



DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
2025-2026 GÜZ YARIYILI
TERMODİNAMİK-I DERSİ

Ders Sorumlusu:

Doç. Dr. Mert KILINÇEL

Derste Takip Edilen Kaynak : **Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla**

Yazar: **Yunus Çengel, A. Boles, Michael A. Mehmet Kanoğlu**

Çeviri ve Ders Sunu Editörü : **Prof. Dr. Ali PINARBAŞI**



Konu Başlıkları

1. Ünite : Giriş ve temel kavramlar
2. Ünite : Enerji Dönüşümleri ve Genel Enerji Çözümlemesi
3. Ünite : Saf Maddenin Özellikleri
4. Ünite : Kapalı Sistemlerin Enerji Analizi
5. Ünite : Açık Sistemlerin Enerji Analizi
6. Ünite : Termodinamiğin İkinci Yasa Analizi

Bölüm 4

KAPALI SİSTEMLERİN

ENERJİ ANALİZİ

Amaçlar

- Özellikle otomobil motoru ve kompresör gibi pistonlu makinelerde yaygın olarak karşılaşılan hareketli sınır işi veya PdV işi olmak üzere değişik iş biçimlerinin incelenmesi,
- **Kapalı sistemler (Sabit kütleli) için Termodinamiğin birinci yasasının enerjinin korunumu ifadesi olduğunun tanıtılması,**
- Kapalı sistemler için genel enerji dengesi bağıntısının geliştirilmesi,
- **Sabit hacimde veya sabit basınçta özgül ısıların tanımlanması,**
- Mükemmel gazların iç enerji ve entalpi değişimlerinin hesaplanmasını özgül ısılar ile ilişkilendirmek,
- **Katı ve sıvı gibi sıkıştırılmayan maddelerin tanımlanması ve bu maddelerin iç enerji ve entalpi değişimlerinin belirlenmesi,**
- Saf maddeler, mükemmel gazlar ve sıkıştırılmayan maddeler için iş ve ısı etkileşimleri içeren kapalı sistemlerin (sabit kütleli) enerji dengesi problemlerinin çözülmesi

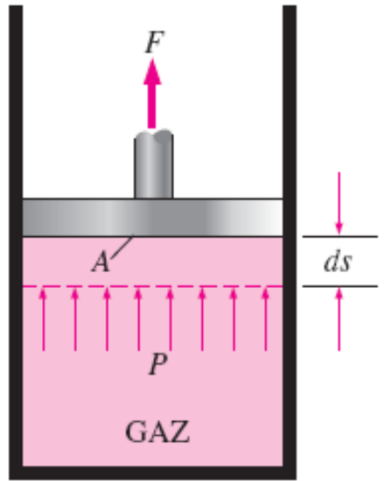
HAREKETLİ SINIR İŞİ

Hareketli sınır işi ($P dV$ işi): Bir gazın piston-silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir

$$\delta W_s = F ds = PA ds = P dV$$

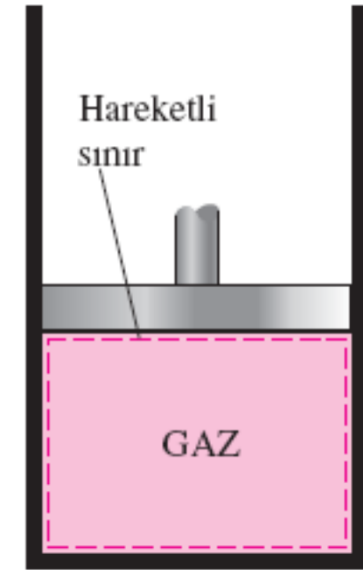
$$W_s = \int_1^2 P dV \quad (\text{kJ})$$

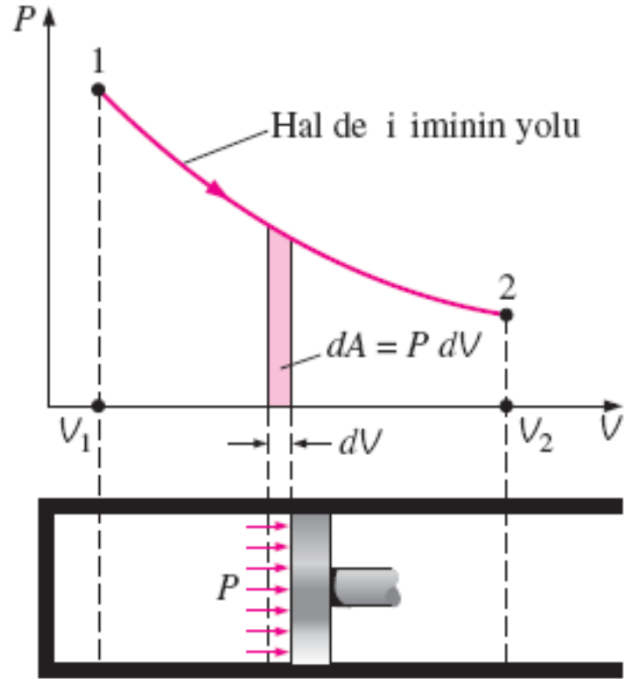
W_s pozitif \rightarrow Genişleme için
 W_s negatif \rightarrow Sıkıştırma için



