

Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları
Yunus A. Cengel, John M. Cimbala
McGraw-Hill, 2010

2. Bölüm

AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ



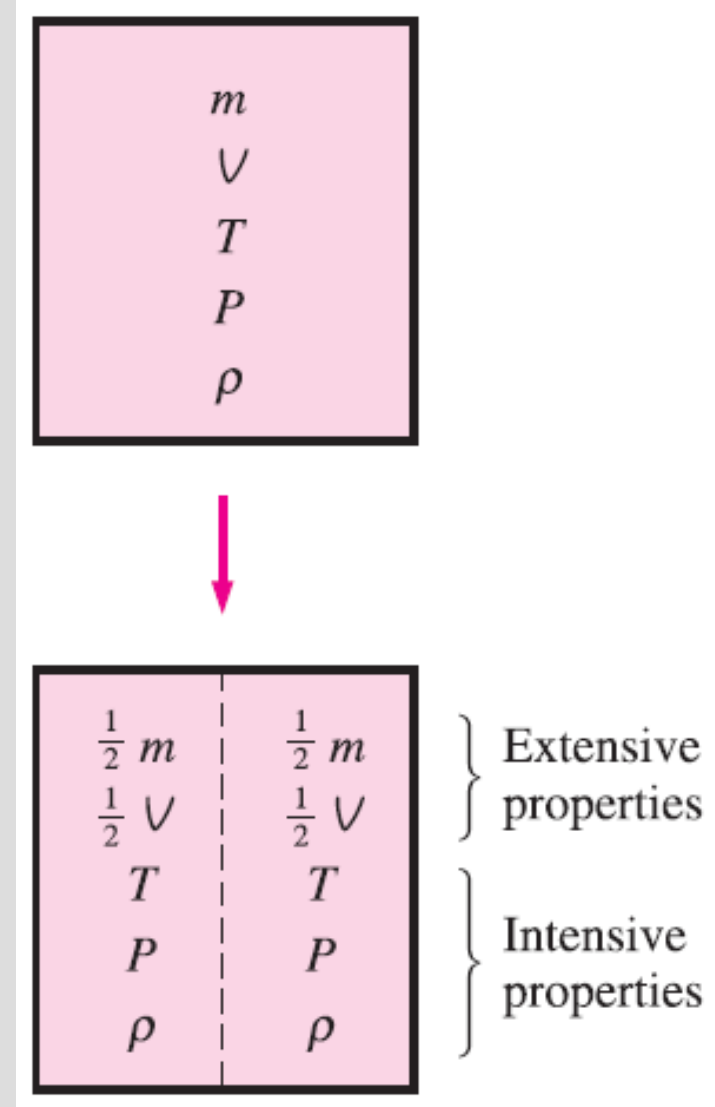
Sıvılar küçük bir tüpten çıkmaya zorlandığında bir damla oluşturur. Bu damlanın şekli basınç, yer çekimi ve yüzey gerilim kuvvetlerinin dengesi ile belirlenir.

Amaçlar

- Akışkanların temel özelliklerini kavrayabilmeli ve sürekli ortam yaklaşımını anlayabilmelisiniz.
- Viskoziteyi ve akıştan neden olduğu sürtünme etkilerinin sonuçlarını kavrayabilmelisiniz.
- Yüzey geriliminden kaynaklanan kılcal yükselmeleri ve alçalmaları hesaplayabilmelisiniz.

2-1 ■ GİRİŞ

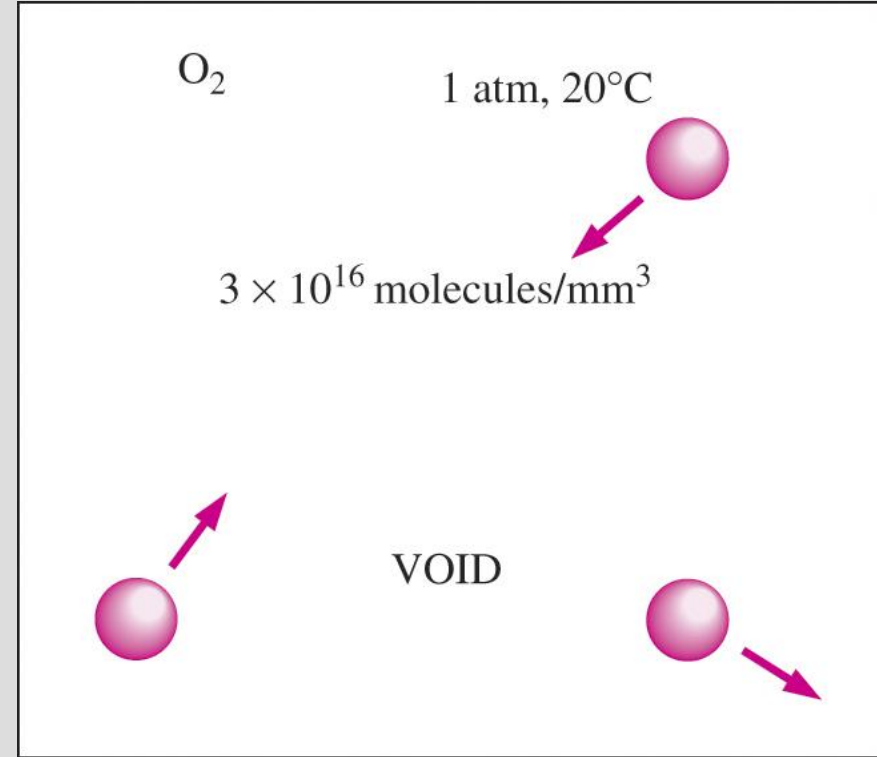
- **Özellik:** Bir sistemin herhangi bir karakteristiği.
- Bilinen bazı özellikler, basınç P , sıcaklık T , hacim V ve kütle m .
- Özellikler *yoğun* ve *yaygın* olarak iki ana grupta ele alınır.
- **Yoğun Özellikler:** Sıcaklık, basınç ve yoğunluk gibi bir sistemin kütlesinden bağımsız olan özellikler
- **Yaygın Özellikler:** Bir sistemin boyutuna –veya büyüklüğüne- bağlı özellikler
- **Özgül Özellikler:** Birim kütle başına verilen yaygın özelliklerdir.



Yoğun ve yaygın özelliklerin ayırt edilme ölçütü.

Sürekli Ortam

- Madde, gaz fazında seyrek halde bulunan atomlardan oluşur. Bununla birlikte bir maddenin atomik doğasını göz ardı etmek ve onu sürekli, boşluksuz homojen bir madde yani sürekli ortam olarak dikkate almak son derece büyük kolaylık sağlar.
- Sürekli ortam idealleştirmesi, özellikleri nokta fonksiyonu olarak ele almamıza ve bu özelliklerin uzayda hiçbir süreksizliğe uğramaksızın değiştiğini varsaymamıza olanak sağlar.
- Bu idealleştirme, ele aldığımız sistemin boyutunun moleküller arasındaki mesafeye oranla yeterince büyük olması halinde geçerlidir.
- Bu kabul bu ders kapsamındaki tüm uygulamalarda geçerli olacaktır.



Bir madde, moleküller arasındaki büyük boşluklara rağmen, aşırı ölçüde küçük bir hacimde bile çok sayıda molekül bulunduğu için sürekli ortam olarak düşünülebilir.



Martıların uçuşu ve diğer birçok akışla ilgili boyut ölçüsü, hava moleküllerinin ortalama serbest uzaklıklarından daha yüksek bir derecedir. Bundan dolayı bu kitapta bundan sonraki bütün akış problemleri için sürekli ortam yaklaşımı uygundur.

2-2 ■ YOĞUNLUK VE BAĞIL YOĞUNLUK

Yoğunluk

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Özgül Hacim

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Bağıl Yoğunluk: Bir maddenin yoğunluğunun, belirli bir sıcaklıktaki standart bir maddenin yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. (Genellikle 4°C'deki su yoğunluğu).

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Özgül Ağırlık: Bir maddenin birim hacminin ağırlığıdır.

$$\gamma_s = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

Yoğunluk, birim hacmin kütlesi olarak tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} V &= 12 \text{ m}^3 \\ m &= 3 \text{ kg} \\ \downarrow \\ \rho &= 0.25 \text{ kg/m}^3 \\ \nu &= \frac{1}{\rho} = 4 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Specific gravities of some substances at 0°C

Substance	SG
Water	1.0
Blood	1.05
Seawater	1.025
Gasoline	0.7
Ethyl alcohol	0.79
Mercury	13.6
Wood	0.3–0.9
Gold	19.2
Bones	1.7–2.0
Ice	0.92
Air (at 1 atm)	0.0013

İdeal Gazların Yoğunlukları

Hal Denklemi: Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve hacmi (veya özgül hacmi) arasındaki bağıntıdır.

İdeal-Gaz Hal Denklemi: Gaz fazındaki maddeler için en basit ve iyi bilinen hal denklemidir.

$$Pv = RT \quad \text{or} \quad P = \rho RT$$

$$R = R_u / M \quad R_u = 8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

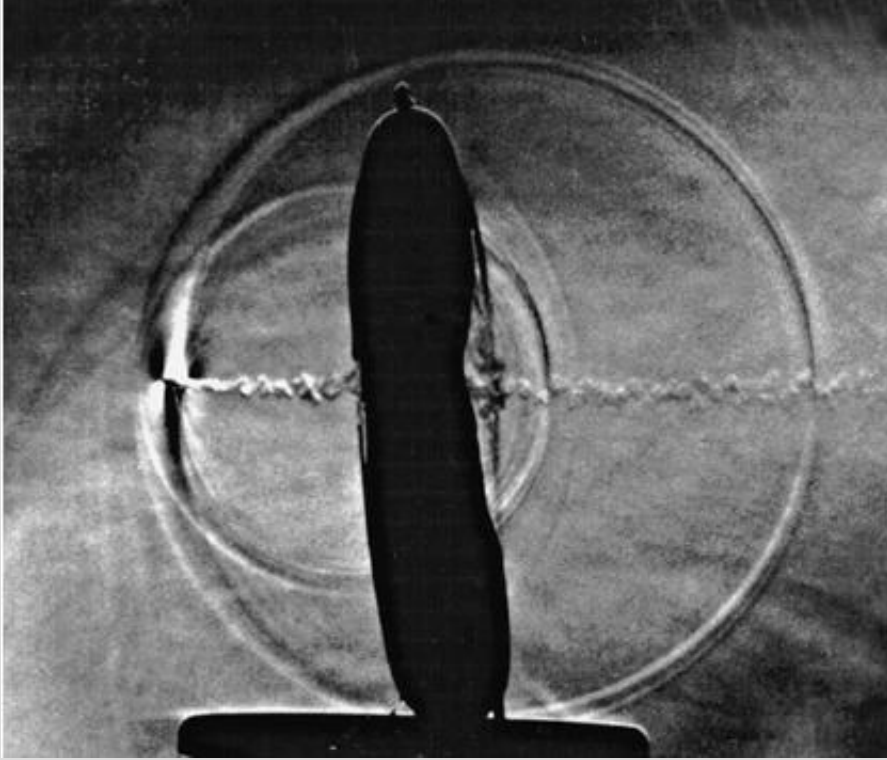
R_u : Evrensel Gaz Sabiti

$$PV = mRT \quad \text{or} \quad PV = NR_u T$$

SI birim sisteminde termodinamik sıcaklık ölçeği **Kelvin ölçeğidir**.
İngiliz sisteminde ise sıcaklık ölçeği **Rankine ölçeğidir**.

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 = T(\text{R})/1.8$$

$$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8 T(\text{K})$$



Hava çok yüksek hızlarda bile ideal gaz gibi davranır. Bu resimde yaklaşık olarak ses hızında ilerleyen bir kurşunun bir balonun iki yanını patlatarak çıkmasıyla iki tane şok dalgası oluşturması gösterilmektedir. Kurşunun türbülans izi de resimde görülebilmektedir.

İdeal gaz bağıntısı $Pv = RT$ denkleminde uyan gazlar “**ideal gaz**” denir.

İdeal Gaz bağıntısının, düşük yoğunluktaki gerçek gazların P-v-T davranışını oldukça yakın bir şekilde temsil ettiği deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda bir gazın yoğunluğu düşer ve ideal gaz gibi davranır.

Uygulamada karşılaşılan aralıkta, hava, azot, oksijen, hidrojen, helyum, argon, neon ve kripton hatta karbondioksit gibi ağır gazlar, ihmal edilebilir bir hatayla (genellikle %1’den az), ideal gaz olarak alınabilir.

