

۳- تعادل انرژی برای سیستم‌های بسته

• تعریف

• موازنه‌ی انرژی برای سیستم‌های بسته را می‌توان به این شکل نوشت:

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

انرژی خالص جابجا شده
بوسیله‌ی گرما، کار و یا
انتقال جرم

تغییر در انرژی داخلی،
جنبشی و پتانسیل

• این رابطه را می‌توان به شکل زیر نیز نوشت:

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

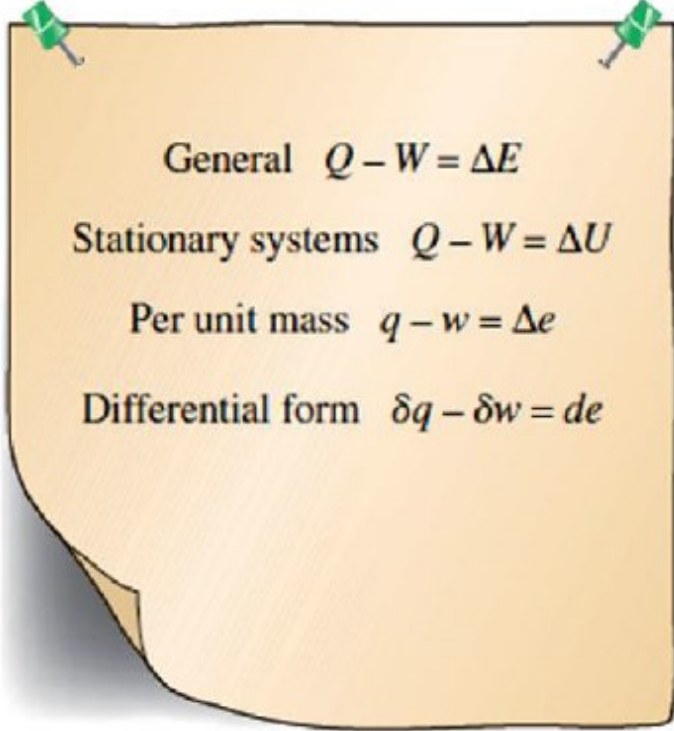
• و برای نرخ‌های ثابت، در یک بازه‌ی زمانی می‌توان نوشت:

$$Q = \dot{Q} \Delta t, \quad W = \dot{W} \Delta t, \quad \text{and} \quad \Delta E = (dE/dt) \Delta t \quad (\text{kJ})$$

۳- تعادل انرژی برای سیستم‌های بسته

• تعریف (ادامه)

• قانون اول را می‌توان به صورت‌های مختلفی نوشت:



General $Q - W = \Delta E$

Stationary systems $Q - W = \Delta U$

Per unit mass $q - w = \Delta e$

Differential form $\delta q - \delta w = de$

5.42 A cylinder fitted with a frictionless piston contains 2 kg of superheated refrigerant R-134a vapor at 350 kPa, 100°C. The cylinder is now cooled so that the R-134a remains at constant pressure until it reaches a quality of 75%. Calculate the heat transfer in the process.

Solution:

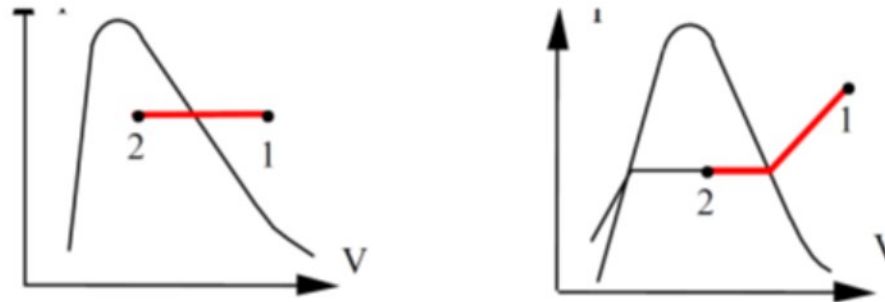
C.V.: R-134a $m_2 = m_1 = m;$

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

$$Q - W = \Delta U + \Delta \overset{0}{\text{KE}} + \Delta \overset{0}{\text{PE}}$$

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = m(u_2 - u_1)$$

Process: $P = \text{const.} \Rightarrow {}_1W_2 = \int P dV = P\Delta V = P(V_2 - V_1) = Pm(v_2 - v_1)$



State 1: Table B.5.2 $h_1 = (490.48 + 489.52)/2 = 490 \text{ kJ/kg}$

State 2: Table B.5.1 $h_2 = 206.75 + 0.75 \times 194.57 = 352.7 \text{ kJ/kg} \text{ (350.9 kPa)}$

$${}_1Q_2 = m(u_2 - u_1) + {}_1W_2 = m(u_2 - u_1) + Pm(v_2 - v_1) = m(h_2 - h_1)$$

$${}_1Q_2 = 2 \times (352.7 - 490) = \mathbf{-274.6 \text{ kJ}}$$

EXAMPLE 5.5 A vessel having a volume of 5 m^3 contains 0.05 m^3 of saturated liquid water and 4.95 m^3 of saturated water vapor at 0.1 MPa . Heat is transferred until the vessel is filled with saturated vapor. Determine the heat transfer for this process.

Control mass: All the water inside the vessel.

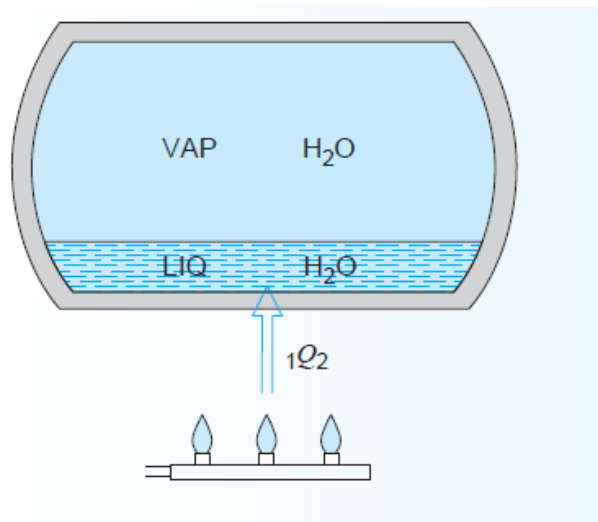


FIGURE 5.5 Sketch for Example 5.5.

