌نامند. و اگر خیلی زیاد باشد حرکت را

جریان آزاد مولکولی گویند.

برای بیان این قانون ابتدا یک آزمایش را در نظر می‌گیریم. شکل دو صفحه موازی نشان داده شده است. فاصله بین دو صفحه y است. صفحه پایین ثابت است صفحه بالایی را نیروی F می‌کشیم و بالای کار شیء بوسیله اندازه $\frac{F}{A}$ به سیال بین دو صفحه وارد می‌شود که A مساحت صفحه بالایی می‌باشد. از آنجایکه فضای بین دو صفحه با سیال پر شده است. اعمال نیروی F هرچند هم که کوچک باشد باعث حرکت صفحه بالایی تا زمانی که اعمال نیرو وجود دارد می‌گردد. ذراتی از سیال که با مرز جامد تماس دارند سرعتشان برابر سرعت صفحه است. به عبارت دیگر در مرزهای جامد هیچ گونه لغزشی بین صفحه و سیال وجود ندارد. بنابراین اگر صفحه بالایی را با سرعت u بکشیم سرعت ذراتی که روی صفحه بالایی قرار دارند u می‌باشد و سرعت ذراتی که روی صفحه پایین قرار دارند صفر است. سرعت ذرات بین دو صفحه از صفر تا u تغییر می‌کند.

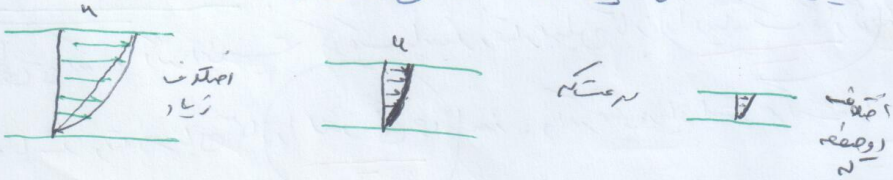


در دو حالت پروفایل سرعت خطی است

۱- سرعت u خیلی کم باشد

۲- فاصله بین دو صفحه کم باشد

در غیر این صورت پروفایل سرعت سهمی است.



آزمایش نشان می‌دهد که تنش برشی (τ) با سرعت یعنی u نسبت مستقیم و با فاصله بین دو صفحه یعنی y نسبت عکس دارد. یعنی

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

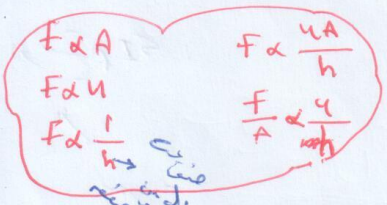
$\frac{du}{dy}$ نرخ تغییر شکل یا نرخ کرنش زاویه‌ای نام دارد.

برای تبدیل تنش به تساوی از یک ضریب تناسب که آن را با μ نشان می‌دهیم استفاده می‌کنیم

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

رابطه فوق رابطه تنش برشی و نرخ تغییر شکل زاویه‌ای برای جریان یک بعدی سیال است. این معادله به قانون لزجت نیوتن معروف است

در قانون لزجت نیوتن، ضریب تناسب که با μ نشان داده شده لزجت یا ویسکوزیته سیال نام دارد.



تعریف ویسکوزیته (لزجت دینامیکی یا لزجت مطلق)

ویسکوزیته خاصیتی از سیال است که سیال به سبب آن خاصیت می‌خواهد در مقابل تنش برشی از خود مقاومت نشان دهد. (μ)

$P = mv$

لزجت سیال به دو عامل بستگی دارد: ۱- نیروی جاذبه مولکولی (دافعه‌ی واس) ۲- تبادل مومنتم مولکولی

(انتقال مومنتم)

عامل مؤثر در ماهیات نیروی چسبندگی است. از آنجا که با افزایش دما نیروی چسبندگی کاهش می‌یابد، لزجت مایعات نیز کاهش می‌یابد. اما در گازها چسبندگی بسیار کم است و لزجت گازها عمدتاً ناشی از تبادل مومنتم مولکولی است و با افزایش دما چون تبادل مومنتم مولکولی و در نتیجه مومنتم مولکولی افزایش می‌یابد، لذا لزجت گاز با افزایش دما افزایش می‌یابد.

تأثیر فشار بر لزجت (ویسکوزیته)

نکته: میزان هم تغییرات فشار زیاد باشد لزجت سیالات تقریباً مستقل از فشار است. ولی در صورتی که افزایش فشار خیلی زیاد باشد، با افزایش فشار لزجت مایعات و گازها لزجت افزایش می‌یابد.