Bunun yanında buhar güç santrallerindeki su buharı ve buzdolaplarındaki soğutkan buharı gibi yoğun gazlar, genellikle doymuş hale yakın olduklarından ideal gaz olarak alınmamalıdır.

EXAMPLE 2–1 Density, Specific Gravity, and Mass of Air in a Room

Determine the density, specific gravity, and mass of the air in a room whose dimensions are 4 m \times 5 m \times 6 m at 100 kPa and 25°C (Fig. 2–4).

Solution The density, specific gravity, and mass of the air in a room are to be determined.

Assumptions At specified conditions, air can be treated as an ideal gas.

Properties The gas constant of air is $R = 0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$.

Analysis The density of the air is determined from the ideal-gas relation $P = \rho RT$ to be

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{100 \text{ kPa}}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(25 + 273.15) \text{ K}} = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

Then the specific gravity of the air becomes

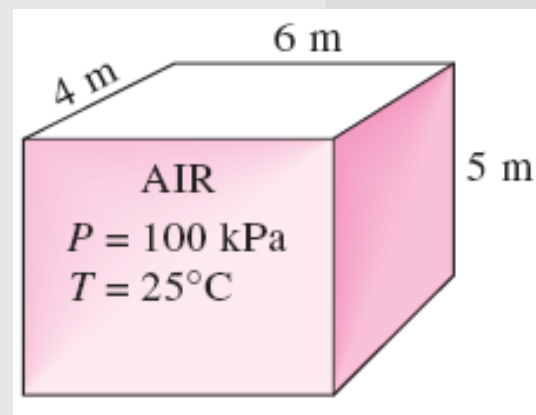
$$\text{SG} = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1.17 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.00117$$

Finally, the volume and the mass of the air in the room are

$$V = (4 \text{ m})(5 \text{ m})(6 \text{ m}) = 120 \text{ m}^3$$

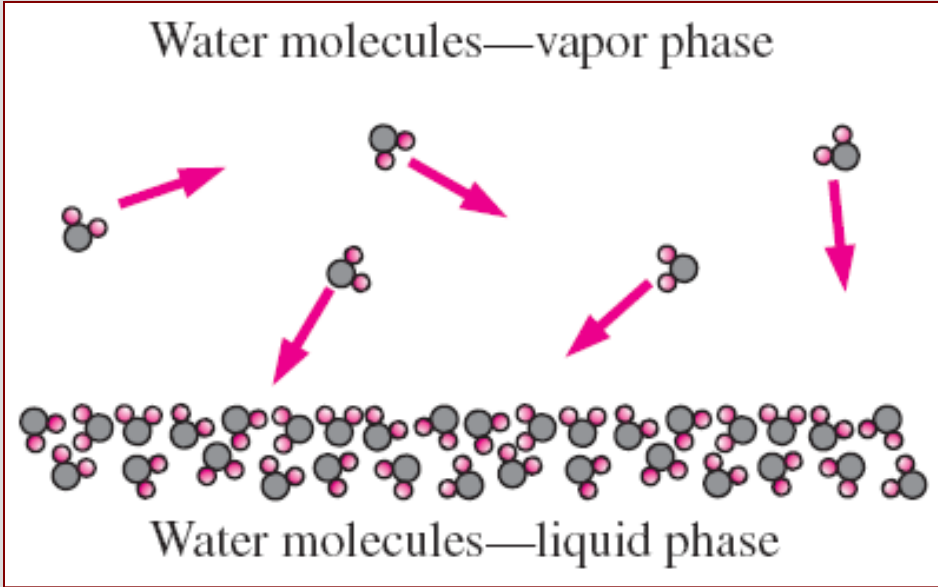
$$m = \rho V = (1.17 \text{ kg/m}^3)(120 \text{ m}^3) = 140 \text{ kg}$$

Discussion Note that we converted the temperature to the unit K from °C before using it in the ideal-gas relation.



2–3 ■ BUHAR BASINCI VE KAVİTASYON

- **Doyma Sıcaklığı T_{doyma}** : Verilen bir basınçta bir saf maddenin faz değiştirdiği sıcaklığa denir.
- **Doyma Basıncı P_{doyma}** : Verilen bir sıcaklıkta bir saf maddenin faz değiştirdiği basınca denir.
- **Buhar basıncı (P_v)**: Bir saf maddenin verilen bir sıcaklıkta sıvıyla faz dengesi halinde olan olan buharının yaptığı basınçtır. ($P_v = P_{\text{doyma}}$).
- **Kısmi Basınç**: Başka gazlarla karışım halinde bulunan bir gaz veya buharın basıncıdır. Örneğin atmosferik hava, kuru hava ile su buharının bir karışımıdır ve atmosferik basınç, kuru hava ile su buharının kısmi basınçlarının toplamıdır.

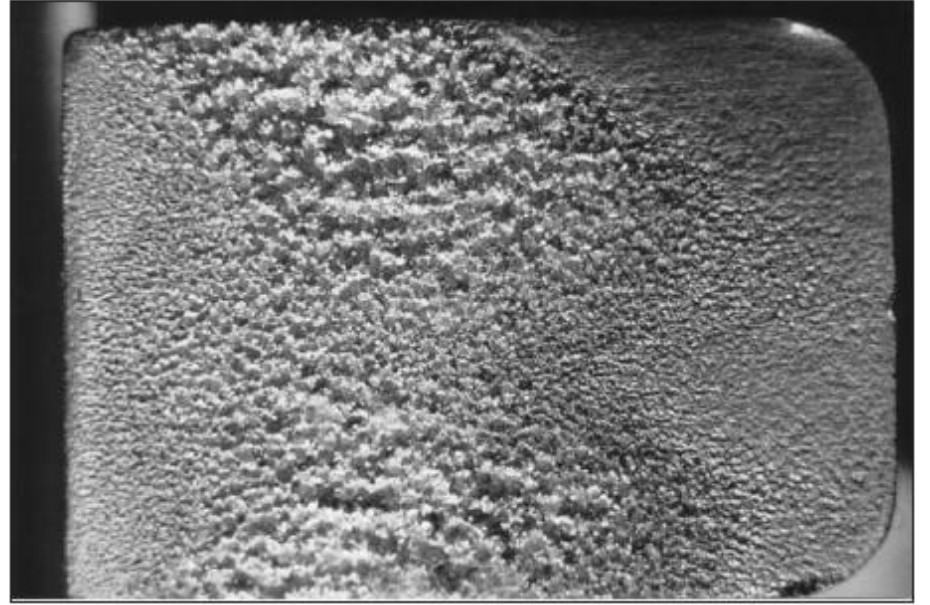


Verilen bir sıcaklıkta, akışkan molekülleri ile faz dengesi halinde olan bir saf maddenin (örneğin su) buhar basıncı (doyma basıncı), o maddenin buhar molekülleri tarafından uygulanan basıncına eşittir.

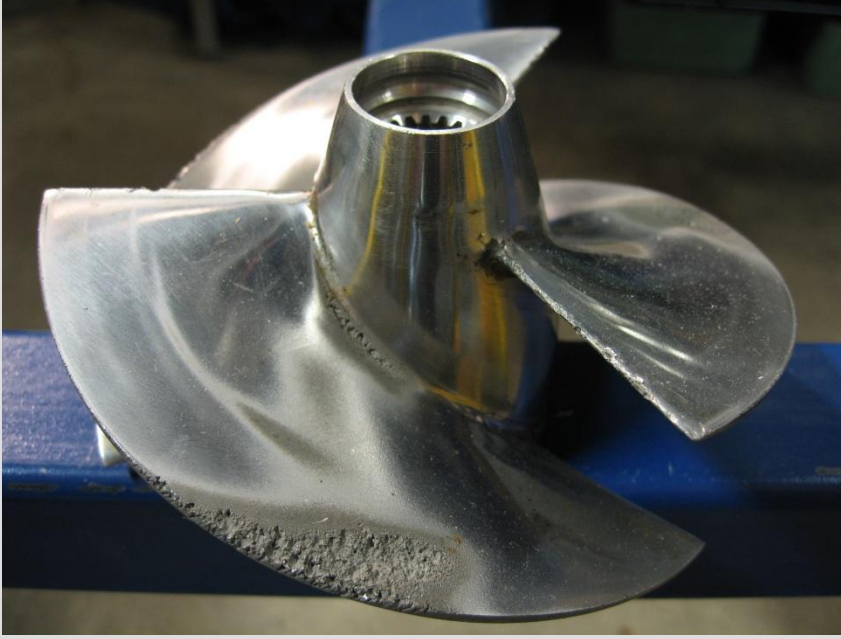
Saturation (or vapor) pressure of water at various temperatures

Temperature $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

- Buhar basıncına olan ilgimizin nedeni; sıvı-akış sistemlerinde sıvı basıncının bazı yerlerde buhar basıncının altına düşme olasılığının bulunması ve öngörülmeyen bir buharlaşmanın başlamasıdır.
- Buhar kabarcıkları, (sıvı içerisinde boşluklar oluşturduğu için bunlara **kavitasyon kabarcıkları** denmektedir) düşük basınç bölgelerinden uzaklaştıklarında oldukça yıkıcı etkilere sahip yüksek basınç dalgaları meydana getirerek geçer.
- Çark kanatlarının performansının düşmesinin ve hatta aşınmasının yaygın bir sebebi olan bu olaya **kavitasyon** denir ve hidrolik pompa, türbin ve gemi pervanelerinin tasarımında göz önüne alınması gereken önemli bir husustur.



60m/s hızda 2.5 saat süreyle test edilen 16mm x 23mm boyutlarında bir alüminyum parça üzerindeki kavitasyon hasarı.



Gemi pervanelerindeki kavitasyonun zararları. Sol üst resim su jeti pervane kanadı. Sol alt resim gerçek gemi pervanesi kavitasyonu. Üst resim kavitasyon zararına uğramış pervane..

EXAMPLE 2–2 Minimum Pressure to Avoid Cavitation

In a water distribution system, the temperature of water is observed to be as high as 30°C. Determine the minimum pressure allowed in the system to avoid cavitation.

SOLUTION The minimum pressure in a water distribution system to avoid cavitation is to be determined.

Properties The vapor pressure of water at 30°C is 4.25 kPa.

Analysis To avoid cavitation, the pressure anywhere in the flow should not be allowed to drop below the vapor (or saturation) pressure at the given temperature. That is,

$$P_{\min} = P_{\text{sat}@30^\circ\text{C}} = 4.25 \text{ kPa}$$

Therefore, the pressure should be maintained above 4.25 kPa everywhere in the flow.

Discussion Note that the vapor pressure increases with increasing temperature, and thus the risk of cavitation is greater at higher fluid temperatures.

2-4 ■ ENERJİ VE ÖZGÜL ISILAR

- Enerji; ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektriksel, manyetik, kimyasal ve nükleer gibi çok çeşitli formlarda bulunabilir. Bu enerjilerin toplamı bir sistemin **toplam enerjisini E** (veya birim kütle için **e**) oluşturur.
- Termodinamik sadece toplam enerjideki **değişim** ile ilgilenir.
- **Makroskopik enerji formu:** Hareket ve yerçekimi, manyetizma, elektrik ve yüzey gerilimi gibi bazı dış etkilerle ilişkilidir.
- **Mikroskopik enerji formu:** Bir sistemin moleküler yapısıyla ilgili enerji formları ve moleküler aktivitenin derecesi olarak nitelenir.
- **İç Enerji, U :** Mikroskopik enerji formlarının toplamına denir ve U (veya birim kütle için u) ile gösterilir.
- **Kinetik Enerji, KE :** Sistemin bir referans koordinat sistemine göre hareketinin bir sonucu olarak sahip olduğu enerjidir.
- **Potansiyel Enerji, PE :** Bir çekim alanında, bulunduğu yüksekliğin bir sonucu olarak sistemin sahip olduğu enerjidir.



