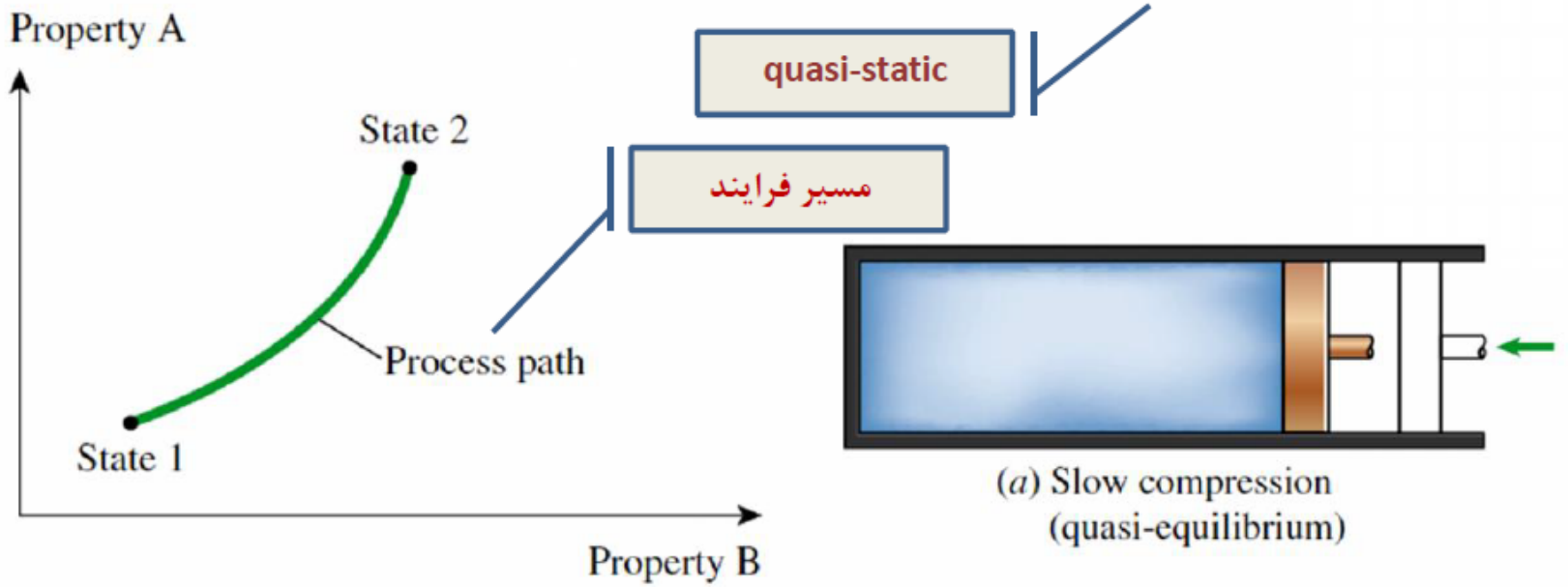
٤- فرآیند و چرخه (Process and cycle)

•تعریف

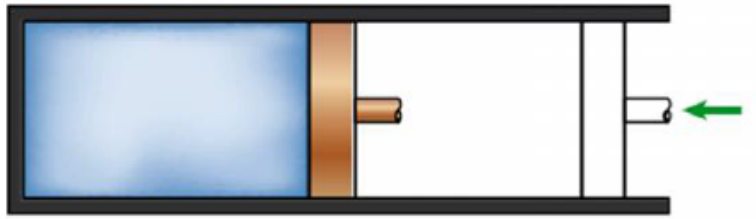
•هرگونه تغییر سیستم از یک حالت تعادلی به حالتی دیگر را فرآیند می‌گویند.

•فرآیند شبه‌تعادلی به فرآیندی گفته می‌شود که بسیار زیاد به حالت تعادل نزدیک است.



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

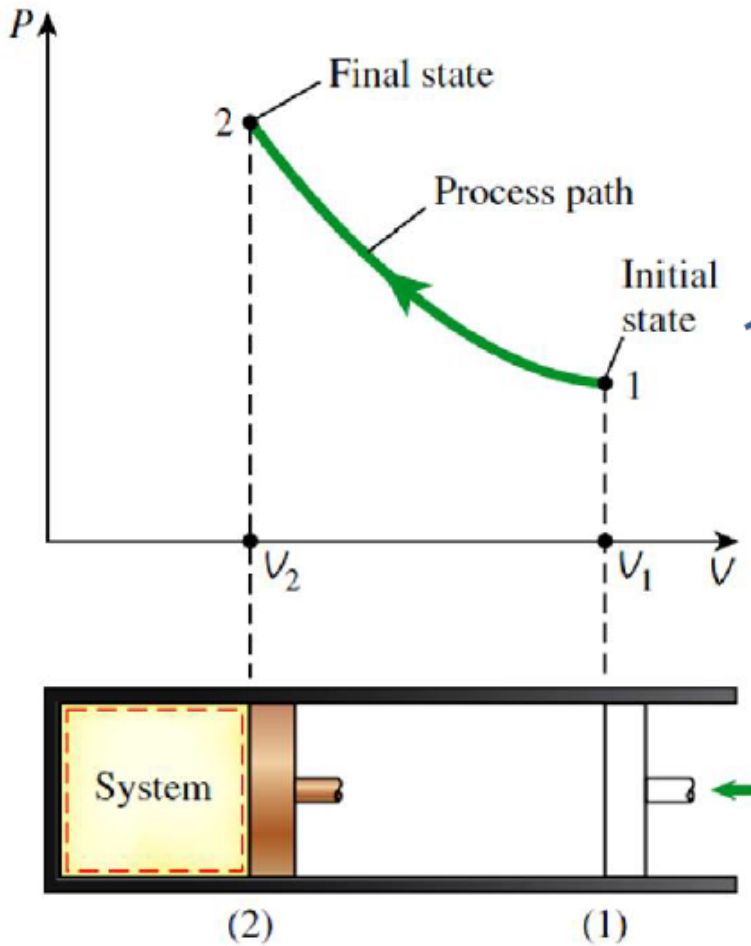
اگر فرض شود که یک فرآیند به‌اندازه‌ی کافی آرام صورت پذیرد، می‌توان آن را شبه‌تعادلی دانست.



(*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.

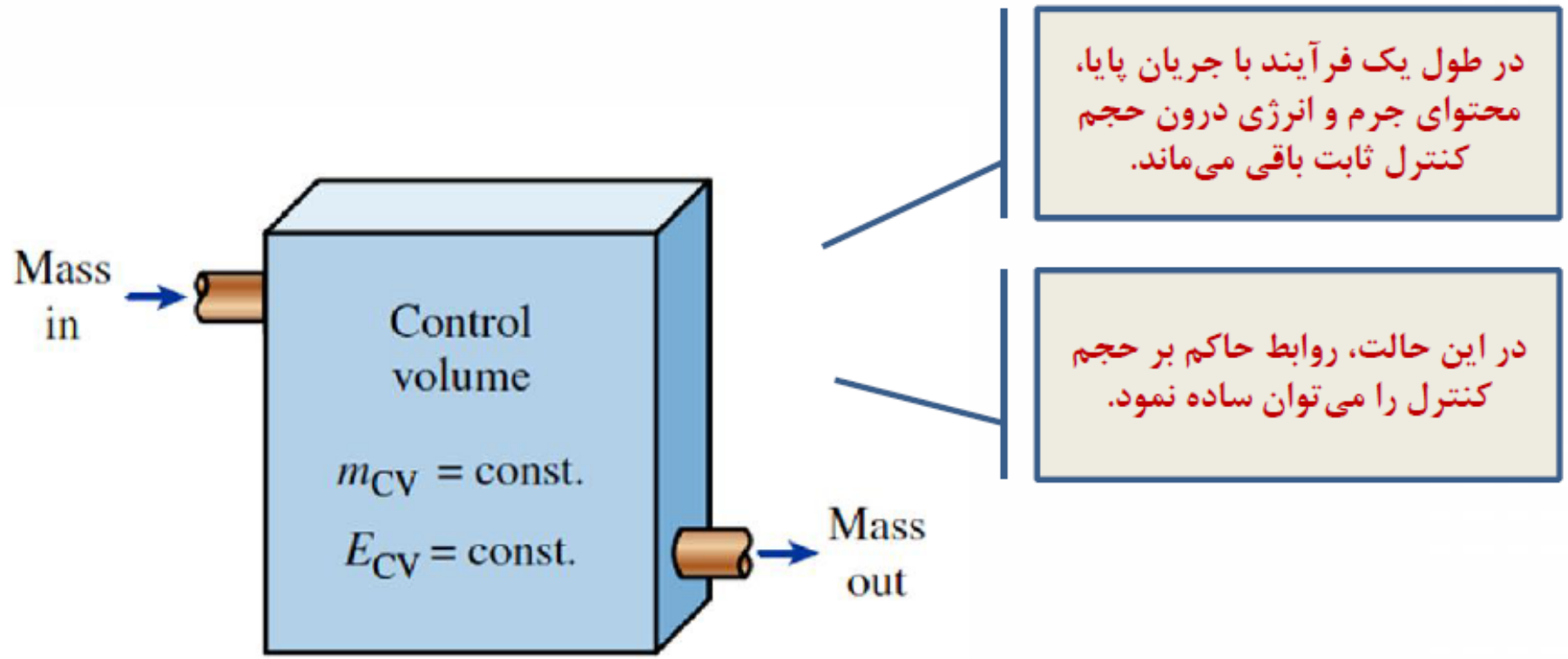
مسیر فرآیند، مجموعه‌ای از حالت‌های تعادلی که سیستم از آنها می‌گذرد را نشان می‌دهد.