دیمانسیون و واحد ضریب ویسکوزیته جاری شدنی :

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} = \frac{\frac{N/m^2}{m/s}}{m} = \frac{N \cdot s}{m^2}$$

واحد ضریب ویسکوزیته

$$N = \frac{kg\,m}{sec^2}$$

بنابراین دیمانسیون ضریب ویسکوزیته برابر است با: $ML^{-1}T^{-1}$

واحد ضریب در سیستم cgs :

$$\frac{gr}{cm \cdot sec} = Poise$$

در سیستم SI :

$$\frac{kg}{m \cdot sec} = Pa \cdot sec$$

در سیستم انگلیسی :

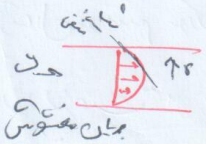
$$\frac{lbf \cdot sec}{ft^2} = \frac{lbm}{ft \cdot sec}$$

همچنین داریم :

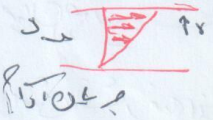
$$1\ Poise = 0.1\ Pa \cdot sec$$

$$1\ cP = Centipoise = 10^{-3}\ Pa \cdot sec$$

همیشه باید τ مثبت باشد پس باتوجه به مقدمات معادله ای که در روابط $+\mu$ - قرار دهیم



$$\frac{du}{dy} < 0 \qquad \tau = -\mu \frac{du}{dy}$$



$$\frac{du}{dy} > 0 \qquad \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

تعریف وزن مخصوص: عبارت است از وزن واحد حجم از یک سیال

واحد وزن مخصوص $\frac{N}{m^3}$ است

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

نکته: وزن مخصوص مایعات از گازها بیشتر است.

تعریف حجم مخصوص: عبارت است از حجم واحد جرم یک سیال.

واحد آن $\frac{m^3}{kg}$ است.

$$V = \frac{V}{m}$$

نکته: حجم مخصوص گازها از مایعات بیشتر است. چون با گرمایش گاز حجم زیاد یعنی هر جرم سیال سنگین‌تر و گرمایش بالا برای داشته باشد حجم مخصوص کمتری دارد.

$$V \propto \frac{1}{\rho}$$

تعریف گرانی نسبی: گرانی چیز عبارت است از تقسیم گرانی جامد یا مایع مورد نظر بر گرانی آب.

$$S = \frac{\rho}{\rho_{water}}$$

نکته: این کمیت واحد ندارد.

هرگاه گرانی نسبی ماده‌ای کمتر از یک باشد آن ماده روی آب شناور باقی می‌ماند

هرگاه گرانی نسبی ماده‌ای بالاتر از یک باشد آن ماده در آب غوطه‌ور می‌شود

گرانی نسبی کاربرد آن در هواپیما سنجنده *

ویسکوزیته سینماتیک نسبت تقسیم ویسکوزیته دینامیک بر دانسیته را ویسکوزیته سینماتیک گویند.

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

واحد آن $\frac{m^2}{s}$ است.

نکته: همیشه واحد ν به صورت $\frac{cm^2}{sec}$ یا stoks می‌باشد

تغییرات ویسکوزیته سیالات با دما:

گازها ← $T\uparrow$ ← $\mu\uparrow$ یا $\rho\downarrow$ ← $\nu\uparrow$

مایعات ← $T\uparrow$ ← $\mu\downarrow$ یا $\rho\downarrow$ ← $\nu\downarrow$

تقسیم بندی سیالات:

سیالات نیوتنی ①

سیالات غیر نیوتنی ② — مستقل از زمان — دیلاتنت Dilatant

شبه پلاستیک Psendo plastic

پلاستیک بینگهام Bingham plastic

وابسته به زمان — تیکسوتروپیک thixotropic

رئوپکتیک Rheo.Pectic

تعریف سیالات نیوتنی: سیالاتی هستند که از قانون لزجت نیوتن پیروی می‌کنند یعنی اگر نمودار تغییرات سرعت برحسب تنش برشی رسم کنیم خط راستی بدست می‌آید که از مبداء مختصات عبور می‌کند (سیالات نیوتنی سیالاتی هستند که ویسکوزیته آنها همواره ثابت است یعنی با کم و زیاد شدن تنش برشی ویسکوزیته آنها تغییر نمی‌کند)

مثل: آب، روغن و بنزین

تعریف سیالات غیر نیوتنی: سیالات غیر نیوتنی سیالاتی هستند که از قانون لزجت نیوتن پیروی نمی‌کنند. یعنی اگر نمودار تنش برشی برحسب نرخ تغییر شکل یا گرادیان سرعت را رسم کنیم نمودار حاصل خطی نبوده و یا اگر خطی باشد از مبداء مختصات عبور نمی‌کند. (یعنی ویسکوزیته آنها با کم و زیاد شدن تنش برشی وارده بر آنها تغییر می‌کند)

مثل: خون، شیر

سیالات مستقل از زمان: سیالاتی هستند که اگر به آن‌ها تنش برشی نگذند و سیکوزیته آن‌ها با زمان تغییری نکند