Gaz pistonu iterek ds diferansiyel miktarında hareket ettirirken δW_s miktarında iş yapar.

Hareketli sınırla ilişkili iş *sınır işi* diye adlandırılır.

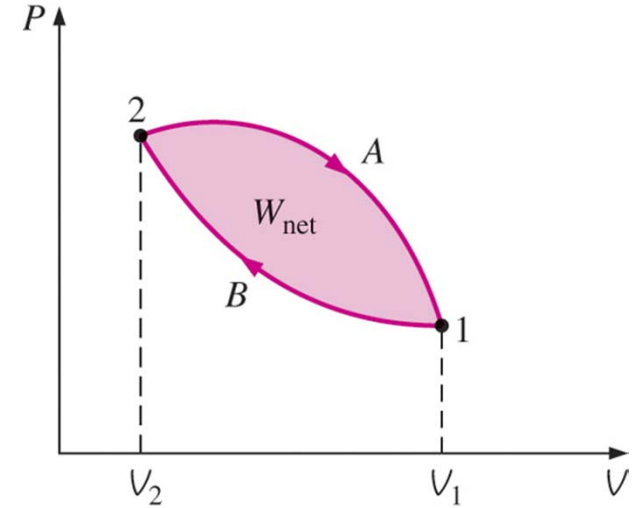




P-V diyagramında hal de ğişimi e ğrisi altında kalan alan i ři gösterir.

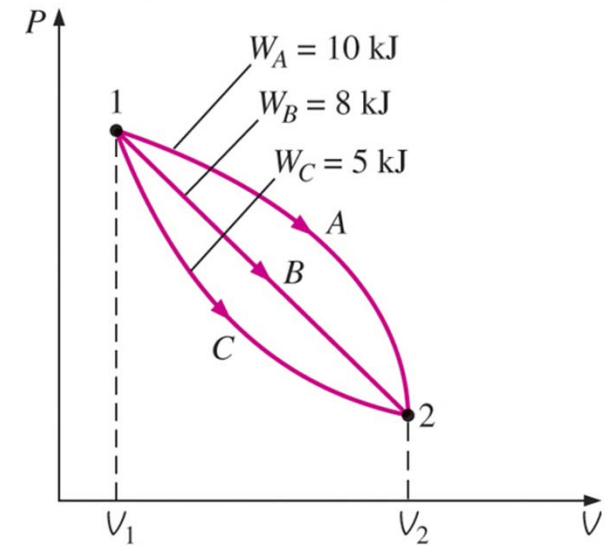
$$\text{Alan} = A = \int_1^2 dA = \int_1^2 P dV$$

Bir evrim sırasında yapılan net i ř, sistem tarafından yapılan i şle sistem üzerinde yapılan i ř arasındaki farktır.

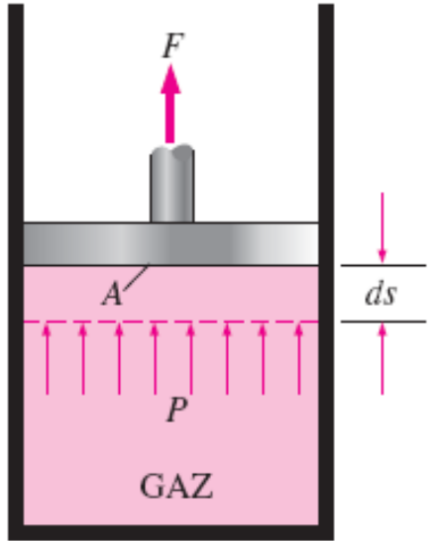


ÖNEMLİ:

Bir hal de ğişimi sırasında yapılan sınır i ři, ilk ve son hallerle hal de ğişiminin yoluna ba ğlıdır.