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 فارینهایت به ترتیب برابر ۳۲ و ۲۱۲ درجه‌ی فارینهایت 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 فارینهایت 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

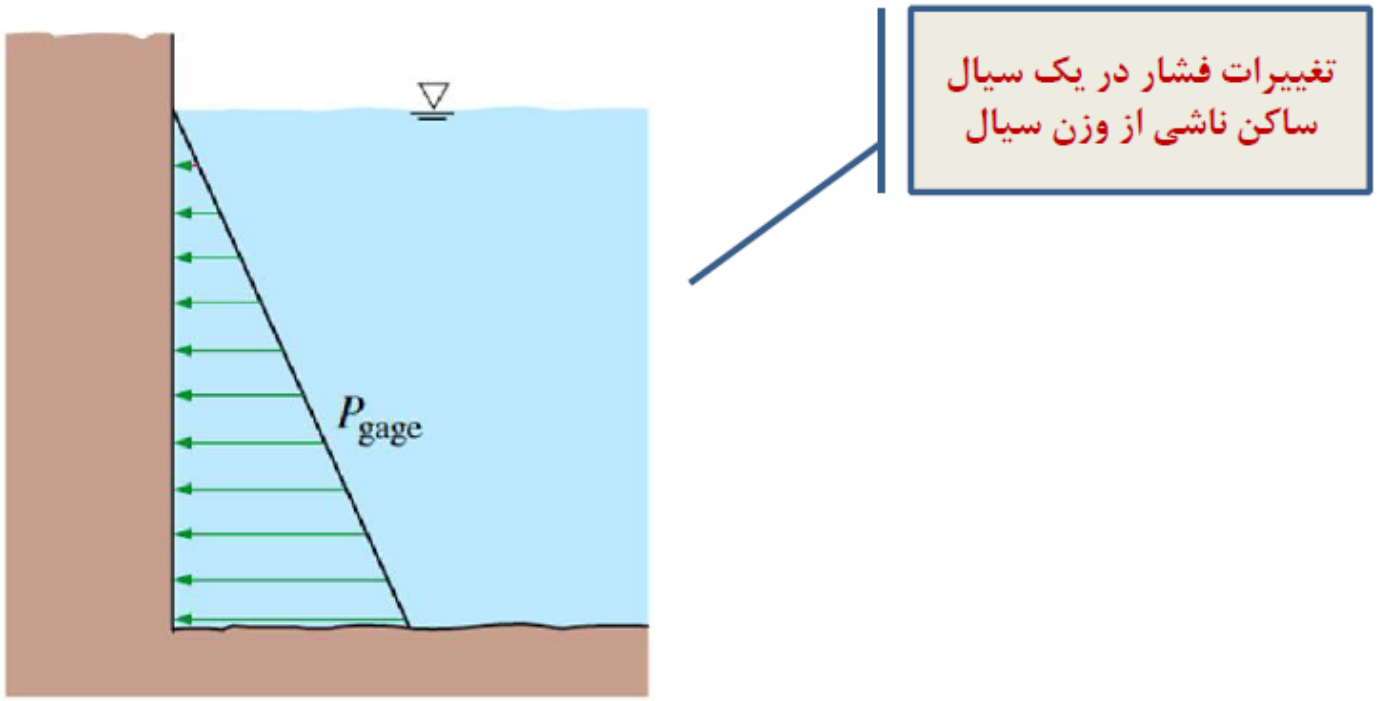
•فشار نیرویی است که از سوی سیال بر واحد سطح اعمال می‌گردد.

•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.



٦- فشار

•تعریف (ادامه)

•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.

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

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

٦- فشار

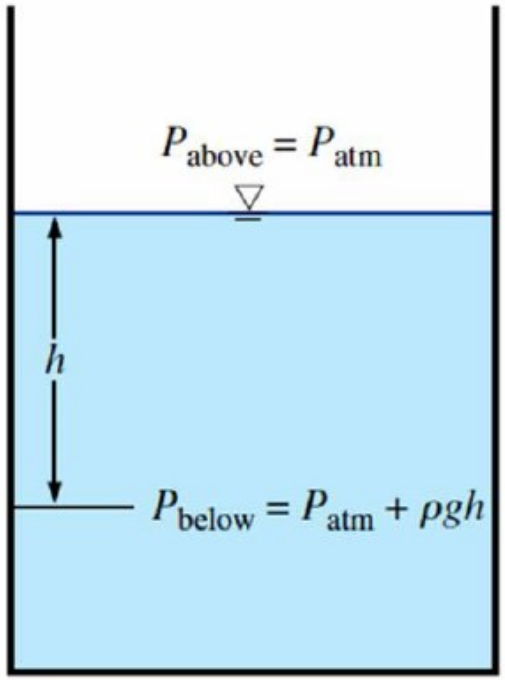
•تغییرات فشار با عمق

•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:

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



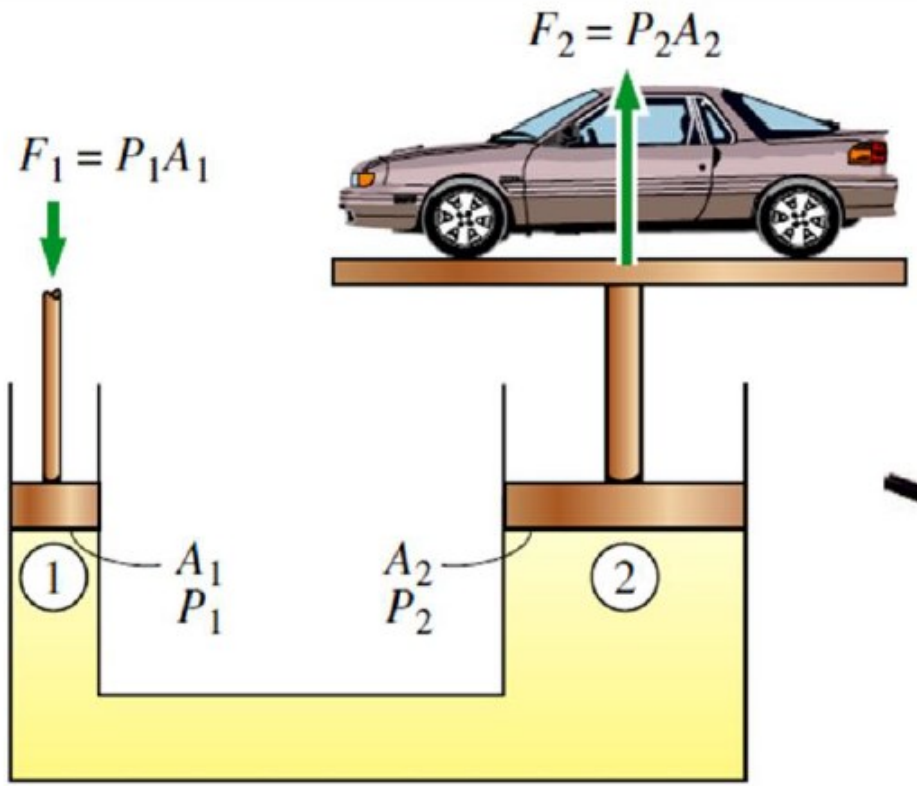
$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

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

•تغییرات فشار با عمق (ادامه)

•در یک سیال ساکن، فشار در راستای افق تغییر نمی کند.

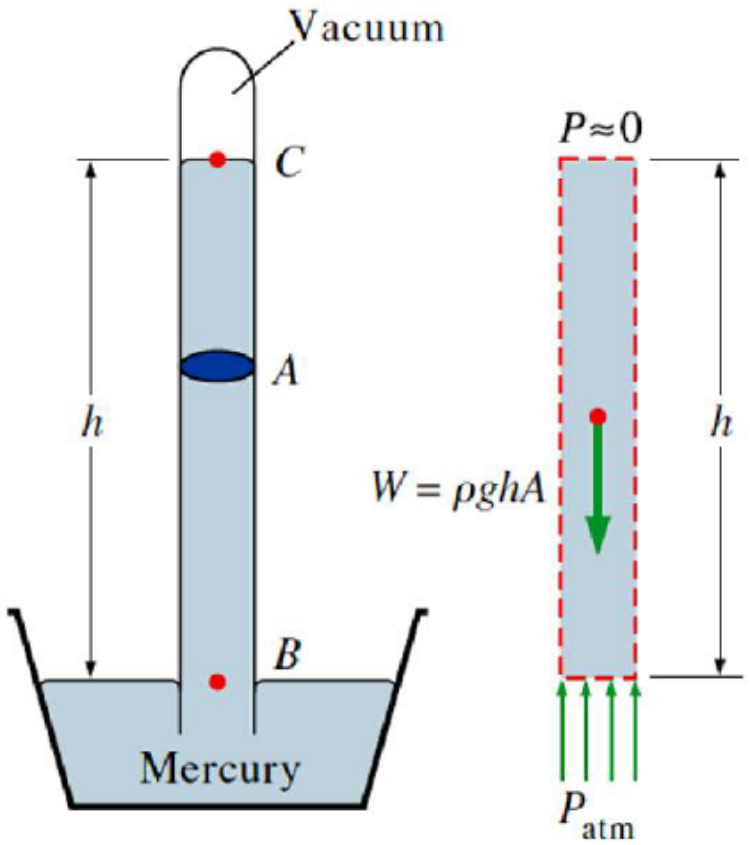
$$P_1 = P_2 \quad \rightarrow \quad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \rightarrow \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$



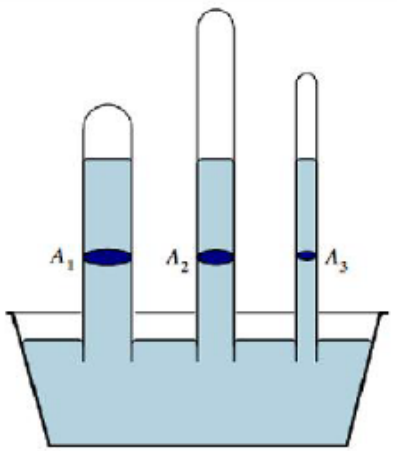
•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (بارومتر)

•فشار در نقطه‌ی B با فشار اعمال شده در سطح آزاد برابر است. $P_{atm} = \rho g h$

•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 ۲۰۰۰۰۰متر از سطح دریا به ترتیب برابر است با ۸۹/۸۸، ۷۹/۵۰، ۵٤/۰۵، ۲٦/۵ و ۵/۵۳کیلوپاسکال.

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:

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

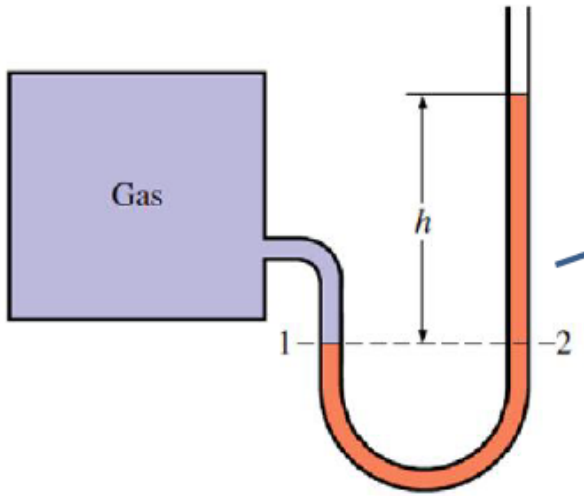
$$= (13{,}570\ \text{kg/m}^3)(9.805\ \text{m/s}^2)(0.740\ \text{m})\left(\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{kg·m/s}^2}\right)\left(\frac{1\ \text{kPa}}{1000\ \text{N/m}^2}\right)$$

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

•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.



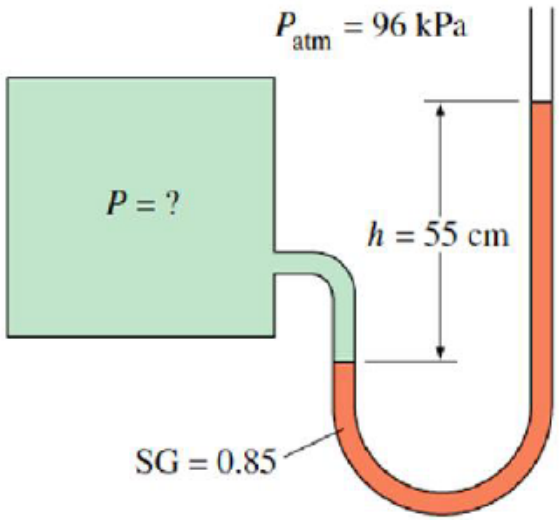
$$P_2 = P_{atm} + \rho g h$$

نحوه‌ی تعیین فشار توسط مانومتر

•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.

