سیستم و حجم کنترل
مشخصات سیستم
مقدمه
مفاهیم و تعاریف اصلی
ترمودینامیک
فرآیند و چرخه
قانون صفرم
فشار

۱ – مقدمه

•ترمودینامیک و انرژی

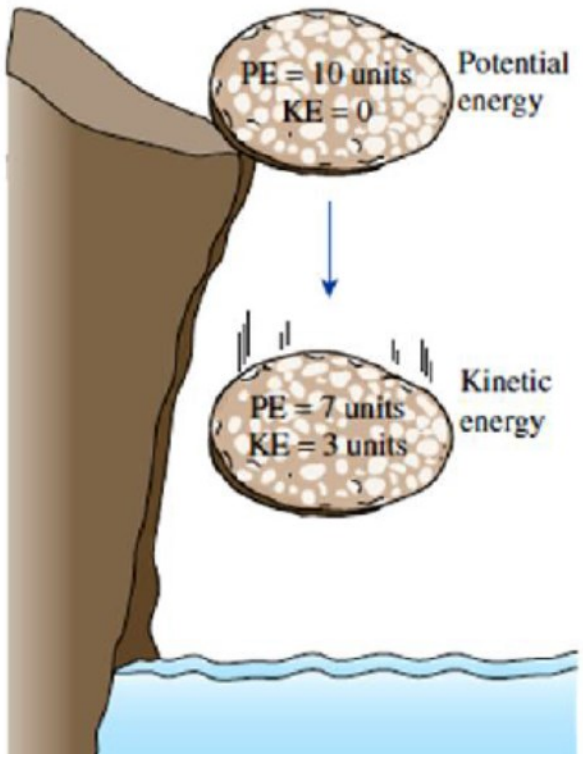
انرژی یعنی توانائی
برای انجام تغییرات.

•ترمودینامیک همان علم انرژی است.

•تعریف دقیق انرژی دشوار است.

•اصل پایستاری انرژی بیان می‌کند که انرژی نمی‌تواند خلق یا نابود شود، بلکه در یک برهم‌کنش می‌تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل گردد.

•در این فرآیند، مقدار کل انرژی ثابت باقی می‌ماند.

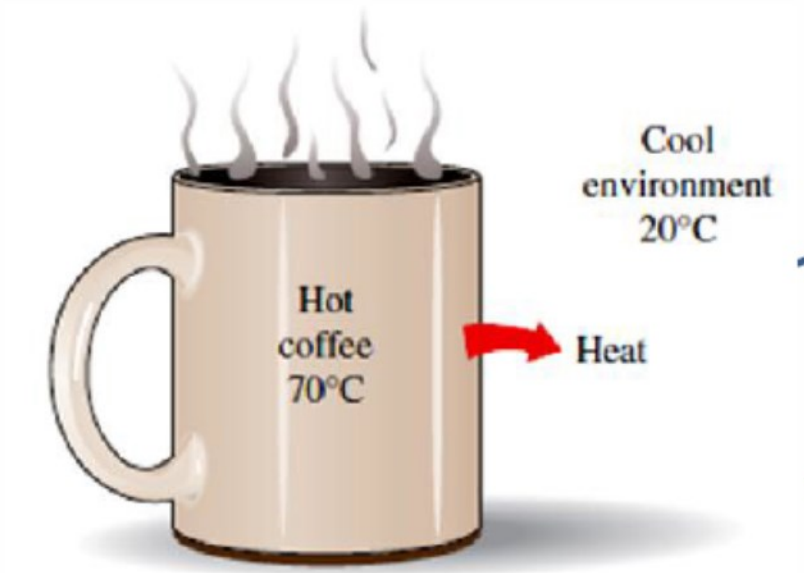


تبدیل انرژی پتانسیل و جنبشی در طی
یک فرآیند.

۱- مقدمه

•ترمودینامیک و انرژی (ادامه)

•قانون اول و دوم ترمودینامیک، بطور همزمان توصیف کننده‌ی یک فرآیند ترمودینامیکی می‌باشد.



بر اساس قانون اول: مقدار انرژی که لیوان داغ از دست داده است دقیقاً با مقدار انرژی که محیط دریافت کرده است برابر می‌باشد.

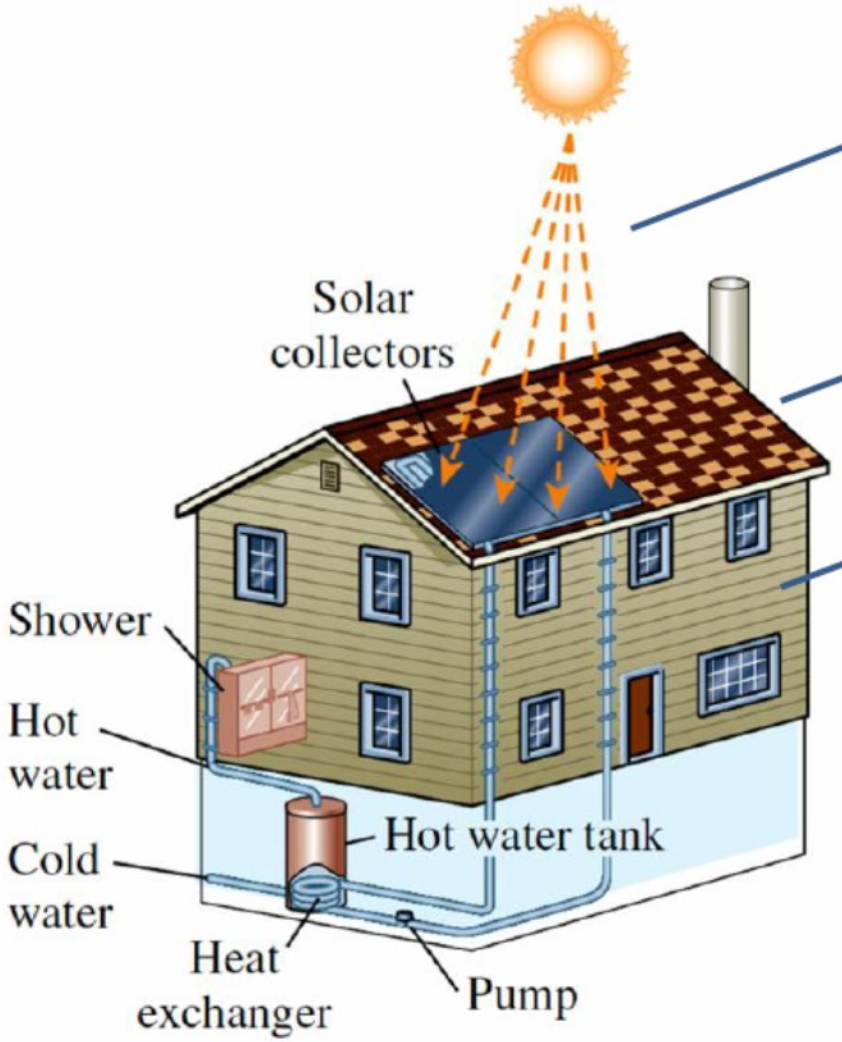
بر اساس قانون دوم: جهت انتقال انرژی تنها از لیوان داغ به محیط سرد می‌باشد.

•مشخصات عمومی یک ماده ناشی از خواص مولکولی آن است. در اینجا تنها خواص قابل مشاهده و اندازه‌گیری که به آن ترمودینامیک کلاسیک گفته می‌شود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

•در مقابل، می‌توان از علم ترمودینامیک آماری نیز نام برد.

•کاربرد ترمودینامیک

•هر فعالیت مهندسی که با برهم‌کنش بین انرژی و ماده سر و کار دارد را می‌توان با علم ترمودینامیک مرتبط دانست.



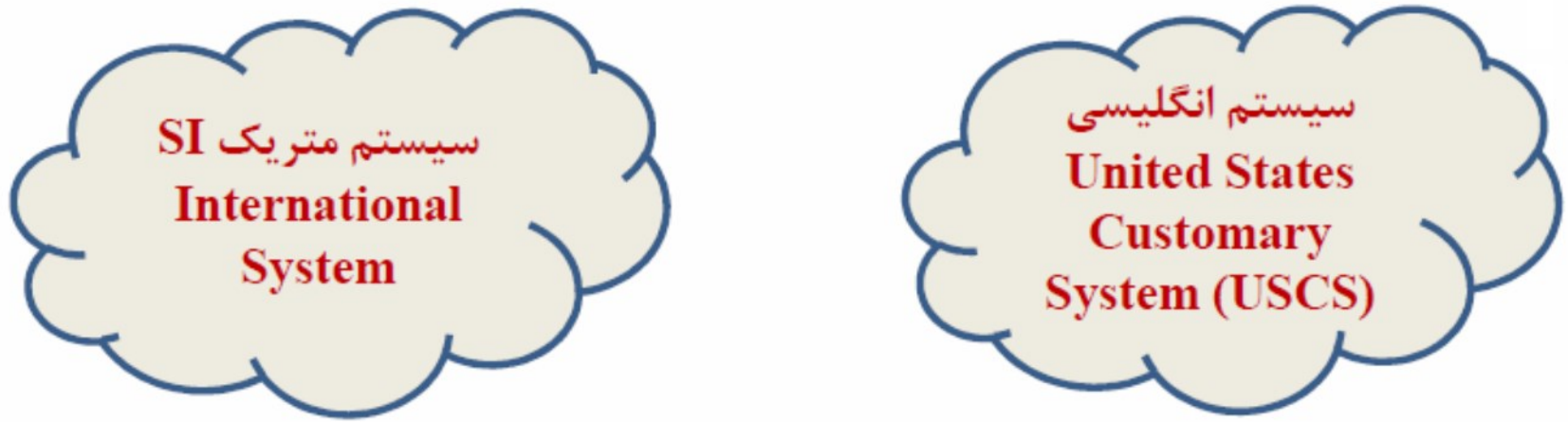
سیستم گرمایش ساختمان با استفاده از نور خورشید.

کنترل انتقال گرما از ساختمان

سیستم‌های تهویه مطبوع

•آحاد و ابعاد

- هر کمیت فیزیکی را می‌توان با ابعاد (Dimension) مشخص نمود.
- ابعاد اصلی شامل جرم (m)، طول (L)، زمان (t) و دما (T) می‌باشد.
- با استفاده از این ابعاد می‌توان متغیرهای دیگری را بعنوان ابعاد ثانویه تعریف نمود.
- دو سیستم رایج آحاد در این درس مورد بررسی قرار می‌گیرد.



