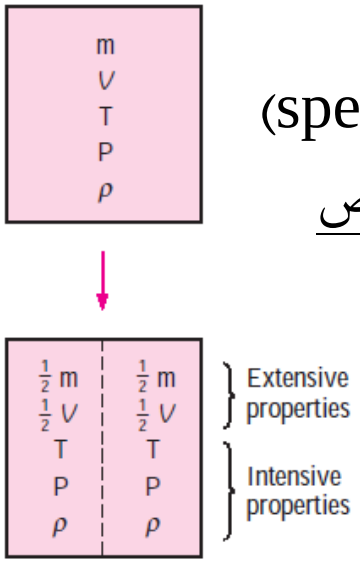
فصل ۲ : خواص سیالات

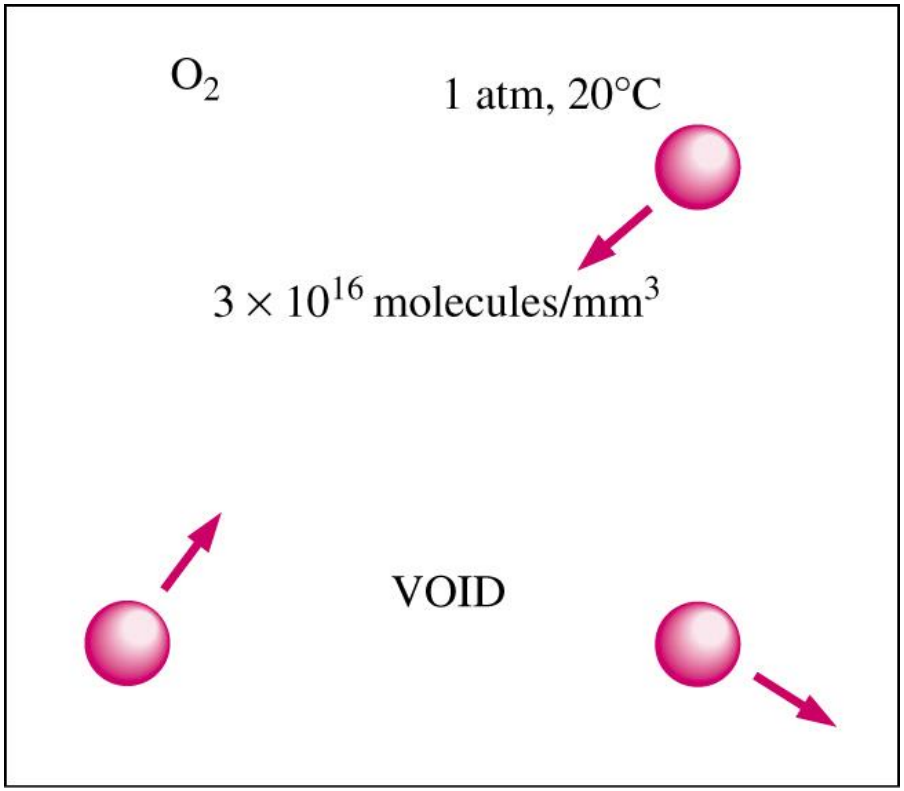
میلاد نادری
دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا
Naderi.m@aut.ac.ir
بهار ۹۶

مقدمه

- هر مشخصه ای از یک سیستم را خاصیت (خواص) آن سیستم می نامند.
  - خواص آشنا: فشار، دما، حجم و جرم
  - خواص کمتر آشنا: ویسکوزیتی، هدایت حرارتی، مدول الاستیک، فشار بخار، کشش سطحی
- خواص شدتی (Intensive) مستقل از اندازه سیستم هستند. مانند دما، فشار و چگالی.
- خواص مقداری (Extensive) *خواصی هستند که* تابع اندازه سیستم می باشند. *مانند* جرم کلی، حجم کلی، مومنتم کلی.
- خواص شدتی بر واحد جرم را خواص مخصوص (specific properties) می نامیم. مانند حجم مخصوص (specific volume) و انرژی مخصوص (Specific total energy).