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

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

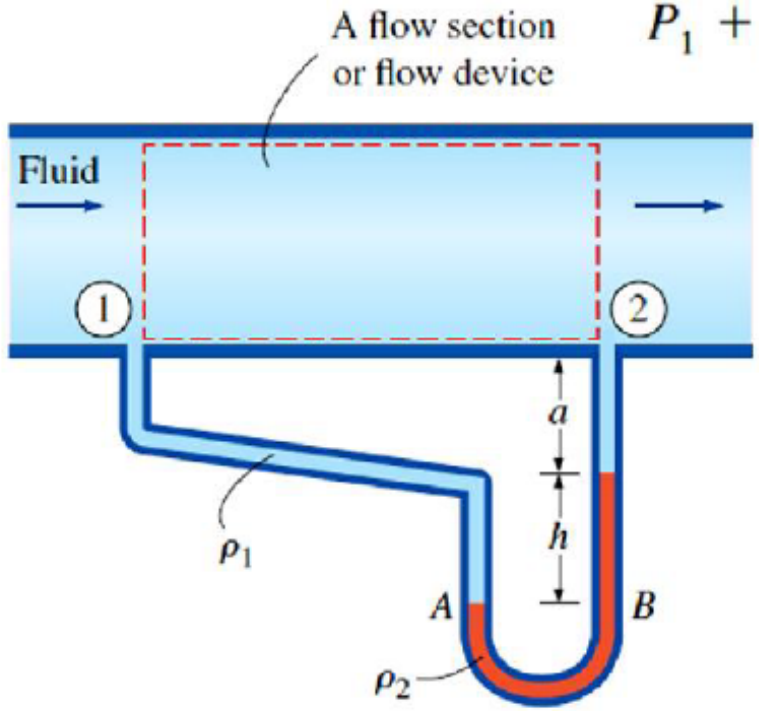
$$= \mathbf{100.6\ kPa}$$

•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.

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



در اینجا هدف، تعیین
اختلاف فشار دو نقطه است.

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1) g h$$

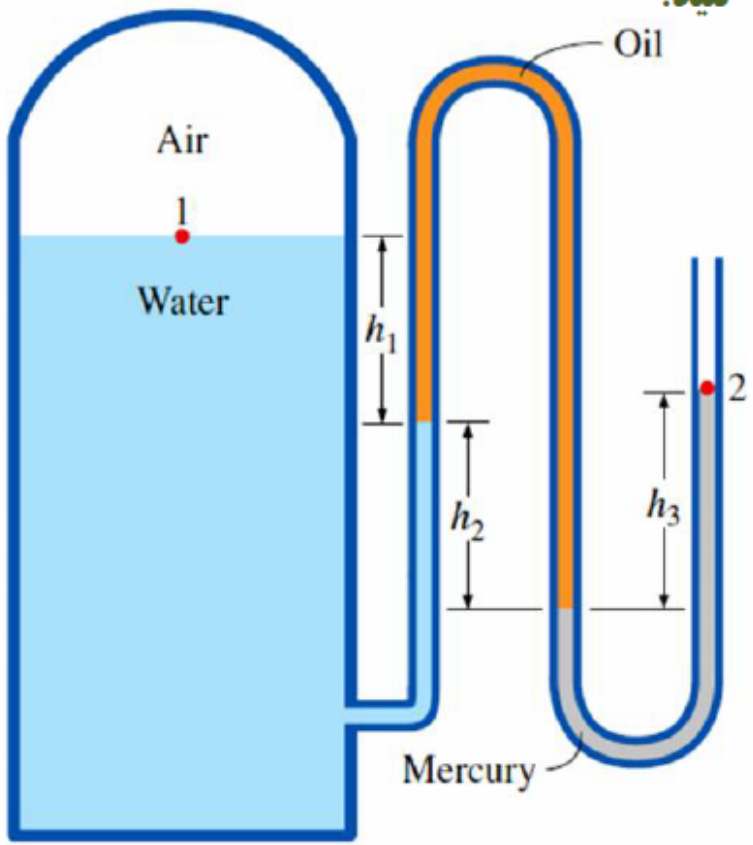
دقت کنید که مقدار a
از محاسبات حذف
شده و تأثیری در
نتایج ندارد.

•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (مانومتر)

•مثال:

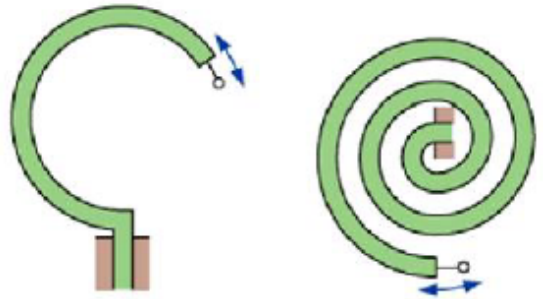
•آب در یک تانک توسط هوا تحت فشار قرار داده شده است. فشار اتمسفر در محل این آزمایش ۸۵/۶ کیلوپاسکال می‌باشد. مطلوب است فشار هوای داخل تانک در صورتی که مقادیر h1، h2 و h3 به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳۵ متر باشد. همچنین چگالی آب، روغن و جیوه را به ترتیب ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۱۳۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض کنید.

•حل:

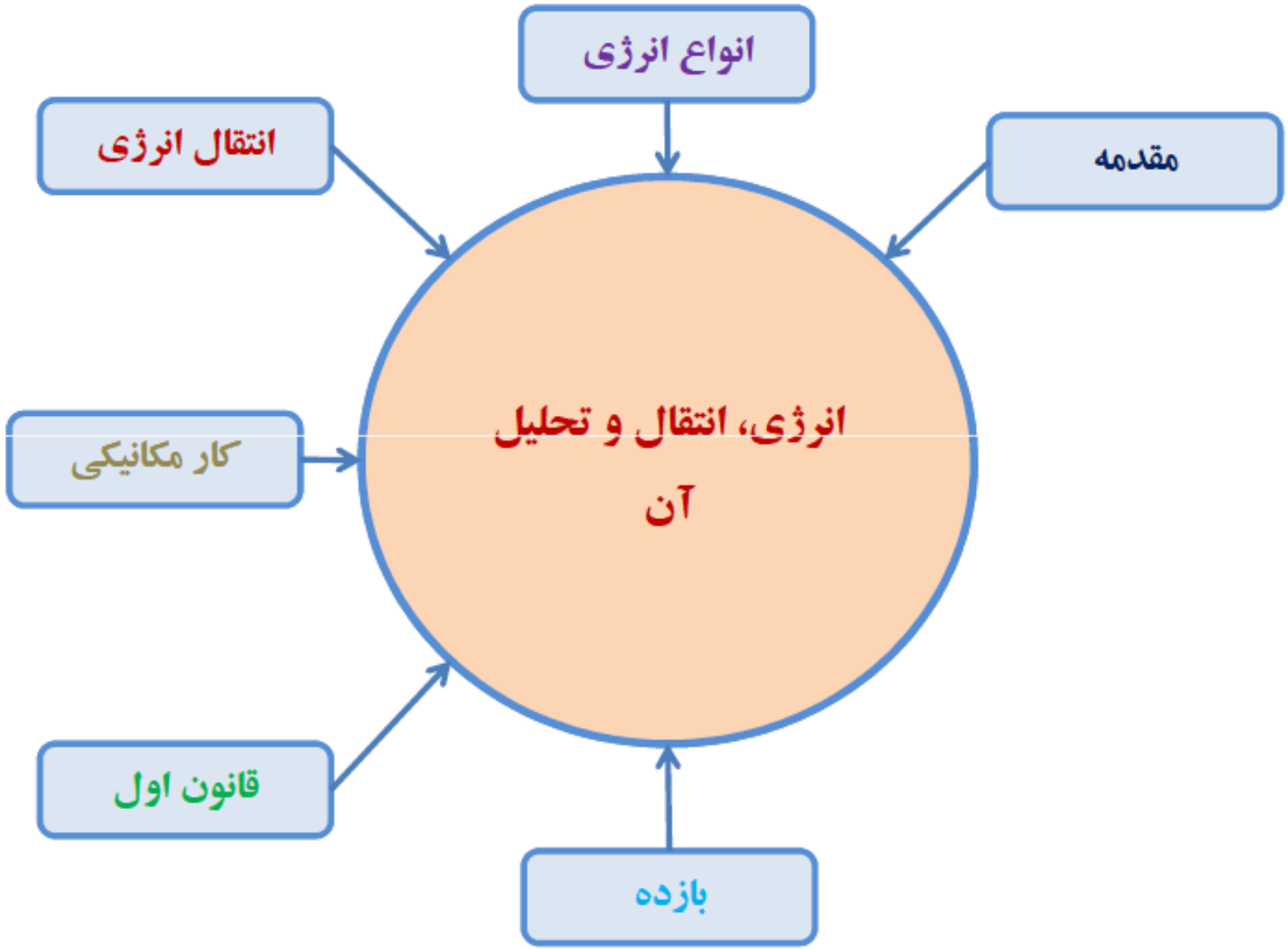


•تجهیزات اندازه‌گیری فشار (سایر تجهیزات)

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



تکنیک‌های مختلف محاسبه‌ی فشار در لوله‌ی بوردون.


انواع انرژی
انتقال انرژی
مقدمه
انرژی، انتقال و تحلیل آن
کار مکانیکی
قانون اول
بازده

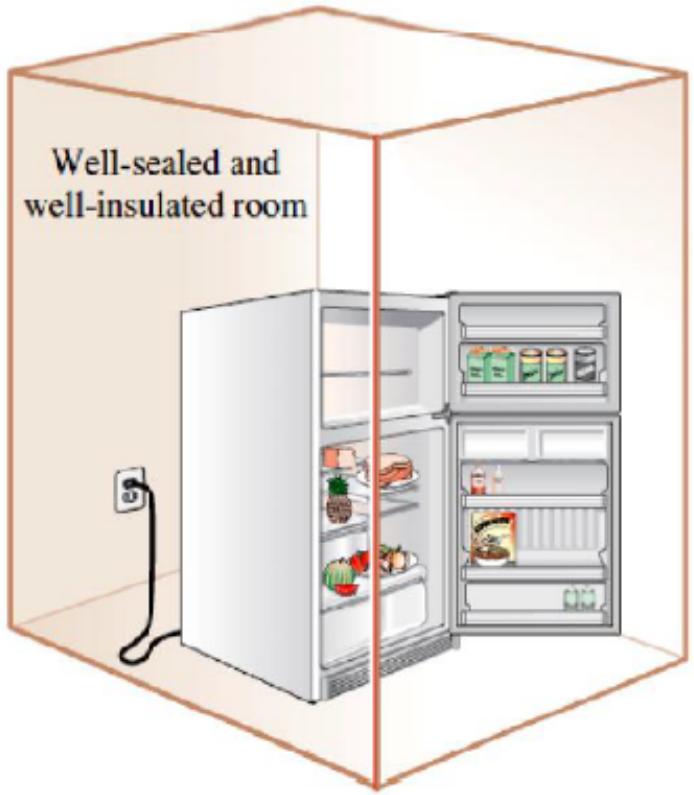
۱- مقدمه

•بقای انرژی

•اصل بقای انرژی بعنوان پایه‌ی فرآیندهای مرتبط با انرژی مطرح می‌باشد.