- در سیستم انگلیسی، آحاد مختلف بطور اختیاری به هم مربوط می‌گردند. (1ft=12in)

•آحاد و ابعاد (ادامه)

•هفت ابعاد اصلی و آحاد آنها در جدول زیر ارائه شده‌اند:

Dimension	Unit
Length	meter (m)
Mass	kilogram (kg)
Time	second (s)
Temperature	kelvin (K)
Electric current	ampere (A)
Amount of light	candela (cd)
Amount of matter	mole (mol)

پیشوندهای استاندارد در سیستم SI

$$1\ \text{lbm} = 0.45359\ \text{kg}$$

$$1\ \text{ft} = 0.3048\ \text{m}$$

Standard prefixes in SI units

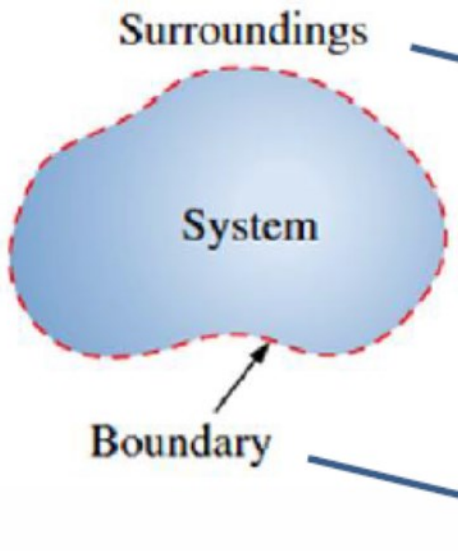
Multiple	Prefix
10^{24}	yotta, Y
10^{21}	zetta, Z
10^{18}	exa, E
10^{15}	peta, P
10^{12}	tera, T
10^{9}	giga, G
10^{6}	mega, M
10^{3}	kilo, k
10^{2}	hecto, h
10^{1}	deka, da
10^{-1}	deci, d
10^{-2}	centi, c
10^{-3}	milli, m
10^{-6}	micro, μ
10^{-9}	nano, n
10^{-12}	pico, p
10^{-15}	femto, f
10^{-18}	atto, a
10^{-21}	zepto, z
10^{-24}	yocto, y

۲- سیستم و حجم کنترل

•تعریف

•سیستم، کمیتی از ماده یا ناحیه‌ای از فضاست که برای بررسی انتخاب می‌گردد.

quantity of matter or a region in space chosen for study



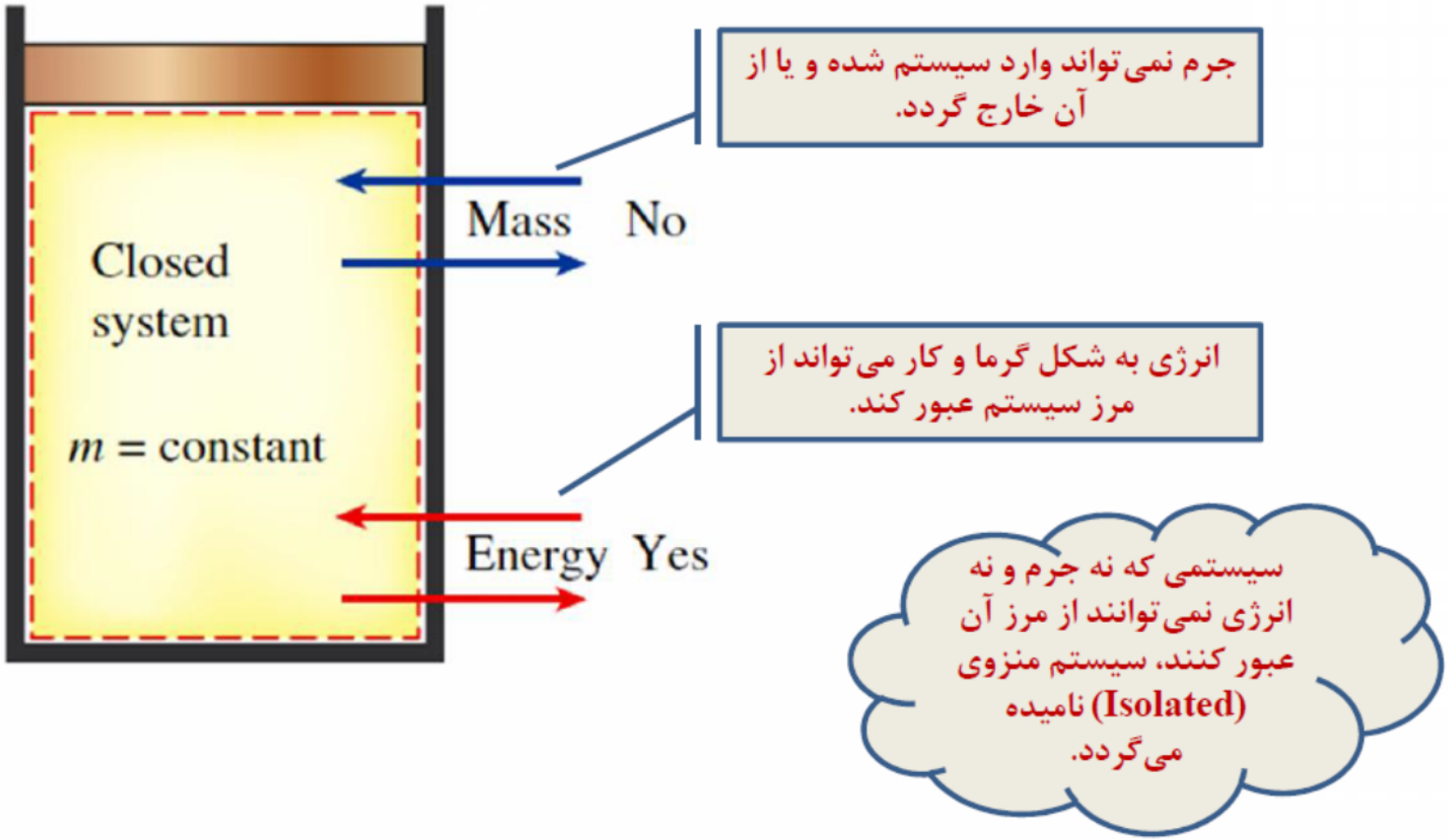
به جرم یا ناحیه‌ی اطراف سیستم، محیط می‌گویند.

مرز سیستم (که می‌تواند ثابت یا متحرک باشد.)

•تعریف (ادامه)

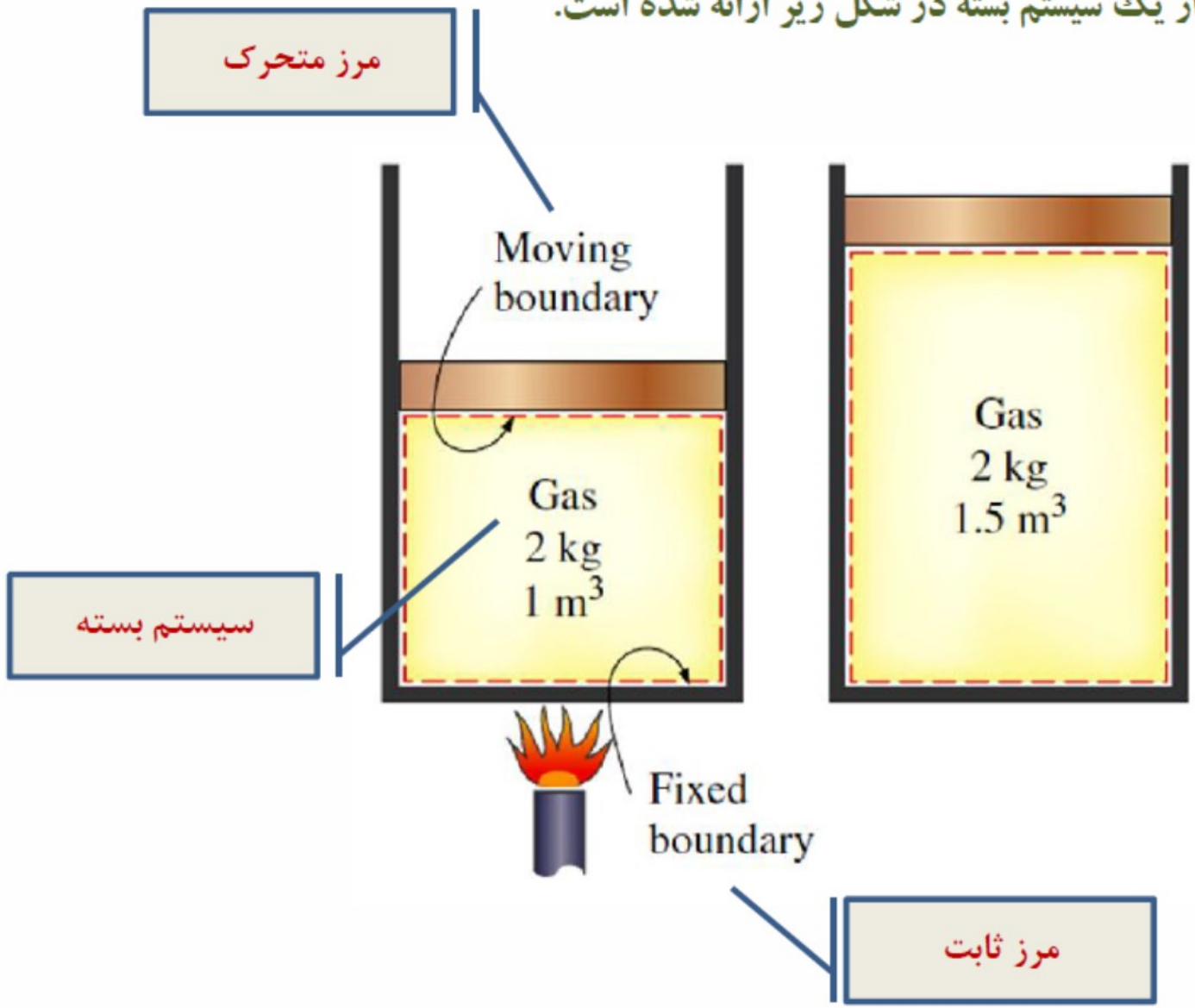
•اگر جرم ثابتی برای مطالعه انتخاب گردد، به آن سیستم بسته (جرم کنترل) می‌گویند.

