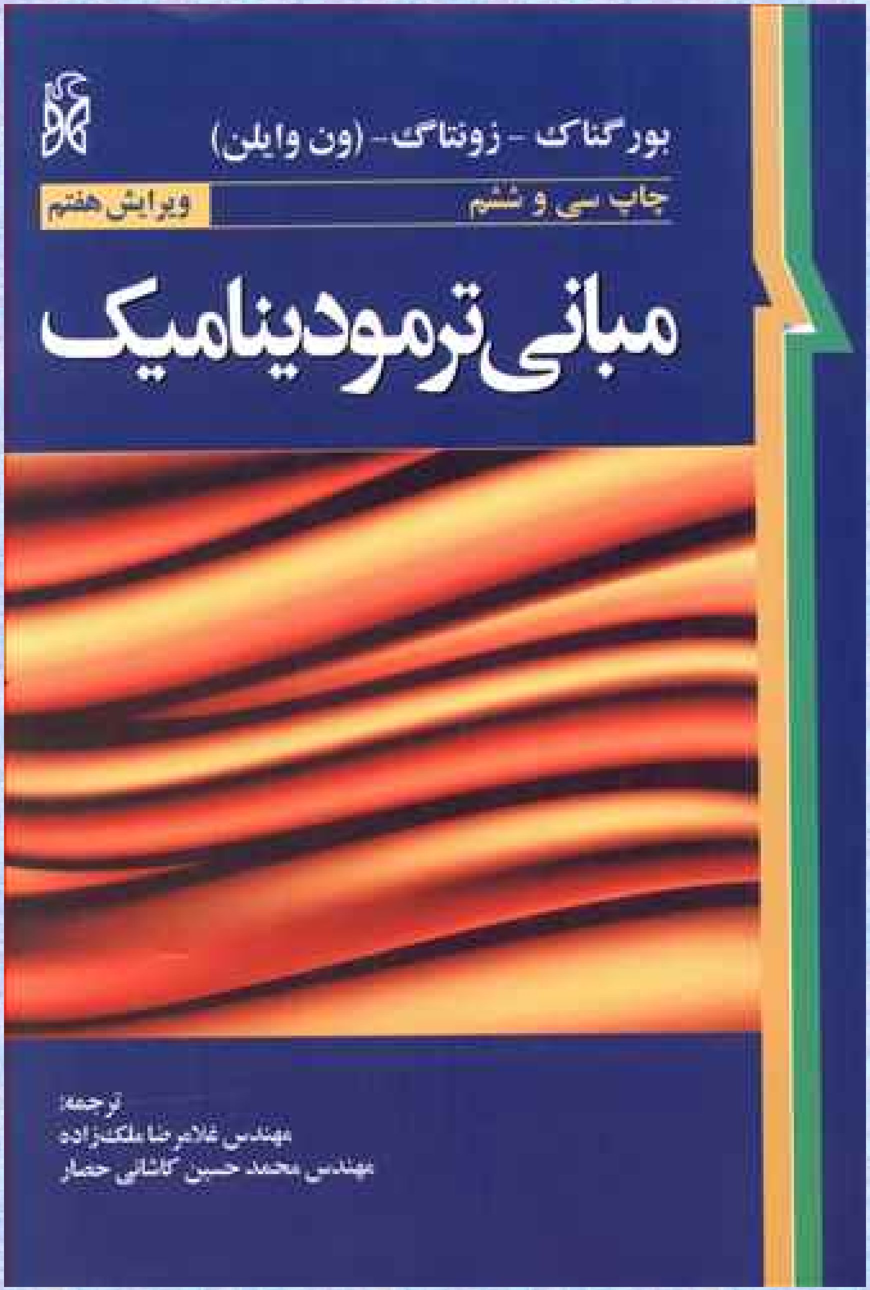
ترمودینامیک ۱

استاد:

سیدعلی صدر واقفی

۱۳۹۹


بورگناک - زونتاگ - (ون وایلن)
چاپ سی و ششم
ویرایش هفتم
مبانی ترمودینامیک
ترجمه:
مهندس غلامرضا ملک‌زاده
مهندس محمد حسین کاشانی حصار

فصل سوم : كار و گرما

* كار عملي است كه نيروي F در طول جابجايي X انجام مي‌دهد, كه اين جابجايي در راستاي نيروي F مي‌باشد.

به عبارت ديگر W=F.X يا مهندسي‌تر بگوئيم:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dX$$

* اما در ترموديناميك كار را اينگونه تعريف مي‌كنيم, كار عبارتست از اثري مكانيكي كه انرژي سيستم را افزايش يا كاهش مي‌دهد.