محیط پیوسته (کانتینیوم)



- اتم ها در فاز گازی فاصله زیادی دارند.
- به هر حال می توانیم طبیعت اتمی یک ماده را نادیده بگیریم و به آن به صورت یک ماده پیوسته همگن بدون هیچ فاصله ای نگاه کنیم که این معنی محیط پیوسته (**continuum**) است.
- این دیدگاه به ما اجازه می دهد تا خواص گازی را به صورت کمیت هایی در نظر بگیریم که به آرامی تغییر می کنند.
- کانتینوم به شرطی صادق است که سایز سیستم (ابعاد المان) در قیاس با فاصله بین مولکول ها بزرگ باشد.

چگالی و وزن مخصوص

- **چگالی** به صورت جرم بر واحد حجم تعریف می شود $\rho = m/V$. واحد چگالی kg/m^3 است.
- **حجم مخصوص** : $v = 1/\rho = V/m$
- برای گازها، چگالی وابسته به دما و فشار است.
- **چگالی مخصوص یا چگالی نسبی** به صورت نسبت چگالی یک ماده به چگالی یک ماده استاندارد در دمای مشخص (معمولاً آب در دمای $4°C$) تعریف می شود که کمیتی بدون بعد است. $SG=\rho/\rho_{H_2O}$
- **وزن مخصوص** به صورت وزن بر واحد حجم تعریف می شود یعنی $\gamma_s = \rho g$ که g شتاب ثقل است. γ_s دارای واحد N/m^3 است.

چگالی گازهای ایده آل

- **معادله حالت:** معادله ای است برای ارتباط بین فشار، دما و چگالی.
- ساده ترین و معروف ترین معادله حالت، رابطه گاز ایده آل است.

TABLE A–1

Molar mass, gas constant, and ideal-gas specfic heats of some substances

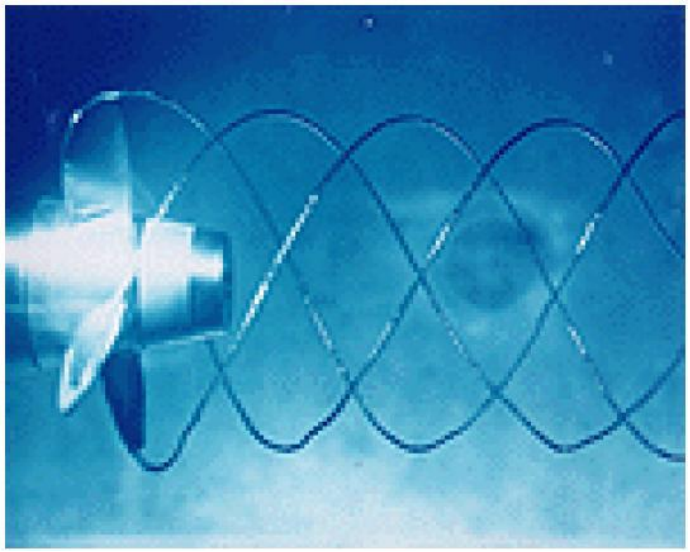
Substance	Molar Mass M, kg/kmol	Gas Constant R, kJ/kg · K*	Specific Heat Data at 25°C c_p, kJ/kg · K	c_v, kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Air	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Ammonia, NH_3	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argon, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromine, Br_2	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutane, C_4H_{10}	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
n-Butane, C_4H_{10}	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbon dioxide, CO_2	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbon monoxide, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400

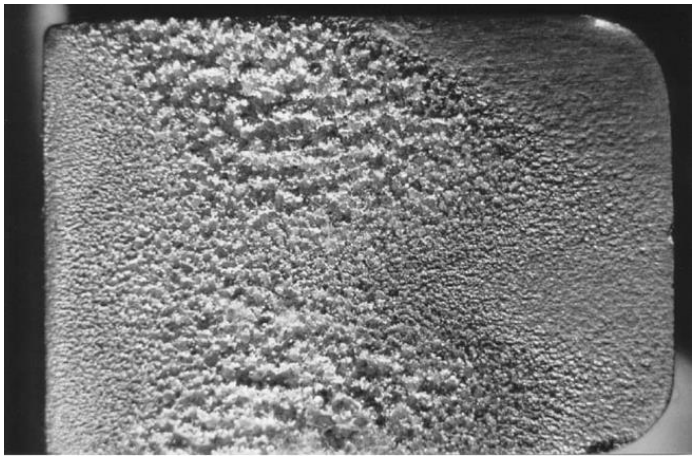
نباید به صورت گاز ایده ال در نظر گرفته شوند و خواص انها باید از جداول استخراج شود.