•بر این اساس، انرژی در طی یک فرآیند تولید و یا نابود نمی‌گردد. بلکه از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌گردد.

•مثال قرار گرفتن یک یخچال با درب باز در یک اتاق کاملاً عایق را به یاد داریم.



می‌توان اتاق را بعنوان یک سیستم بسته درنظر گرفت که در اینجا به‌علت عایق بودن، حتی انرژی نیز نمی‌تواند از مرزها عبور کند.

انرژی الکتریکی بعنوان کار وارد اتاق شده و در آنجا تبدیل به گرما می‌گردد.

در اینجا قبل از هر چیز می‌بایست با انواع انرژی آشنا شویم.

۲- انواع انرژی

- معرفی

- انرژی ممکن است در انواع گرمائی، مکانیکی، جنبشی، پتانسیل، الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی و هسته‌ای وجود داشته باشد.
- به مجموع این انرژی‌ها، انرژی کل (Total energy) می‌گویند و آن را E نمایش می‌دهند.

$$e = \frac{E}{m} \quad \text{(kJ/kg)}$$

انرژی کل در واحد جرم

- در ترمودینامیک تعیین دقیق انرژی کل امکان‌پذیر نیست.
- بنابراین در اینجا تنها صحبت از تغییرات انرژی به میان می‌آید.
- انرژی جنبشی ناشی از حرکت یک جسم برابر است با:

$$\text{KE} = m\frac{V^2}{2} \quad \text{(kJ)}$$

$$\text{ke} = \frac{V^2}{2} \quad \text{(kJ/kg)}$$

انرژی جنبشی در واحد جرم

انرژی جنبشی یک جسم دوران کننده

$\frac{1}{2}I\omega^2$

- انرژی پتانسیل یک جسم نیز در نتیجه‌ی وجود ارتفاع و شتاب گرانش است:

$$\text{PE} = mgz \quad \text{(kJ)} \qquad \text{pe} = gz \quad \text{(kJ/kg)}$$

انرژی پتانسیل در واحد جرم

۲- انواع انرژی

- معرفی (ادامه)

- در اینجا از اثرات سایر انرژی‌ها صرفنظر شده و انرژی کل را می‌توان به این شکل ارائه نمود:

$$E = U + \mathrm{KE} + \mathrm{PE} = U + m\frac{V^2}{2} + mgz \quad (\mathrm{kJ})$$

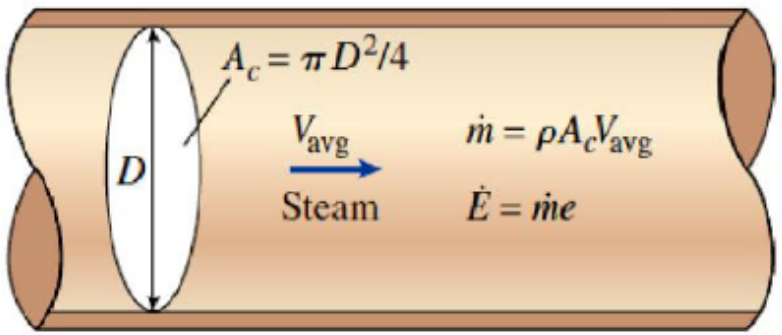
انرژی درونی (Internal energy)

$$e = u + \mathrm{ke} + \mathrm{pe} = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\mathrm{kJ/kg})$$

انرژی کل در واحد جرم

- ممکن است در آینده با سیستم‌هایی برخورد داشته باشیم که فاقد حرکت و همچنین اختلاف ارتفاع باشند. در این صورت، اختلاف انرژی پتاسیل و جنبشی آنها در طول یک فرآیند صفر خواهد بود.

- بسیاری از تجهیزات مهندسی نیز در یک فرآیند با دبی جریان یکنواخت وجود خواهند داشت.



$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c V_{\mathrm{avg}} \quad (\mathrm{kg/s})$$

$$\dot{E} = \dot{m}e \quad (\mathrm{kJ/s\ or\ kW})$$

Mass flow rate

Energy flow rate

۲- انواع انرژی

•مثال

•یک خودرو با مصرف سوخت روزانه ۵ لیتر را در نظر بگیرید. ظرفیت مخزن سوخت آن ۵۰ لیتر بوده و بطور متوسط هر ۱۰ روز سوختگیری می‌کند. چگالی بنزین بین ۰/۶۸ تا ۰/۷۸ کیلوگرم بر لیتر متغیر است و کمترین مقدار گرمای ناشی از احتراق آن نیز ۴۴۰۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم می‌باشد. حال اگر این خودرو با ۰/۱ کیلوگرم سوخت هسته‌ای (U-235) تجهیز شود، پس از چه مدت نیاز به سوخت‌گیری مجدد خواهد داشت؟

•حل:

چگالی متوسط بنزین

•جرم بنزین مصرف شده در طول یک روز:

$$m_{\text{gasoline}} = (\rho V)_{\text{gasoline}} = (0.75\ \text{kg/L})(5\ \text{L/day}) = 3.75\ \text{kg/day}$$

•مقدار انرژی آزاد شده ناشی از احتراق بنزین:

$$E = (m_{\text{gasoline}})(\text{Heating value})$$
$$= (3.75\ \text{kg/day})(44{,}000\ \text{kJ/kg}) = 165{,}000\ \text{kJ/day}$$

•انرژی آزاد شده از ۰/۱ کیلوگرم سوخت هسته‌ای:

$$(6.73 \times 10^{10}\ \text{kJ/kg})(0.1\ \text{kg}) = 6.73 \times 10^{9}\ \text{kJ}$$

$$\text{No. of days} = \frac{\text{Energy content of fuel}}{\text{Daily energy use}} = \frac{6.73 \times 10^{9}\ \text{kJ}}{165{,}000\ \text{kJ/day}} = \mathbf{40{,}790\ days}$$

زمان لازم برای اتمام انرژی ناشی از سوخت هسته‌ای

۲- انواع انرژی

•انرژی مکانیکی

•در بسیاری از مسائل مهندسی، سیستم‌های وجود دارد که فاقد اثرات انرژی‌هایی نظیر الکتریکی، مغناطیسی، هسته‌ای و ... می‌باشد.

•در این گونه مسائل، حتی اثرات انرژی گرمایی نیز قابل صرفنظر کردن است.

انتقال مایعات با سرعت و دبی مشخص از نمونه‌های کاربرد انرژی مکانیکی می‌باشد.

انرژی مکانیکی نوعی از انرژی است که می‌تواند بطور کامل و مستقیم به کار تبدیل شود.
(توسط ابزاری شبیه یک توربین ساده)

•یک پمپ انرژی مکانیکی را به سیال منتقل کرده و باعث افزایش فشار در آن می‌گردد.

•توربین نیز عکس این کار را انجام داده و با کاهش فشار سیال، کار تولید می‌کند.

•واحد فشار پاسکال است. ($1Pa=1N/m^2=1N.m/m^3=1J/m^3$)

انرژی در واحد حجم

- انرژی مکانیکی (ادامه)

- کار جریان بصورت انرژی مکانیکی جریان سیال تعریف می‌گردد:

$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz$$

Flow energy — Kinetic energy — Potential energy

- و بصورت نرخ می‌توان نوشت:

$$\dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m} e_{\text{mech}} = \dot{m}\left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right)$$

دبی جرمی جریان

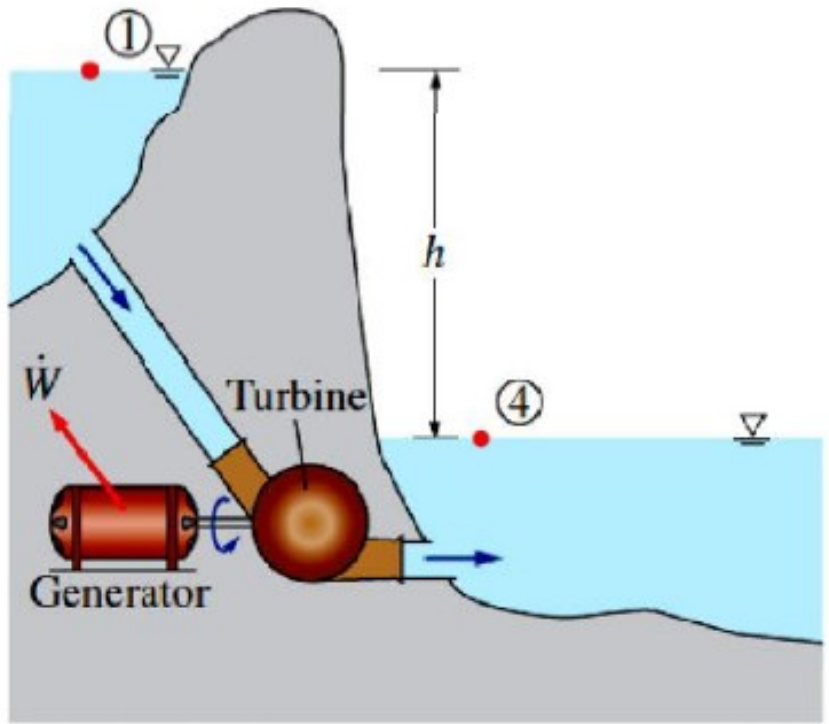
- پس تغییرات انرژی مکانیکی در در یک سیال تراکم‌ناپذیر برابر است با:

$$\Delta e_{\text{mech}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad \text{(kJ/kg)}$$

• انرژی مکانیکی (ادامه)

• و بصورت نرخ می‌توان نوشت:

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m}\Delta e_{\text{mech}} = \dot{m}\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right) \quad \text{(kW)}$$



بیشترین انرژی که می‌توان از جریان آب پشت سد به‌دست آورد.

$$\dot{W}_{\max} = \dot{m}\Delta e_{\text{mech}} = \dot{m}g(z_1 - z_4) = \dot{m}gh$$

$$\text{since } P_1 \approx P_4 = P_{\text{atm}} \text{ and } V_1 = V_4 \approx 0$$

•مثال:

•در منطقه‌ای که در آن باد با سرعت متوسط ۸/۵ متر بر ثانیه می‌وزد، به‌ازای واحد جرم هوا چه مقدار انرژی مکانیکی وجود دارد. همچنین مطلوب است مقدار این انرژی برای ۱۰ کیلوگرم هوا و یا دبی جرمی ۱۱۵٤ کیلوگرم بر ثانیه.