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dX$$

آهنگ انجام كار : توان

$$P = \frac{W}{t}$$

آهنگ تغيير كار با زمان

$$\dot{W} = \frac{dw}{dt} \quad ,[\frac{j}{s} = w]$$

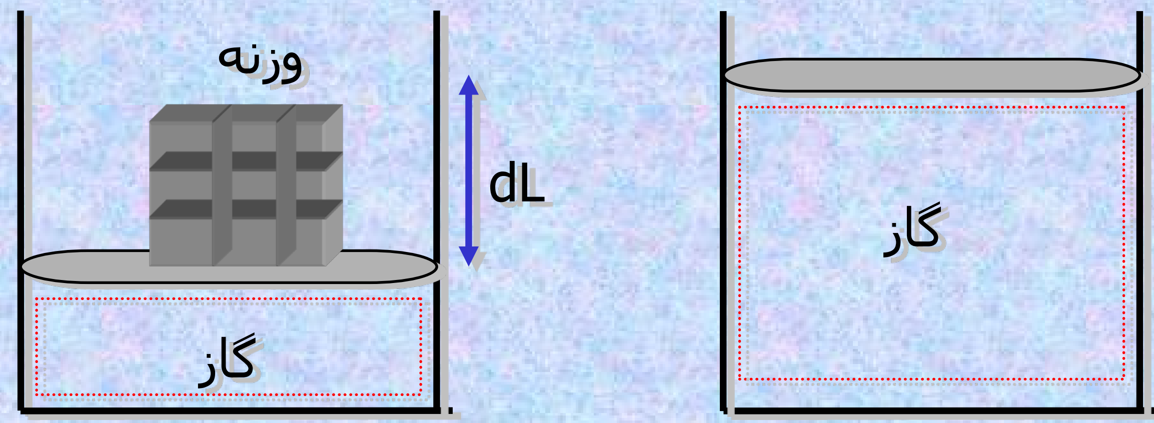
توان

كار در واحد جرم

$$w = \frac{W}{m} \quad ,[\frac{kj}{kg}]$$

کار طي يك فرايند شبه تعادلي ترموديناميكی:

گاز درون سيلندر را به عنوان سيستم در نظر بگيريد تعدادي وزنه بر روي پيستون قرار دارد. اگر يكي از وزنه‌ها را از روي پيستون برداريم پيستون به اندازه dL بالا مي‌رود كه اين فرايند را ميتوان شبه تعادلي در نظر گرفت. با توجه به اينكه p فشار سيستم و A سطح مقطع پيستون است كار انجام شده طي اين فرايند چنين محاسبه مي‌شود:

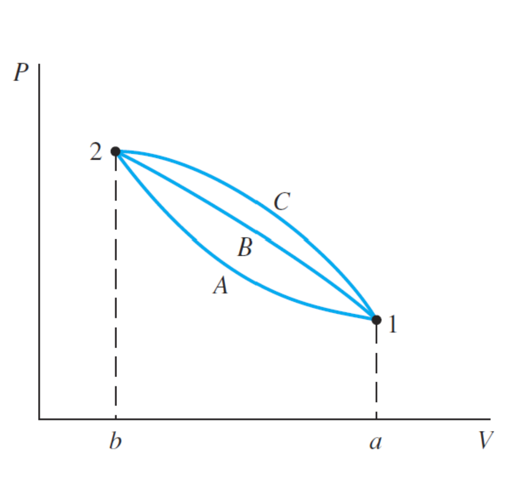


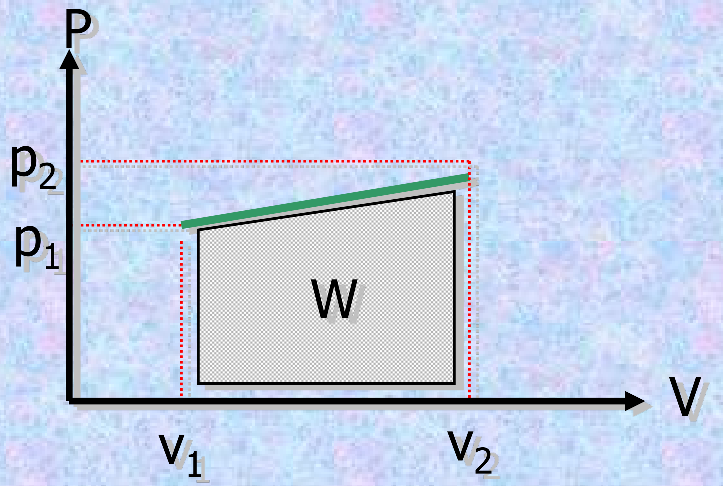
$$dw = \underbrace{F}_{P.A}.\underbrace{\Delta x}_{dL} \Rightarrow dW = P.A.dl \Rightarrow dW = P.dV \Rightarrow W = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$$

$$W=\int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$ از راه فرمول

دو راه براي بدست آوردن W وجود دارد:

از راه نمودار P-V





* براي بدست آوردن W از راه فرمول بايد رابطه‌اي بين V و P برقرار باشد.