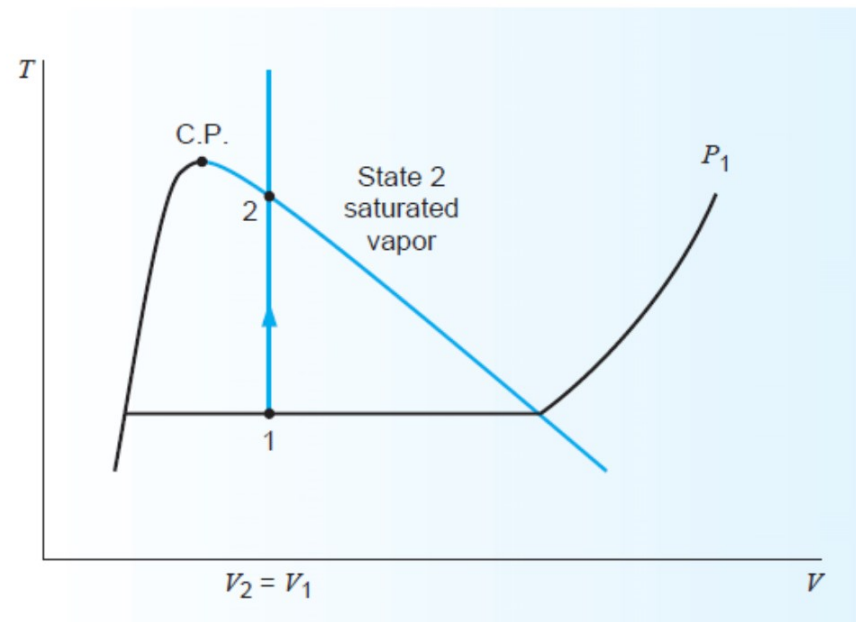


FIGURE 5.6 Diagram for Example 5.5.

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

$$Q - \cancel{W}^0 = \Delta U + \Delta \cancel{\text{KE}}^0 + \Delta \cancel{\text{PE}}^0$$

Solution

The heat transfer will be found from the first law. State 1 is known, so U_1 can be calculated. The specific volume at state 2 is also known (from state 1 and the process). Since state 2 is saturated vapor, state 2 is fixed, as is seen in Fig. 5.6. Therefore, U_2 can also be found.

The solution proceeds as follows:

$$m_{1 \text{ liq}} = \frac{V_{\text{liq}}}{v_f} = \frac{0.05}{0.001 \, 043} = 47.94 \text{ kg}$$

$$m_{1 \text{ vap}} = \frac{V_{\text{vap}}}{v_g} = \frac{4.95}{1.6940} = 2.92 \text{ kg}$$

Then

$$\begin{aligned}
 U_1 &= m_{1 \text{ liq}} u_{1 \text{ liq}} + m_{1 \text{ vap}} u_{1 \text{ vap}} \\
 &= 47.94(417.36) + 2.92(2506.1) = 27 \, 326 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

To determine u_2 we need to know two thermodynamic properties, since this determines the final state. The properties we know are the quality, $x = 100\%$, and v_2 , the final specific volume, which can readily be determined.

$$m = m_{1 \text{ liq}} + m_{1 \text{ vap}} = 47.94 + 2.92 = 50.86 \text{ kg}$$

$$v_2 = \frac{V}{m} = \frac{5.0}{50.86} = 0.098 \text{ 31 m}^3/\text{kg}$$

In Table B.1.2 we find, by interpolation, that at a pressure of 2.03 MPa, $v_g = 0.098 \text{ 31 m}^3/\text{kg}$. The final pressure of the steam is therefore 2.03 MPa. Then

$$u_2 = 2600.5 \text{ kJ/kg}$$

$$U_2 = mu_2 = 50.86(2600.5) = 132 \text{ 261 kJ}$$

$${}_1Q_2 = U_2 - U_1 = 132 \text{ 261} - 27 \text{ 326} = 104 \text{ 935 kJ}$$

تمرین

process.

- 5.49** Two kilograms of water at 200 kPa with a quality of 25% has its temperature raised 20°C in a constant-pressure process. What are the heat transfer and work in the process?

۴- گرماهای ویژه

Specific heats

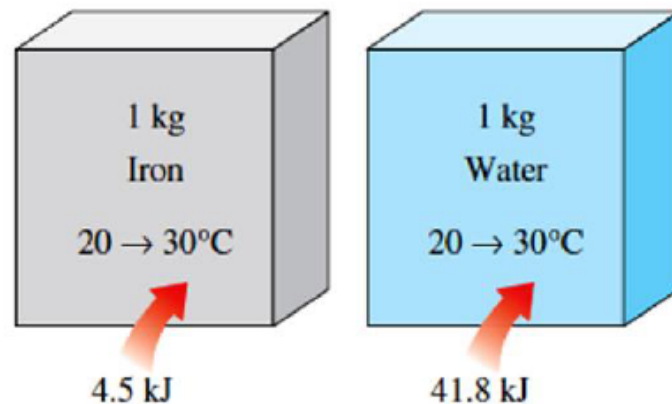
تعریف

• آزمایش نشان می‌دهد که مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای مقدار معینی از اجسام مختلف به میزان یک درجه با هم تفاوت دارد.

• مثلاً ۴/۵ کیلوژول انرژی نیاز است تا دمای یک کیلوگرم آهن از ۲۰ به ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد برسد.

• همین انرژی برای یک کیلوگرم آب ۴۱/۸ کیلوژول است. (تقریباً ده برابر)
• بنابراین:

گرمای ویژه عبارت است از انرژی مورد نیاز برای افزایش یک درجه‌ای جرم واحد هر ماده.

