مکانیک سیالات
فصل اول: مفاهیم اساسی

میلاد نادری
Naderi.m@aut.ac.ir
دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا
۱۳۹۷

مراجع درس

- Cengel, Y. A. and Cimbala, J. M., Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 2nd ed., McGraw, Hill Book Company, New York, 2006.

- White, F. M., Fluid Mechanics , 6th ed., McGraw Hill Book Company, New York, 2009

- Shames, I. H., Mechanics of Fluids, 4th ed., McGraw Hill Book Company, New York, 2003.

- Fox, R. W. and Mcdonald, A. T, Introduction to Fluid Mechanics , 6th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 2004.

- Kundu, P. K., and Ira M. Cohen, Fluid Mechanics, 4th ed., Elsevier/Academic Press 2007/Elsevier, 2008.

- Batchelor, G. K.,Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge,1967.

- Streeter, V. L., Wylie E. B. and Bedford, K. W., Fluid Mechanics, 9th ed.,McGraw Hill Book Company, New York, 1998.

بارم بندی

تمرین (شامل تمرین های آخر فصل و تمرین های مطرح شده در حین تدریس) ۲ نمره

کوییز (با اعلام قبلی) ۲ نمره

میان ترم ۷ نمره پایان ترم ۹ نمره

نکات:

امتحان به صورت جزوه و کتاب بسته می باشد.

تمرین ها فقط در زمان تعیین شده تحویل گرفته می شود.

کاربرد مکانیک سیالات

درک صحیحی از مکانیک سیالات در بسیاری از حوزه های مهندسی اهمیت بسیاری دارد:

- مهندسی پزشکی: جریان خون و جریان مغزی
- هواشناسی و اقیانوس شناسی: جابجایی هوا و جریانات اقیانوسی
- مهندسی شیمی: طراحی تجهیزات مرتبط با فرآیندهای شیمیایی
- مهندسی هوافضا: ماکزیمم نمودن لیفت و کاهش درگ روی هواپیما و طراحی موتور جت
- مهندسی مکانیک: طراحی پمپ، توربین، تجهیزات کنترل آلایندگی ، موتورهای احتراق داخلی، کمپرسورهای هوا، تجهیزات تهویه مطبوع و ...
- مهندسی عمران: طراحی سدها، سیستم های لوله کشی، انتقال رسوبات رودخانه، کانال های آبیاری، سیستم های کنترل سیل و استادیوم های ورزشی گنبد دار!

کاربرد مکانیک سیالات

Natural flows and weather
© Vol. 16/Photo Disc.

Boats
© Vol. 5/Photo Disc.

Aircraft and spacecraft
© Vol. 1/Photo Disc.

Power plants
© Vol. 57/Photo Disc.

Human body
© Vol. 110/Photo Disc.

Cars
Photo by John M. Cimbala.

Wind turbines
© Vol. 17/Photo Disc.

Piping and plumbing systems
Photo by John M. Cimbala.

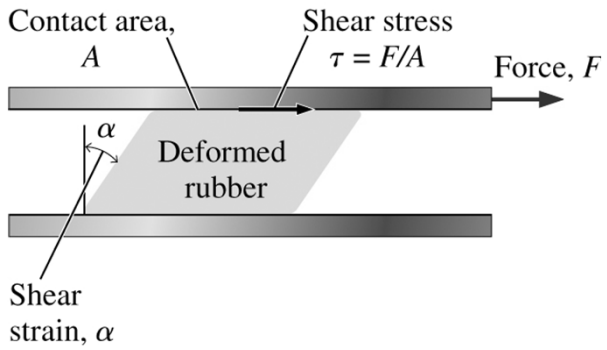
Industrial applications
Courtesy UMDE Engineering, Contracting, and Trading. Used by permission.

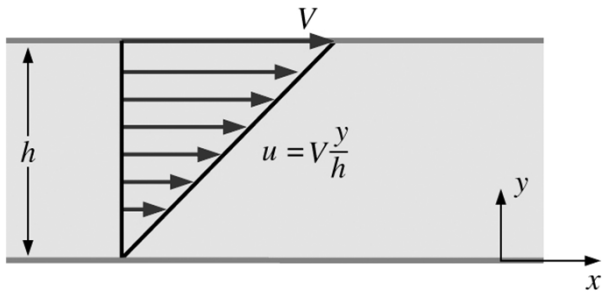
سیال چیست؟

- یک سیال، ماده ای است به فرم مایع و یا گاز.
- تفاوت بین سیال و جامد چیست؟
  - جامد: می تواند تنش برشی اعمالی را بوسیله تغییر شکل تحمل کند. جسم جامد تحت تاثیرتنش برشی مقداری تغییر شکل می دهد. تنش متناسب با کرنش می باشد
  - سیال: به صورت پیوسته تحت تنش اعمالی تغییر شکل می دهد. به محض اعمال تنش سیال حرکت میکند.