•اگر حجم ثابتی برای این کار انتخاب شود، به آن سیستم باز می‌گویند.



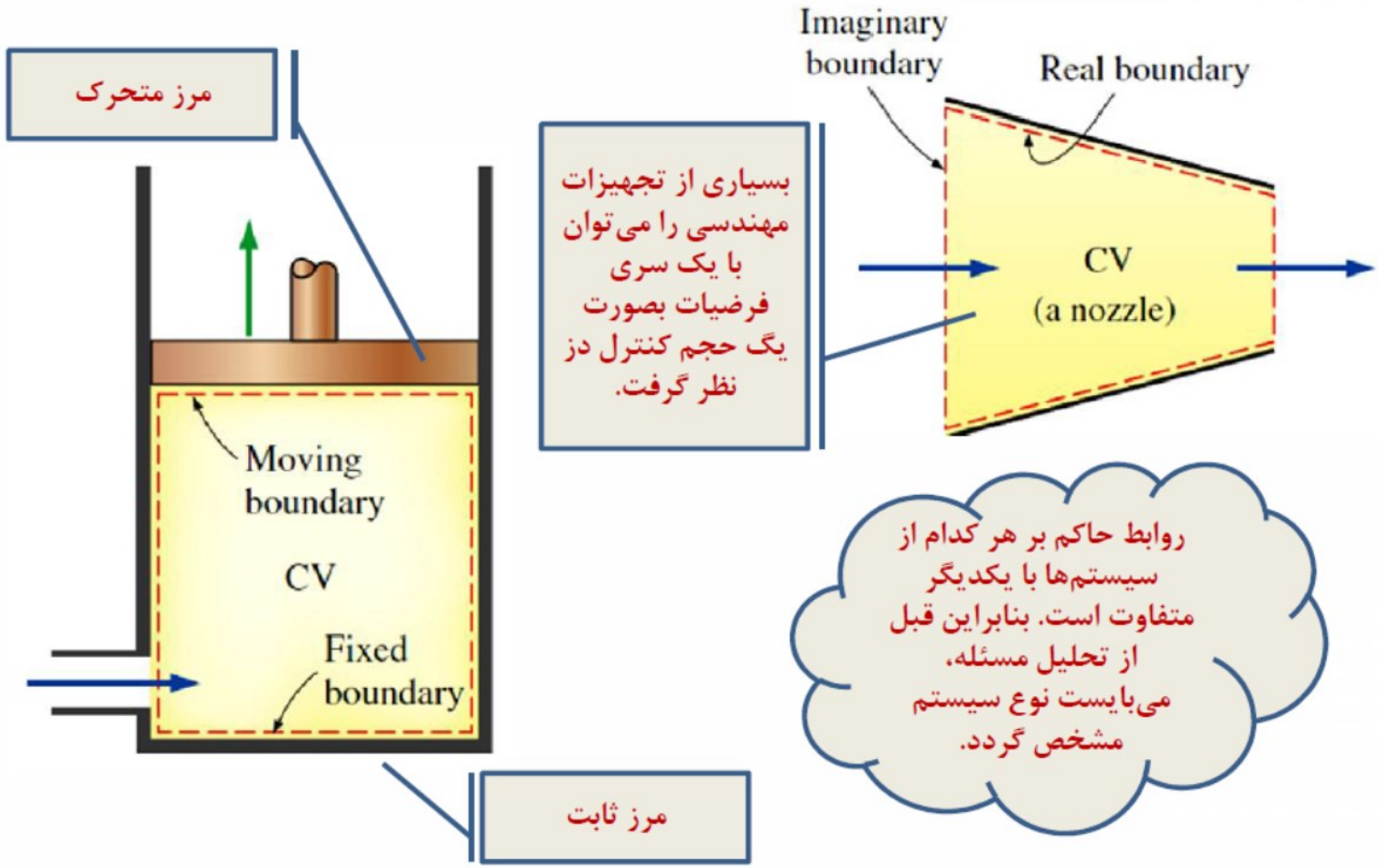
•تعریف (ادامه)

•نمونه‌ای از یک سیستم بسته در شکل زیر ارائه شده است.



•تعریف (ادامه)

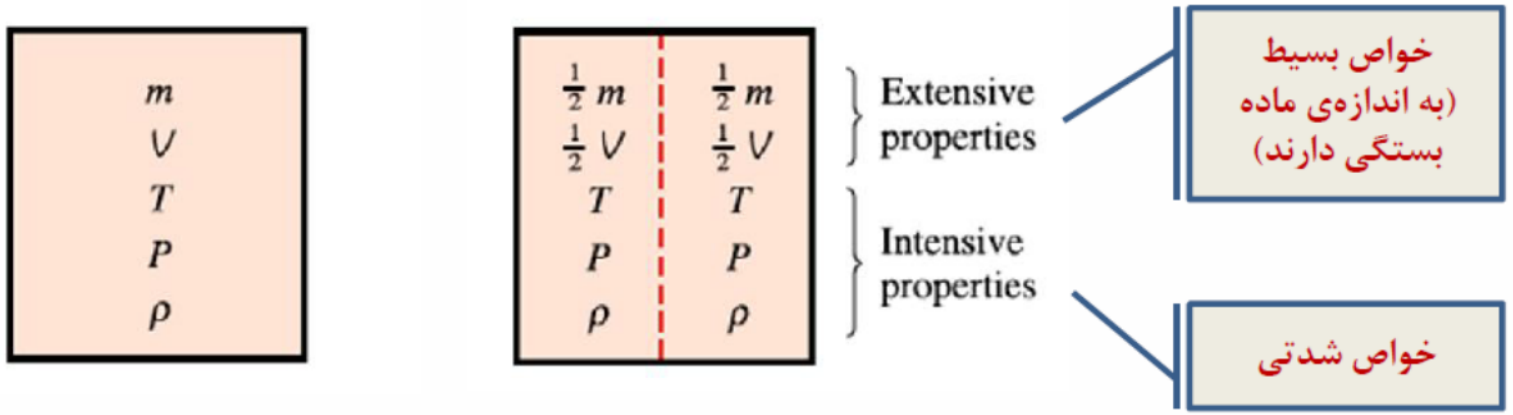
•نمونه‌ای از یک سیستم باز (حجم کنترل) در شکل زیر ارائه شده است.



۳- مشخصات (خواص) سیستم

- تعریف

- هریک از مشخصه‌های سیستم را یک خاصیت (property) می‌گویند.
- بعنوان مثال می‌توان به فشار، دما، حجم و جرم بعنوان خواص اصلی اشاره نمود.
- مشخصاتی از قبیل ویسکوزیته، رسانائی گرمائی، مقاومت الکتریکی، سرعت و ارتفاع نیز می‌توانند بعنوان خاصیت یک سیستم مطرح شوند.
- برخی از خواص سیستم مستقل هستند و برخی دیگر را می‌توان بر اساس خواص مستقل نوشت. (مانند چگالی)



خواص بسیط برای جرم واحد را خواص مخصوص (specific properties) می‌گویند و آنها را به حروف کوچک نشان می‌دهند.

specific volume ($v = V/m$)

•چگالی و گرانش مخصوص (Specific gravity)

•چگالی یعنی جرم به ازای واحد حجم:

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

•و عکس این موضوع بعنوان حجم مخصوص تعریف می‌گردد:

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

•چگالی یک ماده، معمولاً به دما و فشار بستگی دارد.

•گرانش مخصوص را چگالی نسبی نیز می‌نامند و به معنی نسبت چگالی یک ماده به چگالی ماده‌ی مرجع (آب) است:

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

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

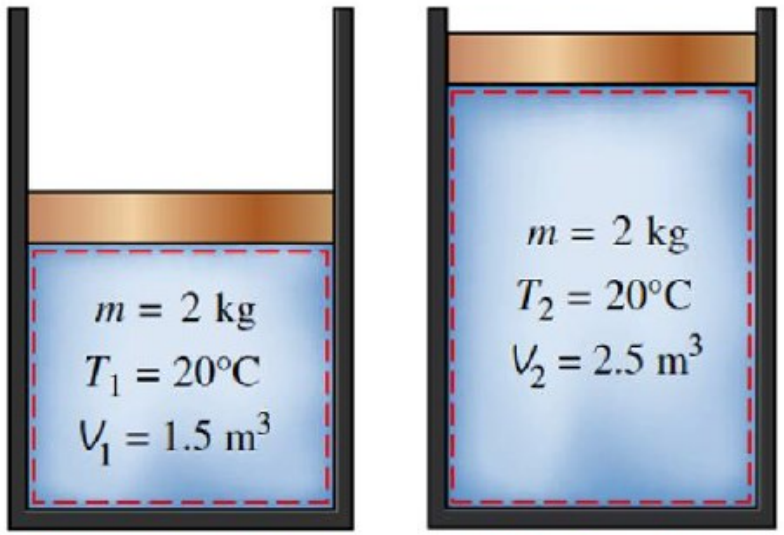
چگالی نسبی برخی موارد در دمای صفر درجه‌ی سانتی‌گراد.

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

وزن واحد حجم یک ماده را وزن مخصوص (Specific weight) می‌نامند.

•حالت و تعادل (STATE AND EQUILIBRIUM)

•اگر هیچ تغییری در متغیرهای یک سیستم مشاهده نگردد، تمام خواص آن بدون تغییر باقی می‌ماند. این شرایط برای یک ماده، حالت (state) نامیده می‌شود.



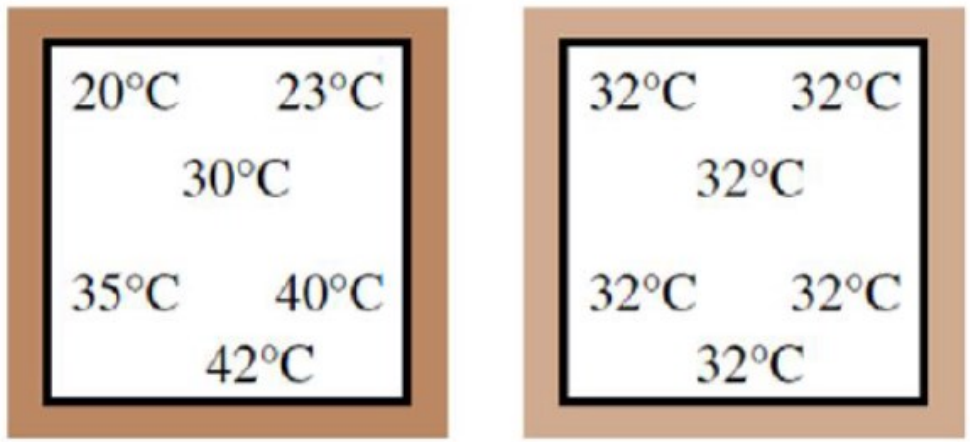
(*a*) State 1 (*b*) State 2

حالت یک با خواص ثابت.