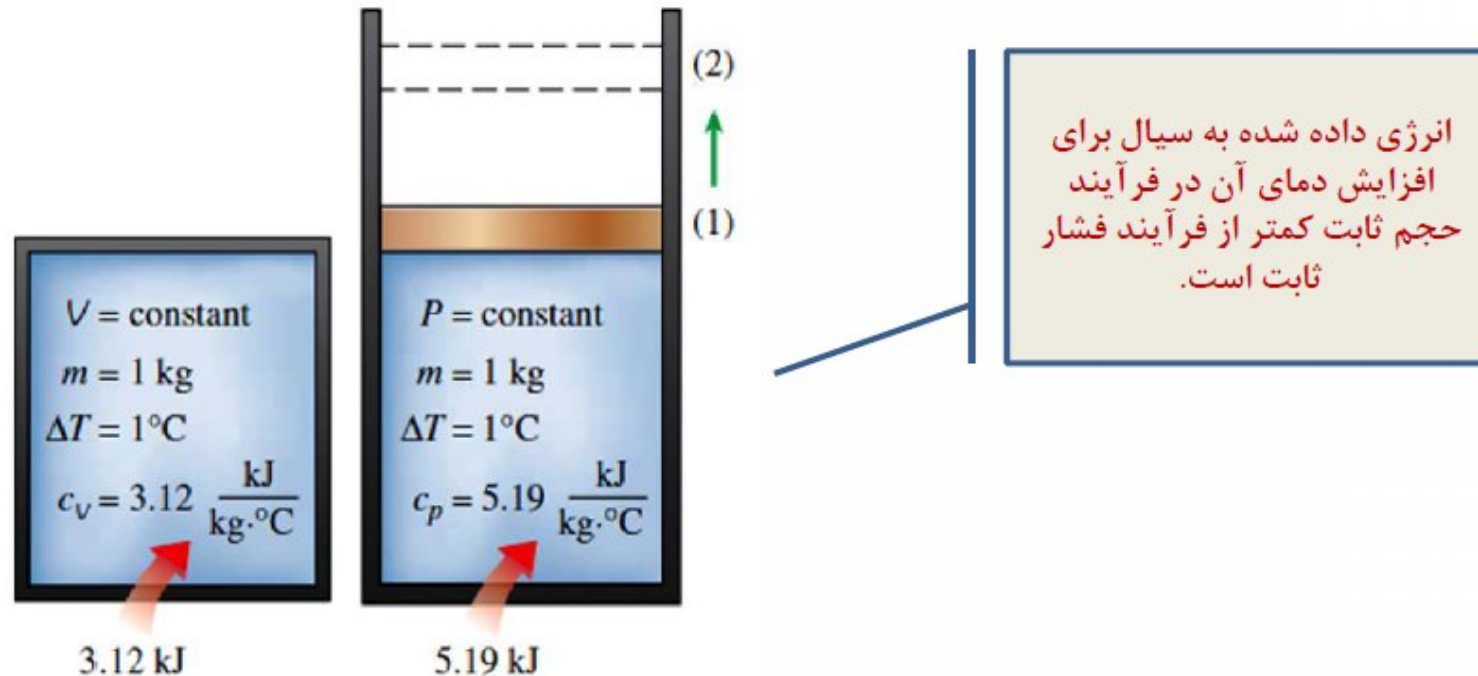


گرمای ویژه در حجم ثابت C_v
گرمای ویژه در فشار ثابت C_p

۴- گرماهای ویژه

• تعریف (ادامه)

- از نظر فیزیکی، گرمای ویژه در حجم ثابت کوچکتر از گرمای ویژه در فشار ثابت است.
- چرا که در فشار ثابت به سیستم اجازه داده می‌شود که منبسط گردد و بنابراین انرژی مورد نیاز برای این انبساط باید به سیستم افزوده شود.



۴- گرماهای ویژه

• تعریف (ادامه)

• گرمای ویژه را می‌توان بعنوان یک خاصیت ترمودینامیکی مطرح نمود.

• مقدار ثابت جرمی از یک ماده‌ی مشخص که در وضعیت سکون قرار دارد را در نظر می‌گیریم.

(مثلاً یک تانک صلب غیر قابل تراکم و انبساط)

• اصل بقای انرژی را می‌توان به این شکل نوشت:

$$\delta e_{in} - \delta e_{out} = du$$

• با توجه به تعریف C_v ، این انرژی برابر است با:

$$c_v dT = du \quad \text{at constant volume}$$

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

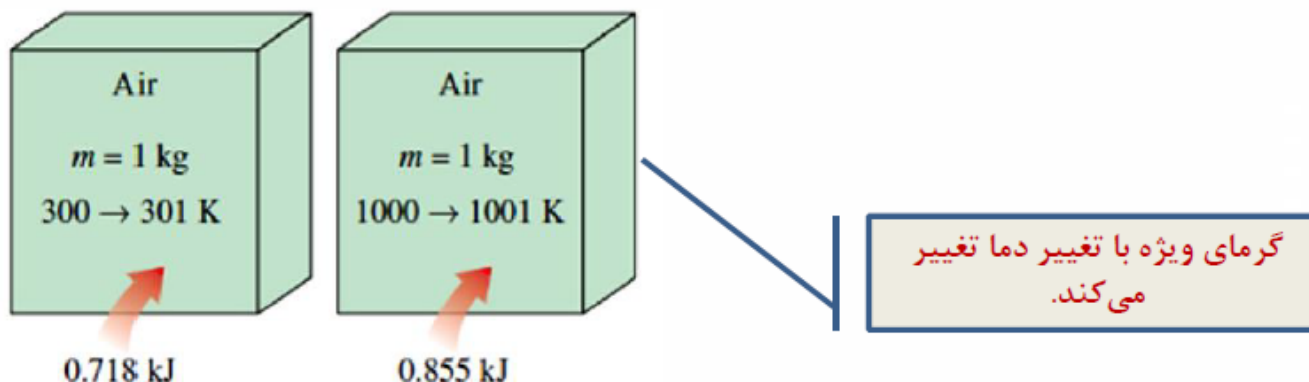
یا:

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

• به همین ترتیب برای فرآیند فشار ثابت نیز می‌توان نوشت:

• مانند هر خاصیت دیگری از ماده، C_p و C_v نیز به دما بستگی دارد.

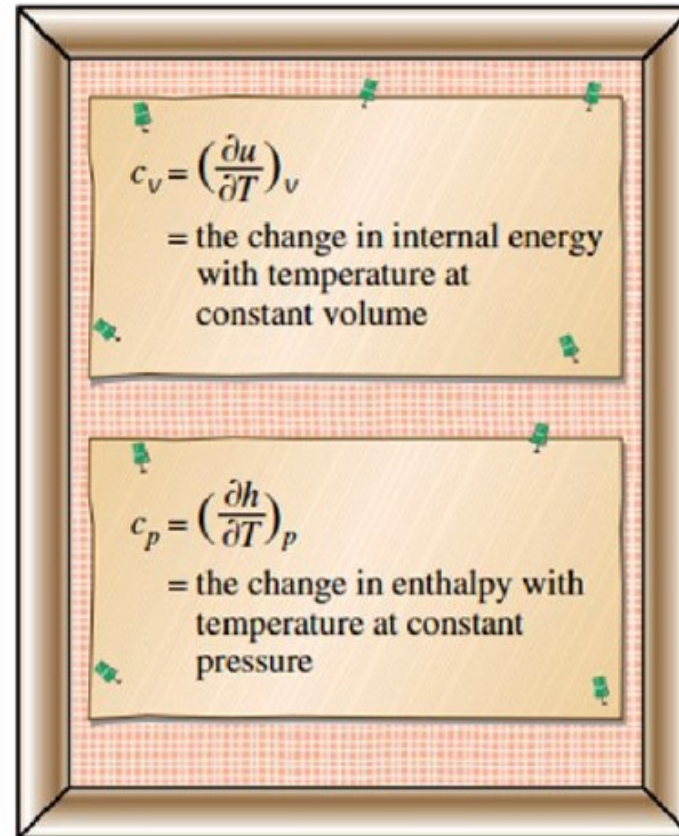
• واحد گرماهای ویژه نیز برابر است با: $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ or $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$



۴- گرماهای ویژه

• جمع بندی

• مباحث مربوط به گرماهای ویژه را می توان به این شکل جمع بندی نمود:



گرماهای ویژه مربوط به خواص
ماده هستند و به فرآیند طی
شده بستگی ندارند.

C_v به تغییرات انرژی درونی
(Internal energy) و C_p به
تغییرات آنتالپی بستگی دارد.