$$PV = nRT \quad , \quad n = \frac{m}{M}$$

$$PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow PM = \frac{m}{V}RT \Rightarrow PM = dRT$$

فشار بخار و کاویتاسیون

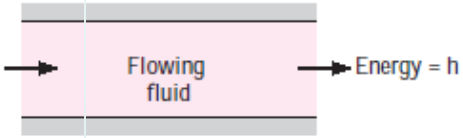




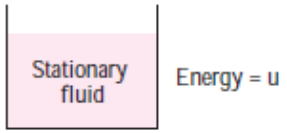
- در حین تغییر فاز یک ماده دما و فشار آن با هم و به صورت وابسته تغییر می کنند.
- **فشار بخار** P_v فشار اعمال شده به وسیله بخار در تعادل فازی با مایع آن در یک دمای مشخص است.
- اگر فشار P کمتر از فشار بخار P_v شود سیال به صورت محلی تبخیر می شود که در نتیجه آن حباب (کاویتی) های بخار تشکیل میشود.
- وقتی فشار محلی بیشتر از فشار بخار شود، حباب های بخار منفجر می شوند.
- از بین رفتن و متلاشی شدن کاویتی ها یک فرآیند شدید بوده که می تواند به ماشین آلات صدمه بزند.
- کاویتاسیون پر سر و صدا است و می تواند باعث ارتعاش سازه گردد.

انرژی مخصوص

- انرژی کلی E از فرم های متعددی تشکیل شده است:
- حرارتی، مکانیکی، جنبشی، پتانسیل، الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی و هسته ای
- یکای انرژی ژول (SI) یا BTU (سیستم انگلیسی) است.
- انرژی میکروسکوپیک (مرتبط با ساختار مولکولی و میزان فعالیت آنها)
  - انرژی داخلی (مجموع همه فرم های میکروسکوپیک انرژی) مرتبط با یک سیال غیر جاری است و به دلیل فعالیت مولکولی است و ناشی از دمای سیستم است(حرارت) .
  - انرژی مورد نیاز برای حرکت دادن سیال و برقراری جریان $\left(\frac{P}{\rho z}\right)$ می باشد. که انرژی جریان و یا کار جریان نیز نام دارد.
  - آنتالپی $h=u+\frac{P}{\rho}$ برای سیال جاری است.

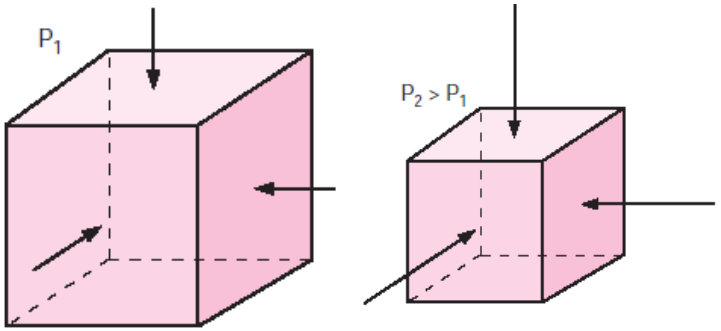


- انرژی ماکروسکوپیک (ناشی از حرکت سیال و نیروهای خارجی)
  - انرژی جنبشی Kinetic energy $ke=V^2/2$
  - انرژی پتانسیل Potential energy $pe=gz$



- در غیاب انرژی الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی و هسته ای، انرژی کلی برابر خواهد بود با $e_{flowing}=h+V^2/2+gz$

ضریب تراکم پذیری



- حجم سیال چگونه با فشار و دما تغییر می کند؟
- سیال منبسط می شود وقتی که $T\uparrow$ یا $P\downarrow$
- سیال متراکم می شود هنگامی که $T\downarrow$ یا $P\uparrow$
- *رابطه تغییر حجم سیال با تغییر فشار و دما :*
  - ضریب تراکم پذیری

$$\kappa = -v\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T = \rho\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T$$