Eğer iş hal değişimine bağlı bir fonksiyon olmasaydı, otomobil motorları, güç santralleri gibi güç çevrimleri denge haline ulaşamaz ve güç üretmezlerdi. Örneğin; bir otomobil motorunda genişleyen sıcak gazlar tarafından yapılan sınır işi, piston ile silindir arasındaki sürtünmeyi yenmeye, atmosferik havayı dışarı doğru itmeye ve krank milinin dönmesini sağlamaya yarar. Bu yüzden;



$$W_s = W_{\text{sürtünme}} + W_{\text{atm}} + W_{\text{krank}} = \int_1^2 (F_{\text{sürtünme}} + P_{\text{atm}}A + F_{\text{krank}}) dx$$

Politropik, İzotermal ve İzobarik hal değişimi

Gerçek gazların genişleme ve sıkıştırma işlemlerinde, basınç ve hacim ilişkisi genellikle $P.V^n = C$ denkleminin uyar. Bu tür bir hal değişimi politropik hal değişimi olarak adlandırılır.

$$P = CV^{-n} \quad \text{Politropik hal değişimi: } C, n \text{ sabittir.}$$

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-n} dV = C \frac{V_2^{-n+1} - V_1^{-n+1}}{-n+1} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

Politropik hal
değişimi

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-1} dV = PV \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

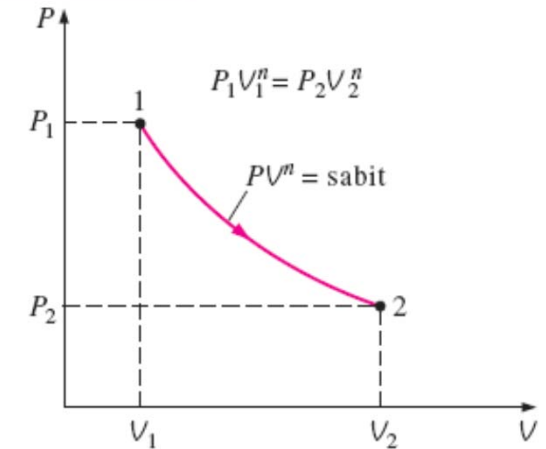
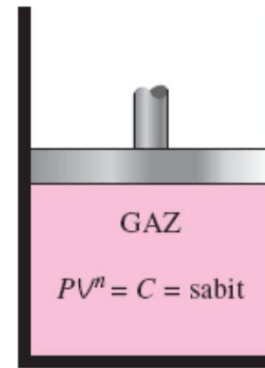
$n = 1$ olduğu zaman
(izotermal durum)

Mükemmel gaz için

$$W_s = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} \quad n \neq 1$$

Sabit basınç durumunda

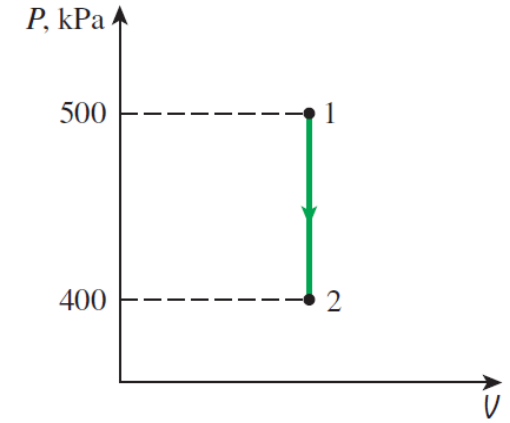
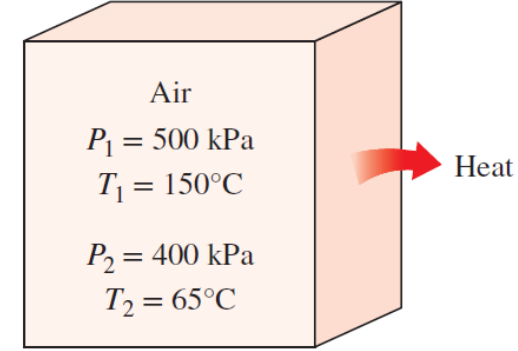
$$W_s = \int_1^2 P dV = P_0 \int_1^2 dV = P_0(V_2 - V_1)$$



Politropik hal değişiminin P-V diyagramı.

Örnek 4-1: Sabit Hacimde Hal Değişimi Sırasındaki Sınır İşi

Sabit hacimli bir kapta, 500 kPa basınç ve 150 °C sıcaklıkta hava bulunmaktadır. Çevreye olan ısı geçişi sonunda kap içindeki sıcaklık ve basınç sırasıyla 65 °C ve 400 kPa olmaktadır. Bu hal değişimi sırasında yapılan sınır işini hesaplayın.