* براي بدست آوردن W از راه نمودار بايد سطح زير نمودار P-V را بدست آوريم.

* با توجه به نمودار فوق مشخص است كه, كار تابعي از مسيري است كه فرايند طي مي‌كند.

يك قرارداد ترموديناميكي: در ترموديناميك قرارداد براينست كه اگر سيستم برروي محيط كار انجام دهد كار مثبت در نظر گرفته مي‌شود و اگر محيط برروي سيستم كار انجام دهد كار منفي در نظر گرفته مي‌شود.

فرايند پلي تروپيك:

$$P \cdot V^{n} = const \quad ,(-\infty < n < +\infty) \quad \Rightarrow P_1 \cdot V_1^{\,n} = P_2 \cdot V_2^{\,n}$$

پلي‌تروپيك $\quad W = \dfrac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-n}$

$$n = 0 \Rightarrow P = const.$$
$$n = \infty \Rightarrow V = const.$$
$$n = 1 \Rightarrow T = const.$$ گاز ايده آل

در نتيجه كار در فرايندهاي مختلف به صورت زير محاسبه مي‌گردد:

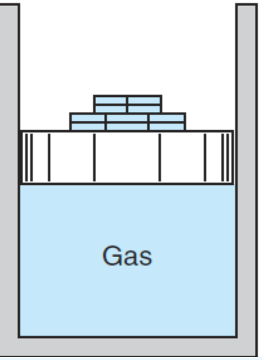
بطور كلي داريم: $W = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$

1 حجم ثابت $\Longrightarrow dV = 0 \Longrightarrow W = 0$

2 فشار ثابت $\Rightarrow W = P(V_2 - V_1)$

3 پلي تروپيك $\Rightarrow W = \frac{p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1}{1-n}$

گاز ایده آل 4 دما ثابت $\Longrightarrow W = p_1 \cdot V_1 . Ln \frac{V_2}{V_1}$



Consider as a system the gas in the cylinder shown in Fig. 3.14; the cylinder is fitted with a piston on which a number of small weights are placed. The initial pressure is 200 kPa, and the initial volume of the gas is 0.04 m^3.

a. Let a Bunsen burner be placed under the cylinder, and let the volume of the gas increase to 0.1 m^3 while the pressure remains constant. Calculate the work done by the system during this process.

$$_1W_2 = \int_1^2 P\, dV$$

Since the pressure is constant, we conclude from Eq. 3.18 and Eq. 3.21 with $n = 0$ that

$$_1W_2 = P \int_1^2 dV = P(V_2 - V_1)$$

$$_1W_2 = 200\,\text{kPa} \times (0.1 - 0.04)\text{m}^3 = 12.0\,\text{kJ}$$

b. Consider the same system and initial conditions, but at the same time that the Bunsen burner is under the cylinder and the piston is rising. Remove weights from the piston at such a rate that, during the process, the temperature of the gas remains constant.

If we assume that the ideal-gas model is valid, then, from Eq. 2.9,

$$PV = mRT$$

We note that this is a polytropic process with exponent $n = 1$. From our analysis, we conclude that the work is given by Eq. 3.18 and that the integral in this equation is given by Eq. 3.22. Therefore,

$$_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = P_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 200\text{ kPa} \times 0.04\text{ m}^3 \times \ln \frac{0.10}{0.04} = 7.33\text{ kJ}$$

c. Consider the same system, but during the heat transfer remove the weights at such a rate that the expression $PV^{1.3}$ = constant describes the relation between pressure and volume during the process. Again, the final volume is 0.1 m^3. Calculate the work.