  - ضریب انبساط حجمی

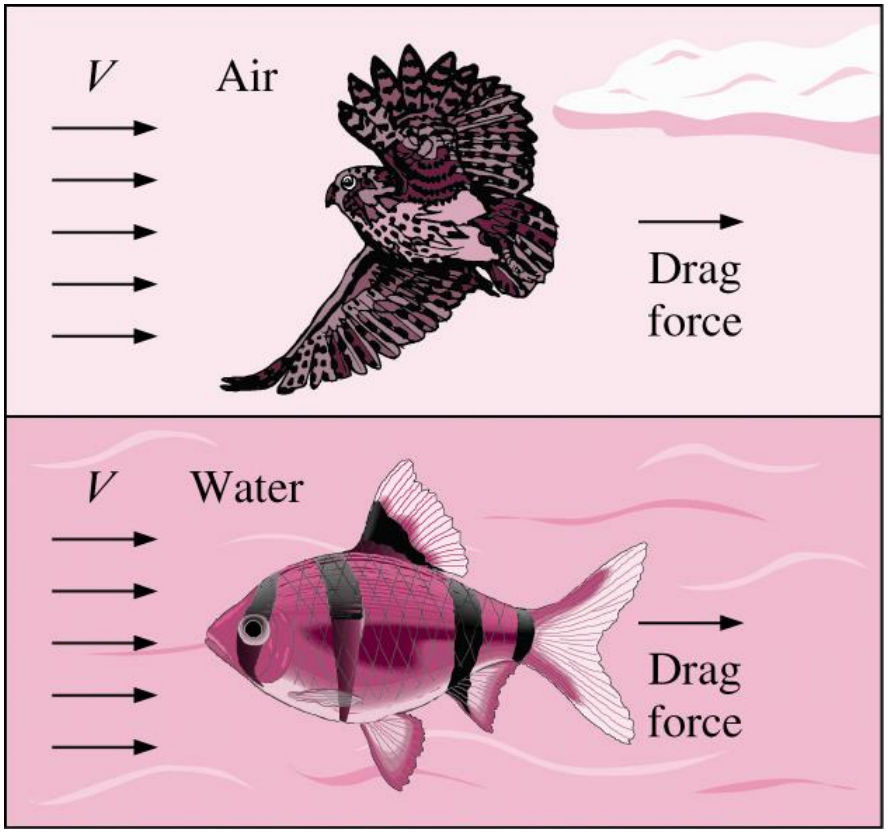
$$\beta = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_P$$

- ترکیب اثرات فشار و دما می تواند به شکل زیر نوشته شود:

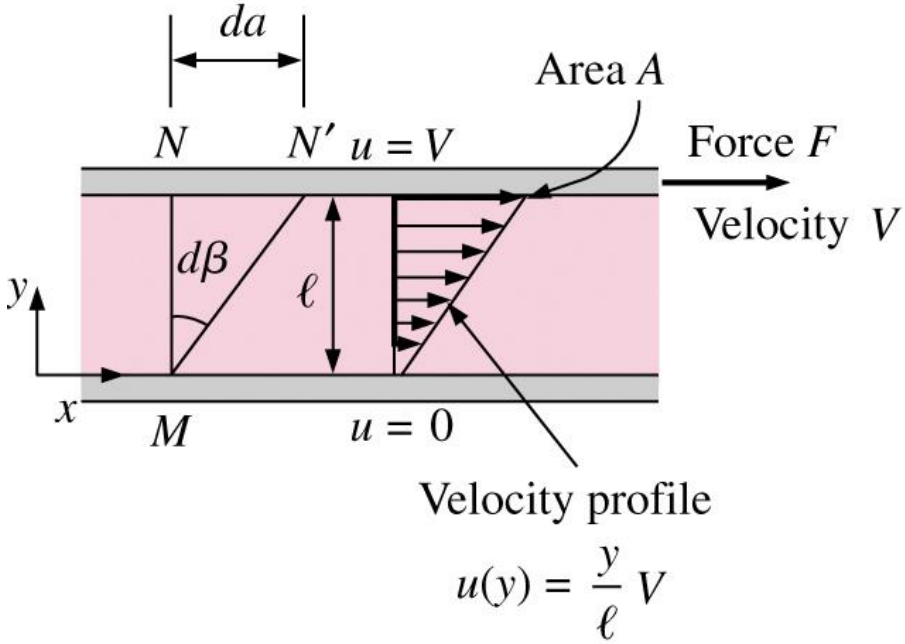
$$dv = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T dP$$