ÖRNEK 4-1 Sabit Hacimde Hal Değişimi Sırasındaki Sınır İşi

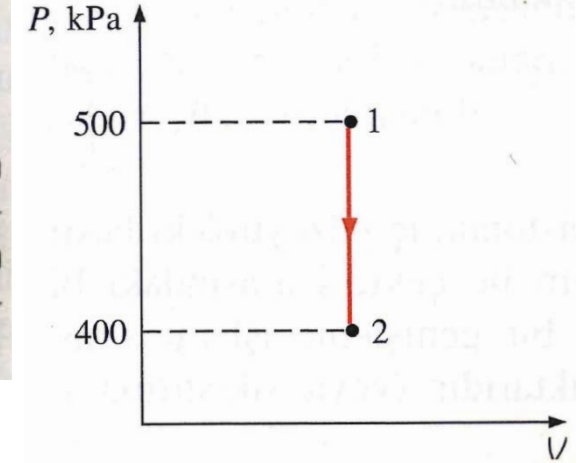
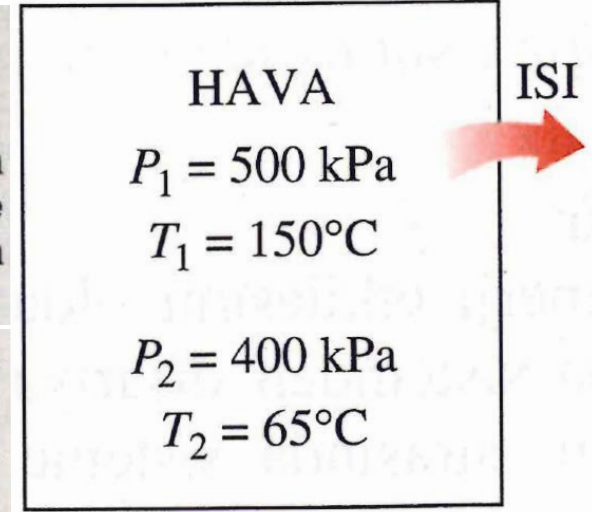
Sabit hacimli kapalı bir kaptaki hava, 500 kPa basınç ve 150 °C sıcaklıkta bulunmaktadır. Çevreye olan ısı geçişi sonunda kap içindeki sıcaklık ve basınç sırasıyla 65 °C ve 400 kPa olmaktadır. Bu hal değişimi sırasında yapılan sınır işini hesaplayın.

Çözüm Sabit hacimli kaptaki hava soğur ve basınç ile sıcaklık düşer. Yapılan sınır işi belirlenebilir.

Analiz Sistem ve hal değişiminin P - V diyagramı Şekil 4-6'da gösterilmiştir. Sınır işi 4-2 numaralı denklemden bulunabilir.

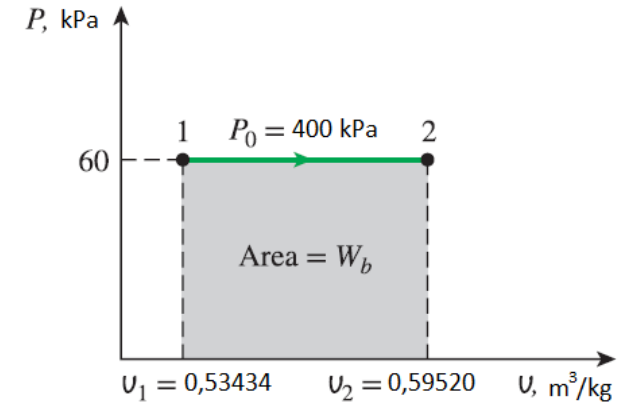
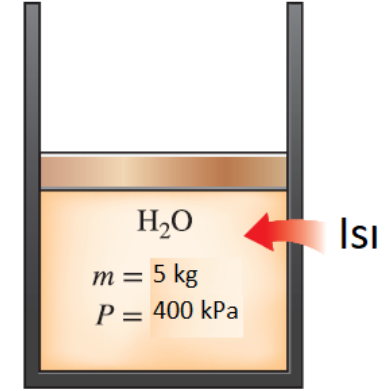
$$W_s = \int_1^2 P dV = 0$$

Tartışma Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü kap sabit hacimli olduğundan bu denklemde $dV = 0$. Bu nedenle hal değişimi sırasında sınır işi yapılmamaktadır. Sabit hacimde bir hal değişimi sırasında sınır işi her zaman sıfırdır. Bu durum hal değişiminin P - V diyagramından da açıkça görülmektedir, çünkü hal değişimi eğrisi altında kalan alan sıfırdır.