Bir nesnenin makroskopik enerjisi hız ve yükseklik ile değişir.

$$h = u + Pv = u + \frac{P}{\rho} \quad \text{Entalpi}$$

Akan akışkanın enerjisi

$$e_{\text{flowing}} = P/\rho + e = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$du = c_v dT \quad \text{and} \quad dh = c_p dT$$

$$\Delta u \cong c_{v,\text{avg}} \Delta T \quad \text{and} \quad \Delta h \cong c_{p,\text{avg}} \Delta T$$

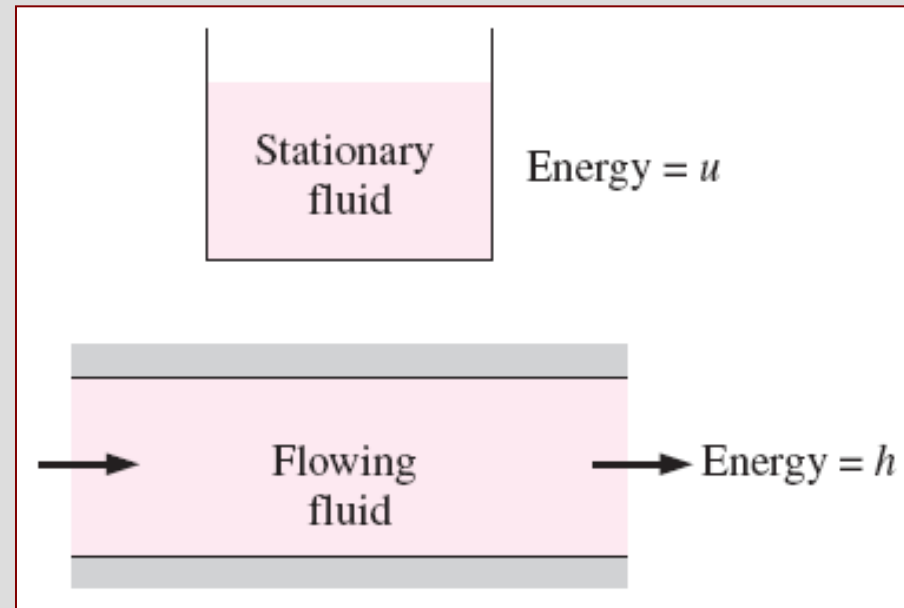
$$\Delta h = \Delta u + \Delta P/\rho \cong c_{\text{avg}} \Delta T + \Delta P/\rho$$

$$\Delta h = \Delta u \cong c_{\text{avg}} \Delta T \quad \text{Sabit basınç altında (P=sbt)}$$

$$\Delta h = \Delta P/\rho \quad \text{Sabit sıcaklık altında (T=sbt)}$$

İç enerji (u) hareket etmeyen bir akışkanın birim kütle başına mikroskopik enerjisidir. *Entalpi (h)* ise akmakta olan bir akışkanın birim kütlesinin mikroskopik enerjisidir.

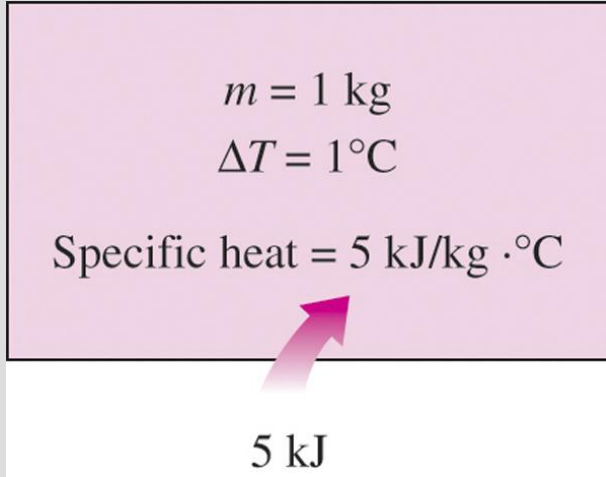
P/ρ akışkanı hareket ettirmek ve hareketi sürdürmek için birim kütle başına gerekli olan *akış enerjisi*, veya *akış işidir*.



Özgül Isılar

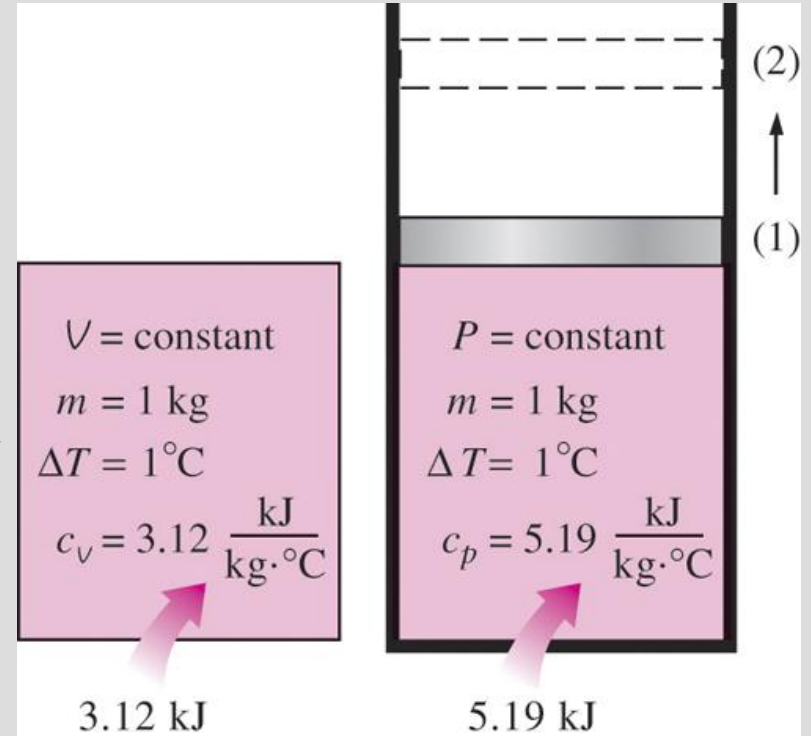
Sabit basınçta özgül ısı, c_p : Sabit hacimde bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1 derece arttırabilmek için gerekli enerjidir.

Sabit basınçta özgül ısı, c_p : Sabit basınçta bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1 derece arttırabilmek için gerekli enerjidir.



Özgül ısı belirli koşullar altında bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırabilmek için gerekli enerjidir.

Sabit hacim ve
sabit basınç c_v
ve c_p
Helyum gazının
özgül ısıları.



2-5 ■ SIKIŞTIRILABİLİRLİK VE SES HIZI

Sıkıştırılabilirlik Katsayısı

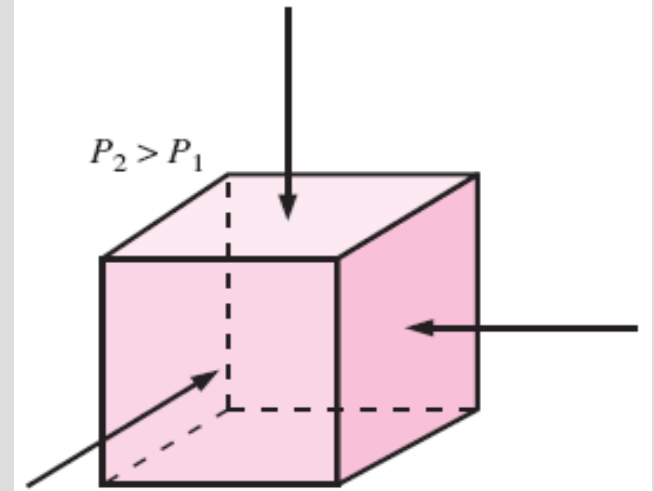
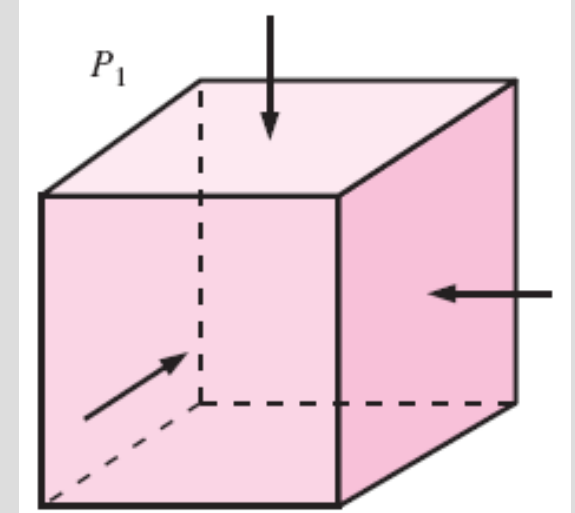
Bir akışkanın sıcaklığı veya basıncı değiştiğinde, hacminin de (veya yoğunluğunun da) değiştiğini deneyimlerimizden biliriz.

Akışkanlar genellikle ısıtıldıklarında veya üzerlerindeki basınç kaldırıldığında genişirler, buna karşın soğutulduklarında veya basınca maruz kaldıklarında sıkışırlar.

Ancak hacim değişiminin miktarı, bir akışkandan diğerine farklılık gösterir. Dolayısıyla, hacim değişimlerini sıcaklık ve basınç değişimleriyle ilişkilendiren özellikler tanımlamak gerekir.

Hacimsel Elastik Modülü κ

Hacimsel Genleşme Katsayısı β .



Katılar gibi akışkanlar da üzerlerine uygulanan basınç P_1 'den P_2 'ye artırıldığında sıkışır.

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

$$\kappa \cong - \frac{\Delta P}{\Delta v/v} \cong \frac{\Delta P}{\Delta \rho/\rho} \quad (T = \text{constant})$$

Sıkıştırılabilirlik katsayısı (bu modül ayrıca **hacimsel sıkıştırılabilirlik modülü** veya **hacimsel elastiklik modülü**) olarak da adlandırılır.

Sabit sıcaklıktaki sıkıştırılabilirlik katsayısı akışkanın hacminde veya yoğunluğundaki oransal bir değişime karşılık basıncında meydana gelen değişimi ifade eder.

Tamamen sıkıştırılmaz bir madde için ($v=\text{sbt}$) sıkıştırılabilirlik katsayısı nedir?

Büyük bir κ değeri, hacimde küçük bir birim değişime neden olmak için, basınçta büyük bir değişime gereksinim olduğunu gösterir. Buna göre büyük κ değerine sahip bir akışkan esas itibariyle sıkıştırılmaz.

Bu, sıvılar için tipik bir durumdur ve genellikle sıvıların neden **sıkıştırılmaz** olarak göz önüne alındıklarını açıklamaktadır.

Su darbesi: Bir sıvının boru şebekesinde ani bir kısıtlama (bir kapatma vanası gibi) ile karşılaşması ve yerel olarak sıkışması halinde ortaya çıkar.

Bir boruya “vurulduğunda” meydana gelen akustik dalgalar, boru boyunca yayıldıkça ve yansydıkça, boru yüzeylerine, dirseklere ve vanalara darbe yaparak borunun titreşmesine ve belirli sesler çıkarmasına yol açar.

Su darbesi oldukça yıkıcı olabilir, sızıntılara hatta yapısal zararlara sebep olabilir. Bu etkiler su darbesi sabitleyicisi (water hammer arrestor) ile engellenebilir..



Su Darbesi Sabitleyicileri: (a) Bir boru hattını su darbesinden korumak için yapılan büyük kuleler (b) Evdeki çamaşır makinesine su sağlayan borular için su darbesi sabitleyicisi

For an ideal gas, $P = \rho RT$ and $(\partial P / \partial \rho)_T = RT = P / \rho$, and thus

$$\kappa_{\text{ideal gas}} = P \quad (\text{Pa})$$

İdeal bir gazın sıkıştırılabilirlik katsayısı, mutlak basıncına eşittir ve sıkıştırılabilirlik katsayısı basınç artığında artar.

Ideal gas:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta P}{P} \quad (T = \text{constant})$$

İzotermal sıkıştırma altındaki bir ideal gazın yoğunluğundaki yüzdesel artış basıncındaki yüzdesel artışa eşittir.

İzotermal sıkıştırılabilirlik: Sıkıştırılabilirlik katsayısının tersine denir. Bir akışkanın izotermal sıkıştırılabilirliği, basınçtaki bir birimlik değişime karşılık hacim veya yoğunlukta meydana gelen değişimi temsil eder.

$$\alpha = \frac{1}{\kappa} = -\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T \quad (1/\text{Pa})$$

Hacim genleşme katsayısı - β

Bir akışkanın yoğunluğu basınçtan daha çok sıcaklığa bağlıdır.

Yoğunluğun sıcaklık ile değişimi; rüzgarlar, okyanus akıntıları, sıcak hava balonlarının çalışması, doğal konveksiyonla ısı iletimi ve sıcak havanın yükselmesi gibi birçok doğa olayına sebep olmaktadır.

Bu etkileri hesaplayabilmemiz için yoğunluğun sabit basınçta sıcaklıkla değişimini verecek bir özelliğe ihtiyaç duymaktayız.