This is a polytropic process in which $n = 1.3$. Analyzing the process, we concl again that the work is given by Eq. 3.18 and that the integral is given by Eq. 3. Therefore,

$$P_2 = 200\left(\frac{0.04}{0.10}\right)^{1.3} = 60.77\text{ kPa}$$

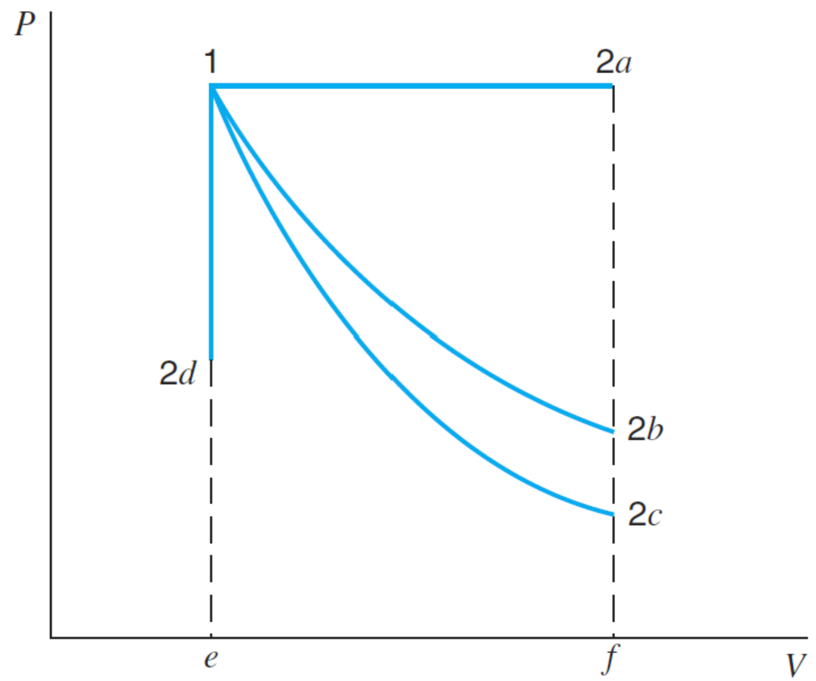
$$_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-1.3} = \frac{60.77 \times 0.1 - 200 \times 0.04}{1-1.3}\text{ kPa m}^3$$

$$= 6.41\text{ kJ}$$

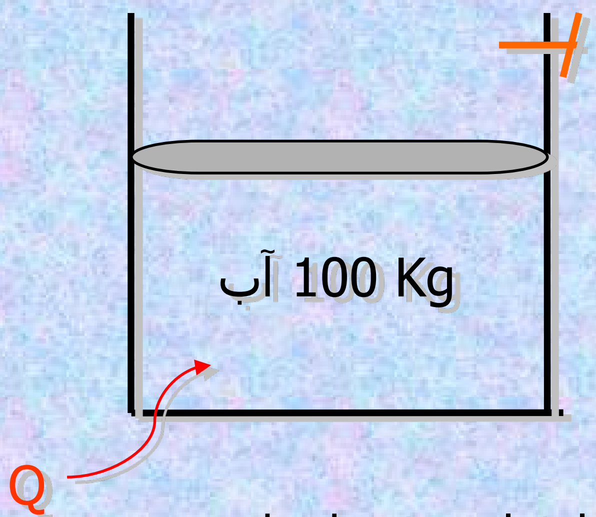
d. Consider the system and the initial state given in the first three examples, but let the piston be held by a pin so that the volume remains constant. In addition, let heat be transferred from the system until the pressure drops to 100 kPa. Calculate the work.

Since $\delta W = P\,dV$ for a quasi-equilibrium process, the work is zero, because there is no change in volume. This can also be viewed as a limit of a polytropic process for $n \to \infty$, and thus Eq. 3.21 gives zero work.

The process for each of the four examples is shown on the P–V diagram of Fig. 3.15. Process 1–2a is a constant-pressure process, and area 1–2a–f–e–1 represents the work. Similarly, line 1–2b represents the process in which $PV =$ constant, line 1–2c the process in which $PV^{1.3} =$ constant, and line 1–2d the constant-volume process. The student should compare the relative areas under each curve with the numerical results obtained for the amounts of work done.



مثال: يك سيلندر پيستون حاوي 100 Kg آب در 0.1 Mpas و حجم $0.2\ m^3$ مي‌باشد. پين موجود بر روي سيلندر حجم نهائي را در $1\ m^3$ محدود نگه‌مي‌دارد. آب تا دماي $140^{o}c$ گرم مي‌شود. فشار نهائي و كار انجام شده بوسيله آب را بيابيد.



1 $\begin{cases} m=100\ kg \\ P_1=0.1\ MPas \\ v_1=0.2\ m^3 \end{cases}$

2 $\begin{cases} V_2=1\ m^3 \\ T=140 \\ P_2,W=? \end{cases}$

⁂سيستم طي دو فرايند به حالت تعادل مي‌رسد, ابتدا فرايند فشار ثابت و سپس فرايند حجم ثابت.