اگر یکی از خواص تغییر کند، حالت نیز دچار تغییر می‌شود.

•حالت و تعادل (ادامه)

- •اگر سیستمی دارای تعادل باشد، در صورت ایزوله شدن، بدون تغییر باقی خواهد ماند.
- •تعادل گرمائی به این معنی است که دما در سرتاسر ماده یکسان باشد.
- •اگر همین حالت برای فشار حاکم باشد، سیستم در تعادل مکانیکی است.
- •همچنین سیستم می‌تواند در تعادل فازی باشد.



(*a*) Before (*b*) After

سیستم بسته‌ای که به تعادل گرمایی می‌رسد.

•اصل حالت (State postulate)

•برای تعیین حالت یک ماده نیازی به دانستن تمام خواص آن نیست.

حالت هر سیستم تراکم‌پذیر ساده با دو خاصیت شدتی مستقل بطور کامل مشخص می‌گردد.

از اثرات الکتریکی، مغناطیسی، گرانشی، حرکتی و کشش سطحی بتوان صرفنظر کرد.

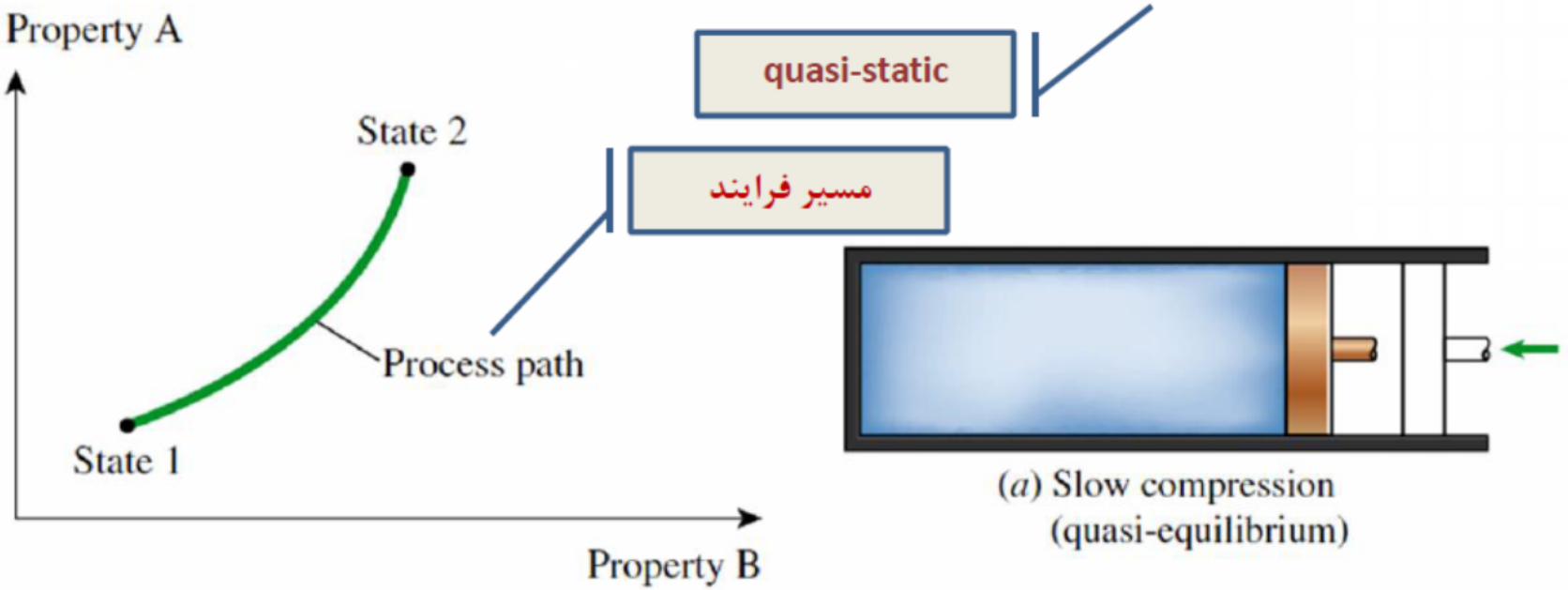
•هرگاه بتوان یکی از خواص را تغییر داد در حالی که دیگری ثابت بماند، این دو خاصیت از هم مستقل هستند.

•دما و فشار برای سیستم‌های تک‌فاز خواص مستقل از هم هستند.

•اما برای سیستم‌های چندفازی خواص وابسته‌اند.

٤- فرآیند و چرخه (Process and cycle)

- تعریف
  - هرگونه تغییر سیستم از یک حالت تعادلی به حالتی دیگر را فرآیند می‌گویند.
  - فرآیند شبه‌تعادلی به فرآیندی گفته می‌شود که بسیار زیاد به حالت تعادل نزدیک است.

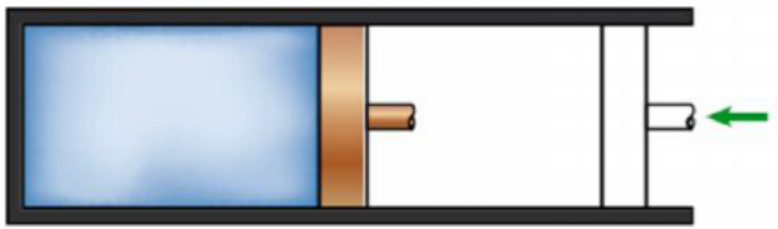


quasi-static

مسیر فرایند

(*a*) Slow compression (quasi-equilibrium)

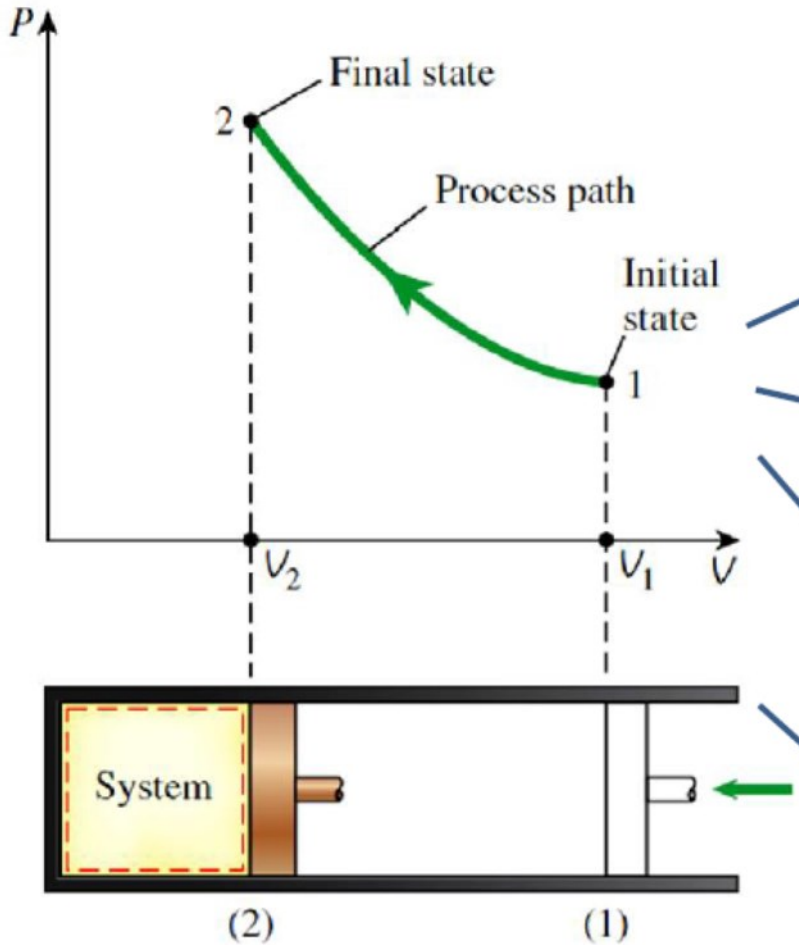
اگر فرض شود که یک فرآیند به‌اندازه‌ی کافی آرام صورت پذیرد، می‌توان آن را شبه‌تعادلی دانست.



(*b*) Very fast compression (nonquasi-equilibrium)

٤- فرآیند و چرخه (Process and cycle)

- فرآیندهای شبه‌تعادلی
  - شبه‌تعادلی فرض نمودن فرآیندها، تحلیل آنها را ساده‌تر می‌کند.
  - از طرفی، چنین فرضی خطای بسیار کمی را وارد محاسبات می‌کند.
- نمودارهای وابسته به یک فرآیند



با استفاده از خواص ترمودینامیکی می‌توان یک فرآیند را به استفاده از یک نمودار توصیف نمود.