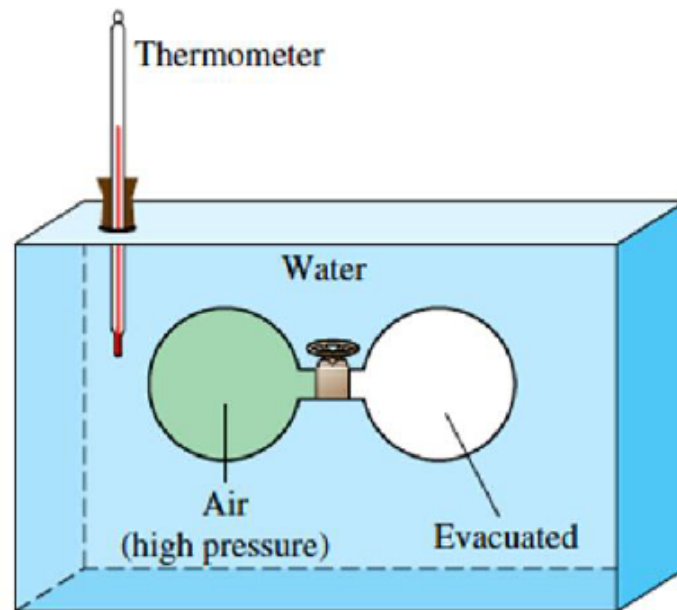
۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

•مقدمه

•همانطور که اشاره شد، رابطه‌ی $Pv=RT$ بین مشخصات گاز ایده آل برقرار است.

•بصورت تجربی و تحلیلی می‌توان نشان داد که $u=u(T)$

•یعنی انرژی درونی تنها تابعی از دما است. (با استفاده از آزمایش ژول)



اگر شیر بین دو مخزن باز شده و سیستم به تعادل برسد، تغییری در دمای هوا مشاهده نمی‌گردد.

بنابراین می‌توان دریافت که تغییرات فشار و حجم هیچ تأثیری بر انرژی درونی ندارد.

چرا که هیچ کاری بر روی سیستم انجام نشده و انتقال گرما نیز صورت نگرفته است.

۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده‌آل

• محاسبه‌ی تغییرات انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه‌ی گازهای ایده‌آل

• بر اساس تعریف آنتالپی و همچنین معادله‌ی گاز کامل، می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{array}{l} h = u + P_v \\ P_v = RT \end{array} \right\} h = u + RT$$

• بنابراین:

$$du = c_v(T) dT$$

$$dh = c_p(T) dT$$

• یادآوری می‌کنیم که انرژی داخلی و آنتالپی برای گازهای ایده‌آل تنها تابعی از دما می‌باشد.

• پس تغییرات انرژی درونی و آنتالپی یک گاز ایده‌آل در یک فرآیند از نقطه‌ی یک به دو

بوسیله‌ی رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T) dT \quad (\text{kJ/kg})$$

برای محاسبه‌ی این انتگرال‌ها می‌بایست رابطه‌ی گرماهای ویژه بعنوان تابعی از دما ارائه شده باشد.

۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

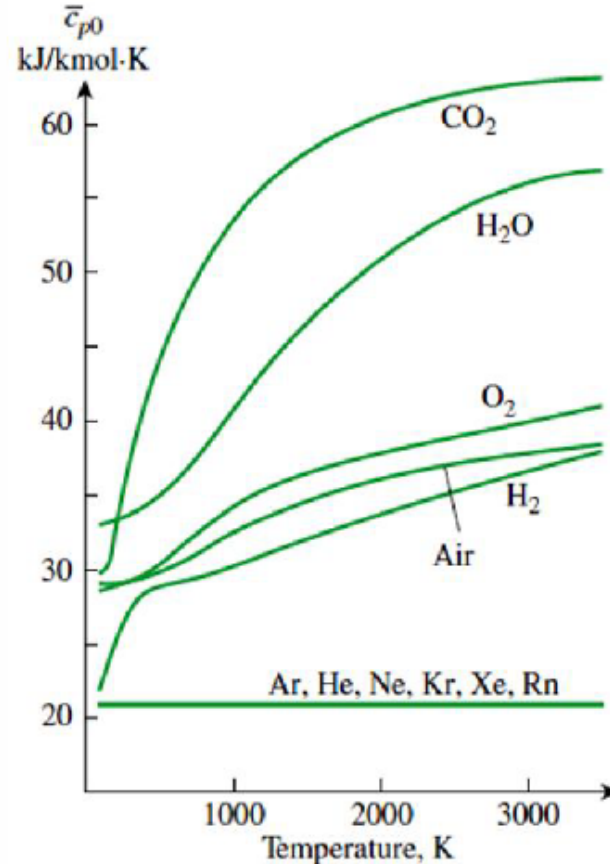
• محاسبه تغییرات انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل (ادامه)

• در جدول A-2c صفحه ۹۰۱ کتاب، مقدار C_p بعنوان تابعی از دما ارائه شده است.

$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T in K, c_p in kJ/kmol·K)

با داشتن دما می توان مقدار C_p را محاسبه نمود.



در بازه های کوچک دما، می توان تغییرات C_p را خطی فرض نمود. بنابراین در چنین حالاتی، می توان روابط انتگرالی را به این شکل نوشت:

$$u_2 - u_1 = c_{v,avg}(T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$h_2 - h_1 = c_{p,avg}(T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده‌آل

• محاسبه‌ی تغییرات انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه‌ی گازهای ایده‌آل (ادامه)

• در جدول A-2b صفحه‌ی ۹۰۰ کتاب، مقادیر C_p و C_v در دماهای مختلف ارائه شده‌اند.

• بنابراین می‌توان مقادیر متوسط را نیز با استفاده از داده‌های همین جدول بدست آورد.

Temperature, K	C_p kJ/kg·K	C_v kJ/kg·K	k
<i>Air</i>			
250	1.003	0.716	1.401
300	1.005	0.718	1.400
350	1.008	0.721	1.398
400	1.013	0.726	1.395
450	1.020	0.733	1.391
500	1.029	0.742	1.387
550	1.040	0.753	1.381
600	1.051	0.764	1.376
650	1.063	0.776	1.370
700	1.075	0.788	1.364
750	1.087	0.800	1.359
800	1.099	0.812	1.354
900	1.121	0.834	1.344
1000	1.142	0.855	1.336

مقادیر گرمای ویژه برای هوا
در دماهای مختلف

همچنین در جدول
A-17 مقادیر انرژی
درونی و آنتالپی در
دماهای مختلف ارائه
شده است.

۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

• محاسبه تغییرات انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل (ادامه)

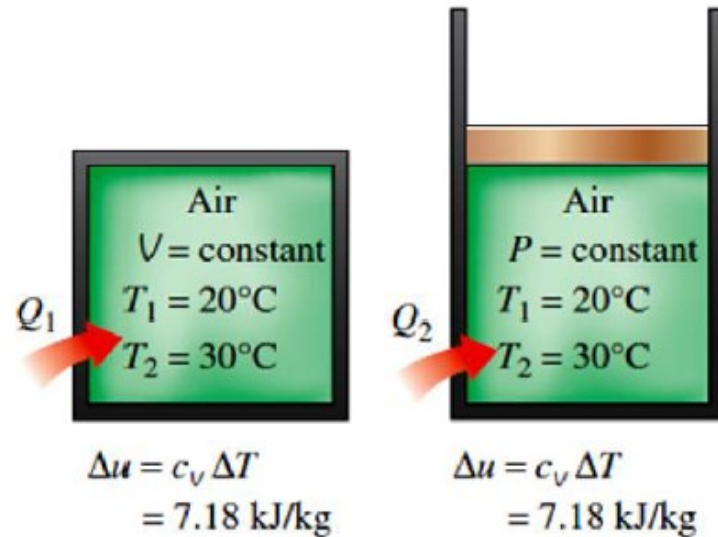
• روابط مربوط به Δu و Δh به نوع خاصی از فرآیند وابسته نیستند. آنها برای تمامی فرآیندها

صدق می کنند.

$$\Delta u = c_{v,avg} \Delta T$$

بدون توجه به نوع فرآیند.