ویسکوزیتی

- **ویسکوزیتی (لزجت)** خاصیتی از سیال است که مقاومت داخلی سیال را در برابر حرکت ارائه می کند.
- نیروی یک سیال جاری روی یک جسم در جهت جریان **نیروی درگ** نامیده میشود و مقدار این نیرو وابسته به ویسکوزیته است.



ویسکوزیتی

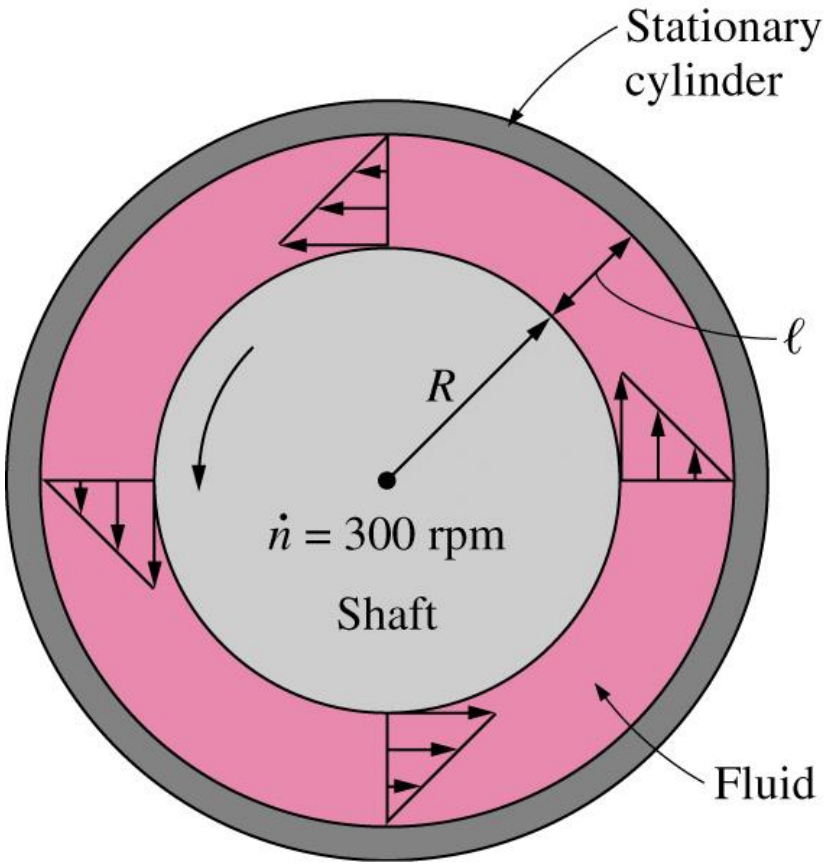


- برای بدست آوردن یک رابطه برای ویسکوزیتی، یک لایه از سیال بین دو ورق موازی که در فاصله ℓ از هم قرار گرفته اند را در نظر بگیرید.
- تعریف تنش برشی: $\tau = F/A$
- با استفاده از شرط عدم لغزش $u(0) = 0$ و $u(\ell) = V$ بنابراین پروفایل و گرادیان سرعت برابر است با $u(y) = Vy/\ell$ و $du/dy = V/\ell$
- تنش برشی برای سیال نیوتونی:

$$\tau = \mu du/dy$$

- μ **ویسکوزیته دینامیکی** و واحد آن $kg/m \cdot s$ ، $Pa \cdot s$ یا **poise**. است.