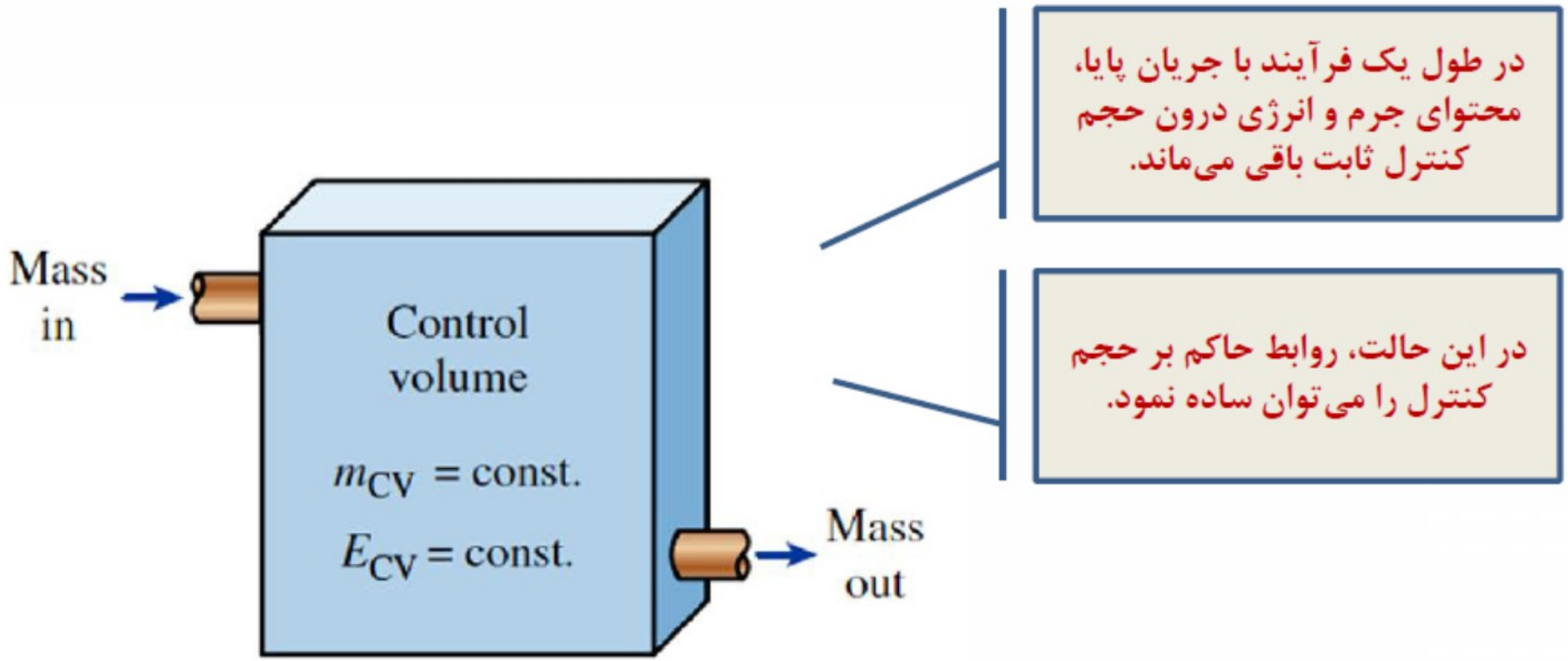
مسیر فرآیند، مجموعه‌ای از حالت‌های تعادلی که سیستم از آنها می‌گذرد را نشان می‌دهد.

اگر یک خاصیت در فرآیند ثابت بماند برای آن از واژه‌ی تک (iso) استفاده می‌کنند. مثلاً فرآیند هم‌دما (isothermal)

اگر یک سیستم در انتهای فرآیند به نقطه‌ی اولیه‌ی خود بازگردد به این فرآیند یک چرخه می‌گویند.

•فرآیندهای با جریان پایا (steady-flow process)

- •کلمه‌ی پایا و یکنواخت (uniform) در تجهیزات مهندسی کاربرد بسیار زیادی دارند.
- •هنگامی می‌توان از واژه‌ی پایا استفاده نمود که در مشخصات فرآیند، تغییری با زمان رخ ندهد.
- •جریان‌های غیرپایا یا گذرا (unsteady) در نقطه مقابل جریان‌های پایا قرار دارند.
- •بسیاری از تجهیزات مهندسی را می‌توان با جریان پایا در نظر گرفت.



۵- دما و قانون صفرم ترمودینامیک

- مقدمه
  - دما معیاری برای تشخیص سردی و گرمی مواد است.
  - با این حال ارائه‌ی تعریفی دقیق برای آن دشوار است.
  - تغییر مشخصات مواد بر اساس دما می‌تواند معیاری برای اندازه‌گیری دقیق دما باشد.
  - همچنین می‌دانیم که هم‌دما بودن لازمه‌ی تعادل گرمایی می‌باشد.
- قانون صفرم ترمودینامیک
  - بر اساس این قانون، اگر دو جسم با جسم سومی در حال تعادل گرمایی باشند، آنگاه خود این دو جسم نیز دارای تعادل گرمایی هستند.

هرچند این اصل کمی بدیهی به نظر می‌رسد، نمی‌توان آن را بر اساس سایر قوانین ترمودینامیک استنتاج نمود.

۵- دما و قانون صفرم ترمودینامیک

•مقیاس‌های دما

- در سیستم SI از مقیاس سانتیگراد (که بعداً به نام سلسیوس نامگذاری شد) استفاده می‌شود.
- در مقیاس سلسیوس، به نقطه‌ی انجماد و تبخیر آب خالص در فشار یک اتمسفر به ترتیب مقادیر صفر و ۱۰۰ اختصاص داده شد.
- همین نقاط در مقیاس فارنهایت به ترتیب برابر ۳۲ و ۲۱۲ درجه‌ی فارنهایت در نظر گرفته می‌شود.
- مقیاس کلوین (K) به خواص ماده بستگی نداشته و بعنوان یک مقیاس مستقل معرفی می‌گردد.
- در سیستم انگلیسی نیز از مقیاس رانکین (R) استفاده می‌شود.
- برای یک گاز ایده‌آل، دما و فشار گاز دارای ارتباط خطی می‌باشند. از این خاصیت می‌توان برای ایجاد یک دماسنج گازی و تعیین دمای مطلق استفاده نمود.
- رابطه‌ی مقیاس کلوین وسلسیوس به این شکل ارائه می‌گردد:

$$T(\mathrm{K}) = T(^\circ\mathrm{C}) + 273.15$$

- چنین رابطه‌ای برای مقیاس رانکین و فارنهایت نیز وجود دارد:

$$T(\mathrm{R}) = T(^\circ\mathrm{F}) + 459.67$$

•مقیاس‌های دما (ادامه)

•همچنین مقیاس‌های دما در دو سیستم آحاد به‌شکل زیر با یکدیگر در ارتباط هستند:

$$T(\mathrm{R}) = 1.8T(\mathrm{K})$$

$$T(^\circ\mathrm{F}) = 1.8T(^\circ\mathrm{C}) + 32$$

•برای دو مقیاس کلوین و سلسیوس، اختلاف دما با یکدیگر برابر است:

$$\Delta T(\mathrm{K}) = \Delta T(^\circ\mathrm{C})$$

$$\Delta T(\mathrm{R}) = \Delta T(^\circ\mathrm{F})$$

•در مسائل ترمودینامیک، هرگاه اختلاف دما مطرح باشد، تفاوتی میان مقیاس کلوین و سانتیگراد وجود نخواهد داشت.

•اما در روابطی که از مقدار مطلق دما استفاده می‌شود می‌بایست مقیاس کلوین به‌کار گرفته شود.

٦- فشار

•تعریف

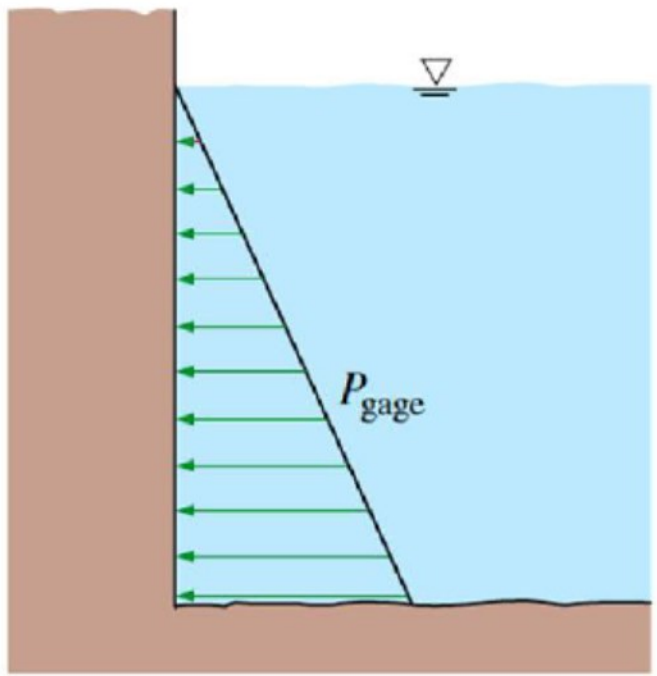
•فشار نیرویی است که از سوی سیال بر واحد سطح اعمال می‌گردد.

•موضوع فشار در سیالات معادل واژه‌ی تنش در مکانیک جامدات است.

•در سیال ساکن، فشار در هر نقطه در تمام جهت‌ها یکسان می‌باشد.

•در مکانیک سیالات آموختیم که فشار در یک سیال ساکن ناشی از وزن سیال بالای هر نقطه است.

•بنابراین در گازها می‌توان از تغییرات فشار در مسائل ترمودینامیکی صرفنظر کرد.



تغییرات فشار در یک سیال ساکن ناشی از وزن سیال

• فشار، همان نیروی وارد بر سطح است:

$$1\ \text{Pa} = 1\ \text{N/m}^2$$

• آحاد فشار دیگر عبارتست از:

$$1\ \text{bar} = 10^5\ \text{Pa} = 0.1\ \text{MPa} = 100\ \text{kPa}$$

$$1\ \text{atm} = 101{,}325\ \text{Pa} = 101.325\ \text{kPa} = 1.01325\ \text{bars}$$

• و در سیستم انگلیسی:

$$1\ \text{atm} = 14.696\ \text{psi}$$

• فشار واقعی در هر مکان را فشار مطلق (P_{abs}) گویند.

• معمولاً فشارسنج‌ها فشار اتمسفر (P_{atm}) را صفر نشان می‌دهند. بنابراین فشار خوانده شده در آنها فشار نسبی (P_{gage}) می‌باشد.