Solid

$$\tau = \frac{F}{A} \propto \alpha$$





Fluid

$$\tau = \frac{F}{A} \propto \mu \frac{V}{h}$$

سیال چیست؟

- تنش به صورت نیرو بر واحد سطح تعریف می شود.
- ۱) مولفه عمودی: تنش نرمال

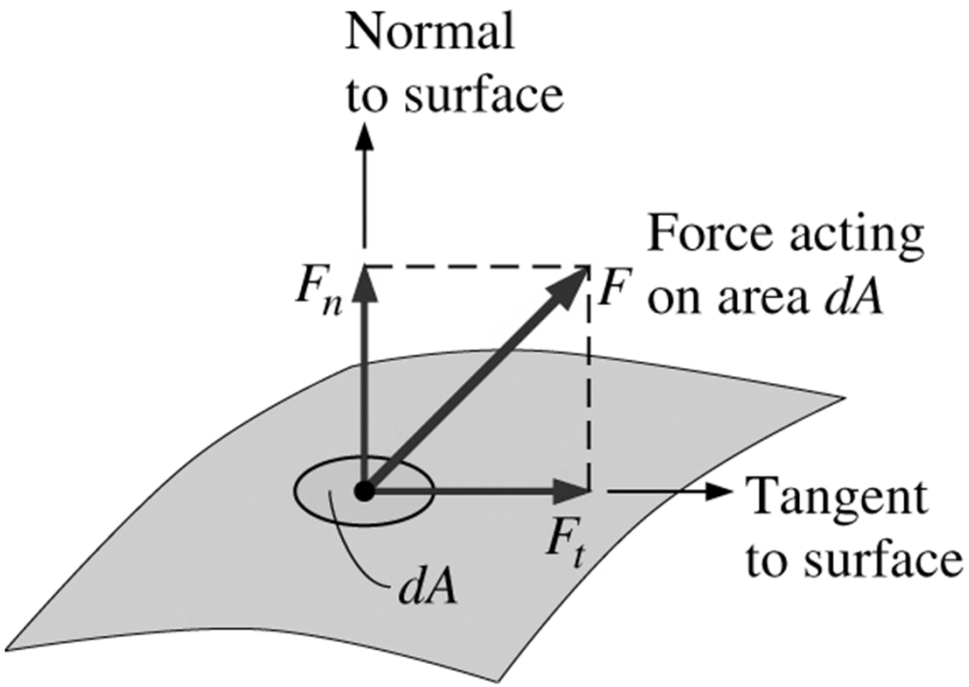
در سیال ساکن، فقط مولفه عمودی تنش وجود دارد که فشار نامیده می شود.

$$Normal\ stress: \sigma = \frac{F_n}{dA}$$

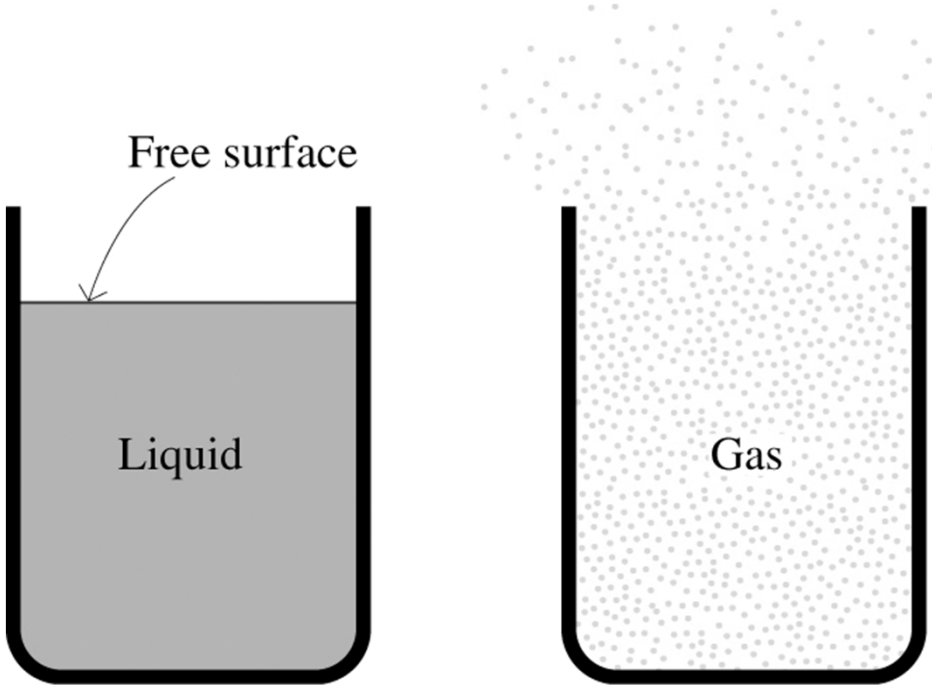
- ۲) مولفه مماسی: تنش برشی

در سیالی که شتاب ندارد، تنش برشی وجود نخواهد داشت.