ویسکوزیتی

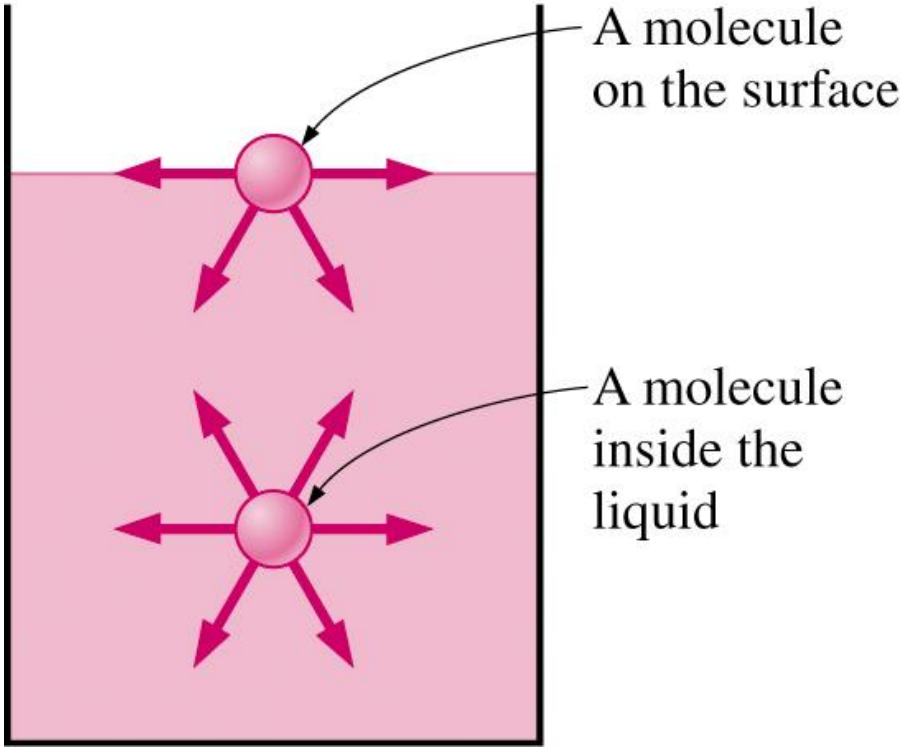


- ویسکوزیتی چطور اندازه گیری می شود؟ بوسیله دستگاهی به نام ویسکوزمتر چرخان
  - دو سیلندر هم مرکز که سیال در فاصله ℓ بین آنها قرار دارد.
  - سیلندر داخلی می چرخد اما سیلندر خارجی ثابت است
- با استفاده از تعریف نیروی برشی:

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

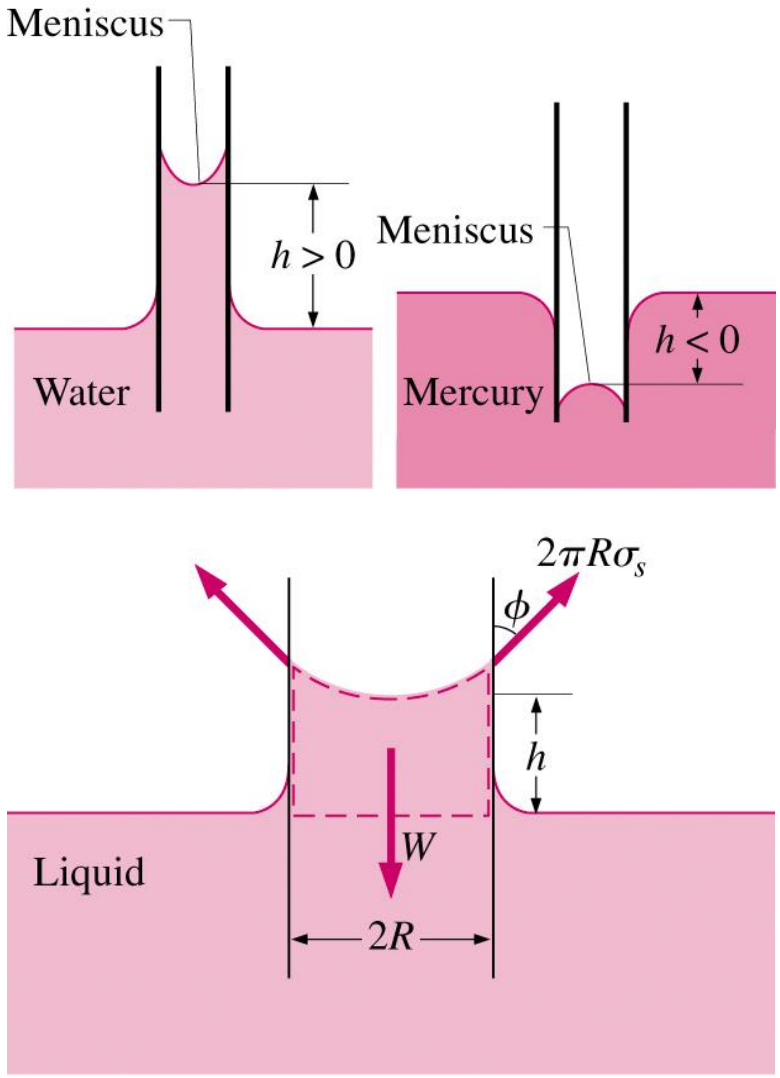
- اگر $\ell/R << 1$ ، سپس سیلندرها می توانند به صورت ورق های تخت مدل شوند.
- گشتاور $T = FR$ و سرعت مماسی $V=\omega R$ است.
- مساحت سطح خیس شده $A=2\pi RL$ است.
- مقادیر اندازه گیری شده T و ω برای محاسبه μ استفاده می شود.