$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

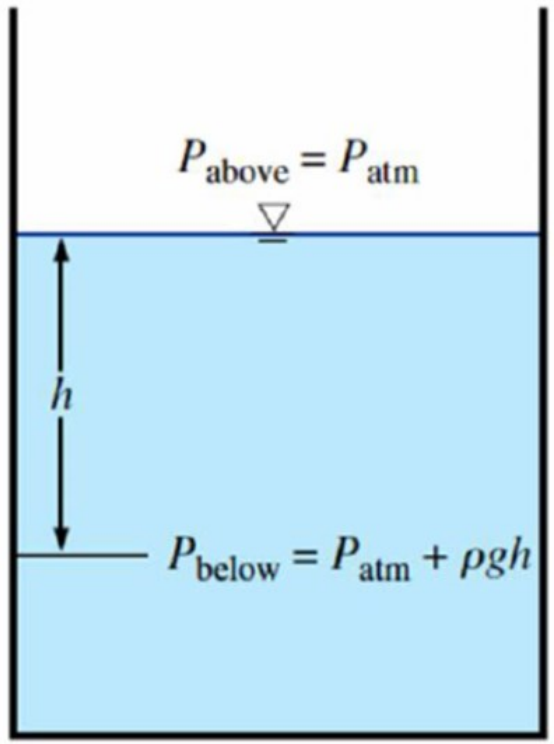
•تغییرات فشار با عمق

•در مکانیک سیالات اثبات می‌شود که تغییرات فشار در سیال ساکن با عمق به این شکل ارائه می‌گردد:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -\rho g\,\Delta z = -\gamma_s\,\Delta z$$

•اگر سطح آزاد یک مایع در معرض فشار هوا قرار گیرد، در هر عمقی (h) فشار برابر است با:

$$P = P_{\text{atm}} + \rho g h \quad \text{or} \quad P_{\text{gage}} = \rho g h$$

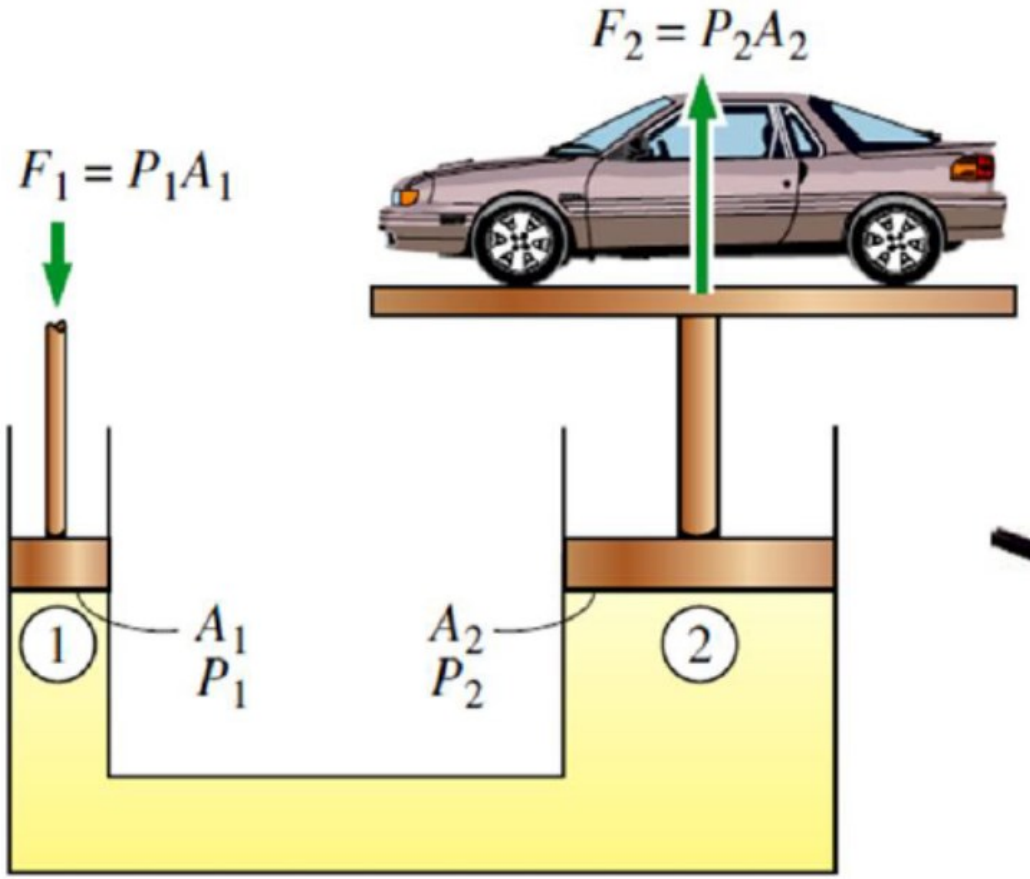


$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -\int_1^2 \rho g\,dz$$

•در یک سیال ساکن، فشار در راستای افق تغییر نمی‌کند.

$$P_1 = P_2 \quad \rightarrow \quad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \rightarrow \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

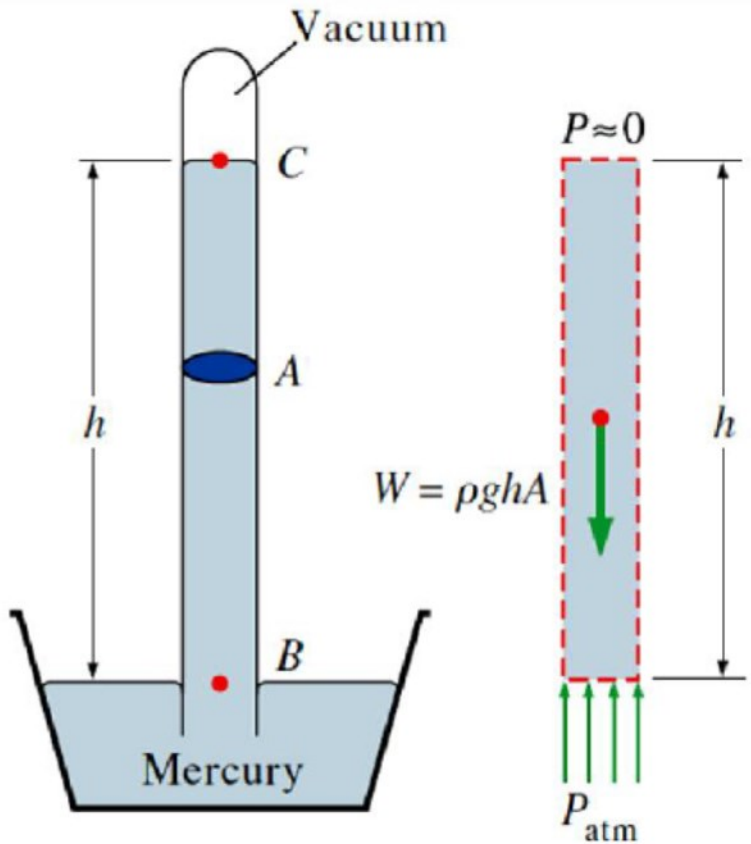


•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (بارومتر)

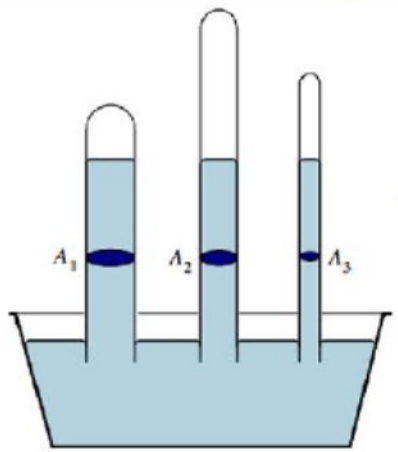
$$P_{atm} = \rho g h$$

•فشار در نقطه‌ی B با فشار اعمال شده در سطح آزاد برابر است.

•از آنجا که چگالی جیوه برابر است با ۱۳۵۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب و شتاب گرانش نیز ۹/۸۰۷ نیوتن بر مجذور ثانیه است، فشار اتمسفر استاندارد منجر به ارتفاع ۷۶۰ میلیمتر در ستون جیوه می‌گردد.



اگر بجای جیوه از آب استفاده شود، ارتفاع h چقدر است؟



ارتفاع ستون جیوه به شعاع لوله بستگی ندارد.

•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (بارومتر)

•فشار هوا در ارتفاع‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰متر از سطح دریا به ترتیب برابر است با ۸۹/۸۸، ۷۹/۵۰، ٥٤/٠٥، ٢٦/٥ و ٥/٥٣کیلوپاسکال.

مثال: اگر ارتفاع جیوه در یک بارومتر برابر ۷٤۰ میلیمتر باشد، فشار هوا را محاسبه نمائید.

حل: در دمای ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد، چگالی جیوه برابر است با ۱۳۵۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب.

در اینصورت:

$$P_{\text{atm}} = \rho g h$$

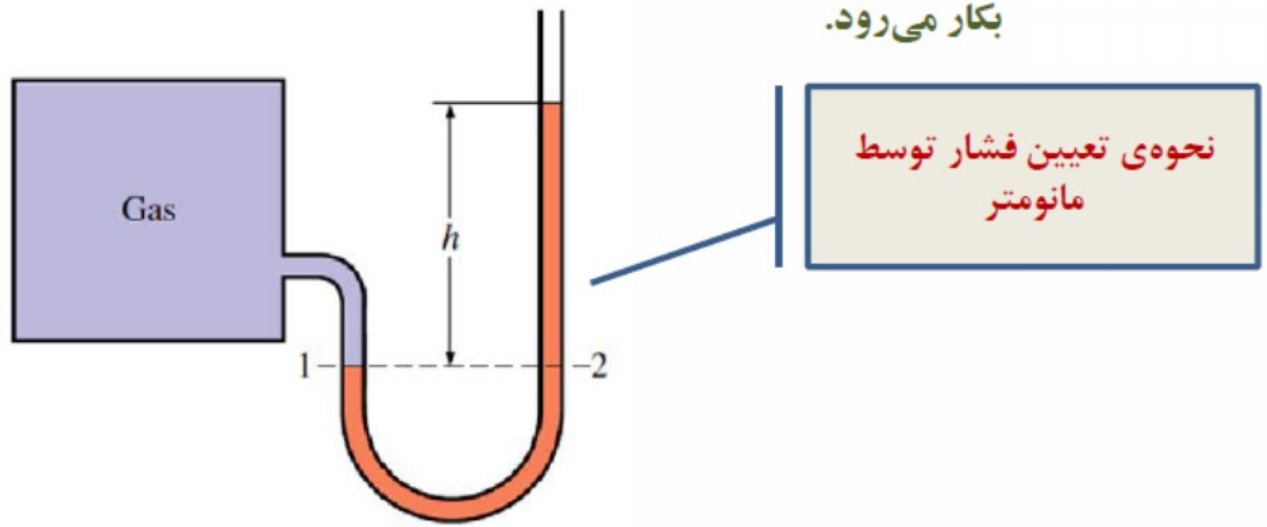
$$= (13{,}570\ \text{kg/m}^3)(9.805\ \text{m/s}^2)(0.740\ \text{m})\left(\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{kg·m/s}^2}\right)\left(\frac{1\ \text{kPa}}{1000\ \text{N/m}^2}\right)$$

$$= \mathbf{98.5\ kPa}$$

•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (مانومتر)

•آموختیم که فشار هوا را می‌توان با استفاده از ارتفاع ستون سیال بدست آورد.