سیالات وابسته به زمان: سیالاتی هستند که با اعمال تنش برشی و سیکوزیته آن‌ها تغییر می‌یابد و همین خاطر در این سیالات، سیالات غلیظ شونده، در برابر تنش برشی واکنش نشان می‌دهند، تغلیظ برعکس

سیالات شبه پلاستیک: سیالاتی هستند که با اعمال تنش برشی و سیکوزیته آن‌ها کاهش می‌یابد و همین خاطر این سیالات رقیق شونده، در برابر تنش برشی واکنش نشان می‌دهند، شل شونده

سیالات بینهام پلاستیک: سیالاتی هستند که برای حرکت دادن آن‌ها باید بر تنش تسلیم آن‌ها غلبه کرد یعنی اگر تنش وارده بر آن‌ها از تنش تسلیم کمتر باشد هیچ تغییر شکلی در سیال ایجاد نمی‌شود و پس از غلبه بر تنش تسلیم رفتار سیال مانند سیال نیوتنی خواهد بود

$\tau < \tau_{y_{\text{تنش تسلیم}}}$ $\quad \frac{du}{dy} = 0$

$\tau > \tau_{y_{\text{تنش تسلیم}}}$ $\quad \frac{du}{dy} \neq 0$

به طور خلاصه:

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy}\right)^n \Rightarrow \begin{cases} n > 1 & \text{دیلاتنت} \\ n = 1 & \text{نیوتنی} \\ n < 1 & \text{شبه پلاستیک} \end{cases}$$

بینهام $\quad \tau = \tau_y + \mu \left(\frac{du}{dy}\right)^n$

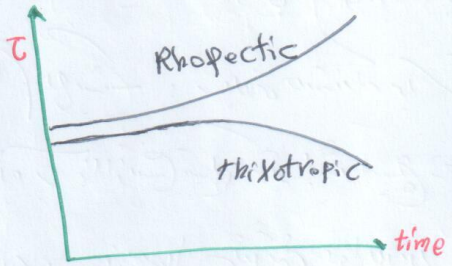
* دسته دیگری از سیالات غیر نیوتنی سیالاتی هستند که سیکوزیته آن‌ها با زمان تغییر می‌کند که عبارتند از سیالات تیکسوتروپیک و رئوپکتیک

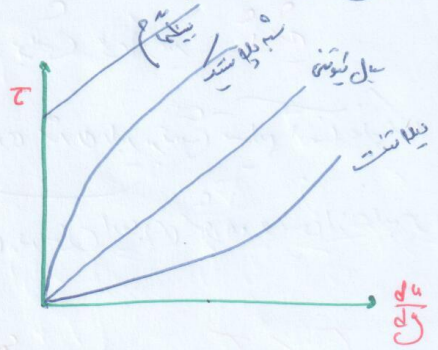
سیالات Thixotropic : سیالاتی هستند که ویسکوزیته آنها با گذشت زمان کاهش می‌یابد

به عبارت دیگر سیالاتی هستند که برای ثابت نگه داشتن نرخ تغییر شکل ($\frac{du}{dy}$) با گذشت زمان باید تنش کمتری را وارد کنیم.

سیالات Rheopectic : سیالاتی هستند که ویسکوزیته آنها با گذشت زمان افزایش می‌یابد

به عبارت دیگر سیالاتی هستند که برای ثابت نگه داشتن نرخ تغییر شکل ($\frac{du}{dy}$) با گذشت زمان باید تنش بیشتری را وارد کنیم.





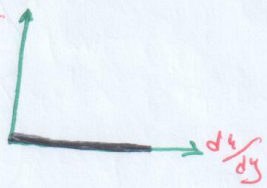
سیال ایده‌آل : سیال ایده‌آل سیالی تراکم ناپذیر است که ویسکوزیته آن صفر است

بنابراین سیالات ایده‌آل هیچ موقع اصطکاک ندارند و هیچ گاه تنش برشی ایجاد نمی‌شود

به عبارت دیگر در اثر تنش برشی به سیال ایده‌آل سیال دچار سرعت نمی‌شود.

$\mu = 0 \Rightarrow \tau = 0$

سیال ایده‌آل تراکم ناپذیر $\rho = cte$



در سیال ایده‌آل عود ارتجاعی ~~سیالات~~ تنش برشی و اساس نوع تغییر شکل داده‌ای ~~سیالات~~ به صورت ~~خطی~~ منطبق است.

نکته : شرط اعمال استفاده از تانسور لزجت نیوتنی این است که جریان سیال به صورت لایه‌ای (Lame flow) باشد و غیر این صورت (نبودن جریان لایه‌ای) یک ضریب به رابطه تانسور لزجت نیوتنی اضافه می‌گردد و کم عنوان ضریب لزجت گردابه‌ای محسوب است. $\tau = (\mu + \eta)\frac{du}{dy}$

(زیرا به خاطر لزجت گردابه‌ای)