$$Shear\ stress: \tau = \frac{F_t}{dA}$$

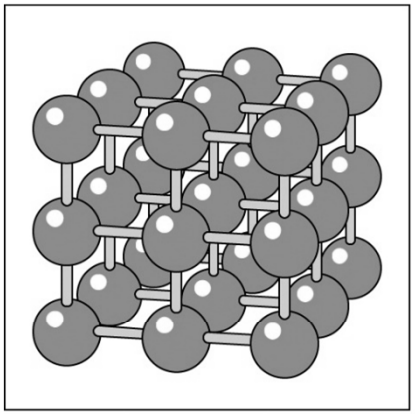


سیال چیست؟



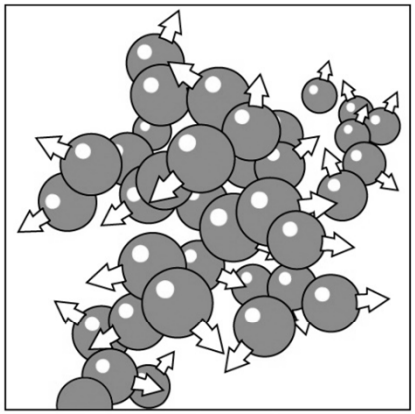
- یک مایع شکل ظرفی را که در آن ریخته شده است به خود می گیرد و در حضور نیروی جاذبه، سطح آزاد تشکیل می دهد.
- گاز تا آنجایی منبسط می شود که با دیواره های ظرف برخورد کند و کل فضای موجود را پر خواهد کرد. گازها نمی توانند سطح آزاد تشکیل دهند.
- تفاوت اساسی بین مایع و گاز در نیروهای چسبندگی بین مولکولی آنها است.

سیال چیست؟



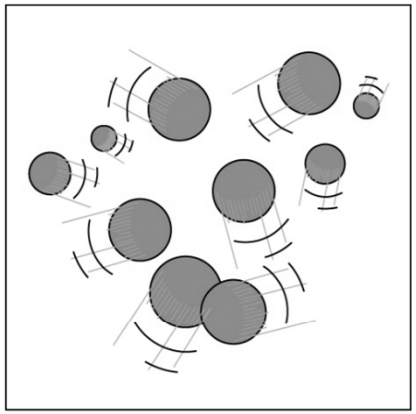
(a)

جامد



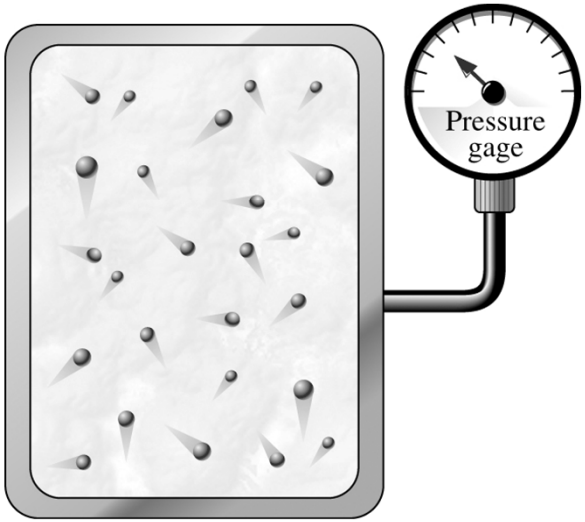
(b)