Örnek 4-2: Sabit Basıncıta Hal Değişimi Sırasındaki Sınır İş

Sürtünmesiz bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa ve 200 °C sıcaklıkta 5 kg su buharı bulunmaktadır. Daha sonra buhara ısı geçişi olmaktadır ve sıcaklığı 250 °C'ye yükselmektedir. Pistonun serbest hareket edebildiğini ve kütle sabit olduğunu kabul ederek, buhar tarafından yapılan işi hesaplayınız.



ÖRNEK 4-2 Sabit Basıncıta Hal Değişimi Sırasındaki Sınır İş

Sürtünmesiz bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa ve 200°C sıcaklıkta 5 kg su buharı bulunmaktadır. Daha sonra buharı ısı geçişi olmakta ve sıcaklığı 250°C'ye yükselmektedir. Pistonun serbest hareket edebilmesini ve kütlelerinin sabit olduğunu kabul ederek, buhar tarafından yapılan işi hesaplayınız

Çözüm Piston silindir düzeneğindeki su buharı sabit basınçta ısıtılmakta ve sıcaklığı artmaktadır. Yapılan sınır işi elde edilebilir.

Analiz Sistemin genel çizimi ve hal değişiminin P - v diyagramı Şekil 4-7'de gösterilmiştir.

Kabuller Geçmiş işlemi sanki dengelidir.

Analiz Sistemin genel çizimi ve hal değişiminin P - v diyagramı Şekil 4-7'de gösterilmiştir.

$$W_s = \int_1^2 P dV = P_0 \int_1^2 dV = P_0(V_2 - V_1) \quad (4-6)$$

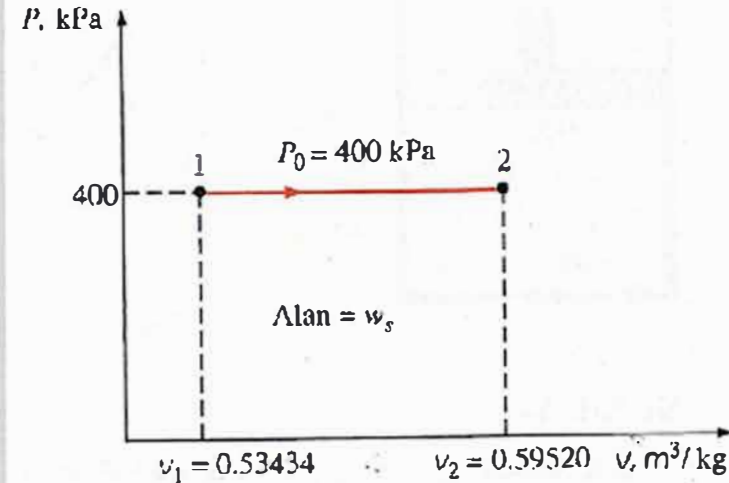
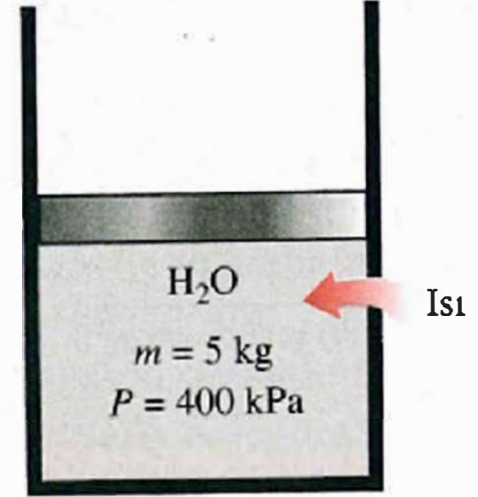
veya $V = mv$ olduğundan,

$$W_s = mP_0(v_2 - v_1)$$

yazılır. Özgül hacimler, kızgın buhar tablosundan (Tablo A-6), 1 halinde (400 kPa, 200°C) $v_1 = 0.53434 \text{ m}^3/\text{kg}$ ve 2 halinde (400 kPa, 250°C) $v_2 = 0.59520 \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak belirlenir. Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konursa,