İnsan eli üzerindeki doğal taşınım

Hacim Genleşme katsayısı: Bir akışkanın sabit basınçtaki yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi

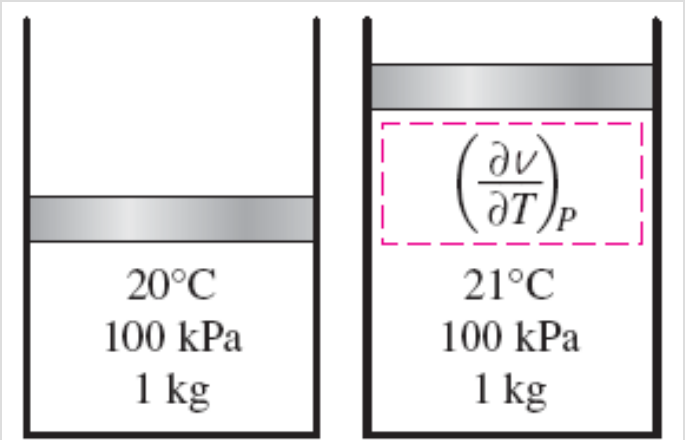
$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \quad (1/K)$$

$$\beta \approx \frac{\Delta v/v}{\Delta T} = -\frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta T} \quad (\text{at constant } P)$$

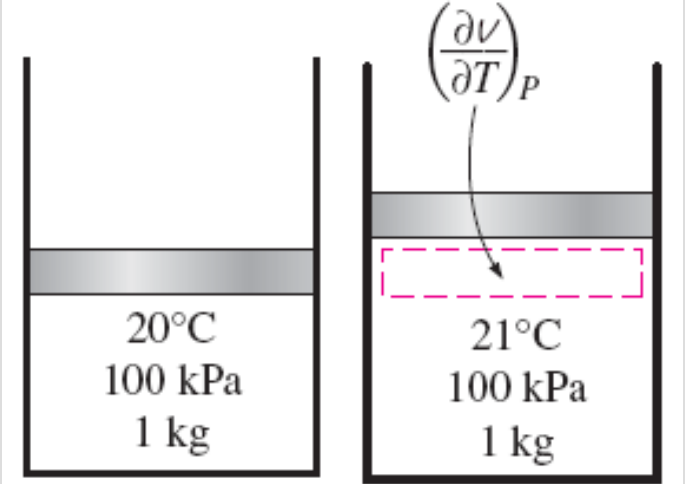
Bir akışkan için yüksek bir β değeri, sıcaklıkla beraber yoğunlukta büyük bir değişim olacağı anlamını taşır ve $\beta \Delta T$ çarpımı sabit basınç altındaki ΔT lik bir sıcaklık değişimine karşılık, akışkan hacmindeki değişim miktarını temsil eder.

T sıcaklığındaki ideal bir gazın ($P = \rho RT$) hacimsel genleşme katsayısının, bu sıcaklığın tersine eşit olduğu kolayca gösterilebilir:

$$\beta_{\text{ideal gas}} = \frac{1}{T} \quad (1/K)$$



(a) A substance with a large β



(b) A substance with a small β

Hacimsel genleşme katsayısı, bir maddenin sabit basınçta, sıcaklık nedeniyle hacminde meydana gelen değişimin bir ölçüsüdür.

Doğal taşınım akımlarının incelenmesinde; verilen değerlerin, sıcak veya soğuk bölgelerin varlığının hissedilmediği bir mesafede olduğunu vurgulamak amacıyla, bu bölgeleri çevreleyen akışkanın durumu “sonsuz” alt indisi ile gösterilir. Bu tür durumlarda hacimsel genleşme katsayısı yaklaşık olarak:

$$\beta \approx -\frac{(\rho_{\infty} - \rho)/\rho}{T_{\infty} - T} \quad \text{or} \quad \rho_{\infty} - \rho = \rho\beta(T - T_{\infty})$$

Sıcaklık ve basıncın akışkanın hacim değişimi üzerindeki toplam etkisi, özgül hacmi T ve P ’nin bir fonksiyonu olarak belirlenebilir. Sıkışma ve genleşme katsayıları α ve β ’nin tanımlarını kullanmak suretiyle ve $v=v(T,p)$ ifadesinin diferansiyeli alınarak;

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

Bu durumda basınç ve sıcaklıklardaki değişimlerden ötürü hacimde (veya yoğunluktaki) meydana gelen oransal değişim, yaklaşık olarak:

$$\frac{\Delta v}{v} = -\frac{\Delta \rho}{\rho} \cong \beta \Delta T - \alpha \Delta P$$

EXAMPLE 2–3 Variation of Density with Temperature and Pressure

Consider water initially at 20°C and 1 atm. Determine the final density of the water (a) if it is heated to 50°C at a constant pressure of 1 atm, and (b) if it is compressed to 100-atm pressure at a constant temperature of 20°C. Take the isothermal compressibility of water to be $\alpha = 4.80 \times 10^{-5} \text{ atm}^{-1}$.

SOLUTION Water at a given temperature and pressure is considered. The densities of water after it is heated and after it is compressed are to be determined.

Assumptions 1 The coefficient of volume expansion and the isothermal compressibility of water are constant in the given temperature range. 2 An approximate analysis is performed by replacing differential changes in quantities by finite changes.

Properties The density of water at 20°C and 1 atm pressure is $\rho_1 = 998.0 \text{ kg/m}^3$. The coefficient of volume expansion at the average temperature of $(20 + 50)/2 = 35^\circ\text{C}$ is $\beta = 0.337 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. The isothermal compressibility of water is given to be $\alpha = 4.80 \times 10^{-5} \text{ atm}^{-1}$.

Analysis When differential quantities are replaced by differences and the properties α and β are assumed to be constant, the change in density in terms of the changes in pressure and temperature is expressed approximately as (Eq. 2–23)

$$\Delta\rho = \alpha\rho \Delta P - \beta\rho \Delta T$$

(a) The change in density due to the change of temperature from 20°C to 50°C at constant pressure is

$$\begin{aligned}\Delta\rho &= -\beta\rho \Delta T = -(0.337 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1})(998 \text{ kg/m}^3)(50 - 20) \text{ K} \\ &= -10.0 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Noting that $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$, the density of water at 50°C and 1 atm is

$$\rho_2 = \rho_1 + \Delta\rho = 998.0 + (-10.0) = \mathbf{988.0 \text{ kg/m}^3}$$

which is almost identical to the listed value of 988.1 kg/m³ at 50°C in Table A-3. This is mostly due to β varying with temperature almost linearly, as shown in Fig. 2-14.

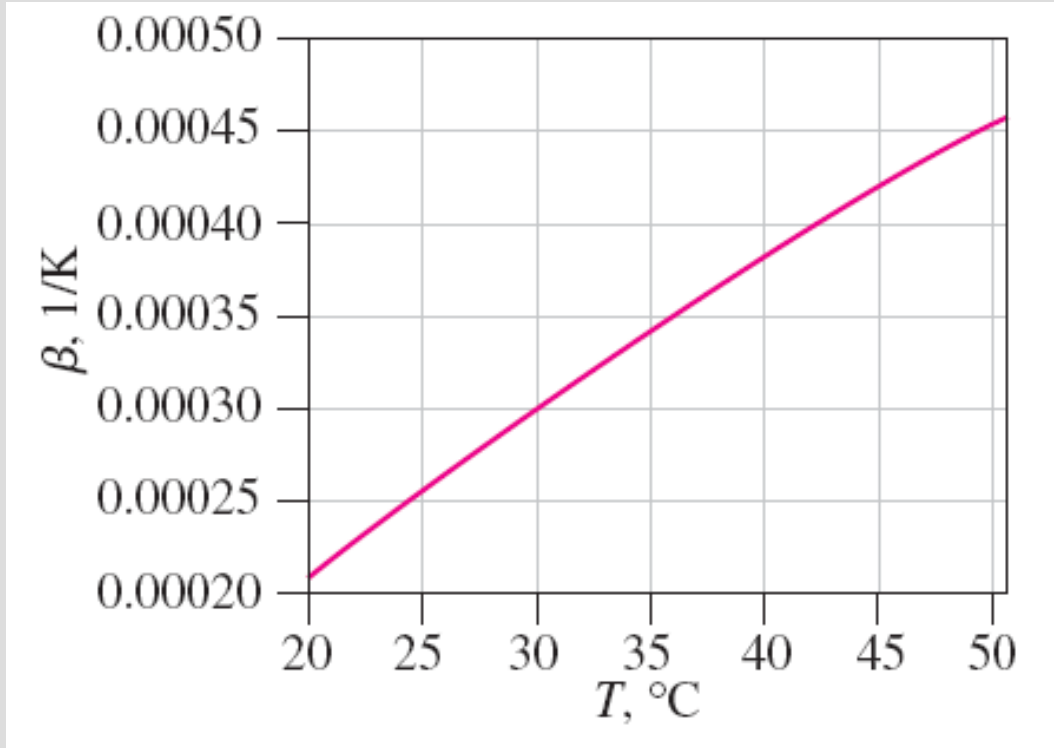
(b) The change in density due to a change of pressure from 1 atm to 100 atm at constant temperature is

$$\Delta\rho = \alpha\rho \Delta P = (4.80 \times 10^{-5} \text{ atm}^{-1})(998 \text{ kg/m}^3)(100 - 1) \text{ atm} = 4.7 \text{ kg/m}^3$$

Then the density of water at 100 atm and 20°C becomes

$$\rho_2 = \rho_1 + \Delta\rho = 998.0 + 4.7 = \mathbf{1002.7 \text{ kg/m}^3}$$

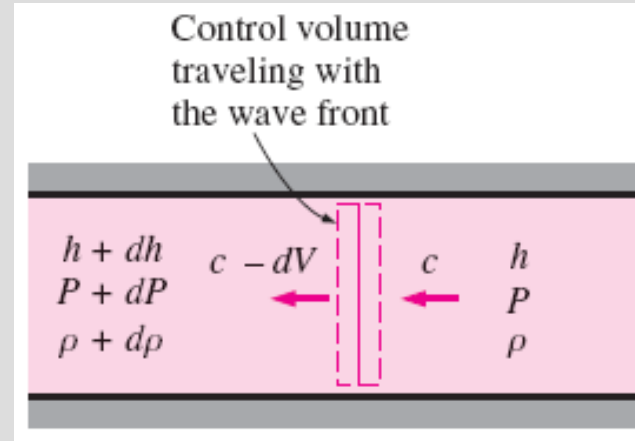
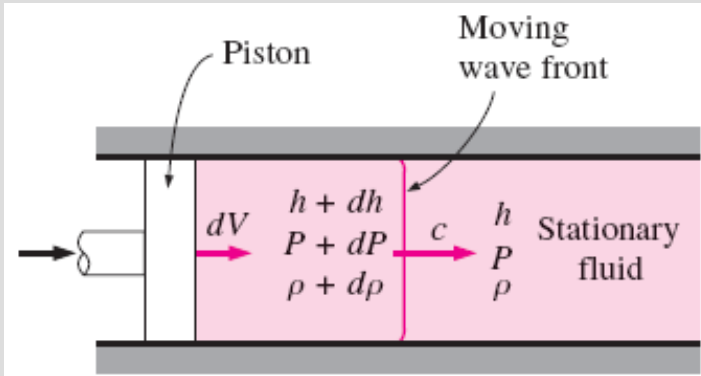
Discussion Note that the density of water decreases while being heated and increases while being compressed, as expected. This problem can be solved more accurately using differential analysis when functional forms of properties are available.



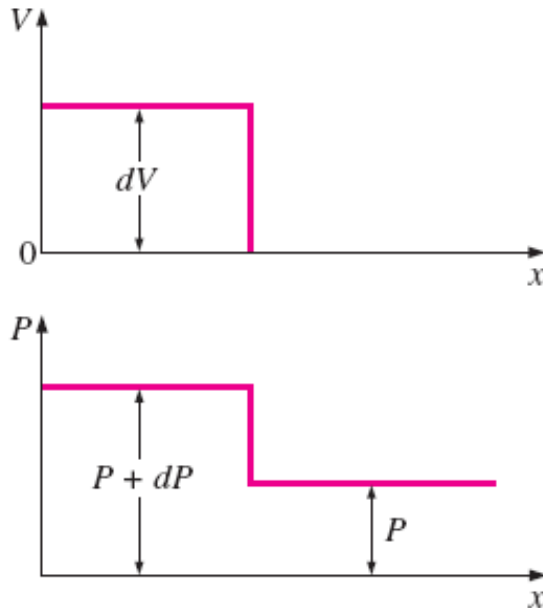
Suyun hacimsel genleşme katsayısı β 'nın $20^{\circ}C$ - $50^{\circ}C$ sıcaklık aralığındaki değişimi

Ses Hızı ve Mach Sayısı

Ses Hızı (Sonic Speed): Sonsuz küçük bir basınç dalgasının bir ortamda hareket ettiği hız değeri



Kontrol hacminin küçük bir basınç dalgası ile birlikte hareketi



$$c^2 = k \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T$$

Herhangi bir akışkan için

$$c = \sqrt{kRT}$$

İdeal Gaz için

AIR		HELIUM
284 m/s	200 K	832 m/s
347 m/s	300 K	1019 m/s
634 m/s	1000 K	1861 m/s

Ses hızı sıcaklıkla değişmekte olup akışkana göre değişkenlik göstermektedir.