مایع

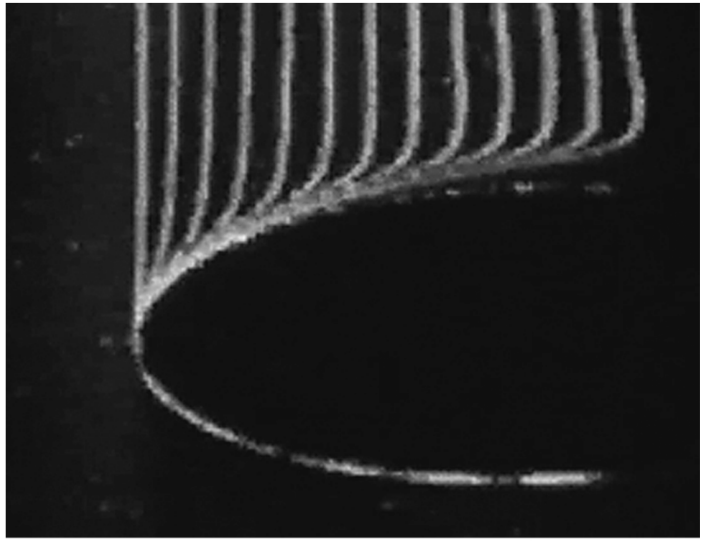


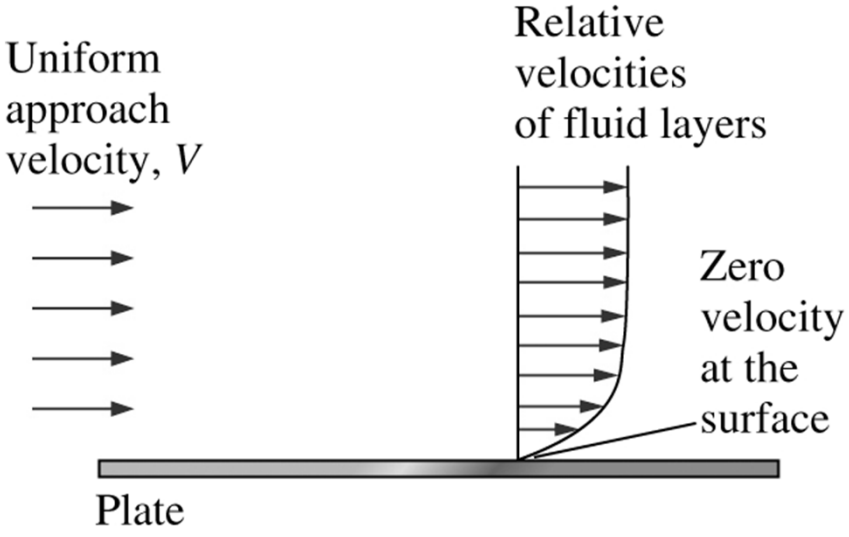
(c)

گاز



شرط عدم لغزش





- شرط عدم لغزش:
- یک سیال در تماس مستقیم با یک جسم جامد به دلیل اثرات لزجت سیال به سطح آن می چسبد.
- در اثر این پدیده تنش برشی دیواره τ_w، درگ سطحی $D= \int \tau_w \, dA$ و لایه مرزی بوجود خواهد آمد.
- خاصیتی از سیال که شرط عدم لغزش را بوجود می آورد،لزجت (ویسکوزیته) نام دارد.

طبقه بندی جریان ها

- معادلات کلی حاکم بر سیالات (که در ادامه آنها را استخراج خواهیم کرد)، از نوع معادلات دیفرانسیل پاره ای بوده که توسط ناویر - استوکس استخراج شده اند و به معادلات N-S مشهورند.
  - قانون بقای جرم

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

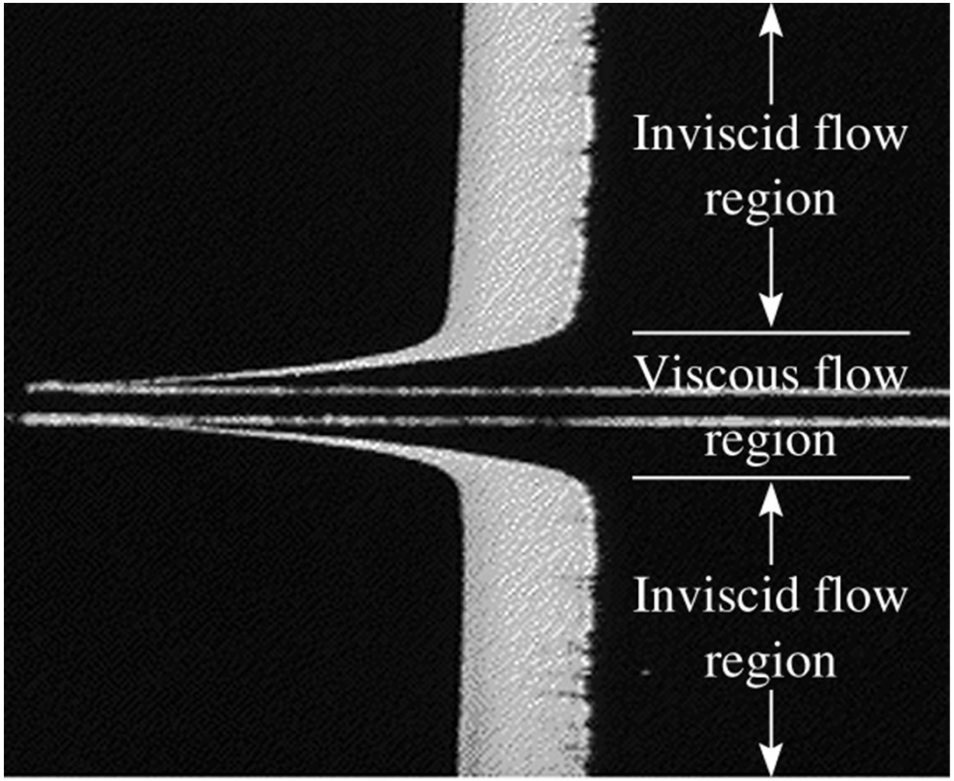
  - قانون بقای مومنتم

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla)\,\mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{U}$$

- به منظور حل ساده تر این معادلات پیچیده، جریان های سیال را دسته بندی میکنیم.