•حل:

•انرژی باد به‌ازای واحد جرم هوا:

$$e = \text{ke} = \frac{V^2}{2} = \frac{(8.5\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{J/kg}}{1\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right) = \mathbf{36.1\ J/kg}$$

•این انرژی برای ۱۰ کیلوگرم هوا:

$$E = me = (10\ \text{kg})(36.1\ \text{J/kg}) = \mathbf{361\ J}$$

•با دبی جرمی داده شده:

$$\dot{E} = \dot{m}e = (1154\ \text{kg/s})(36.1\ \text{J/kg})\left(\frac{1\ \text{kW}}{1000\ \text{J/s}}\right) = \mathbf{41.7\ kW}$$

۳- انتقال انرژی

•انتقال انرژی توسط گرما

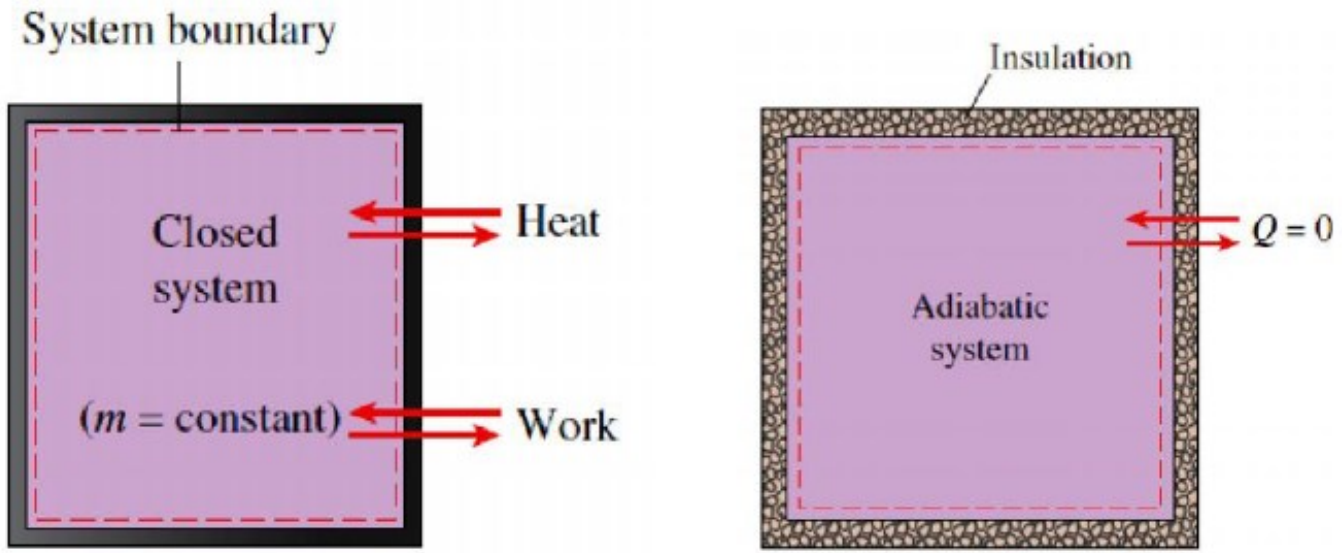
•گفتیم که انرژی به دو صورت می‌تواند از مرز سیستم عبور کند: کار و گرما

•نوعی از انرژی را که به‌واسطه‌ی اختلاف دما منتقل می‌گردد، گرما می‌نامیم.

•جهت انتقال گرما در طبیعت از جسم گرم به سرد است.

•در اینجا از واژه‌ی گرما بجای انتقال گرما استفاده می‌شود.

•اگر در یک فرآیند، انتقال گرما صورت نپذیرد، آن فرایند را آدیاباتیک (adiabatic) می‌نامند.



•انتقال انرژی توسط گرما (ادامه)

•واحد گرما نیز همانند انرژی با ژول یا Btu نمایش داده می‌شود.

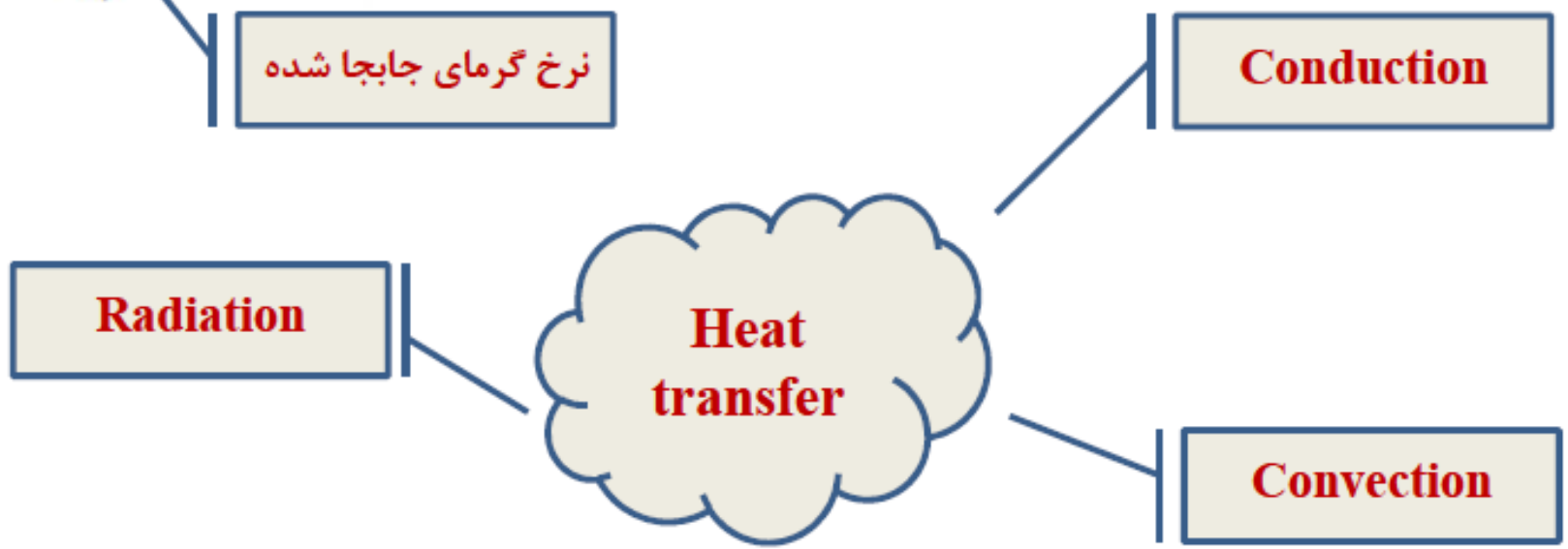
•گرمای جابجا شده در طی یک فرآیند که در آن وضعیت سیستم از حالت ۱ به حالت ۲ تغییر کرده است را با Q_{12} نشان می‌دهند.

$$q = \frac{Q}{m} \quad \text{(kJ/kg)}$$

گرمای جابجا شده به‌ازای واحد جرم

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}\, dt \quad \text{(kJ)}$$

نرخ گرمای جابجا شده



•انتقال انرژی توسط کار

•اگر انرژی عبور کرده از مرز سیستم از جنس گرما نباشد، پس می‌بایست نوعی از کار باشد.

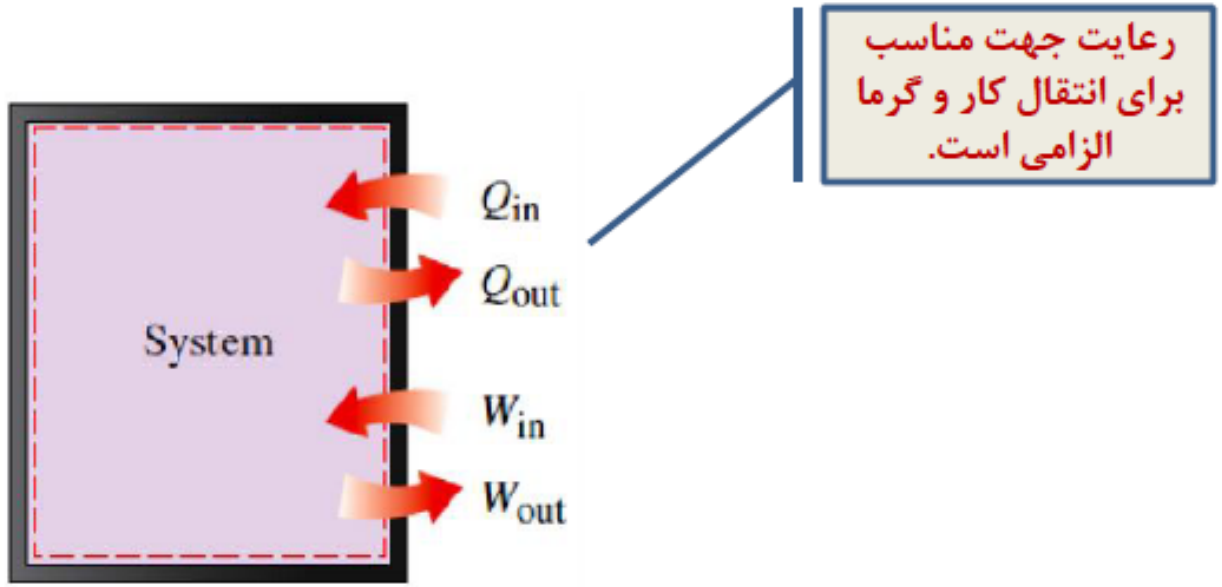
•از آنجا که انتقال گرما لزوماً به واسطه‌ی اختلاف دما بوجود می‌آید، تشخیص آن نیز ساده است.

•کار نیز نوعی از انرژی است که انتقال آن را بین دو حالت با W_{12} نشان می‌دهند.

$$w = \frac{W}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

کار انجام شده به‌ازای واحد جرم

•به کار انجام شده در واحد زمان، توان (Power) می‌گویند و واحد آن کیلوژول بر ثانیه یا وات است.



•انتقال انرژی توسط کار (ادامه)

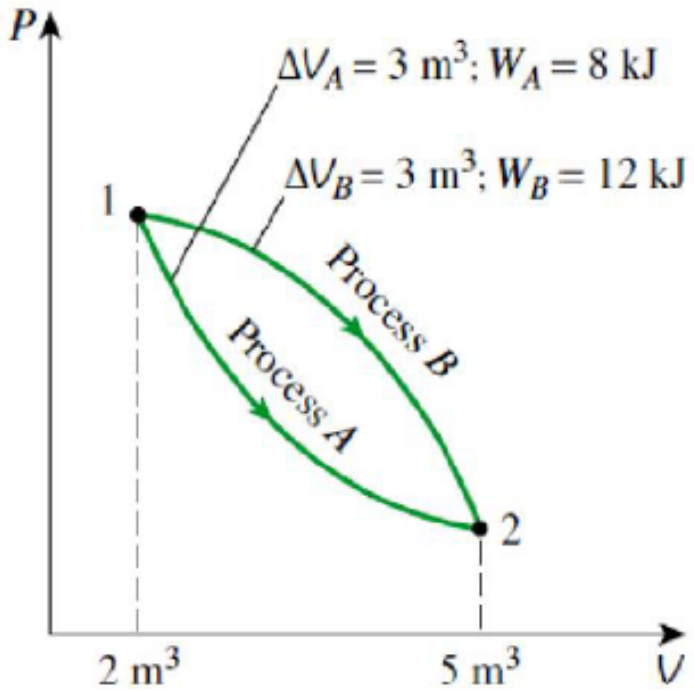
•کار و گرما، هر دو نوعی از انتقال انرژی بین سیستم و محیط می‌باشند و دارای شباهت‌های زیادی هستند.