• یعنی حجم ثابت و فشار ثابت برای تعاریف مربوط به C_p و C_v مورد استفاده قرار گرفته است.



۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده‌آل

• محاسبه‌ی تغییرات انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه‌ی گازهای ایده‌آل (ادامه)

• بنابراین، سه راه برای محاسبه‌ی تغییرات آنتالپی و انرژی درونی گازهای ایده‌آل وجود دارد:

• الف) استفاده از جداول u و h که در صورت موجود بودن، ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش است.

• ب) بهره‌گیری از روابط C_p و C_v بعنوان تابعی از دما و انتگرال‌گیری از روابط که بسیار دقیق اما وقت‌گیر است.

• ج) با استفاده از مقادیر متوسط C_p و C_v که ساده است و جواب‌های قابل قبولی در بازه‌های کوچک دمايي دارد.

• روابط بین گرمای ویژه برای گاز ایده‌آل:

$$h = u + RT \quad \text{می‌دانیم، برای یک گاز ایده‌آل:}$$

$$dh = du + R dT \quad \text{بنابراین:}$$

$\swarrow \quad \searrow$

$$c_p dT \quad \quad \quad c_v dT$$

در نتیجه:

$$c_p = c_v + R \quad (\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$$

پس با استفاده از این رابطه می‌توان با داشتن C_p و ثابت عمومی گازها، مقدار C_v را نیز بدست آورد.

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

نسبت گرمای ویژه
(Specific heat ratio)

مقدمه

کار مرز متحرک

سیستم‌های بسته

گرمای ویژه

گاز ایده‌آل

مایعات و جامدات

۵- انرژی درونی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

• روابط بین گرماهای ویژه برای گاز ایده آل: (ادامه)

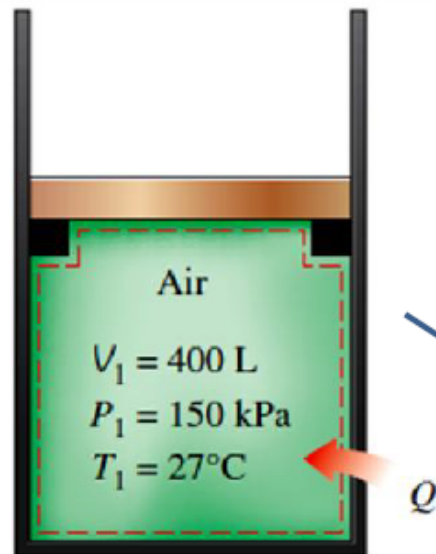
• مثال:

• یک سیستم سیلندر و پیستون همانند شکل زیر را در نظر بگیرید. در ابتدا درون آن هوا در فشار ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۲۷ درجه‌ی سانتیگراد وجود دارد. در این حالت پیستون بر روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته است و حجم اولیه ۴۰۰ لیتر می‌باشد. فشار لازم برای جابجایی عمودی پیستون ۳۵۰ کیلوپاسکال است. در این مرحله به هوا گرما داده می‌شود تا حجم آن دو برابر شود. مطلوب است:

الف) دمای نهایی

ب) کار انجام شده توسط هوا

ج) کل گرمای داده شده به هوا برای این فرآیند.



فرضیات:

هوا در این مسئله گاز ایده آل است.

تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل سیستم صفر است.

بنابراین $\Delta E = \Delta U$

حل هوای درون یک دستگاه پیستون-سیلندر مجهز به یک جفت مانع تا جایی گرمایش می شود که حجم آن دوبرابر شود. می خواهیم دمای نهایی، کار انجام شده و کل گرمای انتقالی را تعیین کنیم.

فرض ها ۱. هوا در این شرایط گاز آرمانی است؛ زیرا دمای هوا از دمای نقطه بحرانی آن بیش تر و فشار هوا از فشار نقطه بحرانی آن کم تر است. ۲. سیستم ساکن است، بنابراین تغییر انرژی های جنبشی و پتانسیل برابر با صفر است، $\Delta KE = \Delta PE = 0$ و $\Delta E = \Delta U$. ۳. پیش از آغاز حرکت پیستون حجم ثابت و پس از آن فشار ثابت است. ۴. سیستم فاقد کار الکتریکی، شفت یا دیگر صورت های کار است.

تحلیل محتوای سیلندر را سیستم اختیار می کنیم (شکل ۴-۳۲). این سیستم، نوعی سیستم بسته است؛ زیرا طی فرایند از مرز سیستم، جرم عبور نمی کند. این دستگاه پیستون-سیلندر دارای مرز متحرک است، بنابراین کار مرز (W_b) انجام می شود. هم چنین سیستم کار مرز انجام می دهد و به سیستم گرما انتقال می یابد.

(الف) دمای نهایی را از رابطه گاز آرمانی میان حالات ۱ و ۳ به دست می آوریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{(150 \text{ kPa})(V_1)}{300 \text{ K}} = \frac{(350 \text{ kPa})(2V_1)}{T_2}$$