نواحی ویسکوز و غیر ویسکوز جریان

- نواحی که در آنها اثرات اصطکاکی اهمیت دارد نواحی ویسکوز نام دارند. این نواحی معمولاً در نزدیکی سطوح جامد هستند.
- نواحی که اثرات نیروهای اصطکاکی در مقایسه با نیروهای اینرسی یا نیروهای فشاری کمتر هستند را نواحی غیرلزج (inviscid) می نامیم

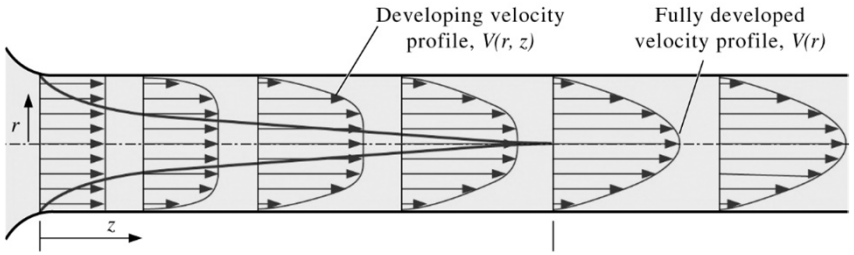


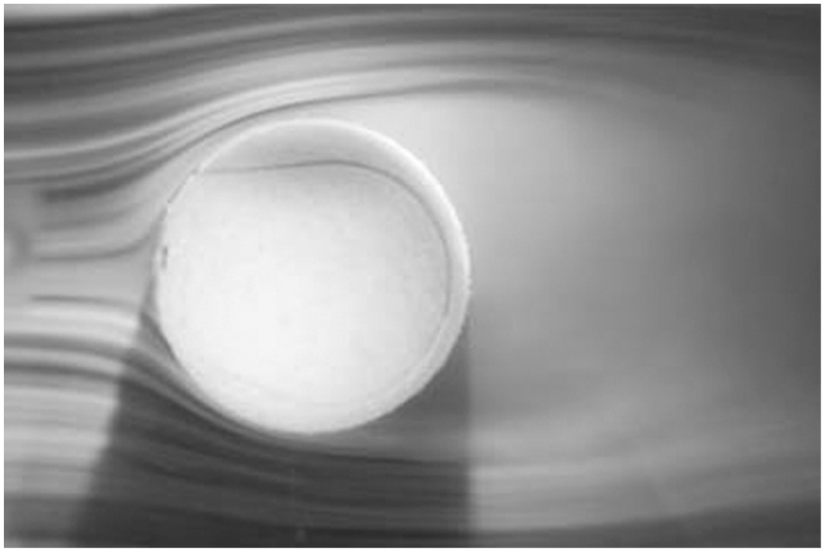
For inviscid flows:

$$\rho\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U}\cdot\nabla)\,\mathbf{U} = -\nabla p + \rho\mathbf{g} + \mu\cancelto{0}{\nabla^2\mathbf{U}}$$

جریان های داخلی و خارجی

- در جریان های داخلی بیشتر اثرات ویسکوزیته در سرتاسر جریان غالب است.
- برای جریان های خارجی اثرات ویسکوزیته به لایه مرزی و ویک محدود می شود.





ویک (Wake) به ناحیه ای از جریان پشت جسم در معرض جریان گفته می شود که در آن گردابه ها و جریان چرخشی وجود دارد.

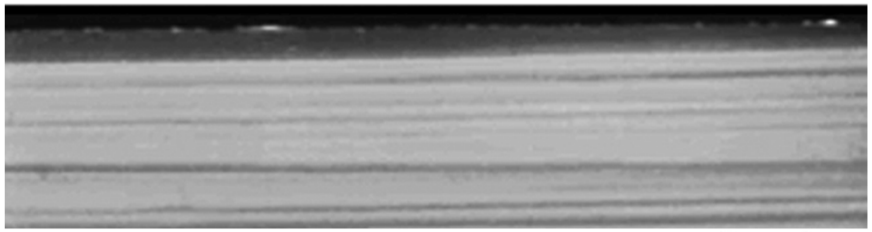
جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر

- جریانی را تراکم ناپذیر می نامیم که چگالی آن تقریباً ثابت باقی بماند
- جریان های مایعات معمولاً تراکم ناپذیر هستند.
- جریان های گازی اغلب تراکم پذیر هستند مخصوصاً در سرعت های زیاد
- عدد ماخ $Ma = V/c$ یک نشانگر خوب برای بررسی میزان اهمیت اثرات تراکم پذیری است:

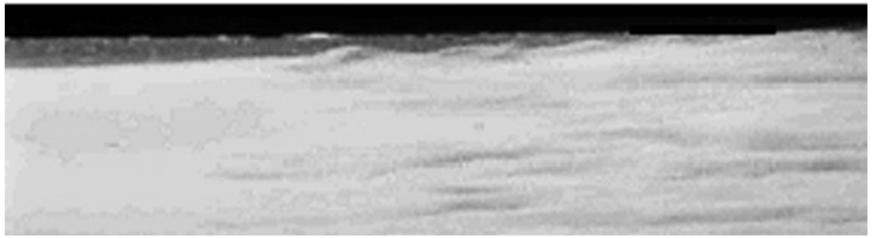
  - $Ma < 0.3$: تراکم ناپذیر
  - $Ma < 1$: فرو صوتی
  - $Ma = 1$: صوتی
  - $Ma > 1$: فرا صوتی
  - $Ma >> 1$: مافوق صوت

جریان آرام و جریان مغشوش

- آرام: حرکت سیال به صورت خیلی منظم با خطوط جریان هموار.
- مغشوش: حرکت سیال خیلی نامنظم که با نوسانات سرعت و گردابه ها متمایز می گردد.
- انتقالی: جریانی که شامل هر دو نوع نواحی آرام و مغشوش است.
- عدد رینولدز یک پارامتر کلیدی در تعیین آرام بودن و یا مغشوش بودن جریان است.
- $Re = \rho UL/\mu$