کشش سطحی



- قطرات سیال مانند بالن های کروی پر شده از سیال رفتار می کنند و سطح مایع مانند یک پوسته الاستیک کشیده شده تحت کشش رفتار می کند.
- نیروی کشش که این حالت را ایجاد می کند:
  - به دلیل نیروهای جاذبه بین مولکولی است
  - به آن کشش سطحی σ_s میگویند.
- نیروی جاذبه روی مولکول های واقع روی سطح مایع متقارن نیست.
- نیروهای پیوستگی(Cohesion): نیروی جاذبه بین مولکول های یک سیال
- نیروهای چسبندگی (Adhesion): نیروی جاذبه بین مولکول های غیرهم جنس از دو ماده مختلف

اثر مویینگی



- در تماس سطح آزاد یک سیال با سطوح جامد، در اثر پدیده کشش سطحی، زاویه تماس سطح آزاد سیال با سطوح جامد متفاوت است.
- اثر مویینگی برآمدگی یا فرو رفتگی یک مایع در داخل لوله ای با قطر کم می باشد.
- افزایش ارتفاع آب در لوله، به این دلیل است که آب سطح را خیس می کند (سیال خیس کننده). $\theta<90^\circ$
- کاهش ارتفاع جیوه در لوله به این دلیل است که جیوه یک سیال خیس کننده نیست. $\theta>90^\circ$
- بالانس نیرو می تواند مقدار مویینگی را توصیف کند.

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

مسائل فصل ۱ و ۲

مثال ۱

- یک ویسکوزمتر (لزجت سنج) دارای دو استوانه هم مرکز به طول ۳۰ سانتی متر بوده و قطر آنها ۲۰ و ۲۰/۲ سانتی متر می باشد. گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن استوانه داخلی در سرعت ۴۰۰ rpm برابر است با ۰/۱۳ N.m لزجت را محاسبه کنید.

- گشتاور اعمالی صرف غلبه بر نیروی برشی ایجاد شده روی سیلندر داخلی میشود.

$$R = d/2 = 10\ \text{cm} \quad h = (d_2 - d_1)/2 = 0.1\ \text{cm} \quad \omega = 400 \times 2\pi/60 = 41.89\ \text{rad/s}.$$

$$\mu = \frac{Th}{2\pi R^3 \omega L} = \frac{0.13(0.001)}{2\pi(0.1)^3(41.89)(0.3)} = 0.001646\ \text{N}\cdot\text{s/m}^2$$