Mach sayısı (Ma): Bir akışkanın (veya akışkan içindeki bir nesnenin) hızının o akışkan içindeki ses hızına oranıdır.

$$Ma = \frac{V}{c}$$

Mach sayısı ses hızına yani akışkanın durumuna bağlıdır.



EXAMPLE 2–4 Mach Number of Air Entering a Diffuser

Air enters a diffuser shown in Fig. 2–19 with a speed of 200 m/s. Determine (a) the speed of sound and (b) the Mach number at the diffuser inlet when the air temperature is 30°C.

SOLUTION Air enters a diffuser at high speed. The speed of sound and the Mach number are to be determined at the diffuser inlet.

Assumption Air at the specified conditions behaves as an ideal gas.

Properties The gas constant of air is $R = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, and its specific heat ratio at 30°C is 1.4.

Analysis We note that the speed of sound in a gas varies with temperature, which is given to be 30°C.

(a) The speed of sound in air at 30°C is determined from Eq. 2–26 to be

$$c = \sqrt{kRT} = \sqrt{(1.4)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(303 \text{ K})\left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ kJ/kg}}\right)} = \mathbf{349 \text{ m/s}}$$

(b) Then the Mach number becomes

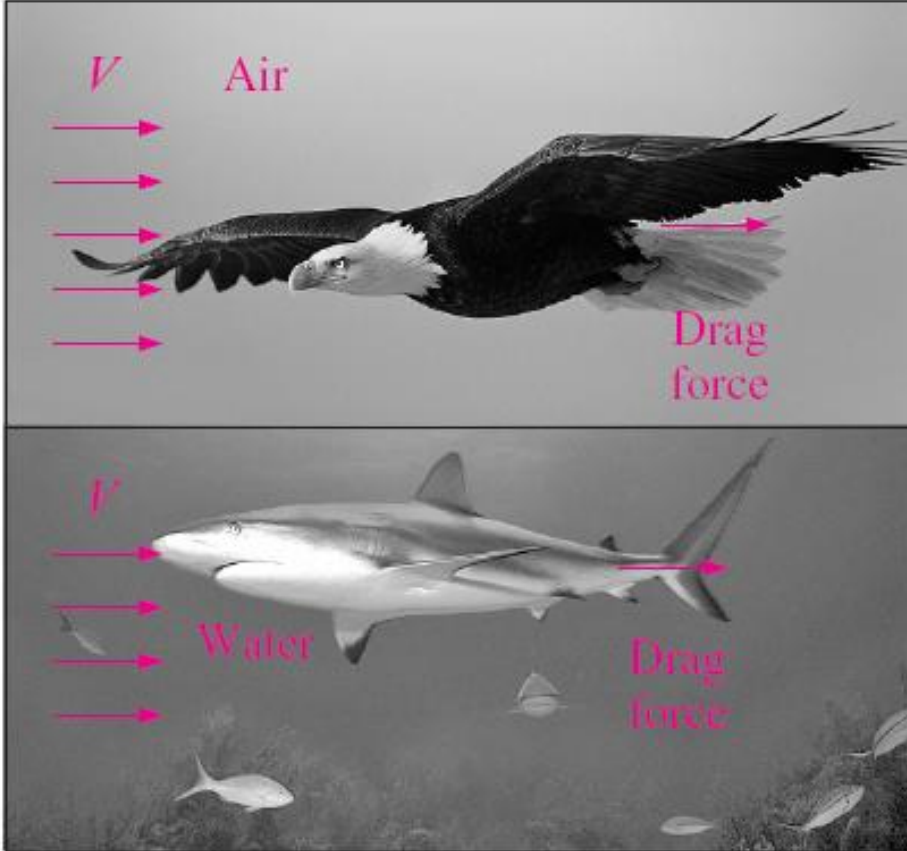
$$\text{Ma} = \frac{V}{c} = \frac{200 \text{ m/s}}{349 \text{ m/s}} = \mathbf{0.573}$$

Discussion The flow at the diffuser inlet is subsonic since $\text{Ma} < 1$.

2-6 ■ VISKOZİTE

Viskozite: Bir akışkanın akmaya karşı iç direncini veya “akışkanlığını” temsil eden özeliğine denir.

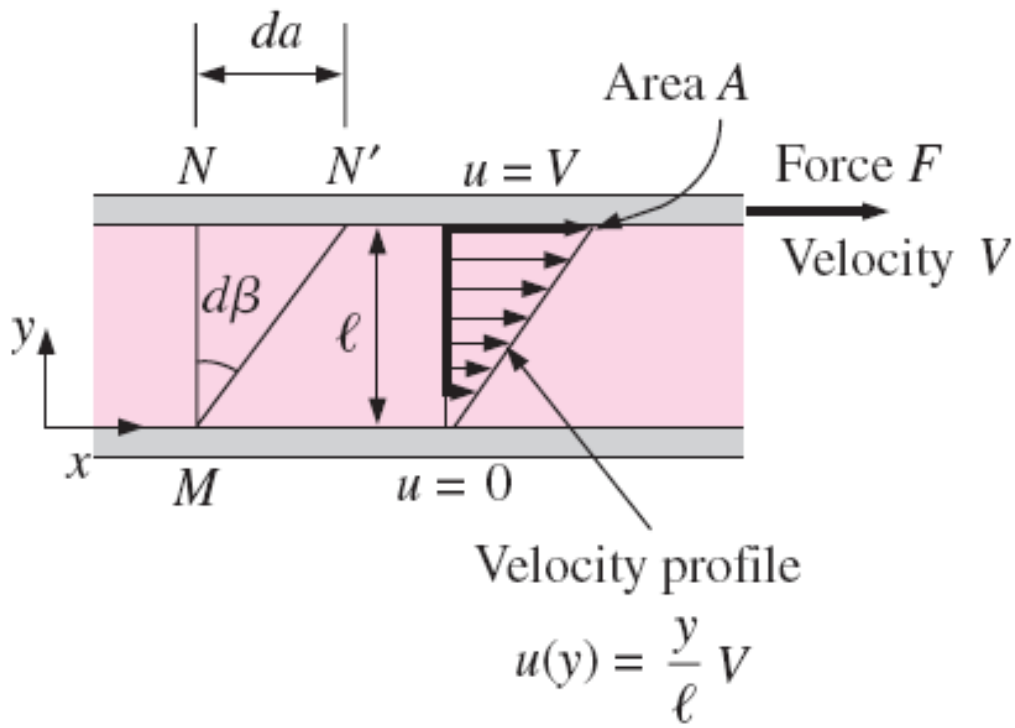
Sürtünme Kuvveti: Akan bir akışkanın bir cisme akma yönünde uyguladığı kuvvete denir ve bu kuvvetin büyüklüğü kısmen viskoziteye bağlıdır.



Bir akışkanın viskozitesi “şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direncin” miktarına bağlıdır.

Viskozite, farklı akışkan tabakalarının birbirlerine göre bağlı harekete zorlanmalarıyla oluşan iç sürtünme kuvvetinden kaynaklanır.

Cisme göre hareket eden bir akışkan cisim üzerinde bir direnç kuvveti oluşturur.



Newtonian Akışkanlar: Şekil değiştirme hızı kayma gerilmesi ile doğru orantılı olan akışkanlardır.

$$\tau \propto \frac{d(d\beta)}{dt} \quad \text{or} \quad \tau \propto \frac{du}{dy}$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{N/m}^2) \quad \text{Kesme Gerilmesi}$$

Üst levhası sabit bir hızla çekilen iki paralel levha arasındaki akışkanın davranışı

$$\tau = \frac{F}{A} \quad u(y) = \frac{y}{\ell} V \quad \text{and} \quad \frac{du}{dy} = \frac{V}{\ell}$$

Kesme Kuvveti

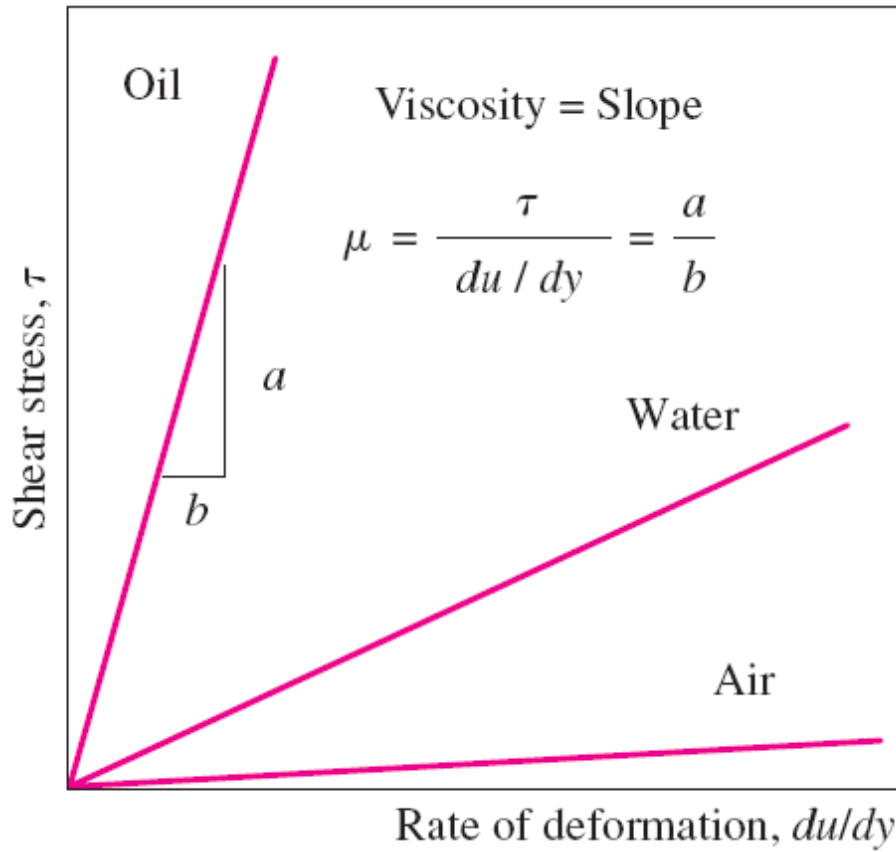
$$F = \tau A = \mu A \frac{du}{dy} \quad (\text{N})$$

μ Viskozite katsayısı

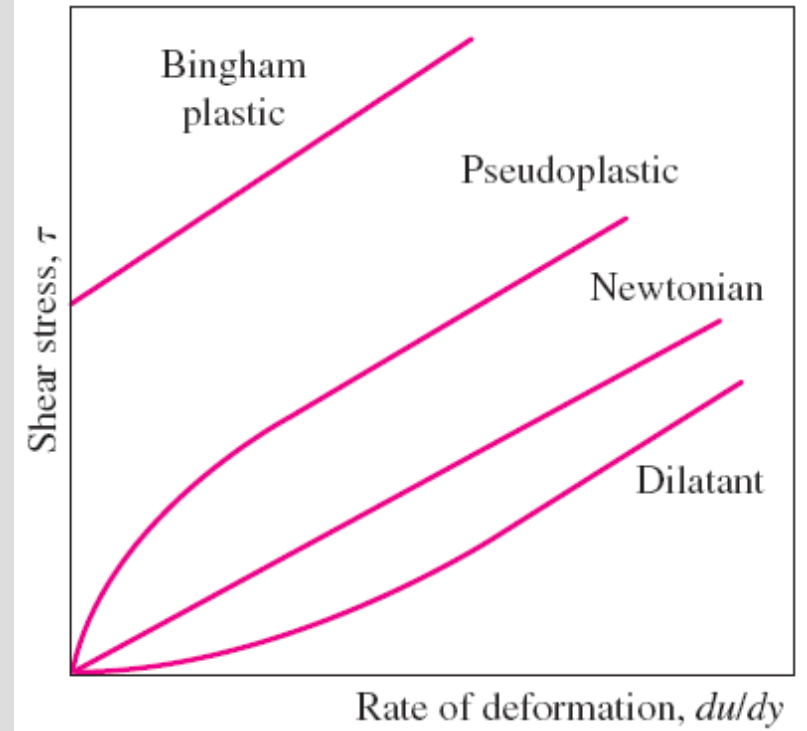
Dinamik (mutlak) viskozite

kg/m · s veya N · s/m² veya Pa · s

1 poise = 0.1 Pa · s



Bir Newton tipi akışkanın deformasyon hızı (hız gradyeni) kayma gerilmesiyle doğru orantılıdır ve orantı sabiti viskozitedir.