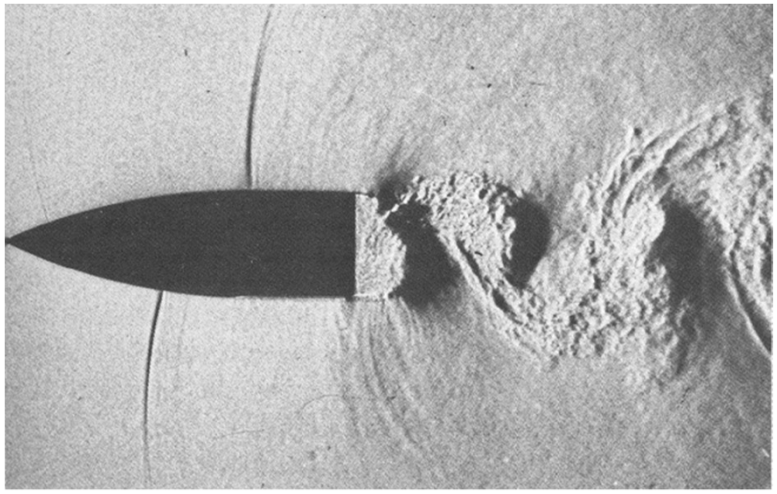
Laminar

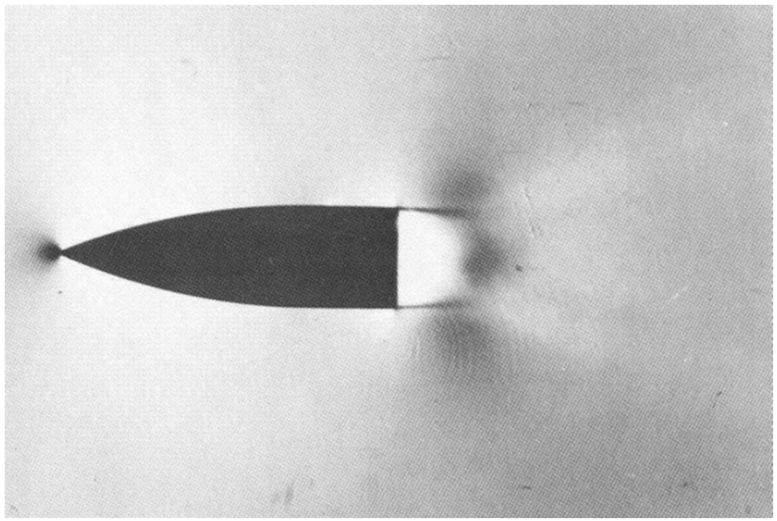


Transitional

Turbulent

جریان پایا و جریان ناپایا





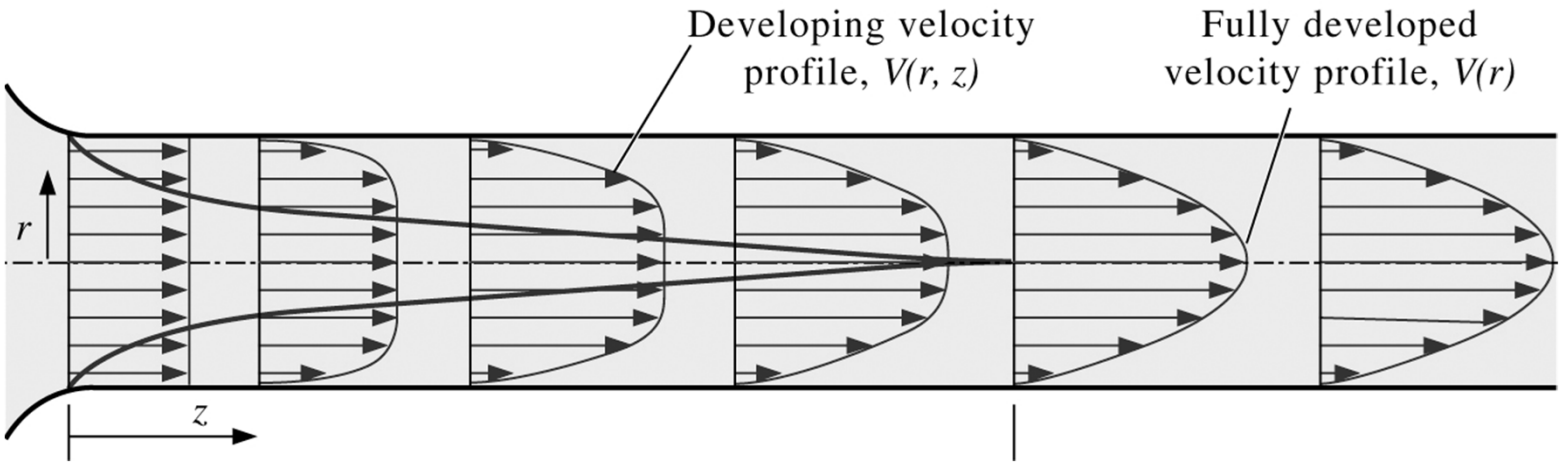
- پایا (Steady) بودن جریان این مفهوم را می رساند که تغییری در یک نقطه با زمان رخ نمی دهد و ترم گذرا (Transient) در معادلات ناویر استوکس صفر است.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

- ناپایا بودن درست مخالف پایا بودن است.
- واژه گذرا معمولاً یک جریان در حال شروع و یا توسعه را توصیف می کند.
- واژه پریودیک به جریاناتی اطلاق می گردد که حول یک مقدار میانگین نوسان می کنند.
- جریان ناپایا ممکن است با میانگین گیری زمانی پایا در نظر گرفته شود.

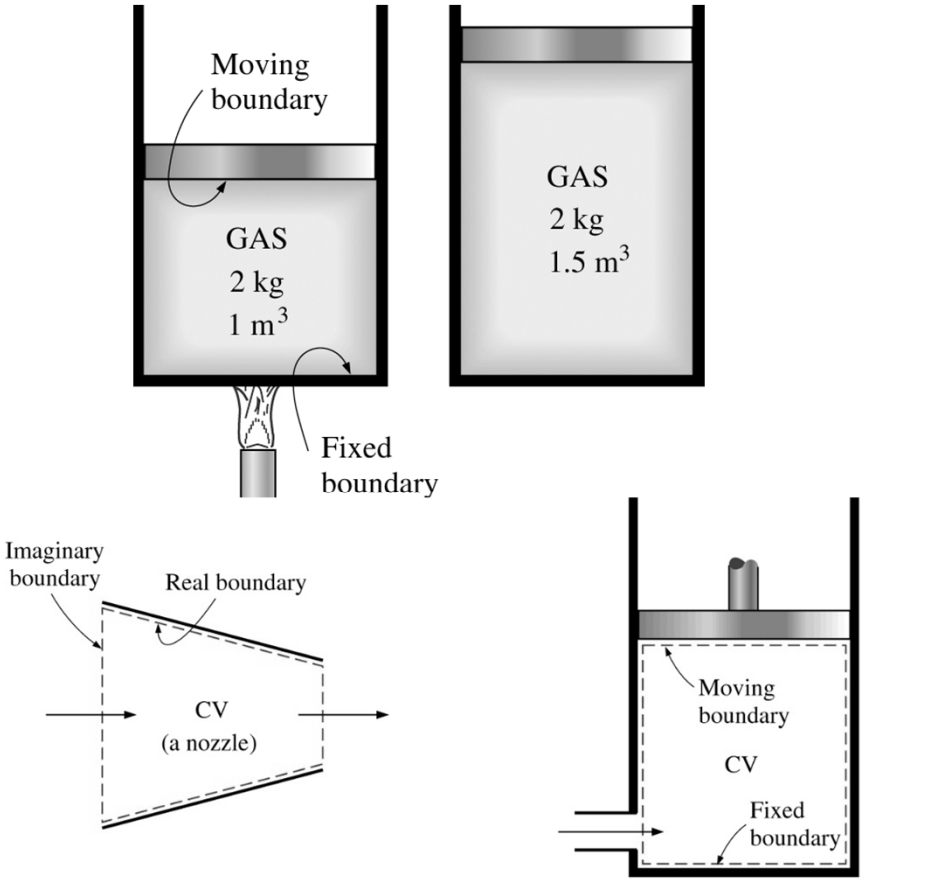
جریان های یک، دو و سه بعدی

- معادلات N-S معادلات برداری سه بعدی هستند.
- بردار سرعت: $\mathbf{U}(x,y,z,t)= [U_x(x,y,z,t),U_y(x,y,z,t),U_z(x,y,z,t)]$
- جریانات با بعد کمتر پیچیدگی تحلیل و محاسبات را کاهش می دهند.
- تغییر در سیستم مختصات (استوانه ای، کروی و ...) ممکن است سبب کاهش بعد جریان شود.
- مثال: برای جریانات کاملاً توسعه یافته درون لوله سرعت تابعی از شعاع و فشار تابعی از مختصه z در امتداد طول لوله است.