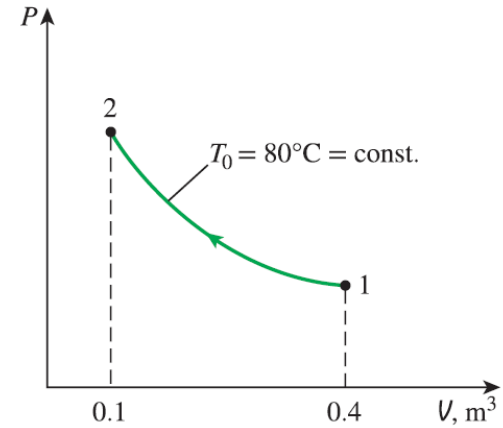
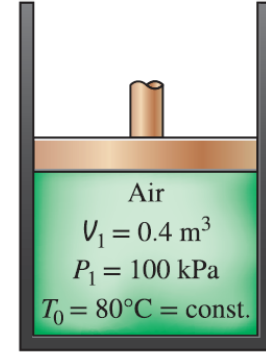
$$\begin{aligned} W_s &= (5 \text{ kg})(400 \text{ kPa})[(0.59520 - 0.53434) \text{ m}^3/\text{kg}] \\ &= 121.7 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Tartışma Artı işareti işin sistem tarafından yapıldığını göstermektedir. Başka bir deyişle, sistem, enerjisinin 121.7 kJ kadar bir bölümünü iş yapmak için kullanmıştır. Bu problemde iş, P - V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alanı ($P_0 \Delta V$) hesaplanarak da bulunabilirdi.



Örnek 4-3: Mükemmel Gazın Sabit Sıcaklıkta Sıkıştırılması

Bir piston-silindir düzeneğinde, başlangıçta 100 kPa basınç ve 80°C sıcaklıkta 0.4 m³ hava bulunmaktadır. Daha sonra hava, sıcaklığı sabit kalacak biçimde sıkıştırılmakta ve son halde hacmi 0.1 m³ olmaktadır. Hal değişimi sırasında yapılan işi hesaplayın.



ÖRNEK 4-3 Mükemmel Gazın Sabit Sıcaklıkta Sıkıştırılması

Bir piston-silindir düzeneğinde, başlangıçta 100 kPa basınç ve 80°C sıcaklıkta 0.4 m³ hava bulunmaktadır. Daha sonra hava, sıcaklığı sabit kalacak biçimde sıkıştırılmakta ve son halde hacmi 0.1 m³ olmaktadır. Hal değişimi sırasında yapılan işi hesaplayın.

Çözüm Piston-silindir düzeneği içerisindeki hava sabit sıcaklıkta sıkıştırılmaktadır. Yapılan sınır işi elde edilebilir.

Analiz Sistemin genel çizimi ve hal değişiminin P - V diyagramı Şekil 4-8'de gösterilmiştir.

Kabuller 1 Sıkıştırma hal değişimi sanki-dengelidir. 2 Verilen koşullarda hava mükemmel gaz olarak kabul edilebilir, çünkü verilen hal kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında (havanın ana bileşeni olan azot için $T_{kr} = -147$ °C ve $P_{kr} = 3390$ kPa) sıcaklık yüksek ve basınç düşüktür.

Analiz Mükemmel bir gaz için, sabit T_0 sıcaklığında,

$$PV = mRT_0 = C \text{ veya } P = \frac{C}{V}$$

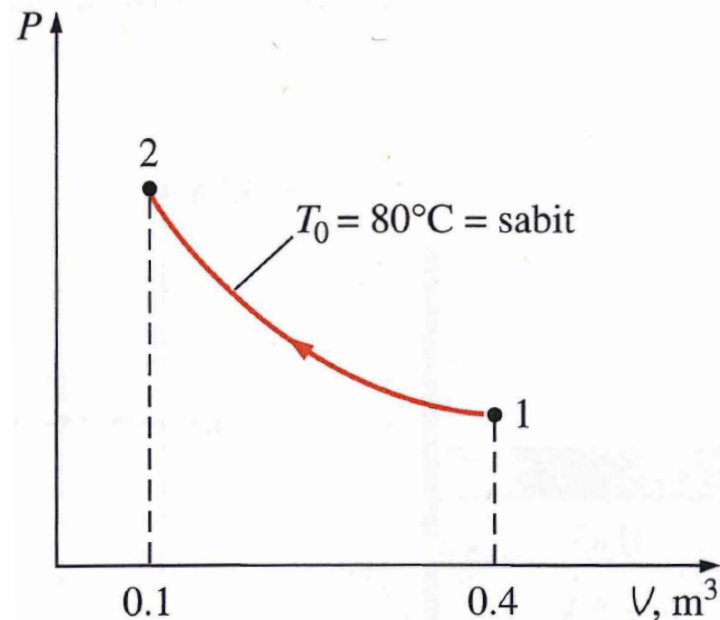
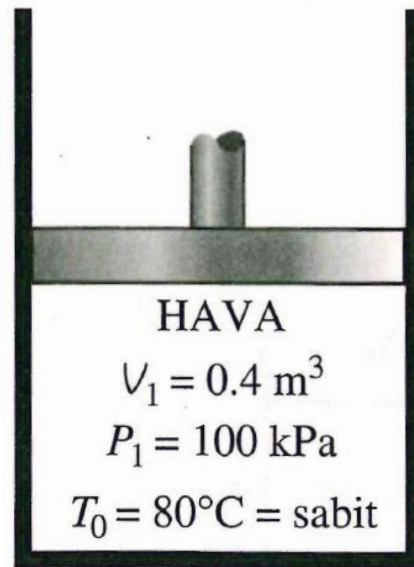
yazılabilir. Burada C sabit bir değer olmaktadır. Basınç, denklem 4-2'de yerine konulursa,