•هر دوی آنها پدیده‌هایی مرزی هستند که در هنگام انتقال در مرز سیستم قابل شناسایی می‌باشند.

•سیستم‌ها دارای انرژی می‌باشند، نه کار و گرما.

•هر دو مرتبط با فرآیند هستند، نه حالت سیستم.

•هر دوی آنها توابعی وابسته به مسیر هستند.



با وجود یکسان بودن حالت ۱ و ۲ برای این فرآیند، مقدار کار انجام شده در آنها با توجه به مسیر آن با یکدیگر متفاوت است.

$$\int_1^2 \delta W = W_{12} \qquad (not\ \Delta W)$$

•کار الکتریکی

•توان الکتریکی بر حسب وات بر حسب ولتاژ و جریان الکتریکی بیان می گردد.

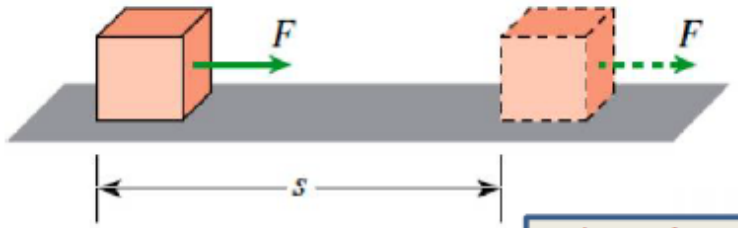
$$\dot{W}_e = \mathbf{V}I \qquad (\mathrm{W})$$

•و کل کار الکتریکی منتقل شده برابر است با:

$$W_e = \int_1^2 \mathbf{V}I\,dt \qquad (\mathrm{kJ})$$

٤- کار مکانیکی

- تعریف
- روش‌های مختلفی برای انجام کار مکانیکی وجود دارد.
- مثلاً اعمال نیروی F در طول یک مسیر s:

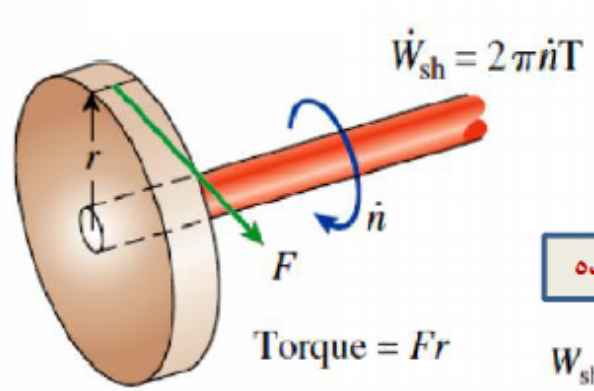


$$W = Fs \quad (\text{kJ})$$

$$W = \int_1^2 F\,ds \quad (\text{kJ})$$

در صورتی که مقدار نیرو ثابت نباشد.

- بنابراین حتماً می‌بایست نیرو و جابجائی وجود داشته باشند.
- کار شافت (Shafr work)



$$T = Fr \rightarrow F = \frac{T}{r}$$

گشتاور

$$s = (2\pi r)n$$

تعداد دور

مسیر پیموده شده

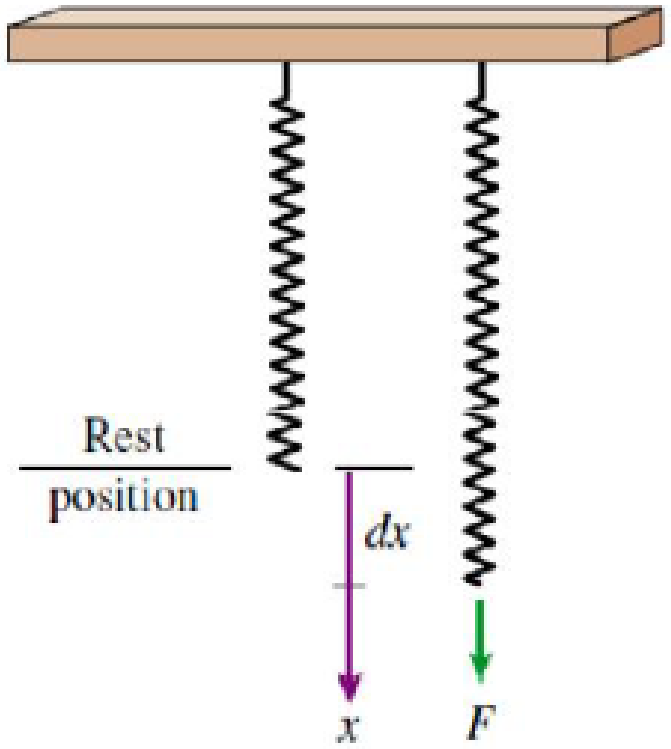
$$W_{sh} = Fs = \left(\frac{T}{r}\right)(2\pi rn) = 2\pi nT \quad (\text{kJ})$$

توان شافت

$$\dot{W}_{sh} = 2\pi\dot{n}T \quad (\text{kW})$$

•کار فنر

•اعمال نیروی F بر یک فنر باعث ایجاد جابجائی dx می گردد.



$$\delta W_{\text{spring}} = F\,dx$$

کار انجام شده

•برای یک فنر الاستیک خطی، می‌توان نوشت:

$$F = kx \qquad (\text{kN})$$

ثابت فنر

•مقدار x نیز از نقطه‌ای که فنر در حالت آزاد قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود.

•بنابراین:

$$W_{\text{spring}} = \tfrac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) \qquad (\text{kJ})$$

•مثال:

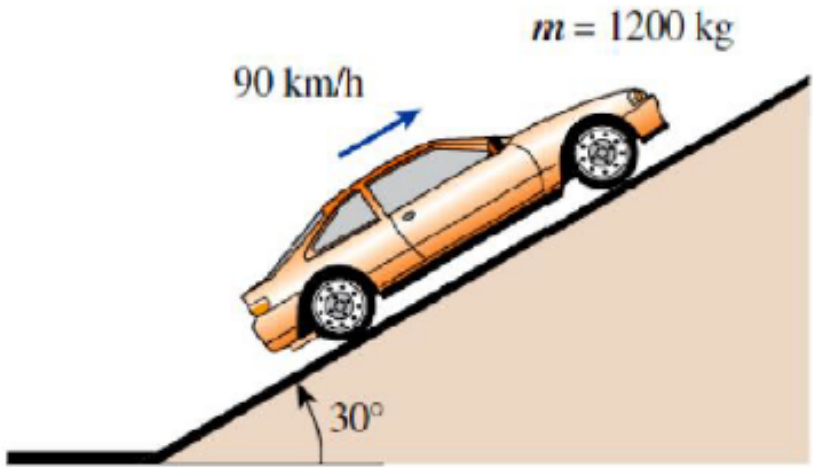
•یک خودرو به جرم ۱۲۰۰ کیلوگرم را در نظر بگیرید که با سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت بر روی یک سطح افقی در حال حرکت است. این خودرو به شیبی معادل ۳۰ درجه (همانند شکل) می‌رسد. اگر بخواهیم سرعت خودرو بر روی شیب نیز ثابت بماند، نیاز به چه مقدار توان بیشتری خواهیم داشت؟

•حل:

تغییرات انرژی پتانسیل به ازای واحد زمان

$$\dot{W}_g = mg\,\Delta z/\Delta t = mgV_{\text{vertical}}$$

سرعت عمودی



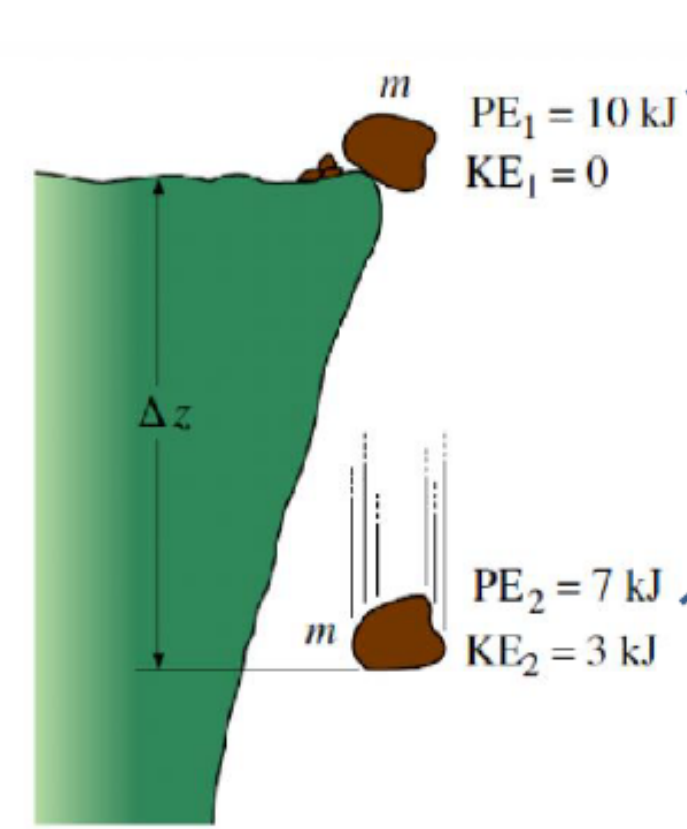
$$= (1200\text{ kg})(9.81\text{ m/s}^2)(90\text{ km/h})(\sin 30^\circ)\left(\frac{1\text{ m/s}}{3.6\text{ km/h}}\right)\left(\frac{1\text{ kJ/kg}}{1000\text{ m}^2/\text{s}^2}\right)$$

$$= 147\text{ kJ/s} = \mathbf{147\text{ kW}} \quad (\text{or } 197\text{ hp})$$

۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

- تعریف

- تاکنون با اشکال مختلف انرژی آشنا شدیم. (گرما Q، کار W و انرژی کل E)
- همچنین گفتیم که این انواع انرژی به یکدیگر تبدیل می‌گردند.
- اما هنوز ارتباط آنها با یکدیگر را معرفی نکردیم.
- قانون اول ترمودینامیک همان اصل پایستاری انرژی می‌باشد.



در نقطه‌ی بالا انرژی پتانسیل معادل $mg\Delta z$ وجود دارد.

مقاومت هوا باعث اندکی اتلاف در این انرژی می‌گردد.