سیستم و حجم کنترل

- یک سیستم به مقداری از ماده و یا ناحیه ای در فضا که برای مطالعه انتخاب می شود گفته می شود
- یک سیستم بسته شامل مقدار ثابتی از جرم است.
- یک سیستم باز یا **"حجم کنترل"** به طور مناسب در فضا انتخاب می شود.
- در ادامه درس مکانیک سیالات در خصوص حجم کنترل بیشتر صحبت خواهیم کرد.



(*a*) A control volume (CV) with real and imaginary boundaries

(*b*) A control volume (CV) with fixed and moving boundaries

دیمانسیون و واحدها

- هر کمیت فیزیکی را می توان به وسیله **دیمانسیون** (**Dimension**) مشخص نمود.
- معیار اندازه گیری که به ابعاد نسبت داده می شود را **واحد** (**Unit**) می نامیم.
- ابعاد اصلی شامل جرم M ، طول L ، زمان T و دما Θ می باشند.
- ابعاد فرعی می تواند بر حسب ابعاد اصلی بیان شود و شامل سرعت V ، انرژی E و حجم V می باشند.
- سیستم یکا شامل سیستم انگلیسی (BG) و متریک SI (International System) است. ما از هر دو استفاده می کنیم.
- **برابری واحدها (همگن بودن یکاها)** ابزاری ارزشمند در بررسی خطاها می باشد. باید مطمئن باشیم که هر ترم در یک معادله واحد مشابهی دارد.
- **نسبت های تبدیل واحد** در تبدیل واحدها مفید هستند. از آنها استفاده می کنیم.

دیمانسیون و واحدها

Primary dimension	SI unit	BG unit	Conversion factor
Mass $\{M\}$	Kilogram (kg)	Slug	1 slug = 14.5939 kg
Length $\{L\}$	Meter (m)	Foot (ft)	1 ft = 0.3048 m
Time $\{T\}$	Second (s)	Second (s)	1 s = 1 s
Temperature $\{\Theta\}$	Kelvin (K)	Rankine (°R)	1 K = 1.8°R

Secondary dimension	SI unit	BG unit	Conversion factor
Area $\{L^2\}$	m^2	ft^2	1 m^2 = 10.764 ft^2
Volume $\{L^3\}$	m^3	ft^3	1 m^3 = 35.315 ft^3
Velocity $\{LT^{-1}\}$	m/s	ft/s	1 ft/s = 0.3048 m/s
Acceleration $\{LT^{-2}\}$	m/s^2	ft/s^2	1 ft/s^2 = 0.3048 m/s^2
Pressure or stress $\{ML^{-1}T^{-2}\}$	Pa = N/m^2	lbf/ft^2	1 lbf/ft^2 = 47.88 Pa
Angular velocity $\{T^{-1}\}$	s^{-1}	s^{-1}	1 s^{-1} = 1 s^{-1}
Energy, heat, work $\{ML^2T^{-2}\}$	J = N · m	ft · lbf	1 ft · lbf = 1.3558 J
Power $\{ML^2T^{-3}\}$	W = J/s	ft · lbf/s	1 ft · lbf/s = 1.3558 W
Density $\{ML^{-3}\}$	kg/m^3	$slugs/ft^3$	1 $slug/ft^3$ = 515.4 kg/m^3
Viscosity $\{ML^{-1}T^{-1}\}$	kg/(m · s)	slugs/(ft · s)	1 slug/(ft · s) = 47.88 kg/(m · s)
Specific heat $\{L^2T^{-2}\Theta^{-1}\}$	$m^2/(s^2 \cdot K)$	$ft^2/(s^2 \cdot °R)$	1 $m^2/(s^2 \cdot K)$ = 5.980 $ft^2/(s^2 \cdot °R)$

Accuracy, Precision, and Significant Digits

Engineers must be aware of three principals that govern the proper use of numbers.

1. ***Accuracy error :*** Value of one reading minus the true value. Closeness of the average reading to the true value. Generally associated with repeatable, fixed errors.
2. ***Precision error :*** Value of one reading minus the average of readings. Is a measure of the fineness of resolution and repeatability of the instrument. Generally associated with random errors.
3. ***Significant digits :*** Digits that are relevant and meaningful. When performing calculations, the final result is only as precise as the least precise parameter in the problem. When the number of significant digits is unknown, the accepted standard is 3. Use 3 in all homework and exams.