•بر همین اساس وسیله‌ای به نام مانومتر ساخته شده است که برای تعیین فشارهای کم و متوسط بکار می‌رود.



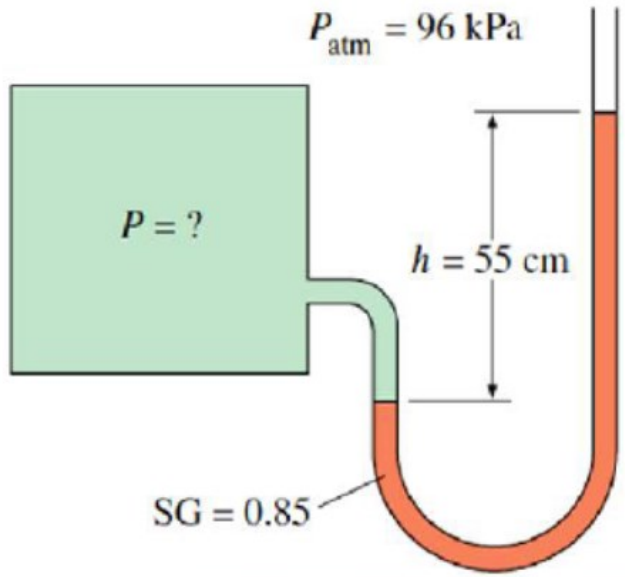
نحوه‌ی تعیین فشار توسط مانومتر

$$P_2 = P_{atm} + \rho g h$$

•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (مانومتر)

•مثال:

•همانند شکل زیر از یک مانومتر که در آن سیالی با گرانش مخصوص ۰/۸۵ به‌کار گرفته شده است برای تعیین فشار داخل یک مخزن استفاده می‌گردد. اگر ارتفاع ستون سیال برابر ۵۵ سانتیمتر بوده و فشار اتمسفر نیز ۹۶ کیلوپاسکال باشد، فشار مطلق گاز داخل تانک را محاسبه نمائید.



$$\rho = \text{SG}\,(\rho_{H_2O}) = (0.85)(1000\ \text{kg/m}^3) = 850\ \text{kg/m}^3$$

چگالی سیال

دقت کنید که در محاسبه‌ی فشار مطلق از فشار اتمسفر نیز استفاده شده است.

$$P = P_{atm} + \rho g h$$

$$= 96\ \text{kPa} + (850\ \text{kg/m}^3)(9.81\ \text{m/s}^2)(0.55\ \text{m})\left(\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{kg·m/s}^2}\right)\left(\frac{1\ \text{kPa}}{1000\ \text{N/m}^2}\right)$$

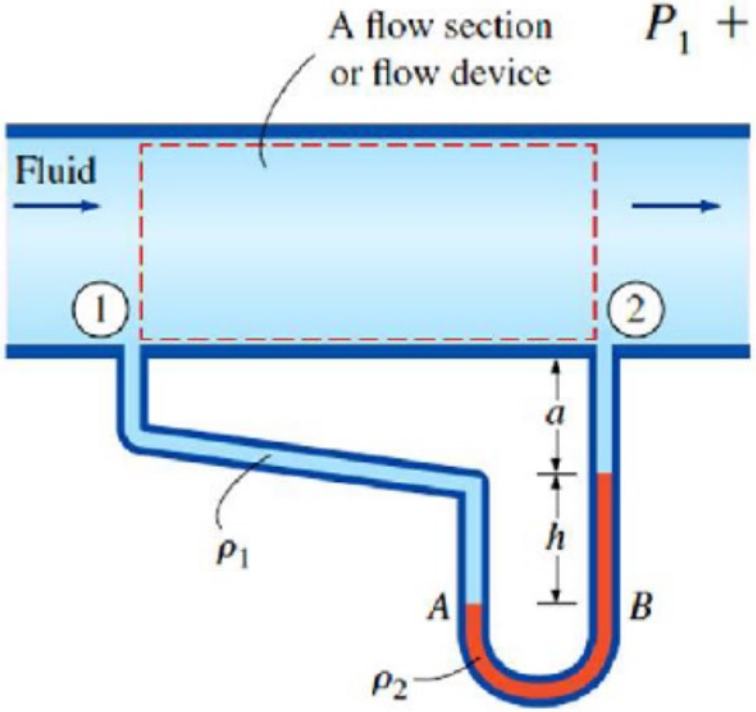
$$= \mathbf{100.6\ kPa}$$

•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (مانومتر)

•از مانومترها می‌توان برای تعیین افت فشار در لوله‌ها و سایر تجهیزات مهندسی نیز استفاده نمود.

•در این صورت برای دو نقطه‌ی یک و دو می‌توان نوشت.

$$P_1 + \rho_1 g(a + h) - \rho_2 gh - \rho_1 ga = P_2$$



در اینجا هدف، تعیین اختلاف فشار دو نقطه است.

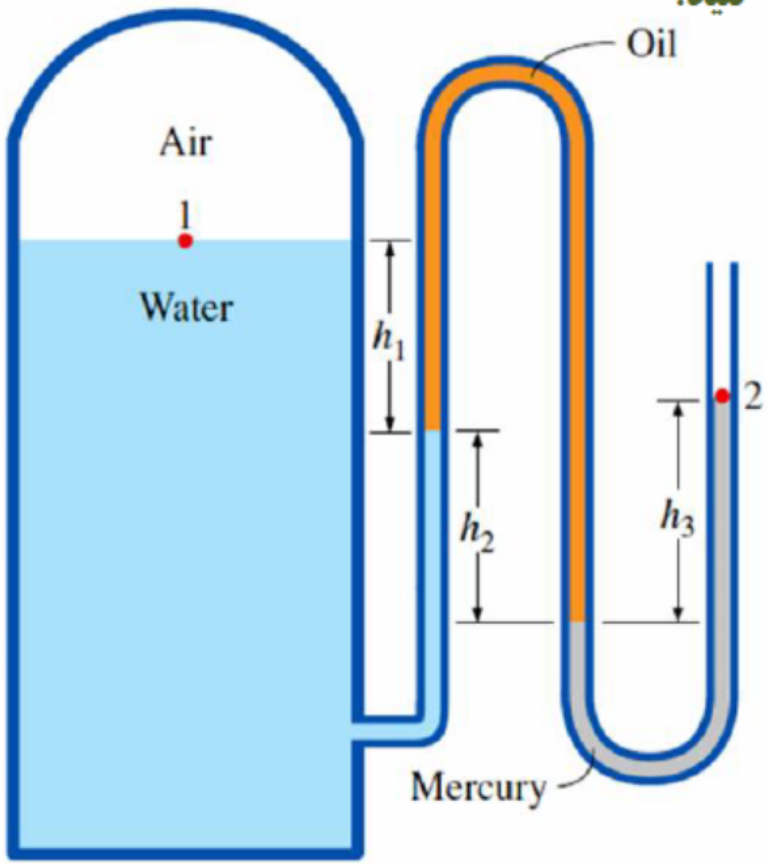
$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1)gh$$

دقت کنید که مقدار a از محاسبات حذف شده و تأثیری در نتایج ندارد.

•مثال:

•آب در یک تانک توسط هوا تحت فشار قرار داده شده است. فشار اتمسفر در محل این آزمایش ۸۵/۶ کیلوپاسکال می‌باشد. مطلوب است فشار هوای داخل تانک در صورتی که مقادیر h1، h2 و h3 به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳۵ متر باشد. همچنین چگالی آب، روغن و جیوه را به ترتیب ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۱۳۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض کنید.

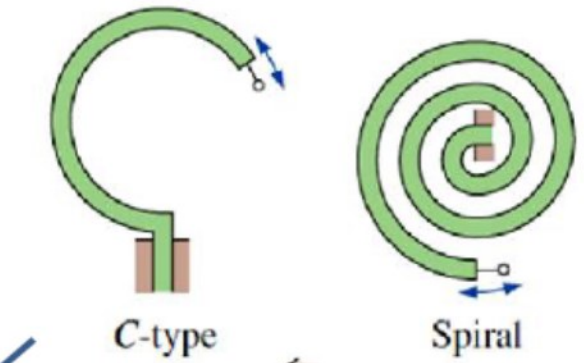
•حل:

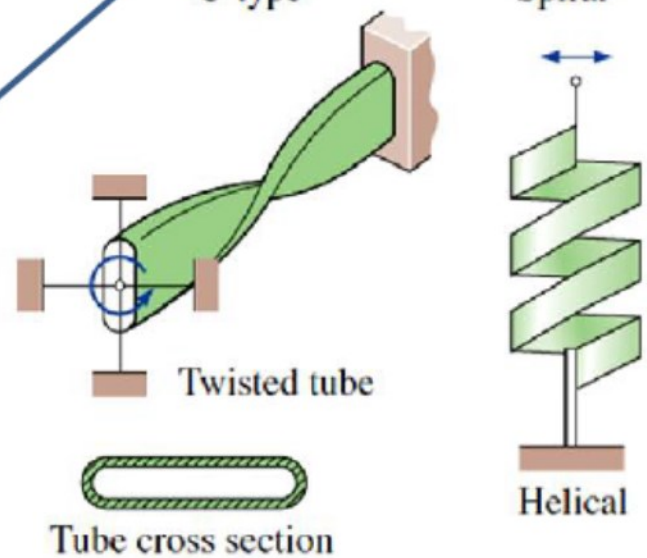


•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (سایر تجهیزات)

•لوله‌ی بوردون (Bourdon tube) یکی از تجهیزات مکانیکی ساده برای تعیین فشار سیال است.

تکنیک‌های مختلف
محاسبه‌ی فشار در لوله‌ی
بوردون.