در فرايند همفشار ⟶ $W_1=P(V_2-V_1)=100(1-0.2)=80$ Kg

در فرايند همحجم ⟶ $W_2=0$

$\boxed{W_T=80+0=80}$

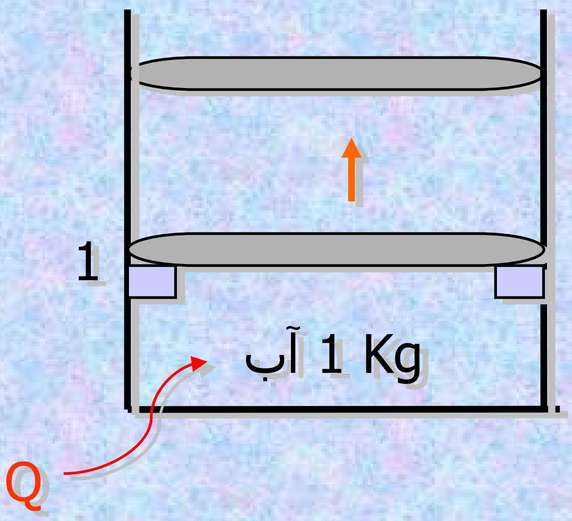
$$v=\frac{V}{m}=\frac{1}{100}=0.01\ \frac{m^3}{Kg}$$

T=140

0.001<0.01<0.5

$\xrightarrow[\text{اشباع}]{\text{جدول}}$ $\boxed{P_2=0.3613\ Mpas}$

مثال: يك سيلندر حاوي 1 Kg آب $30^{\circ c}$ است.پيستون داراي سطح مقطع $0.065\ m^2$ و جرم 40 Kg بر روي موانعي متوقف شده‌است. در اين نقطه حجم $0.1\ m^3$ و فشار اتمسفر در خارج 94 Kpa و g=9.75 است. حرارت به سيستم داده مي‌شود تا سيلندر حاوي بخار اشباع شود دماي آب وقتي كه پيستون از روي موانع حركت مي‌كند چقدر است؟كار انجام شده بوسيله آب طي فرايند چقدر است؟



$m_1=1\ Kg$, $T=30^{\circ c}$, $v_1=0.1\ m^3$

piston: $a=0.065\ m^2$, $m=40\ Kg$

atm: 94 Kpa, g=9.75

$$v_2=\frac{0.1}{1}=0.1\ \frac{m^3}{Kg}$$

فشار ناشي‌از وزن پيستون و محيط $$P_2=\frac{mg}{A}+94=0.1\ MPas$$

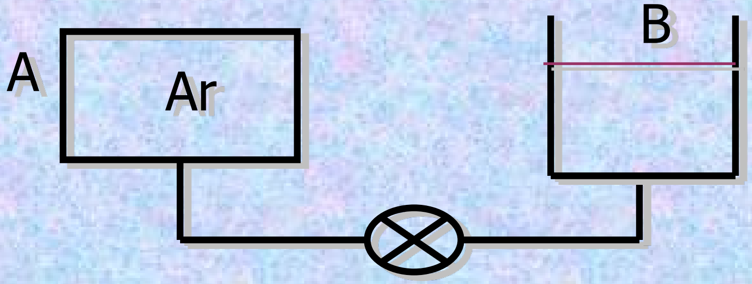
$\boxed{T=99.63^{\circ c}}$ حالت دوفازي

✧ فرايند 1-2 حجم ثابت و فرايند 2-3 فشار ثابت است.بنابراين داريم:

براي يافتن V_3 ⟶ $Vg)_{p=100\ Kp}=1.694$ ⟶ $V3=m.vg=1.694\ m^3$

$$\boxed{W=100(1.694-0.1)=159.4\ Kj}$$

مثال: مخزن آب داراي $0.4\ m^3$ و حاوي Ar در $30°c$, 250 Kpa داراي پيستون بدون اصطكاكي است و جرم آن چنان است كه فشار 150 Kpa درون ظرف لازم است كه پيستون بالا رود. شير رابط را باز مي‌كنيم تا Ar به درون سيلندر جاري شود در نهايت Ar در حالت يكنواخت 150 Kpa و $30°c$ قرار مي‌گيرد. كار انجام شده بوسيله گاز ايده‌آل آرگون را بدست آوريد.



$$\begin{cases} V_A=0.4\ m^3 \\ T=30°c \\ P_A=250\ Kpa \end{cases} \qquad \begin{cases} P_B=250\ Kpa \\ T=30°c \\ V_B=? \end{cases}$$