$$T_2 = 1400 \text{ K}$$

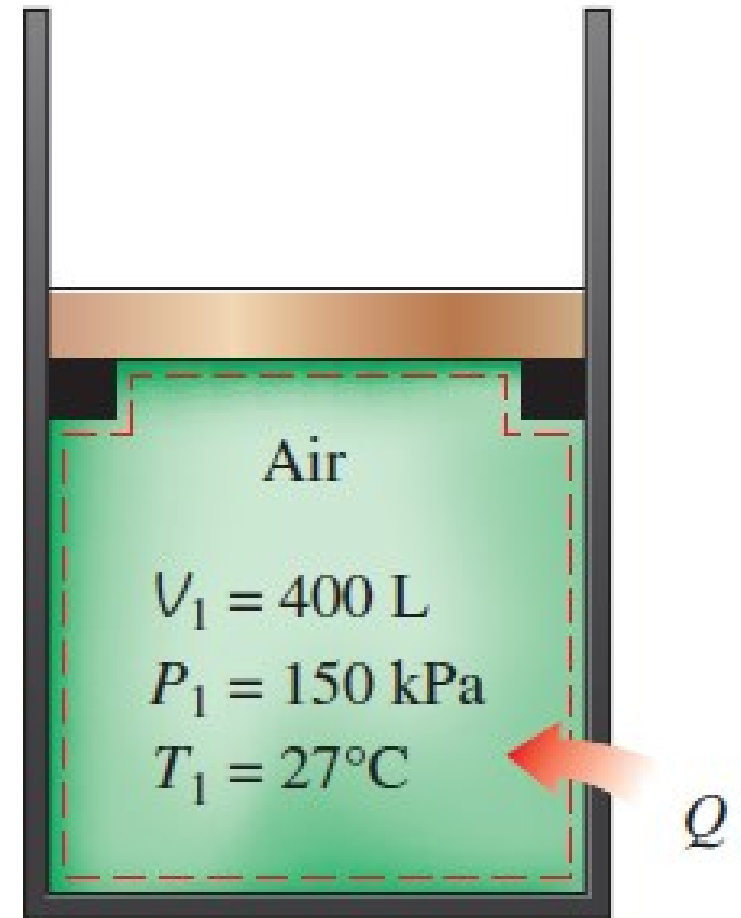
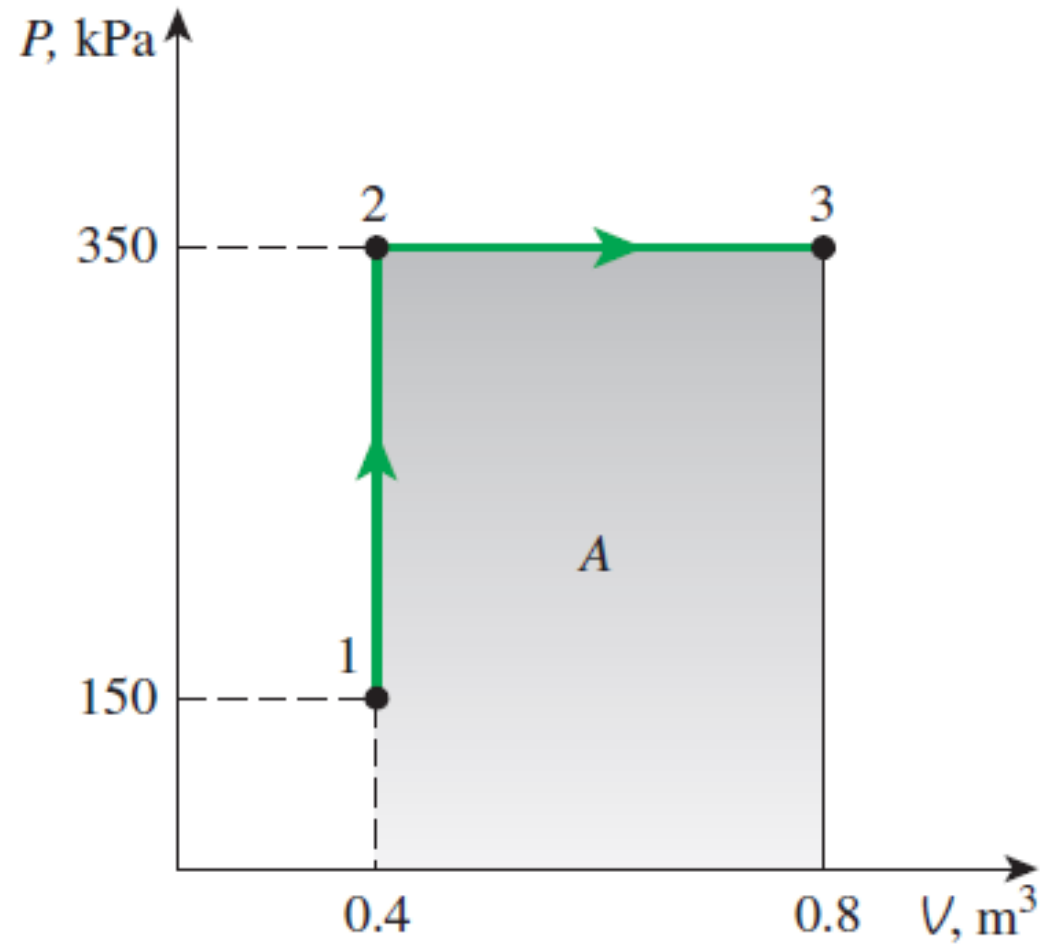


FIGURE 4–32

Schematic and P - V diagram for

(ب) هرچند می‌توانیم کار انجام‌شده را با انتگرال‌گیری محاسبه کنیم، در این مورد بسیار ساده‌تر است کار انجام‌شده را با محاسبه مساحت زیر منحنی فرایند نمودار در شکل ۴-۳۲ بیابیم:

$$A = (V_2 - V_1)P_2 = (0.4 \text{ m}^3)(350 \text{ kPa}) = 140 \text{ m}^3 \cdot \text{kPa}$$

بنابراین:

$$W_{12} = 140 \text{ kJ}$$

این مقدار کار را سیستم انجام می‌دهد (برای بالابردن پیستون و به عقب راندن هوای جو). بنابراین این کار نوعی کار خروجی است.

(ج) با توجه به فرض‌ها و توضیحات فوق، رابطه موازنه انرژی در این سیستم میان حالات اولیه و نهایی (فرایند ۱-۳) برابر است با:

$$\underbrace{E_{\text{in}} - E_{\text{out}}}_{\text{انتقال انرژی خالص با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sys}}}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و ...}}$$

$$Q_{\text{in}} - W_{b,\text{out}} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

جرم سیستم را از رابطه گاز آرمانی محاسبه می‌کنیم:

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{(150 \text{ kPa})(0.4 \text{ m}^3)}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})} = 0.697 \text{ kg}$$

مقادیر انرژی درونی را از جدول هوا (جدول الف-۱۷) به دست می‌آوریم:

$$u_1 = u_{@ 300 \text{ K}} = 214.07 \text{ kJ/kg}$$

$$u_2 = u_{@ 1400 \text{ K}} = 1113.52 \text{ kJ/kg}$$

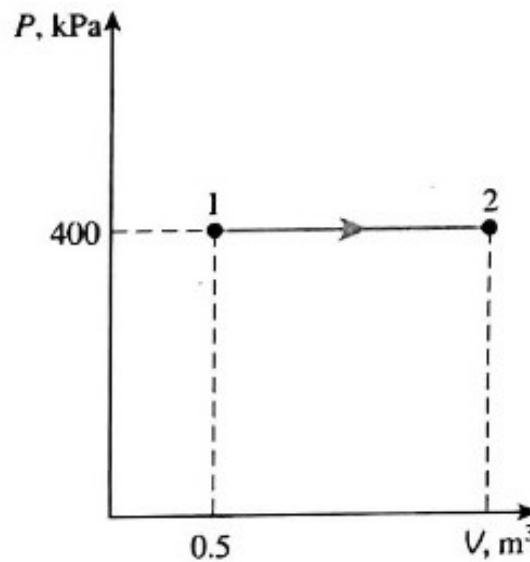
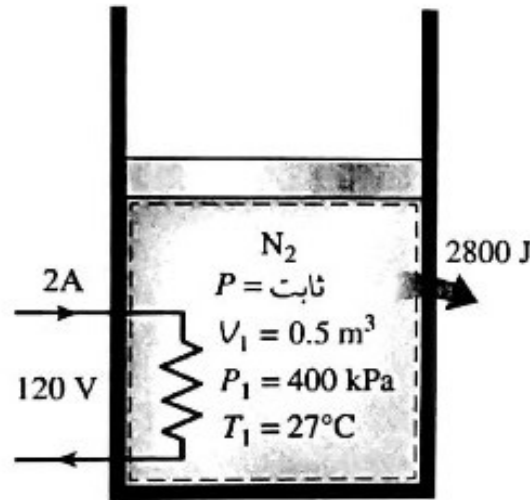
بنابراین:

$$Q_{\text{in}} - 140 \text{ kJ} = (0.697 \text{ kg})[(1113.52 - 214.07) \text{ kJ/kg}]$$

$$Q_{\text{in}} = 767 \text{ kJ}$$

بحث علامت مثبت تأیید می‌کند که به سیستم گرما انتقال می‌یابد.

مثال ۹-۴ گرمایش گاز با گرم کن مقاومتی



شکل ۳۱-۴ طرح‌واره و نمودار $P-V$ مثال ۹-۴

یک دستگاه پیستون-سیلندر ابتدا حاوی 0.5 m^3 گاز نیتروژن با دمای 27°C و فشار 400 kPa است. گرم کن مقاومتی درون این دستگاه را روشن می‌کنیم و به مدت ۵ دقیقه جریان 2 A از منبعی با اختلاف پتانسیل 120 V از آن عبور می‌کند. طی این فرایند، نیتروژن با انبساط در فشار ثابت، 2800 J گرما دفع می‌کند. دمای نهایی نیتروژن را محاسبه کنید.

حل گاز نیتروژن در یک دستگاه پیستون-سیلندر با گرم کن مقاومتی گرمایش می‌شود. نیتروژن با انبساط در فشار ثابت، مقداری گرما دفع می‌کند. می‌خواهیم دمای نهایی نیتروژن را تعیین کنیم.

فرض‌ها ۱. نیتروژن در این شرایط گاز آرمانی است؛ زیرا دمای نیتروژن از دمای نقطه بحرانی آن بیشتر و فشار نیتروژن از فشار نقطه بحرانی آن کمتر است. ۲. سیستم ساکن است، بنابراین تغییر انرژی‌های جنبشی و درونی برابر با صفر است، $\Delta KE = \Delta PE = 0$ و $\Delta E = \Delta U$. ۳. طی فرایند فشار ثابت می‌ماند، بنابراین $P_2 = P_1$. ۴. برای نیتروژن از مقادیر گرمای ویژه ثابت در دمای اتاق استفاده می‌کنیم.

تحلیل محتوای سیلندر را سیستم اختیار می‌کنیم (شکل ۳۱-۴). این سیستم، نوعی سیستم بسته است؛ زیرا طی فرایند از مرز سیستم جرم عبور نمی‌کند. این دستگاه پیستون-سیلندر دارای مرز متحرک است، بنابراین کار مرز (W_b) انجام می‌شود. هم‌چنین سیستم گرما دفع می‌کند و روی سیستم کار الکتریکی W_e انجام می‌شود. نخست کار الکتریکی انجام‌شده روی نیتروژن را محاسبه می‌کنیم:

$$W_e = VI \Delta t = (120 \text{ V})(2 \text{ A})(5 \times 60 \text{ s}) \left(\frac{1 \text{ kJ/s}}{1000 \text{ VA}} \right) = 72 \text{ kJ}$$

جرم نیتروژن را از رابطه گاز آرمانی به دست می‌آوریم:

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{(400 \text{ kPa})(0.5 \text{ m}^3)}{(0.297 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})} = 2.245 \text{ kg}$$

با توجه به فرض‌ها و توضیحات فوق، رابطه موازنه انرژی در این سیستم برابر است با:

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\text{انتقال انرژی خالص با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{\Delta E_{sys}}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و...}}$$

$$W_{e,in} - Q_{out} - W_{b,out} = \Delta U$$

$$W_{e,in} - Q_{out} = \Delta H = m(h_2 - h_1) = mc_p(T_2 - T_1)$$

زیرا در سیستم بسته‌ای که در فشار ثابت دست‌خوش فرایند انبساط یا تراکم شبه‌تعادلی شود، $\Delta U + W_b = \Delta H$.
برای نیتروژن در دمای اتاق از جدول الف-۲ الف به دست می‌آوریم: $c_p = 1.039 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$. T_2 تنها
کمیت مجهول در معادله قبل است، پس:

$$-72 \text{ kJ} - 2.8 \text{ kJ} = (2.245 \text{ kg})(1.039 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(T_2 - 27^\circ\text{C})$$

$$T_2 = 56.7^\circ\text{C}$$

بحث می‌توانیم این مسئله را به جای تغییر انتالپی، با محاسبه کار مرز و تغییر انرژی درونی نیز حل کنیم.

مثال

- سیلندر پیستون یک موتور دیزلی حاوی 0.1 کیلوگرم هوا در شرایط 4 مگاپاسکال و 1527 درجه سلسیوس می باشد. سیلندر سپس طی یک فرایند پلی تروپیک با توان پلی تروپیک $n = 1.5$ تا حجمی برابر ۱۰ برابر حجم اولیه منبسط می شود.
- مطلوبست:
- الف - دمای پایانی
- ب- کار انجام شده در این فرایند
- ج- گرمای منتقل شده فرایند

حل

Take CV as the air. $m_2 = m_1 = m$;

Energy Eq.5.11 $m(u_2 - u_1) = {}_1Q_2 - {}_1W_2$

Process Eq.: $Pv^n = \text{Constant}$ (polytropic)

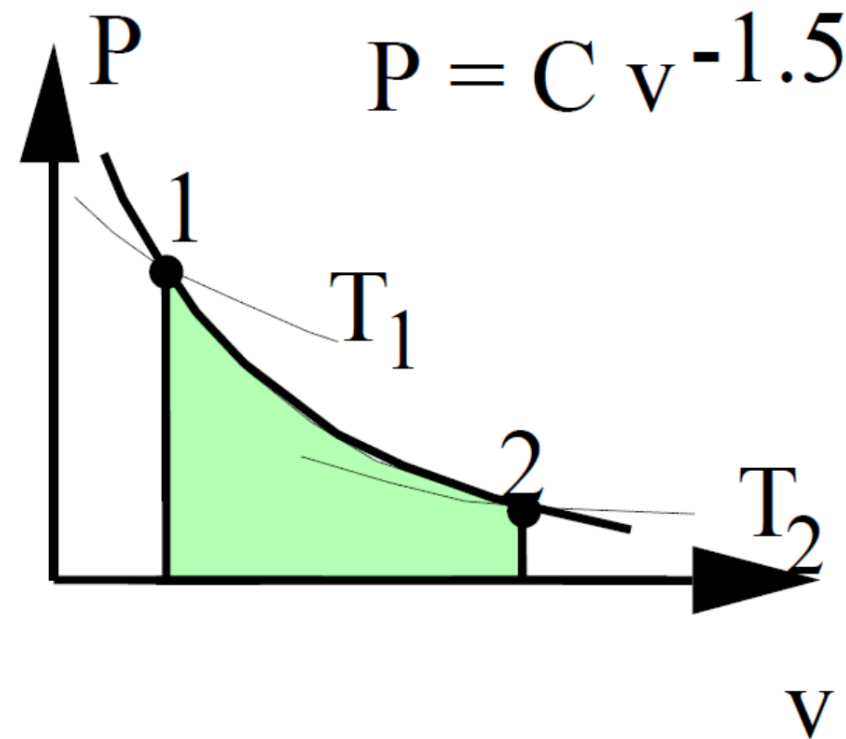
From the ideal gas law and the process equation we can get:

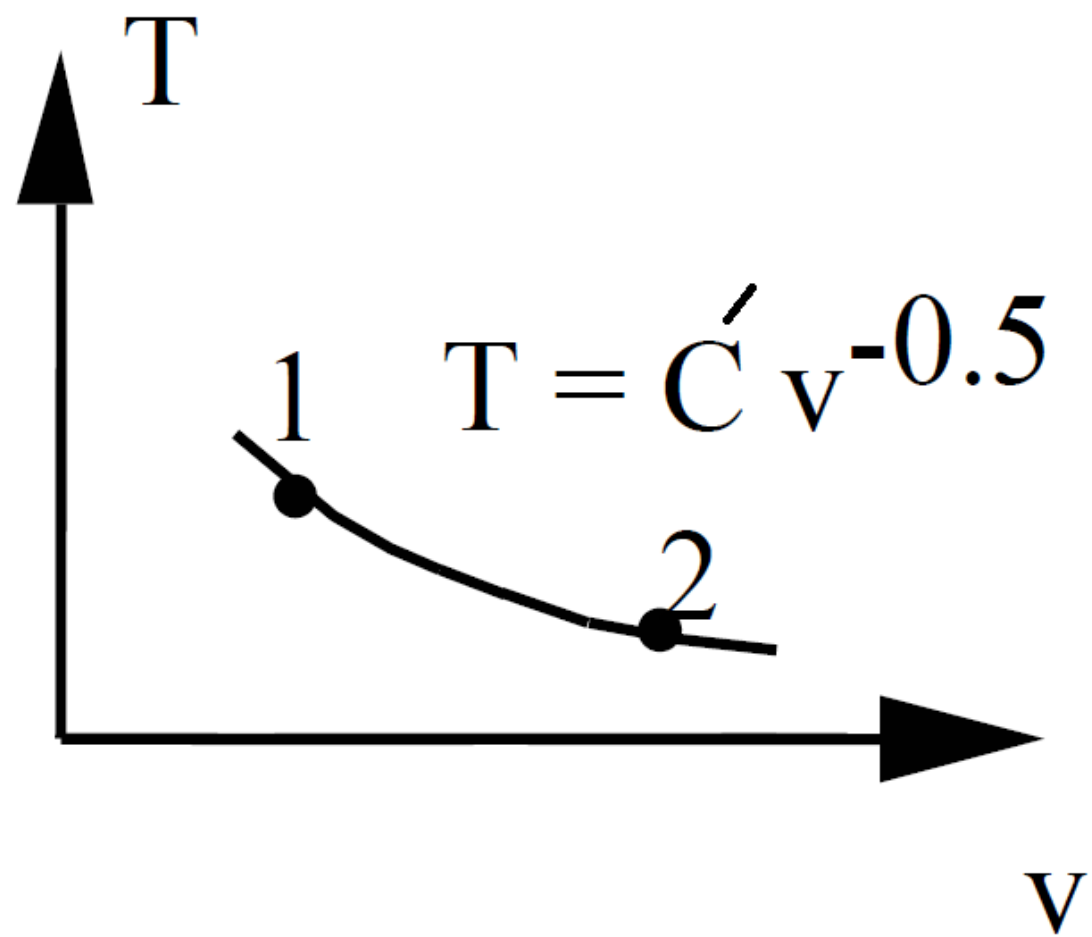
State 2: $P_2 = P_1 \left(v_2 / v_1 \right)^{-n} = 4000 \times 10^{-1.5} = 126.5 \text{ kPa}$

$$T_2 = T_1 \left(P_2 v_2 / P_1 v_1 \right) = (1527 + 273) \frac{126.5 \times 10}{4000} = 569.3 \text{ K}$$

From process eq.: ${}_1W_2 = \int P \, dV = \frac{m}{1-n} (P_2 v_2 - P_1 v_1) = \frac{mR}{1-n} (T_2 - T_1)$

$$= \frac{0.1 \times 0.287}{1 - 1.5} (569.3 - 1800) = \mathbf{70.64 \, kJ}$$





تمرین

- $2-2M$ یک پتانسیل الکتریکی 110 ولت بر روی مقاومتی اثر می گذارد به طوریکه جریان 12 A از آن عبور می کند. انرژی تلف شده در 3 دقیقه را محاسبه نمایید.
- $2-5M$ هوا در یک مجموعه پیستون - سیلندر از 20°C و 200 kPa تا 120°C و 300 kPa متراکم می شود. با فرض این که فرآیند پلی تروپیک باشد، مقدار حرارت اضافه شده به ازای هر کیلوگرم هوا را محاسبه کنید.
- $2-10M$ یک سیستم حرارتی کوچک حرارت ورودی 30 kW را همراه با کار ورودی $1/1\text{ kW}$ دریافت می کند. انرژی الکتریکی خروجی سیستم به میزان 20 kW می باشد. تغییر در انرژی داخلی سیستم را در مدت زمان 2 دقیقه محاسبه کنید.

ادامه تمرین

۲-۴۸M یک گرم کن الکتریکی در داخل ظرف ضلّبی به حجم ۱ لیتر پُر شده از نیتروژن در 50°C و ۱۰ atm قرار گرفته است. اگر ظرف مذکور کاملاً عایق شده باشد، برای افزایش فشار تا ۱۵ atm در مدت زمان ۱۰ دقیقه، شدت توان الکتریکی ورودی به گرم کن چقدر باید باشد؟

۳-۱۰M بخار آب در فشار ۲۰ kPa و کیفیت ۸۰ درصد در سیلندر - پیستونی بدون اصطکاک قرار دارد. طی یک فرآیند فشار ثابت متراکم می گردد تا حجم به نصف کاهش یابد. مقدار انتقال حرارت به ازای واحد جرم را محاسبه کنید.

۳-۲۴M بخار آب اشباع در ۱۰۰ kPa در یک سیلندر - پیستون قرار دارد و پیستون به وسیله یک فنر طوری نگهداشته می شود که فشار در سیلندر متناسب با حجم سیلندر باشد. چقدر حرارت باید به بخار آب داده شود تا فشار به ۱۵۰ kPa افزایش یابد؟