Newton tipi ve Newton tipi olmayan akışkanlar (bir eğrinin herhangi bir noktadaki eğimi akışkanın o noktadaki görünür viskozitesidir) için kayma gerilmesinin deformasyon hızıyla değişimi

Kinematik Viskozite

$$\nu = \mu/\rho \quad \text{m}^2/\text{s} \text{ or stoke}$$
$$1 \text{ stoke} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Sıvılar için, Hem dinamik hem kinematik viskozite pratikte basınçtan bağımsızdır, ve basınçtaki küçük değişimler çok yüksek basınç durumları hariç göz ardı edilir.

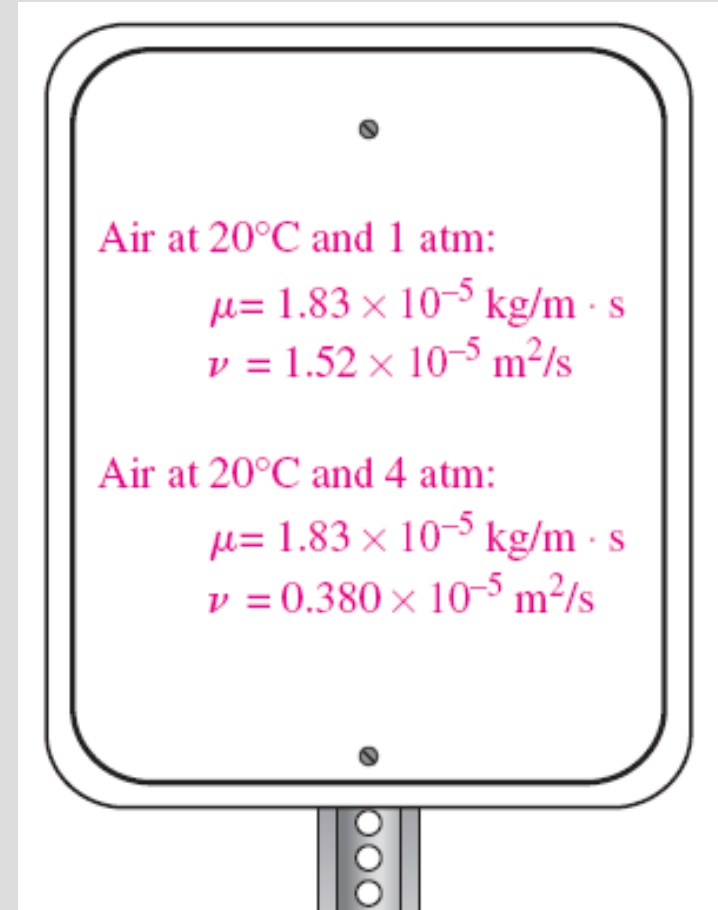
Gazlar için, dinamik viskozite için de ortalama basınçlar altında sıvılar için yapılan kabul geçerlidir. Ancak bir gazın yoğunluğu basınçla değiştiği için kinematik viskozite için bu kabul geçerli değildir.

$$\mu = \frac{aT^{1/2}}{1 + b/T}$$

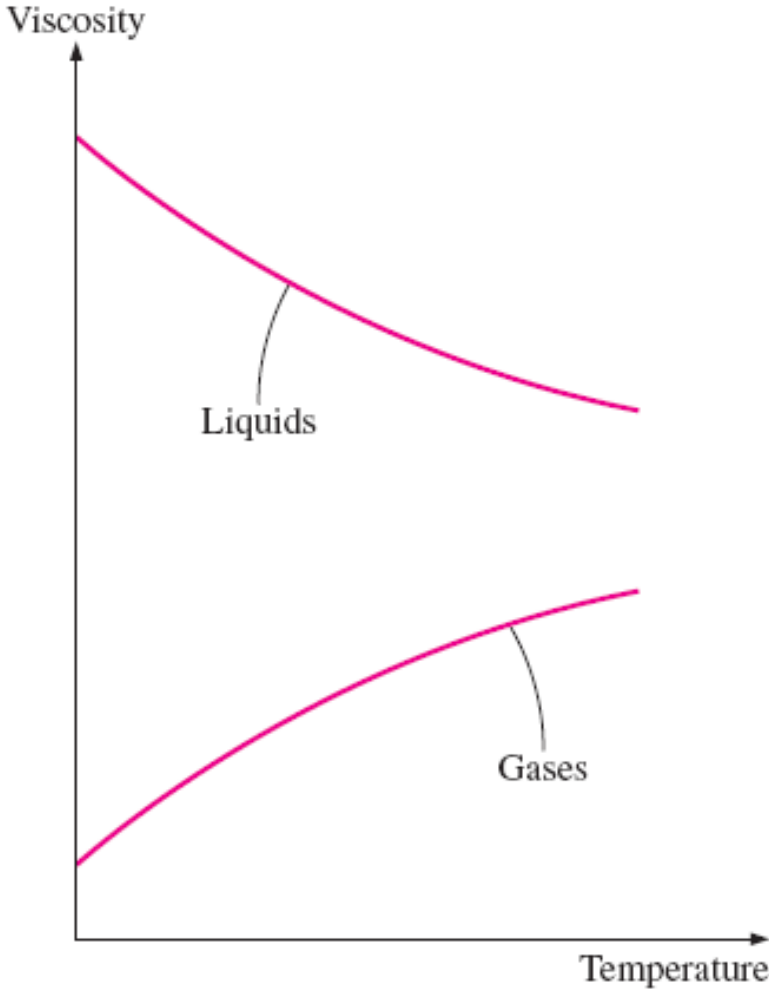
Gazlar için:

$$\mu = a10^{b/(T-c)}$$

Sıvılar için



Genel olarak dinamik viskozite basınca bağlı değildir ancak kinematik viskozite basınca bağlıdır.



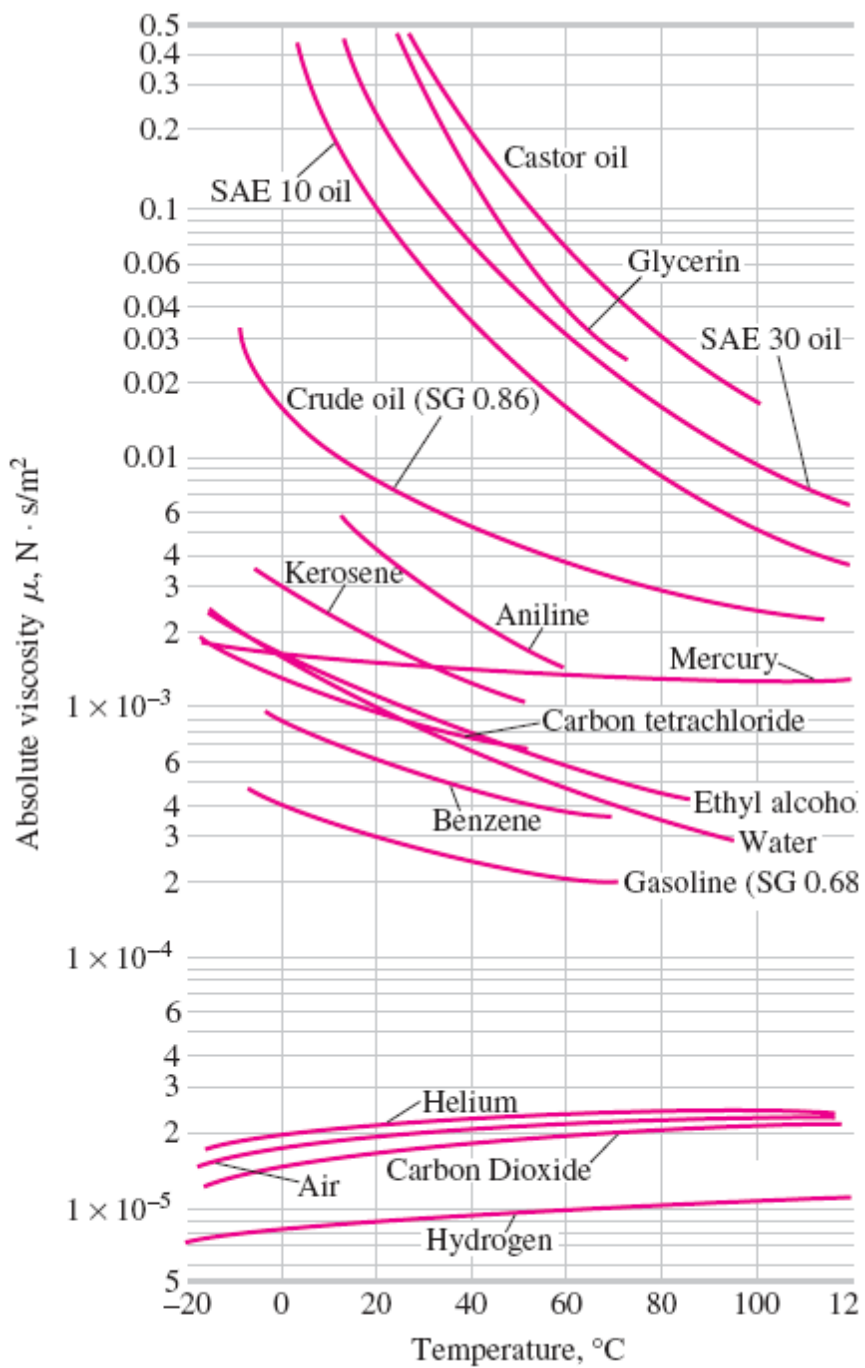
Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla azalır, gazlarınsı ise artar.

Bir akışkanın viskozitesi, onu bir boru içerisinde nakletmek için gerekli pompalama gücü veya bir cismi bu akışkan içerisinde hareket ettirmek için gerekli olan kuvvetle doğrudan ilişkilidir.

Viskozite, sıvılarda moleküller arasındaki kohezyon kuvvetinden, gazlar da ise moleküllerinin çarpışmasıyla ortaya çıkar ve sıcaklıkla büyük değişiklik gösterir.

Bir sıvı için, moleküller yüksek sıcaklıkta daha fazla enerji taşır ve daha büyük moleküller arası kohezif kuvvetlere karşı koyabilirler. Böylece enerji kazanmış moleküller daha rahat hareket ederler.

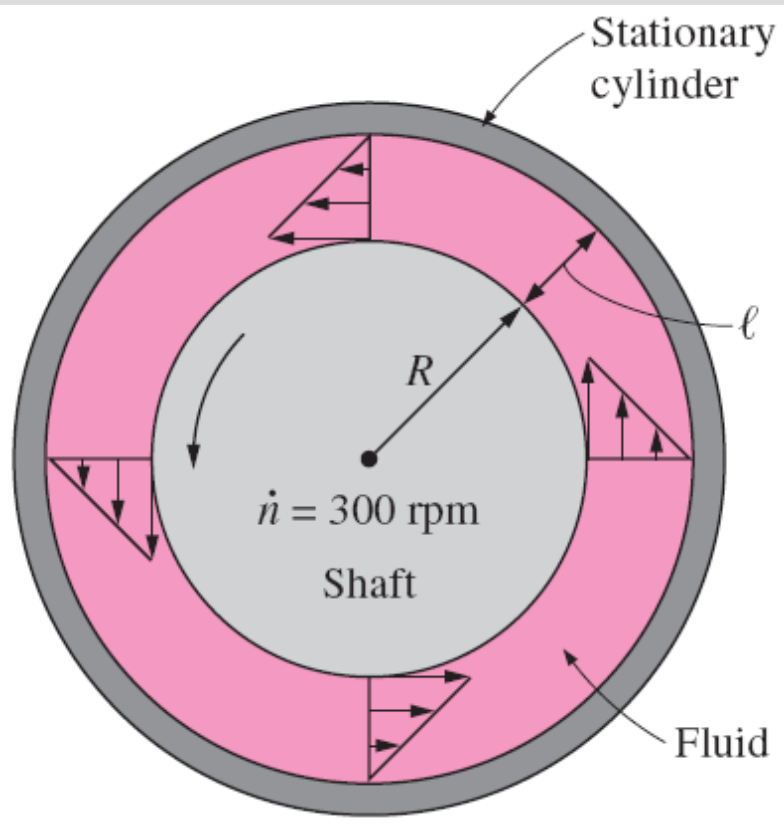
Bir gaz için, moleküller arası kuvvetler ihmal edilir ve yüksek sıcaklıktaki gaz molekülleri rastgele olarak daha yüksek hızlarda hareket ederler. Bu ise birim zamanda birim hacme daha çok molekül çarpışması sonucunu doğurur ve akışta daha büyük direnç oluşumuna yol açar.