$$W_b = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{C}{V} dV = C \int_1^2 \frac{dV}{V} = C \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (4-7)$$

Denklem 4-7'de, $P_1 V_1$, $P_2 V_2$ (veya mRT_0) ile değiştirilebilir. Ayrıca V_2/V_1 yerine de P_1/P_2 yazılabilir, çünkü bu hal değişimi için $P_1 V_1 = P_2 V_2$.

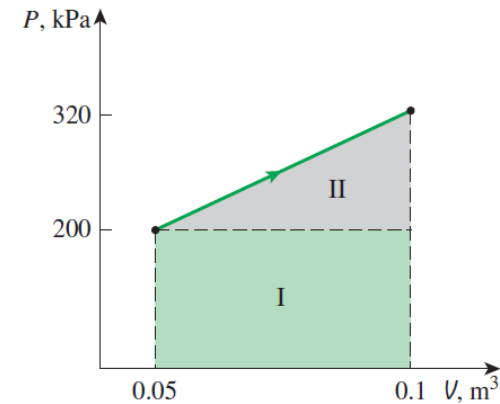
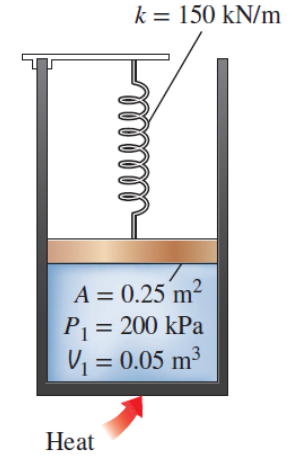
$$\begin{aligned} W_s &= (100 \text{ kPa})(0.4 \text{ m}^3) \left(\ln \frac{0.1}{0.4} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) \\ &= -55.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Tartışma Eksi işareti sistem üzerinde iş yapıldığını göstermektedir (iş girişi), sıkıştırma işlemi için işaret her zaman eksidir.



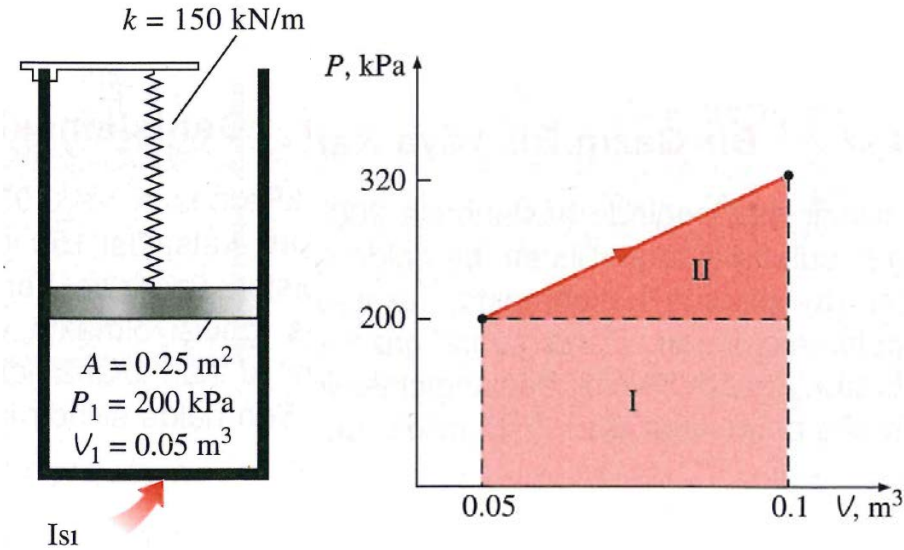
Örnek 4-4: Bir Gazın Bir Yaya Karşı Genişlemesi

Bir piston-silindir düzeninde, başlangıçta 200 kPa basınç 0.05 m³ hacminde bir gaz bulunmaktadır. Sistem bu halde iken, katsayısı 150kN/m olan bir doğrusal yay pistona dokunmakta, fakat piston üzerine herhangi bir kuvvet uygulamamaktadır. Daha sonra gaza ısı geçişi olmakta ve piston yayı sıkıştırarak, gazın hacmi başlangıçtaki iki katı olana kadar yükselmektedir. Pistonun kesit alanı 0.25 m² dir. (a) Son halde silindir içindeki basıncı, (b) gaz tarafından yapılan toplam işi, (c) toplam işin ne kadarlık bölümünün yayı sıkıştırmak için yapıldığını hesaplayın.