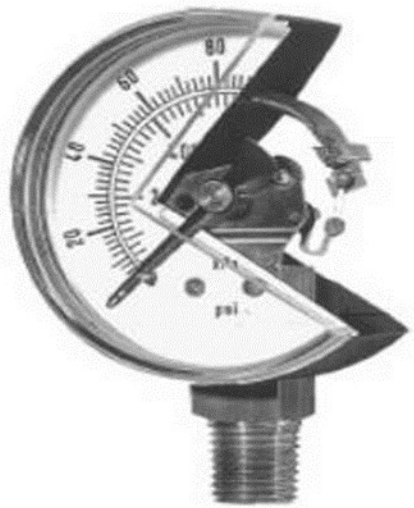


TABLE A.3

Properties of Selected Solids at 25°C

Substance	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg-K)
Asphalt	2120	0.92
Brick, common	1800	0.84
Carbon, diamond	3250	0.51
Carbon, graphite	2000–2500	0.61
Coal	1200–1500	1.26
Concrete	2200	0.88
Glass, plate	2500	0.80
Glass, wool	20	0.66
Granite	2750	0.89
Ice (0°C)	917	2.04
Paper	700	1.2
Plexiglass	1180	1.44
Polystyrene	920	2.3
Polyvinyl chloride	1380	0.96
Rubber, soft	1100	1.67
Sand, dry	1500	0.8
Salt, rock	2100–2500	0.92
Silicon	2330	0.70
Snow, firm	560	2.1
Wood, hard (oak)	720	1.26
Wood, soft (pine)	510	1.38
Wool	100	1.72
Metals		
Aluminum	2700	0.90
Brass, 60–40	8400	0.38
Copper, commercial	8300	0.42
Gold	19300	0.13
Iron, cast	7272	0.42
Iron, 304 St Steel	7820	0.46
Lead	11340	0.13
Magnesium, 2% Mn	1778	1.00
Nickel, 10% Cr	8666	0.44
Silver, 99.9% Ag	10524	0.24
Sodium	971	1.21
Tin	7304	0.22
Tungsten	19300	0.13
Zinc	7144	0.39

TABLE A.4

Properties of Some Liquids at 25°C

Substance	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg-K)
Ammonia	604	4.84
Benzene	879	1.72
Butane	556	2.47
CCl_4	1584	0.83
CO_2	680	2.9
Ethanol	783	2.46
Gasoline	750	2.08
Glycerine	1260	2.42
Kerosene	815	2.0
Methanol	787	2.55
n-Octane	692	2.23
Oil engine	885	1.9
Oil light	910	1.8
Propane	510	2.54
R-12	1310	0.97
R-22	1190	1.26
R-32	961	1.94
R-125	1191	1.41
R-134a	1206	1.43
R-410a	1059	1.69
Water	997	4.18
Liquid metals		
Bismuth, Bi	10040	0.14
Lead, Pb	10660	0.16
Mercury, Hg	13580	0.14
NaK (56/44)	887	1.13
Potassium, K	828	0.81
Sodium, Na	929	1.38
Tin, Sn	6950	0.24
Zinc, Zn	6570	0.50

*Or T_{melt} if higher.

مثال

2.46 A piston/cylinder with a cross-sectional area of 0.01 m^2 has a piston mass of 100 kg resting on the stops, as shown in Fig. P2.46. With an outside atmospheric pressure of 100 kPa, what should the water pressure be to lift the piston?

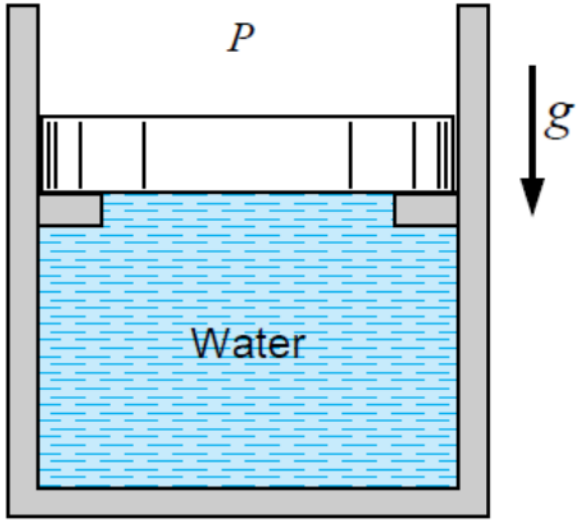
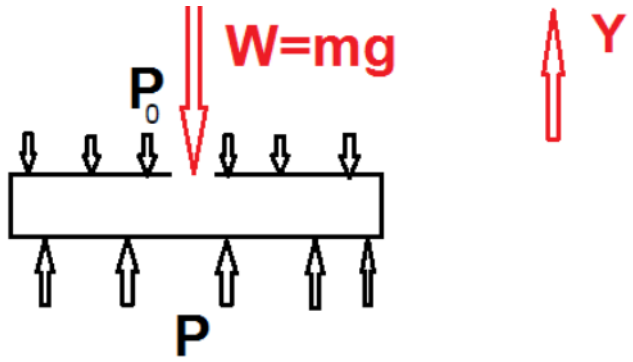


FIGURE P2.46

حل



$W=mg=100*9.81=981\ N$

$P_0=100\ Kpa$

$\sum Fy=0$

$-P*A-W+P_0*A=0$

$P=W/A+P_0$

$P=981/0.01*(1/1000)+100=198.1\ Kpa$

مثال

2.51 A 2.5-m-tall steel cylinder has a cross-sectional area of 1.5 m^2. At the bottom, with a height of 0.5 m, is liquid water, on top of which is a 1-m-high layer of gasoline. This is shown in Fig. P2.51. The gasoline surface is exposed to atmospheric air at 101 kPa. What is the highest pressure in the water?

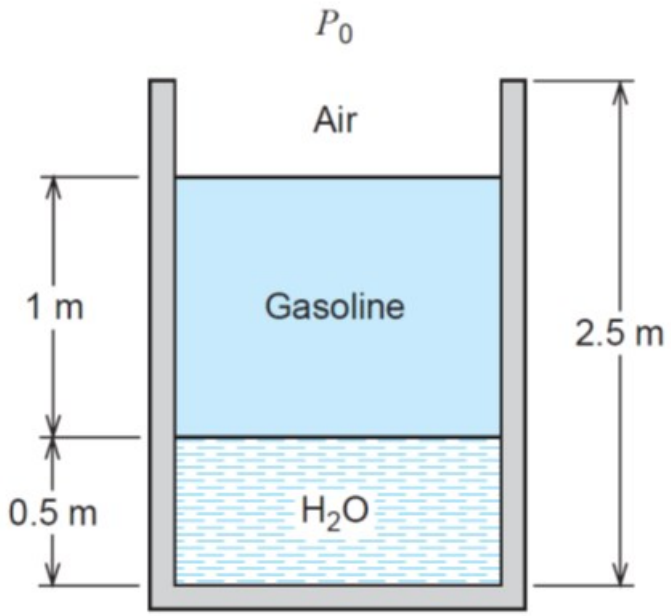


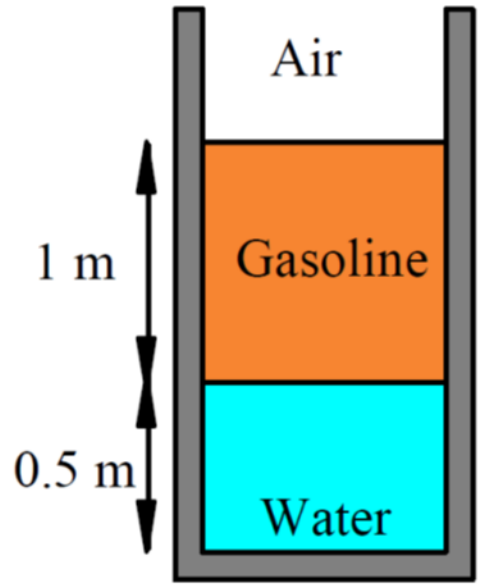
FIGURE P2.51

The pressure in the fluid goes up with the depth as

$$P = P_{top} + \Delta P = P_{top} + \rho g h$$

and since we have two fluid layers we get

$$P = P_{top} + [(\rho h)_{gasoline} + (\rho h)_{water}]\, g$$



The densities from Table A.4 are:

$$\rho_{gasoline} = 750 \text{ kg/m}^3; \quad \rho_{water} = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 101 + [750 \times 1 + 997 \times 0.5]\frac{9.807}{1000} = \mathbf{113.2\ kPa}$$

مثال

2.88 Two cylinders are connected by a piston, as shown in Fig. P2.88. Cylinder *A* is used as a hydraulic lift and pumped up to 500 kPa. The piston mass is 25 kg, and there is standard gravity. What is the gas pressure in cylinder *B*?

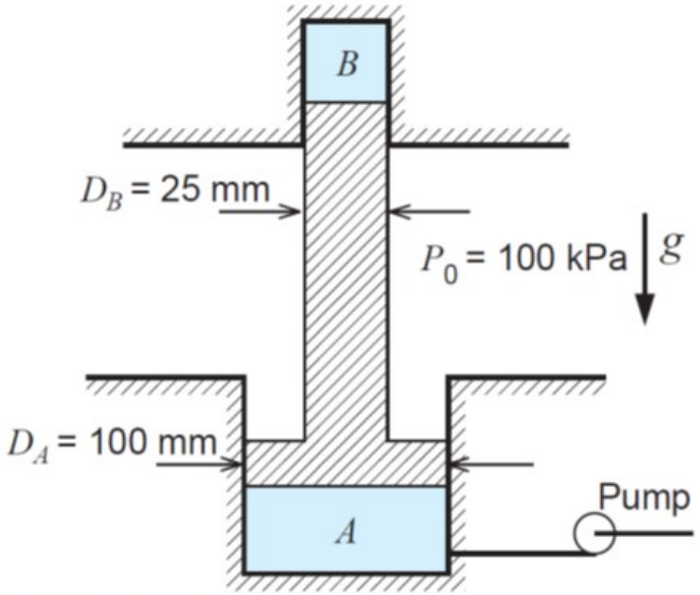


FIGURE P2.88

Solution:

Force balance for the piston: $P_B A_B + m_p g + P_0(A_A - A_B) = P_A A_A$

$A_A = (\pi/4)0.1^2 = 0.00785\ m^2$; $A_B = (\pi/4)0.025^2 = 0.000\ 491\ m^2$

$P_B A_B = P_A A_A - m_p g - P_0(A_A - A_B) = 500 \times 0.00785 - (25 \times 9.807/1000)$

$- 100\ (0.00785 - 0.000\ 491) = 2.944\ kN$

$P_B = 2.944/0.000\ 491 = 5996\ kPa =$ **6.0 MPa**