كار طي فرايند فشار ثابت انجام شده است.

$$W=P(V_B-V_A)$$

گاز ايده‌آل و دما ثابت است. $\longrightarrow P_AV_A=P_BV_B \longrightarrow 250\times 0.4 = 150\times V_B$

$$\boxed{V_B=0.666\ m3}$$

$$\boxed{W=150(0.666-0.4)=40\ Kj}$$

سؤال: قسمت فوقاني يك مخزن بسته حاوي آب با نيتروژن در $25^{\circ c}$ و 100 Kpa پرشده است. مخزن داراي حجم كل $4\ m^3$ و حاوي 500 Kg آب $25^{\circ c}$ است. باز هم 500 Kg آب وارد مخزن مي‌شود با فرض اينكه درجه حرارت ثابت مي‌ماند. فشار نهائي گاز ايده‌آل نيتروژن و كار انجام شده بوسيله نيتروژن را بيابيد.

آب $V_1 = m \times v_f\,)_{T=25^{\circ}c} \Rightarrow 500 \times 0.001003 = 0.5015\ \ m^3$

نيتروژن $V_1 = 4 - 0.5015 = 3.4985\ \ m^3$

آب $V_2 = 1000 \times 0.001003 = 1.003\ m^3$

نيتروژن $V_2 = 4 - 1.003 = 2.997\ m^3$

نيتروژن $W = P_1 V_1 Ln \dfrac{V_2}{V_1} = 100 \times 3.4985 Ln \dfrac{2.997}{3.4985} = \boxed{-54.12\ \ Kj = W}$

گاز ايده‌آل و دما ثابت → $P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 100 \times 3.4985 = P_2 \times 2.997 \Rightarrow \boxed{P_2 = 116.733\ \ KPas}$

Consider a slightly different piston/cylinder arrangement, as shown in Fig. 3.10. In this example the piston is loaded with a mass m_p, the outside atmosphere P_0, a linear spring, and a single point force F_1. The piston traps the gas inside with a pressure P. A force balance on the piston in the direction of motion yields

$$m_p a \cong 0 = \sum F_\uparrow - \sum F_\downarrow$$

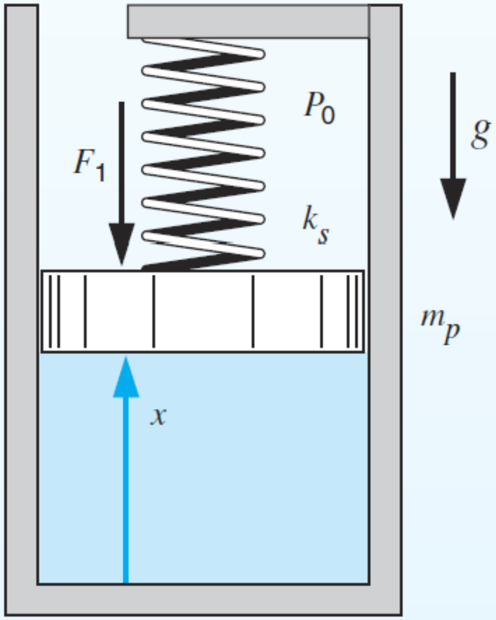


FIGURE 3.10 Sketch of the physical system for Example 3.4.

with a zero acceleration in a quasi-equilibrium process. The forces, when the spring is in contact with the piston, are

$$\sum F_\uparrow = PA, \qquad \sum F_\downarrow = m_p g + P_0 A + k_s(x - x_0) + F_1$$

with the linear spring constant, k_s. The piston position for a relaxed spring is x_0, which depends on how the spring is installed. The force balance then gives the gas pressure by division with area A as

$$P = P_0 + [m_p g + F_1 + k_s(x - x_0)]/A$$

To illustrate the process in a P–V diagram, the distance x is converted to volume by division and multiplication with A:

$$P = P_0 + \frac{m_p g}{A} + \frac{F_1}{A} + \frac{k_s}{A^2}(V - V_0) = C_1 + C_2 V$$