Yaygın bulunan akışkanların dinamik (mutlak) viskozitelerinin 1 atm'de sıcaklıkla değişimi
 $(1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 = 1 \text{ kg}/\text{m}\cdot\text{s} = 0.020886 \text{ lbf}\cdot\text{s}/\text{ft}^2)$

Dynamic viscosities of some fluids at 1 atm and 20°C (unless otherwise stated)

Fluid	Dynamic Viscosity μ , kg/m · s
Glycerin:	
–20°C	134.0
0°C	10.5
20°C	1.52
40°C	0.31
Engine oil:	
SAE 10W	0.10
SAE 10W30	0.17
SAE 30	0.29
SAE 50	0.86
Mercury	0.0015
Ethyl alcohol	0.0012
Water:	
0°C	0.0018
20°C	0.0010
100°C (liquid)	0.00028
100°C (vapor)	0.000012
Blood, 37°C	0.00040
Gasoline	0.00029
Ammonia	0.00015
Air	0.000018
Hydrogen, 0°C	0.0000088



$$\begin{aligned} \tau &= \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow F = \tau \cdot A \text{ (Kuvvet)} & u &= \omega R \text{ (Girgisel hız)} \\ T &= F \cdot R \text{ (Moment)} & u &= 2\pi n R \\ \tau &= \mu \frac{du}{dy} \cdot A \cdot R & y &= l \\ T &= \mu \frac{2\pi n R}{l} \cdot 2\pi R \cdot L \cdot R & A &= 2\pi R \cdot L \text{ (Silindirin Yan alanı)} \\ T &= \mu \frac{4\pi^2 R^3 n L}{l} \end{aligned}$$

L Silindirin boyu
 \dot{n} birim zamandaki dönme sayısı

$$T = FR = \mu \frac{2\pi R^3 \omega L}{l} = \mu \frac{4\pi^2 R^3 \dot{n} L}{l}$$

Belirli bir açısal hız için torkun ölçülmesi suretiyle bu denklem viskoziteyi hesaplamak için kullanılabilir.

Dolayısıyla iç içe geçmiş iki silindir, viskozite ölçmeye yarayan bir **viskozimetre**, olarak düşünülebilir.

EXAMPLE 2-5 Determining the Viscosity of a Fluid

The viscosity of a fluid is to be measured by a viscometer constructed of two 40-cm-long concentric cylinders (Fig. 2–27). The outer diameter of the inner cylinder is 12 cm, and the gap between the two cylinders is 0.15 cm. The inner cylinder is rotated at 300 rpm, and the torque is measured to be 1.8 N · m. Determine the viscosity of the fluid.

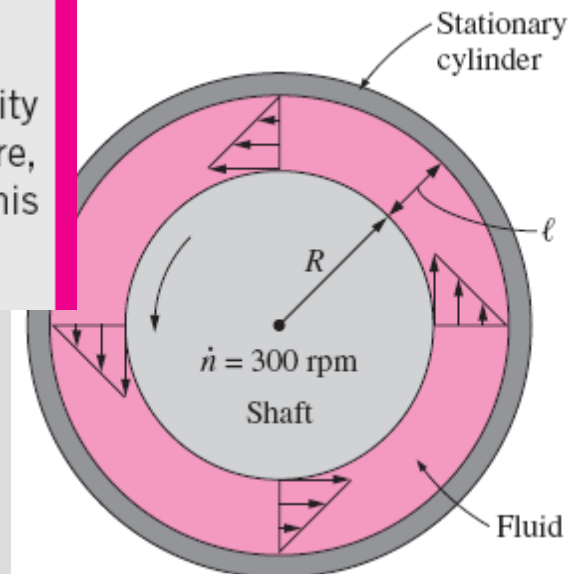
SOLUTION The torque and the rpm of a double cylinder viscometer are given. The viscosity of the fluid is to be determined.

Assumptions 1 The inner cylinder is completely submerged in the fluid. 2 The viscous effects on the two ends of the inner cylinder are negligible.

Analysis The velocity profile is linear only when the curvature effects are negligible, and the profile can be approximated as being linear in this case since $\ell/R = 0.025 \ll 1$. Solving Eq. 2–38 for viscosity and substituting the given values, the viscosity of the fluid is determined to be

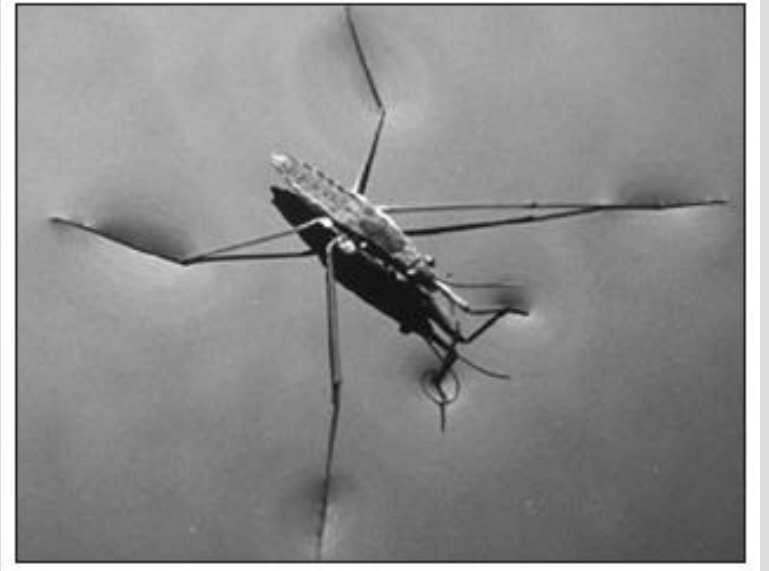
$$\mu = \frac{T\ell}{4\pi^2 R^3 \dot{n} L} = \frac{(1.8 \text{ N} \cdot \text{m})(0.0015 \text{ m})}{4\pi^2 (0.06 \text{ m})^3 (300/60 \text{ 1/s})(0.4 \text{ m})} = \mathbf{0.158 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$

Discussion Viscosity is a strong function of temperature, and a viscosity value without a corresponding temperature is of little usefulness. Therefore, the temperature of the fluid should have also been measured during this experiment, and reported with this calculation.

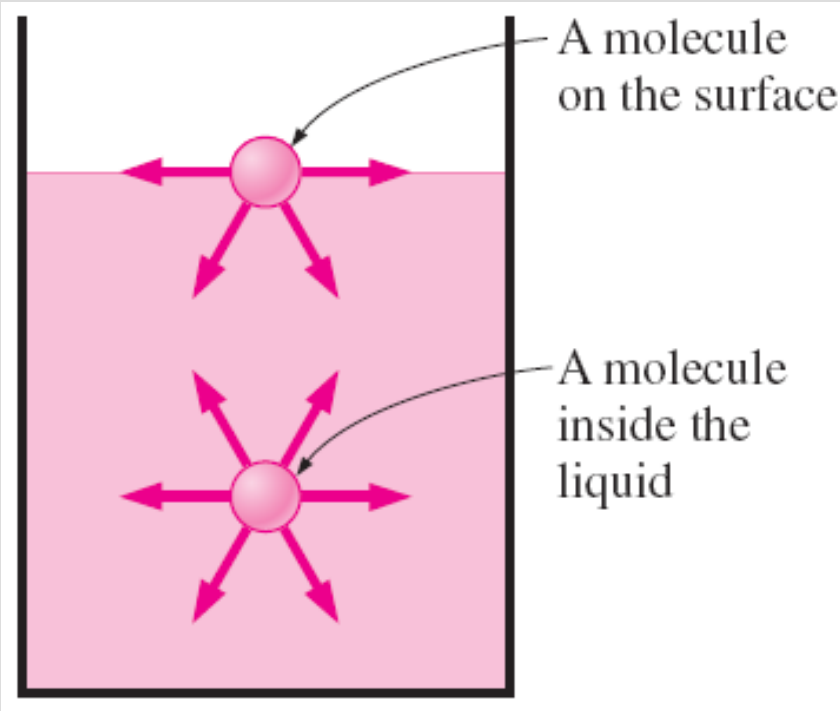


2-7 ■ YÜZEY GERİLİMİ VE KILCALLIK ETKİSİ

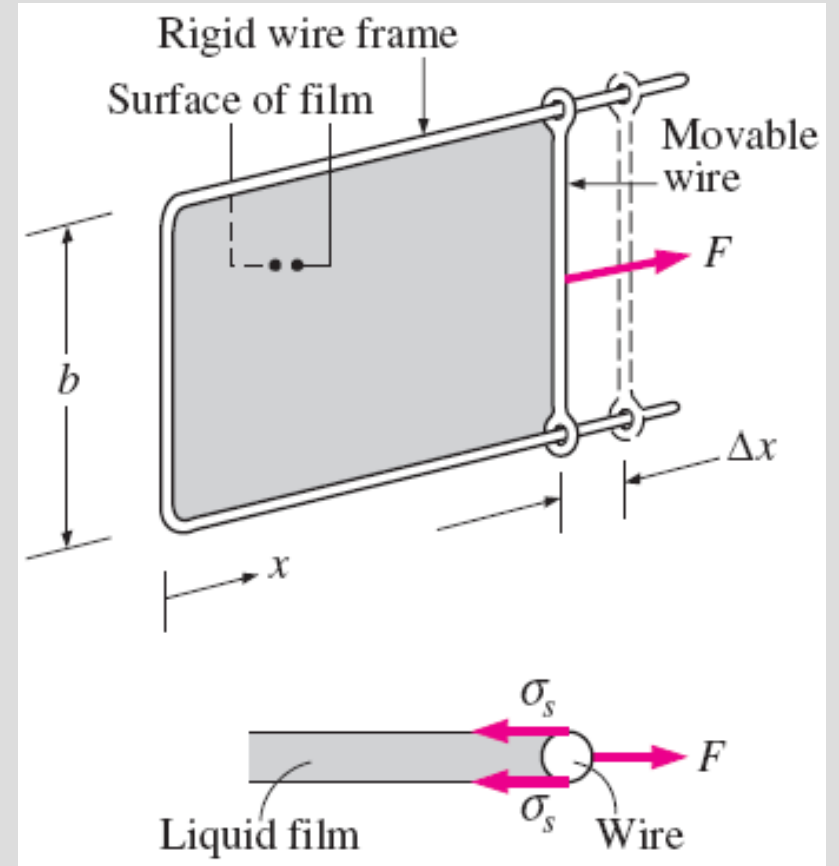
- Sıvı damlacıkları içleri sıvıyla dolu küçük küresel balon gibidir. Sıvı yüzeyi ise gerilmiş elastik bir zar benzeri davranış sergiler.
- Bu gerilime neden olan çekme kuvveti, yüzeye paralel olarak etkir ve sıvı moleküllerinin birbirini çekmelerinden kaynaklanır.
- Bu kuvvetin birim uzunluğu başına büyüklüğü **yüzey gerilimi** olarak adlandırılır ve genellikle N/m birimiyle ifade edilir.
- Bu etki ayrıca **yüzey enerjisi** olarak da adlandırılır ve Nm/m^2 birimiyle ifade edilir.



Yüzey geriliminin bazı sonuçları



Sıvı yüzeyinde ve içerisindeki bir sıvı molekülüne etkiyen çekim kuvvetleri



Bir sıvı filminin U-şekilli tel ile uzatılması ve b uzunluğundaki hareket edebilir tele etkiyen kuvvetler

$$\sigma_s = \frac{F}{2b}$$

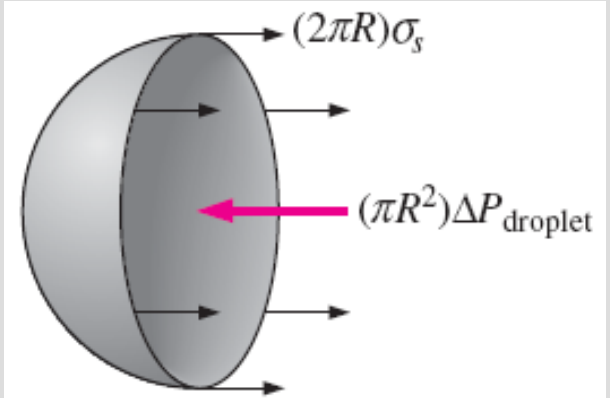
$$W = \text{Force} \times \text{Distance} = F \Delta x = 2b\sigma_s \Delta x = \sigma_s \Delta A$$

Yüzey Gerilimi: Sıvının yüzey alanındaki birim artışı başına yapılan işdir.