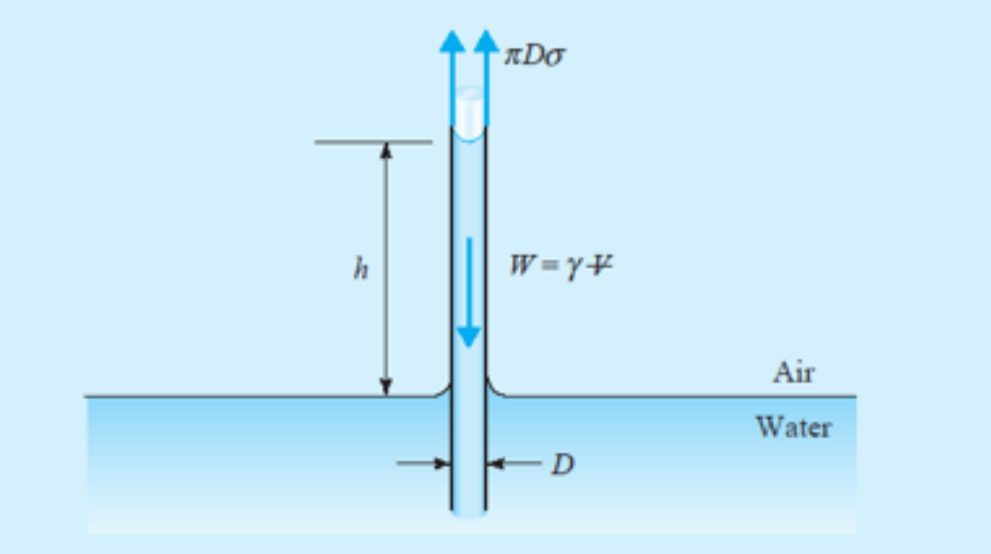
- بررسی ابعادی:

$$[\mu] = \frac{\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{m}}{\text{m}^3(\text{rad/s})\text{m}} = \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$$

مثال ۲

- یک لوله شیشه ای تمیز به قطر ۲ میلی متر مطابق شکل زیر در داخل آب با دمای ۱۵ درجه سانتیگراد فرو برده شده است. زاویه تماس آب با سطح شیشه صفر درجه است. ارتفاعی که آب داخل لوله بالا می آید را تعیین کنید.

- دیاگرام آزاد آب نشان می دهد که نیروی کشش سطحی معادل با نیروی وزن آب و در جهت مخالف آن است.



ادامه حل مثال ۲

$$\sigma \pi D = \gamma \frac{\pi D^2}{4} h$$

$$h = \frac{4\sigma}{\gamma D} = \frac{4 \times 0.0741 \text{ N/m}}{9800 \text{ N/m}^3 \times 0.002 \text{ m}} = 0.01512 \text{ m} \quad \text{or} \quad 15.12 \text{ mm}$$

وزن مخصوص آب

$$\gamma = \rho g = 9800 \text{ N/m}^3$$

مقادیر عددی کشش سطحی σ و چگالی ρ از جداول انتهای کتاب استخراج می شود.

مثال ۳

- فشار مورد نیاز برای وقوع کاویتاسیون در یک جریان اب با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و در منطقه ای با ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا را تعیین کنید.

- جواب:

با استفاده از جداول کتاب می توانیم فشار بخار آب را در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد تعیین کنیم. این مقدار برابر است با فشار مطلق ۴۷/۳ کیلوپاسکال.

همینطور فشار اتمسفر در منطقه ای با این ارتفاع برابر است با ۷۵ کیلو پاسکال

بنابراین:

$$p = 47.3 - 75.0 = -27.7 \text{ kPa} \quad \text{or} \quad 27.7 \text{ kPa vacuum}$$

مثال ۴

- یک مخزن با حجم ۰/۲ متر مکعب حاوی ۰/۵ کیلوگرم نیتروژن است. اگر دما ۲۰ درجه سانتیگراد باشد، فشار را تعیین کنید

- جواب:

با فرض گاز ایده آل می توانیم مقدار R را از جدول بیابیم.

$$p = \rho R T,$$

$$p = \frac{0.5\ \text{kg}}{0.2\ \text{m}^3} \times 0.2968\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\ (20 + 273)\ \text{K} = 218\ \text{kPa absolute}$$

نکته: برای استفاده از قانون گاز ایده آل لازم است دما و فشار **مطلق** باشند.

تمرین های فصل ۱ و ۲

- فصل ۱

- **3C, 12C, 15, 18**

- فصل ۲

- **4C, 7,15, 23c, 32, 37, 43, 44, 46, 60, 63, 73**