This relation gives the pressure as a linear function of the volume, with the line having a slope of $C_2 = k_s/A^2$. Possible values of P and V are as shown in Fig. 3.11 for an expansion. Regardless of what substance is inside, any process must proceed along the line in the P–V diagram. The work term in a quasi-equilibrium process then follows as

$${}_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = \text{area under the process curve}$$

$${}_1W_2 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(V_2 - V_1)$$

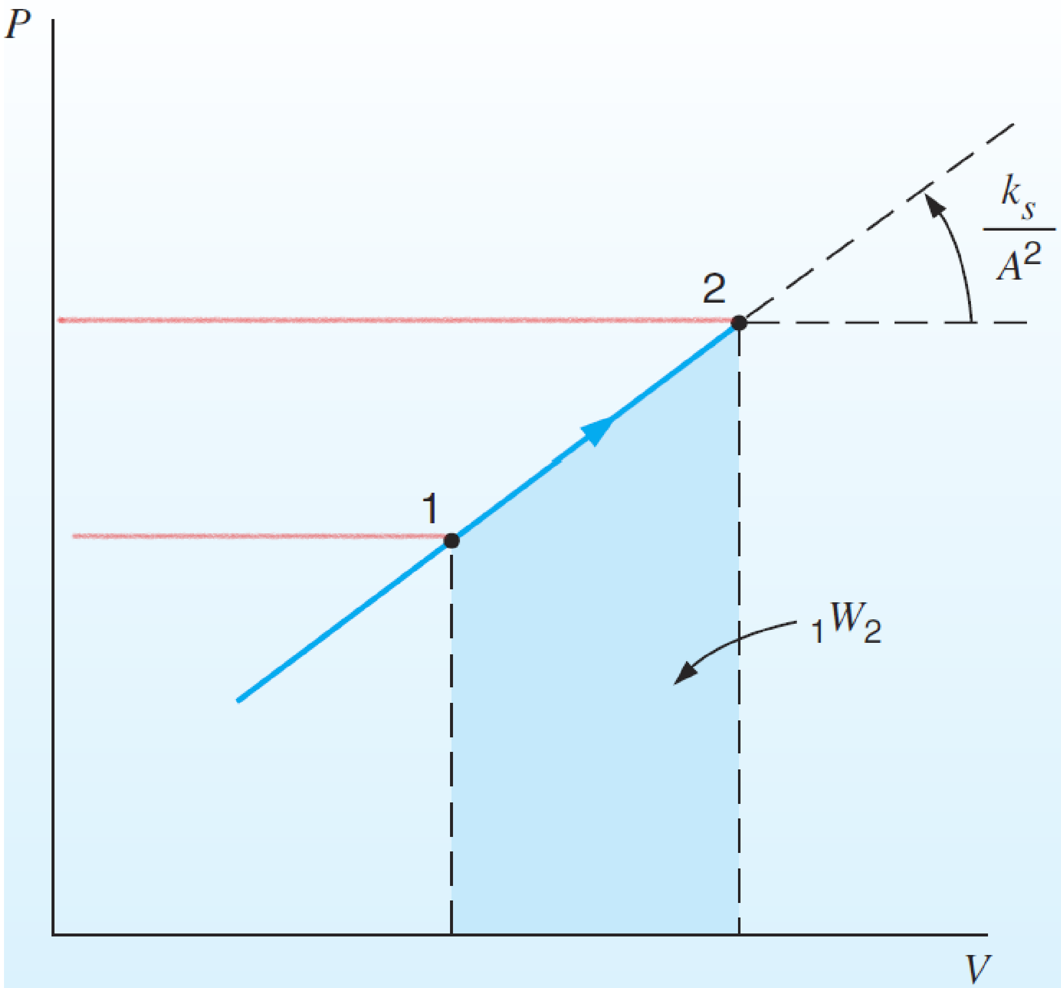


FIGURE 3.11 The process curve showing possible P–V combinations for Example 3.4.

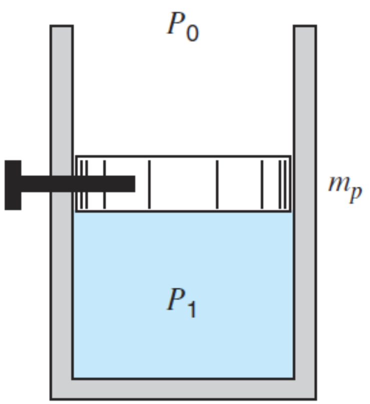


FIGURE 3.12
Example of a nonequilibrium process.

Example 3.5

Consider the system shown in Fig. 3.12, in which the piston of mass m_p is initially held in place by a pin. The gas inside the cylinder is initially at pressure P_1 and volume V_1. When the pin is released, the external force per unit area acting on the system (gas) boundary is comprised of two parts:

$$P_{ext} = F_{ext}/A = P_0 + m_p g/A$$

Calculate the work done by the system when the piston has come to rest.