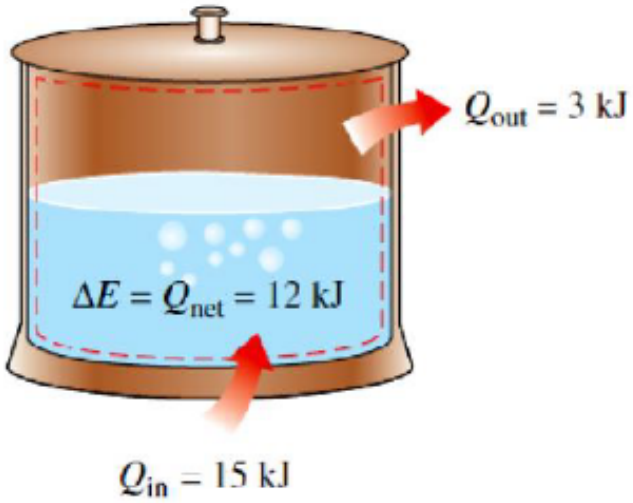
در نقطه‌ی پایین، این انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می‌گردد.

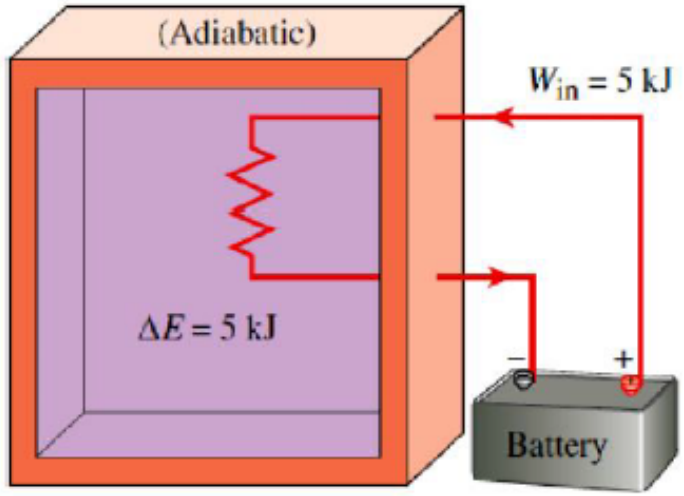
$[m(V_2^2 - V_1^2)/2]$

۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

•مواردی از قانون اول ترمودینامیک

- •یک ظرف زودپز که در معرض گرما قرار دارد را در نظر بگیرید.
- •مقدار ۱۵ کیلوژول انرژی گرمایی به ظرف داده شده است.
- •سه کیلوژول از این انرژی بصورت اتلاف به محیط منتقل می‌گردد.
- •بنابراین ۱۲ کیلوژول نیز باعث افزایش انرژی کل مایع درون ظرف می‌شود.





انتقال ۵ کیلوژول کار الکتریکی نیز باعث افزایش ۵ کیلوژول انرژی کل سیستم ایزوله می‌گردد.

۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

•موازنه‌ی انرژی

•در فرآیندی که اندرکنش کار و تبادل انرژی وجود داشته باشد می‌توان نوشت:

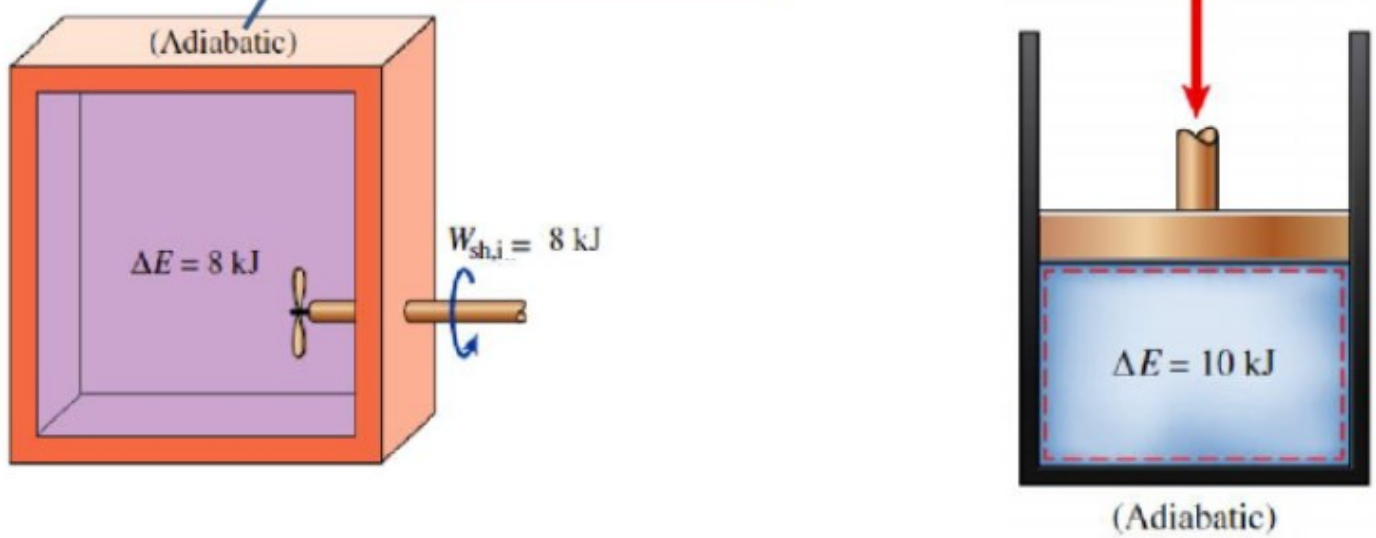
$$\begin{pmatrix}\text{Total energy}\\ \text{entering the system}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Total energy}\\ \text{leaving the system}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Change in the total}\\ \text{energy of the system}\end{pmatrix}$$

•بنابراین:

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta E_{\text{system}}$$

رابطه‌ی موازنه‌ی انرژی

سیستم ایزوله منجر به انجام فرآیند آدیاباتیک می‌گردد.



۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

•تغییرات انرژی در سیستم

•تغییرات انرژی در سیستم، همان تفاضل انرژی دو حالت نهایی و اولیه است.

$$\Delta E_{\text{system}} = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}} = E_2 - E_1$$

•انرژی نیز یک خاصیت از ماده است و در صورتی تغییر می‌کند که حالت ماده تغییر کند.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta \text{KE} + \Delta \text{PE}$$

انرژی پتانسیل

انرژی جنبشی

انرژی درونی

•که در اینجا:

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta \text{KE} = \tfrac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta \text{PE} = mg(z_2 - z_1)$$

در یک سیستم ساکن، تغییرات در انرژی پتانسیل و جنبشی صفر است. بنابراین در چنین سیستم‌هایی، تغییرات انرژی کل همان تغییرات انرژی درونی می‌باشد.

۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

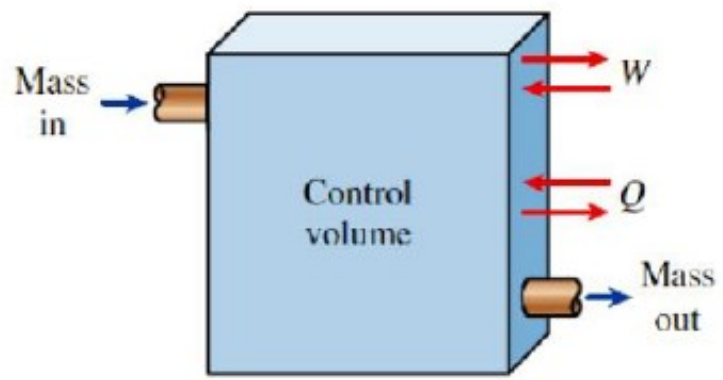
•مکانیزم‌های انتقال انرژی

•انرژی به سه طریق منتقل می‌گردد: گرما (heat)، کار (work) و جریان جرم (mass flow).

$$E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta E_{system}$$

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\text{Net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\text{Change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} \quad \text{(kJ)}$$

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} \quad \text{(kW)}$$



۵- مقدمه‌ای بر قانون اول ترمودینامیک

- مثال

- نور یک کلاس درس با استفاده از ۳۰ لامپ فلئورسنت که توان برق مصرفی هر کدام از آنها ۸۰ وات است تأمین می‌گردد. این لامپ‌ها روزانه به میزان ۱۲ ساعت روشن بوده و ۲۵۰ روز در سال فعالیت دارند. اگر هزینه‌ی هر کیلووات ساعت برق مصرفی ۱۱ سنت باشد، قیمت تمام شده‌ی برق در طول یک سال چه مقدار بوده و اثرات گرمایشی ناشی از روشن بودن این لامپ‌ها را بررسی نمائید.

- حل

- توان مورد نیاز برای روشنایی:

$$\begin{aligned}\text{Lighting power} &= (\text{Power consumed per lamp}) \times (\text{No. of lamps}) \\ &= (80\ \text{W/lamp})(30\ \text{lamps}) \\ &= 2400\ \text{W} = 2.4\ \text{kW}\end{aligned}$$

$$\text{Operating hours} = (12\ \text{h/day})(250\ \text{days/year}) = 3000\ \text{h/year}$$

$$\begin{aligned}\text{Lighting energy} &= (\text{Lighting power})(\text{Operating hours}) \\ &= (2.4\ \text{kW})(3000\ \text{h/year}) = 7200\ \text{kWh/year}\end{aligned}$$

- قیمت تمام شده:

$$\begin{aligned}\text{Lighting cost} &= (\text{Lighting energy})(\text{Unit cost}) \\ &= (7200\ \text{kWh/year})(\$0.11/\text{kWh}) = \mathbf{\$792/year}\end{aligned}$$

- روشنایی کلاس در فصل زمستان می‌توان ۲/٤ کیلووات از گرمای مورد نیاز را تأمین کند.
- از طرفی در فصل تابستان همین مقدار به ظرفیت مورد نیاز برای سرمایش کلاس می‌افزاید.

٦- بازده تبدیل انرژی

•تعریف

•بازده، یکی از واژه‌های پرکاربرد در علم ترمودینامیک می‌باشد.

•تعریف بازده را می‌توان به این صورت ارائه نمود:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}}$$

خروجی مورد نظر

خروجی مورد نیاز

•بعنوان مثال می‌توان بازده‌ی یک آب‌گرمکن را به این شکل تعریف نمود:

•نسبت انرژی داده شده به ساختمان توسط آب‌گرمکن به انرژی تأمین شده برای آن توسط انرژی الکتریکی.

چرا بازده‌ی انرژی آبگرمکن گازی کمتر است؟

Type	Efficiency
Gas, conventional	55%
Gas, high-efficiency	62%
Electric, conventional	90%
Electric, high-efficiency	94%

٦- بازده تبدیل انرژی

- تعریف (ادامه)

- انرژی گرمایی منتشر شده از اشتعال سوخت را می‌توان به شکل زیر تعریف نمود.
- مقدار گرما (Heat value) برای یک سوخت بصورت گرمای آزاد شده ناشی از اشتعال مقدار واحد آن و رسیدن دوباره به دمای اتاق تعریف می‌گردد.