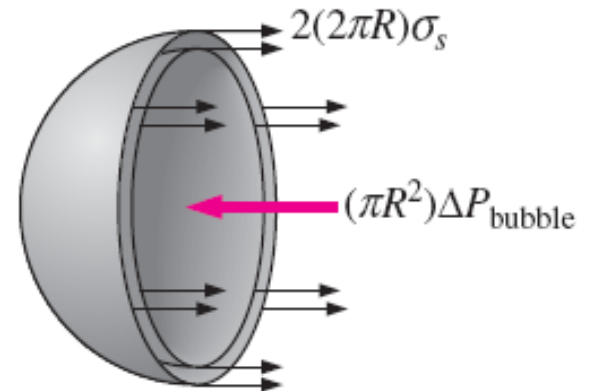
Surface tension of some fluids in air at 1 atm and 20°C (unless otherwise stated)

Fluid	Surface Tension σ_s , N/m*
†Water:	
0°C	0.076
20°C	0.073
100°C	0.059
300°C	0.014
Glycerin	0.063
SAE 30 oil	0.035
Mercury	0.440
Ethyl alcohol	0.023
Blood, 37°C	0.058
Gasoline	0.022
Ammonia	0.021
Soap solution	0.025
Kerosene	0.028

Yarım damlacığın ve yarım sabun kabarcığının cisim diyagramları.



(a) Half a droplet or air bubble



(b) Half a soap bubble

Droplet or

air bubble:

$$(2\pi R)\sigma_s = (\pi R^2)\Delta P_{\text{droplet}} \rightarrow \Delta P_{\text{droplet}} = P_i - P_o = \frac{2\sigma_s}{R}$$

Soap

bubble:

$$2(2\pi R)\sigma_s = (\pi R^2)\Delta P_{\text{bubble}} \rightarrow \Delta P_{\text{bubble}} = P_i - P_o = \frac{4\sigma_s}{R}$$

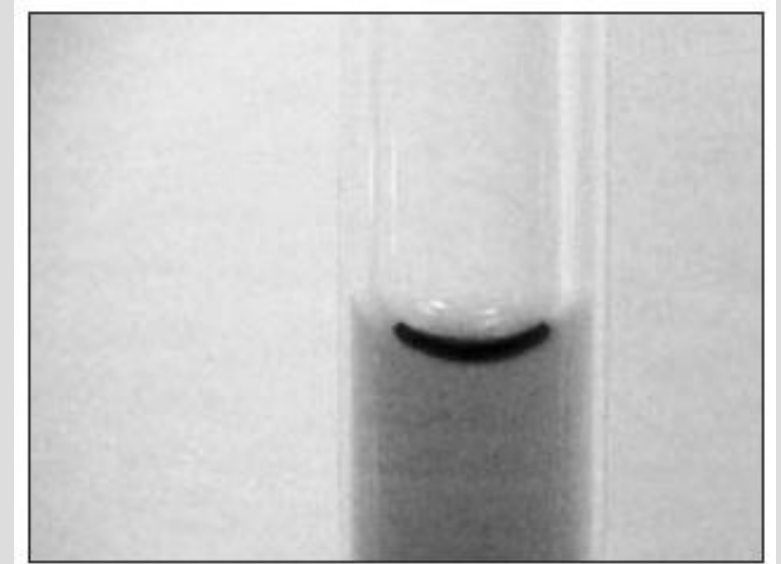
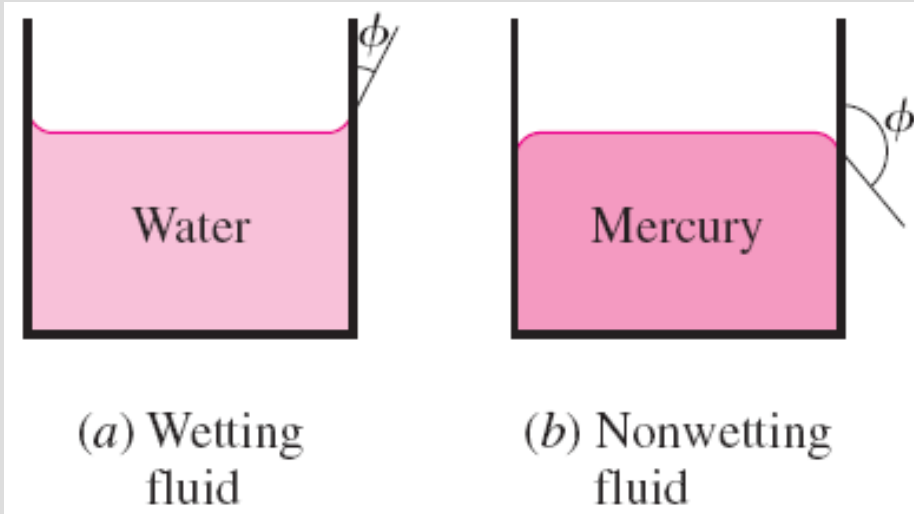
Kılcallık Etkisi: Sıvıya daldırılan küçük çaplı bir borudaki sıvı yükselmesi veya alçalmasıdır.

Kılcal Kanallar: Bu tür dar borular veya katı yüzeylerle sınırlanmış akış kanallarıdır. Kılcallık etkisi ayrıca suyun ağaçların tepesine yükselmesinde de kısmen önemli rol oynar

Menisküs: Kılcal bir boruda yükselmiş bir sıvının eğrisel serbest yüzeyine denir.

Kılcallık etkisinin şiddeti **temas** (veya ıslatma) **açısı** ile belirtilir ve *temas noktasında katı yüzey ile sıvının teğeti arasındaki açı* olarak tanımlanır.

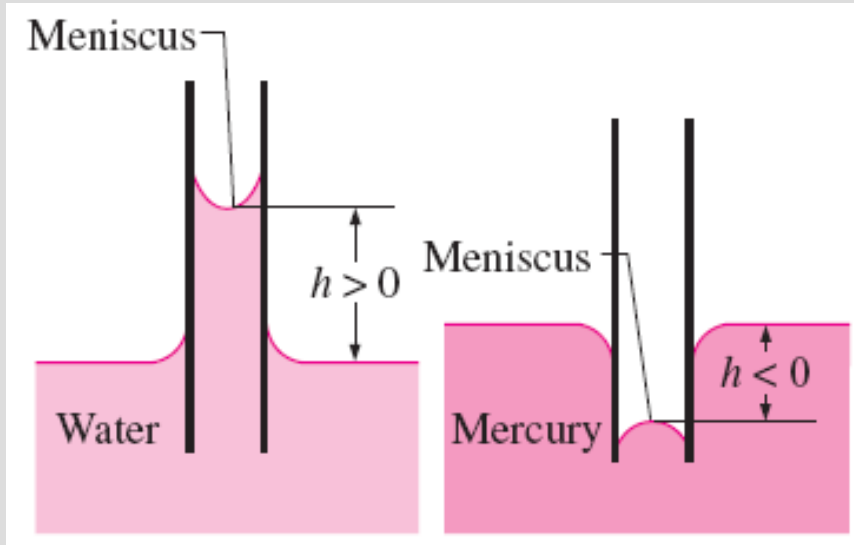
Kılcallık Etkisi



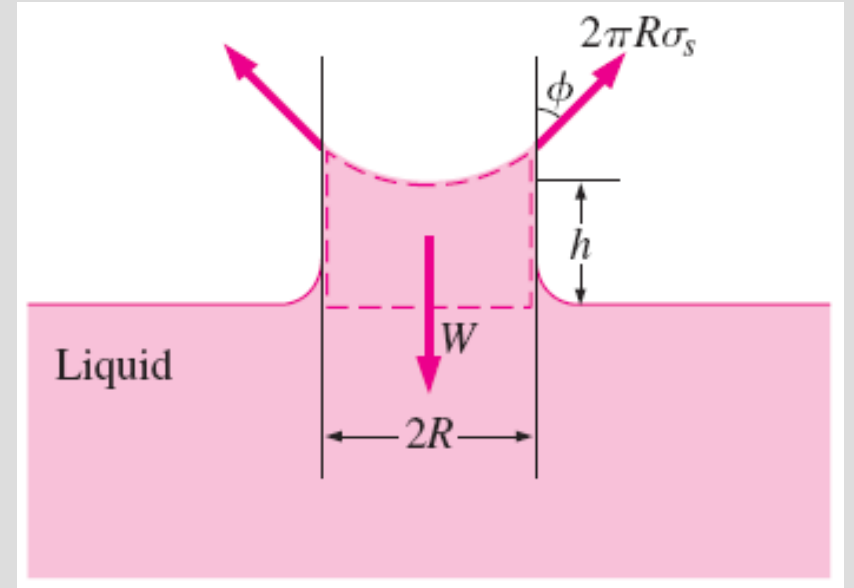
İç çapı 4mm olan bir cam borudaki renklendirilmiş su menisküsü.

Menisküs kenarının kılcal boruda boru çeperleriyle çok küçük bir açıda temas ettiğine dikkat ediniz.

Islatan ve ıslatmayan akışkanlar için temas açıları



Küçük çaplı bir cam boruda suyun kılcal yükselmesi ve civanın kılcal alçalması



Kılcallık etkisinden dolayı bir boruda yükselen sıvı sütununa etkiyen kuvvetler

Capillary rise:
$$h = \frac{2\sigma_s}{\rho g R} \cos \phi \quad (R = \text{constant})$$

- Kılcal yükselme tüpün yarı çapı ve akışkanın yoğunluğuyla ters orantılıdır.

EXAMPLE 2-6 The Capillary Rise of Water in a Tube

A 0.6-mm-diameter glass tube is inserted into water at 20°C in a cup. Determine the capillary rise of water in the tube (Fig. 2–36).

SOLUTION The rise of water in a slender tube as a result of the capillary effect is to be determined.

Assumptions 1 There are no impurities in the water and no contamination on the surfaces of the glass tube. 2 The experiment is conducted in atmospheric air.

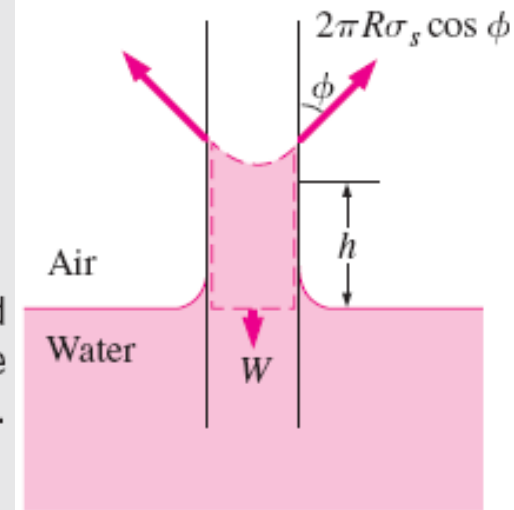
Properties The surface tension of water at 20°C is 0.073 N/m (Table 2–4). The contact angle of water with glass is approximately 0° (from preceding text). We take the density of liquid water to be 1000 kg/m³.

Analysis The capillary rise is determined directly from Eq. 2–42 by substituting the given values, yielding

$$h = \frac{2\sigma_s}{\rho g R} \cos \phi = \frac{2(0.073 \text{ N/m})}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.3 \times 10^{-3} \text{ m})} (\cos 0^\circ) \left(\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ N}} \right) \\ = 0.050 \text{ m} = \mathbf{5.0 \text{ cm}}$$

Therefore, water rises in the tube 5 cm above the liquid level in the cup.

Discussion Note that if the tube diameter were 1 cm, the capillary rise would be 0.3 mm, which is hardly noticeable to the eye. Actually, the capillary rise in a large-diameter tube occurs only at the rim. The center does not rise at all. Therefore, the capillary effect can be ignored for large-diameter tubes.



Özet

- Giriş
 - ✓ Süreklilik
- Yoğunluk ve Özgül Ağırlık
 - ✓ Density of Ideal Gases
- Buhar Basıncı ve Kaviteasyon
- Enerji ve özgül Isı
- Sıkıştırılabilirlik ve Ses Hızı
 - ✓ Sıkıştırılabilirlik Katsayısı
 - ✓ Hacim Genleşmesi Katsayısı
 - ✓ Ses Hızı ve Mach Sayısı
- Viskozite
- Yüzey Gerilimi ve Kılcallık Etkisi