After the piston is released, the system is exposed to the boundary pressure equal to P_{ext}, which dictates the pressure inside the system, as discussed in Section 1.7 in connection with Fig. 1.10. We further note that neither of the two components of this external force will change with a boundary movement, since the cylinder is vertical (gravitational force) and the top is open to the ambient surroundings (movement upward merely pushes the air out of the way). If the initial pressure P_1 is greater than that resisting the boundary, the piston will move upward at a finite rate, that is, in a nonequilibrium process, with the cylinder pressure eventually coming to equilibrium at the value P_{ext}. If we were able to trace the average cylinder pressure as a function of time, it would typically behave as shown in Fig. 3.13. However, the work done by the system during this process is done against the force resisting the boundary movement and is therefore given by Eq. 3.19. Also, since the external force is constant during this process, the result is

$${}_1W_2 = \int_1^2 P_{ext}\, dV = P_{ext}(V_2 - V_1)$$

سؤال: يك سيلندر حاوي $0.03\ m^3$ فرئون 12 در 25^oc و عيار 90% است.جرم پيستون 90 Kg و سطح مقطع آن $0.006\ m^2$ مي‌باشد كه با يك ميخ نگه‌داشته شده است.فشار محيط 100 Kpa و g=10 است. ميخ را برمي‌داريم, پيستون حركت مي‌كند, پس از مدتي سيستم به تعادل مي‌رسد و درجه حرارت نهائي 25^oc است. فشار و حجم نهائي فرئون را بدست آوريد. كار انجام شده طي فرايند را محاسبه كنيد.

$\left\{ \begin{array}{l} V_1=0.03\ m^3 \\ X=0.9 \\ T1=25^oc \end{array} \right.$ piston $\left\{ \begin{array}{l} m=90\ Kg \\ A=0.006\ m^2 \end{array} \right.$ atm $\left\{ \begin{array}{l} P=100\ Kpa \\ g=10\ m.s^{-2} \end{array} \right.$

$$P_2=\frac{mg}{A}+P_{atm}=\frac{90\times 10}{0.006}+100=150+100=\boxed{250\quad Kpa}$$

$$m=\frac{V_1}{v_1}=\frac{0.03}{v_f+x(v_g-v_f)}=1.237\ \ Kg$$

$\left. \begin{array}{l} T=25^oc \\ P_2=0.25\ Mpa \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{R-12}]{\text{بخار داغ}}$

P2=0.25 Mpa

T	v
20	0.076218
25	$v_2=0.07778$
30	0.079350

$V_2=m\times v_2$

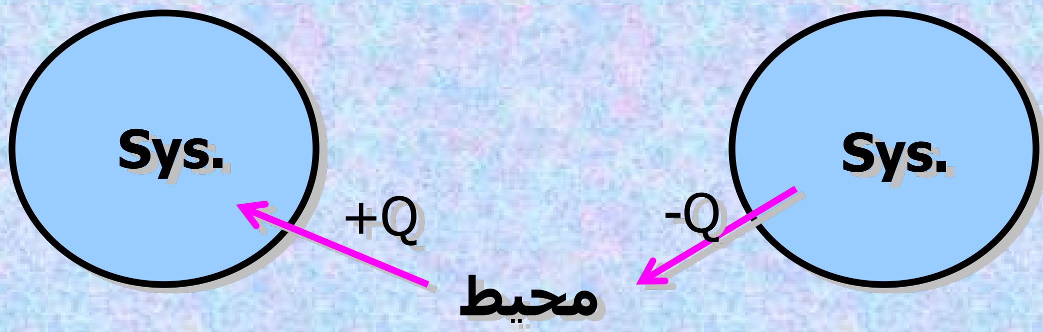
$V_2=1.237\times 0.07778$

$V_2=\ \ 0.096\ m3$

$W=P_2(V_2-V_1)=250(0.096-0.03)$ → $\boxed{W=16.5\ Kj}$

گرما: صورتي از انرژي است كه از يك سيستم با دماي بالا به سيستم ديگري با دماي كمتر انتقال مي‌يابد.

قرارداد براينست كه اگر گاز درون مخزن را بعنوان سيستم در نظر بگيريم اگر سيستم به محيط گرما بدهد علامت گرما منفي و اگر سيستم از محيط گرما دريافت كند علامت گرما مثبت است.



واحد گرما : $[kj]$

آهنگ انتقال گرما : $\dot{Q} = \dfrac{dQ}{dt} \quad ,[\dfrac{kj}{s}],[kw]$

گرما در واحد جرم : $q = \dfrac{Q}{m} \quad ,[\dfrac{kj}{kg}]$

فرايند آدياباتيك (بي دررو) : فرايندي كه انتقال گرما در آن صفر باشد.