بازده‌ی احتراق

$$\eta_{\text{combustion}} = \frac{Q}{\text{HV}} = \frac{\text{Amount of heat released during combustion}}{\text{Heating value of the fuel burned}}$$

تعریف دقیق مقدار گرما

٦- بازده تبدیل انرژی

- تعریف (ادامه)
  - بسیاری از تجهیزات برای تبدیل انرژی از چند فرآیند مختلف تشکیل شده که هر کدام از آنها دارای بازده‌ی خاص خود است.

$$\eta_{overall} = \eta_{combustion}\,\eta_{thermal}\,\eta_{generator} = \frac{\dot{W}_{net,electric}}{HHV \times \dot{m}_{fuel}}$$

بازده‌ی یک ژنراتور

- بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی
  - بازده‌ی مکانیکی:

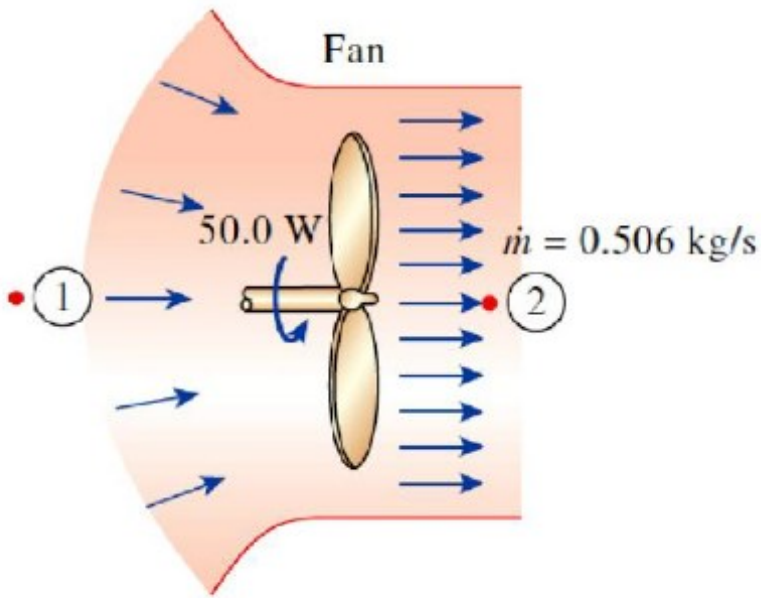
$$\eta_{mech} = \frac{\text{Mechanical energy output}}{\text{Mechanical energy input}} = \frac{E_{mech,out}}{E_{mech,in}} = 1 - \frac{E_{mech,loss}}{E_{mech,in}}$$

٦- بازده تبدیل انرژی

- بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (ادامه)
- در یک فن، کار محوری به نوعی از انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد.

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{\text{Mechanical energy output}}{\text{Mechanical energy input}} = \frac{E_{\text{mech,out}}}{E_{\text{mech,in}}} = 1 - \frac{E_{\text{mech,loss}}}{E_{\text{mech,in}}}$$

- بازده‌ی مکانیکی ۹۳ درصد به این معنی است که سه درصد از انرژی مکانیکی به نوع دیگری از انرژی (مثلاً گرمایی) تبدیل شده است.



$V_1 \approx 0,\ V_2 = 12.1$ m/s

$z_1 = z_2$

$P_1 \approx P_{\text{atm}}$ and $P_2 \approx P_{\text{atm}}$

$$\eta_{\text{mech, fan}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}}{\dot{W}_{\text{shaft, in}}} = \frac{\dot{m} V_2^2/2}{\dot{W}_{\text{shaft, in}}}$$

$$= \frac{(0.506 \text{ kg/s})(12.1 \text{ m/s})^2/2}{50.0 \text{ W}}$$

$$= 0.741$$

بازده‌ی مکانیکی فن

•بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (ادامه)

•بازده‌ی مکانیکی یک پمپ را می‌توان به این شکل بیان نمود:

$$\eta_{\text{pump}} = \frac{\text{Mechanical energy increase of the fluid}}{\text{Mechanical energy input}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}} = \frac{\dot{W}_{\text{pump},u}}{\dot{W}_{\text{pump}}}$$

•در حالی که:

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}} = \dot{E}_{\text{mech,out}} - \dot{E}_{\text{mech,in}}$$

•و برای یک توربین:

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\text{Mechanical energy output}}{\text{Mechanical energy decrease of the fluid}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft,out}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}|} = \frac{\dot{W}_{\text{turbine}}}{\dot{W}_{\text{turbine},e}}$$

•که در اینجا:

$$|\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}| = \dot{E}_{\text{mech,in}} - \dot{E}_{\text{mech,out}}$$

٦- بازده تبدیل انرژی

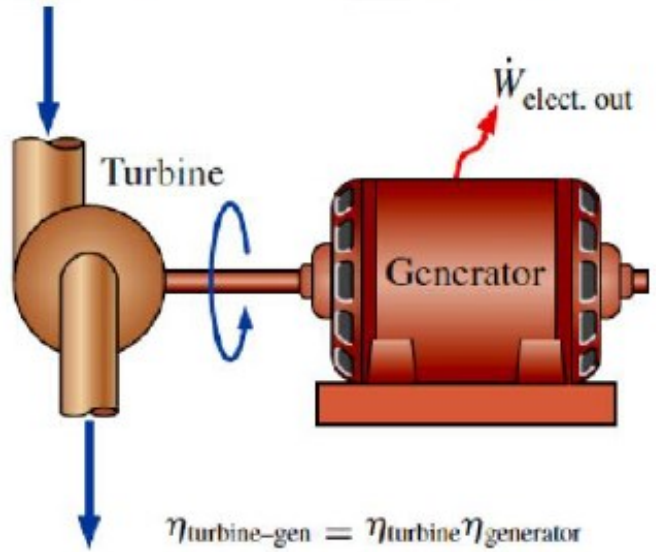
- بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (ادامه)
- و برای ترکیب ژنراتور و توربین:
- بازده‌ی موتور

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{\text{Mechanical power output}}{\text{Electric power input}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft,out}}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}}$$

- بازده‌ی ژنراتور

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{\text{Electric power output}}{\text{Mechanical power input}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}}$$

$\eta_{\text{turbine}} = 0.75$ $\eta_{\text{generator}} = 0.97$



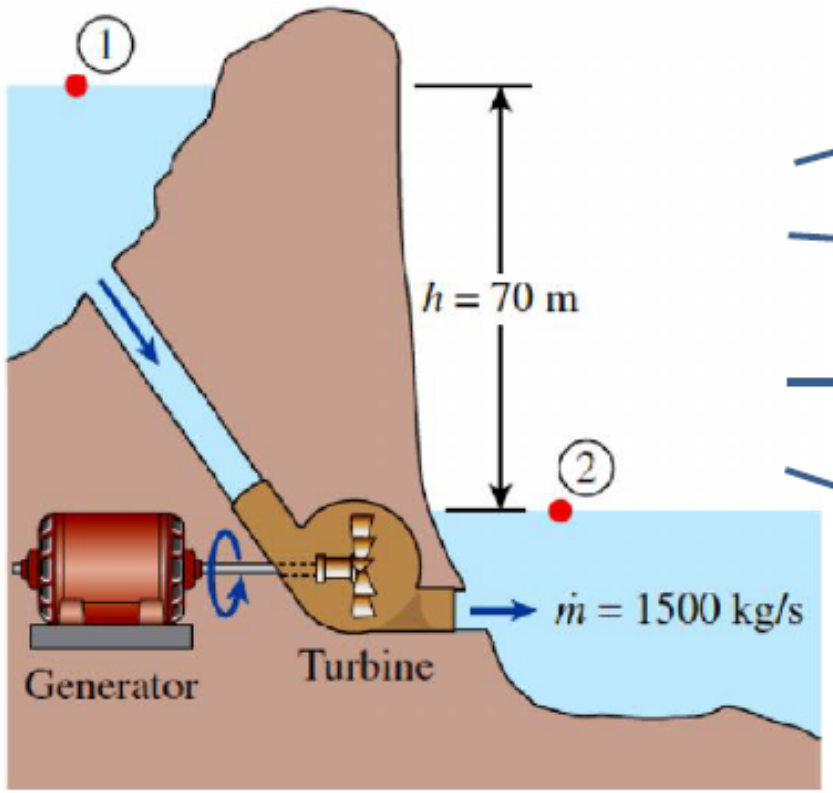
$$\eta_{\text{turbine–gen}} = \eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{generator}} = 0.75 \times 0.97 = 0.73$$

$$\eta_{\text{pump-motor}} = \eta_{\text{pump}}\eta_{\text{motor}} = \frac{\dot{W}_{\text{pump},u}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}}$$

$$\eta_{\text{turbine-gen}} = \eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{\dot{W}_{\text{turbine},e}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}|}$$

٦- بازده تبدیل انرژی

- بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (مثال)
  - تولید برق از یک نیروگاه آبی
  - همانند شکل زیر یک توربین آبی را در نظر بگیرید که ۷۰ متر پایینتر از سطح آزاد آب پشت سد قرار گرفته است. آب با دبی جریان یکنواخت ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب از سد تخلیه می‌گردد. اگر توان خروجی از توربین ۸۰۰ کیلووات و توان خروجی ژنراتور ۷۵۰ کیلووات باشد، مطلوب است بازده‌ی توربین و همچنین مجموعه‌ی توربین و ژنراتور.



سطح آب در مخزن ثابت است.

انرژی مکانیکی آب در خروجی توربین قابل صرفنظر کردن است.

توربین در سطح z=0 قرار گرفته است.

در نقطه‌ی یک و دو فشار برابر فشار اتمسفر است.

٦- بازده تبدیل انرژی

•بازده‌ی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (مثال)

•انرژی پتانسیل در نقطه‌ی ۱:

$$\text{pe}_1 = gz_1 = (9.81\ \text{m/s}^2)(70\ \text{m})\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right) = 0.687\ \text{kJ/kg}$$

نرخ ورود انرژی به توربین

$$\begin{aligned}|\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}| &= \dot{m}(e_{\text{mech, in}} - e_{\text{mech, out}}) = \dot{m}(\text{pe}_1 - 0) = \dot{m}\text{pe}_1 \\ &= (1500\ \text{kg/s})(0.687\ \text{kJ/kg}) \\ &= 1031\ \text{kW}\end{aligned}$$

•بازده‌ی ترکیب توربین و ژنراتور:

$$\eta_{\text{turbine}-\text{gen}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect, out}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}|} = \frac{750\ \text{kW}}{1031\ \text{kW}} = \mathbf{0.727}\ \text{ or }\ \mathbf{72.7\%}$$

•و بازده‌ی ژنراتور:

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect, out}}}{|\dot{E}_{\text{mech, fluid}}|} = \frac{800\text{kW}}{1031\text{kW}} = \mathbf{0.776}\ \text{ or }\ \mathbf{77.6\%}$$