ÖRNEK 4-4 Bir Gazın Bir Yaya Karşı Genişlemesi

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 200 kPa basınç ve 0.05 m³ hacminde bir gaz bulunmaktadır. Sistem bu halde iken, katsayısı 150 kN/m olan bir doğrusal yay pistonu dokunmakta, fakat piston üzerinde herhangi bir kuvvet uygulamamaktadır. Daha sonra gaza ısı geçişi olmakta ve piston yayı sıkıştırarak, gazın hacmi başlangıçtaki iki katı olana kadar yükselmektedir. Pistonun kesit alanı 0.25 m²'dir. (a) Son halde silindir içindeki basıncı, (b) gaz tarafından yapılan toplam işi, (c) toplam işin ne kadarlık bölümünün yayı sıkıştırmak için yapıldığını hesaplayın.



Burada işin sistem tarafından yapıldığına dikkat edilmelidir.

(c) P - V diyagramında, dikdörtgen alan (bölge I) pistonu ve atmosfere karşı yapılan işi, üçgen alan da (bölge II) yaya karşı yapılan işi göstermektedir. Bu nedenle:

$$W_{\text{yay}} = \frac{1}{2}[(320 - 200) \text{ kPa}](0.05 \text{ m}^3) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 3 \text{ kJ}$$

Tartışma Bu sonuç, aynı zamanda aşağıdaki gibi de elde edilebilir.

$$W_{\text{yay}} = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) = \frac{1}{2}(150 \text{ kN/m})[(0.2 \text{ m})^2 - 0^2] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right) = 3 \text{ kJ}$$

Çözüm Doğrusal yaya temas eden piston-silindir düzeneği içerisindeki gaz, ısı geçişi sonucunda genişlemektedir. Son haldeki basınç, toplam yapılan iş, yayı sıkıştırmak için yapılan iş belirlenebilir.

Kabuller 1 Genişleme hal değişimi sanki-dengelidir. 2 Hal değişimi boyunca yaydaki değişim doğrusaldır.

Analiz Sistem ve hal değişiminin P - V diyagramı Şekil 4-10'da gösterilmiştir.

(a) Son halde gazın hacmi

$$V_2 = 2V_1 = (2)(0.05 \text{ m}^3) = 0.1 \text{ m}^3$$

olmaktadır. Pistonun (ve yayın) yer değişimi

$$x = \frac{\Delta V}{A} = \frac{(0.1 - 0.05) \text{ m}^3}{0.25 \text{ m}^2} = 0.2 \text{ m}$$

olarak bulunur. Son halde doğrusal yayın etkilediği kuvvet,

$$F = kx = (150 \text{ kN/m})(0.2 \text{ m}) = 30 \text{ kN}$$

Son halde, yay tarafından gaz üzerine uygulanan ek basınç

$$P = \frac{F}{A} = \frac{30 \text{ kN}}{0.25 \text{ m}^2} = 120 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanır. Eğer yay olmasaydı, gazın basıncı piston yükselirken 200 kPa değerinde sabit kalırdı. Fakat yayın etkisi altında basınç doğrusal olarak 200 kPa değerinden, son halde

$$200 + 120 = 320 \text{ kPa}$$

değerine yükselmektedir.

(b) Yapılan işi bulmanın kolay yolu, hal değişimini P - V diyagramında çizmek ve eğrinin altında kalan alanı hesaplamaktır. Şekil 4-10'da görüldüğü gibi, hal değişimi eğrisinin altında kalan alan (yamuk) kolayca hesaplanabilir.

$$W = \text{alan} = \frac{(200 + 320) \text{ kPa}}{2} [(0.1 - 0.05) \text{ m}^3] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 13 \text{ kJ}$$

KAPALI SİSTEMLER İÇİN ENERJİ DENGESİ

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}} \quad (\text{kJ})$$

Hal değişimi gerçekleştiren herhangi bir sistem için enerji dengesi.

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi oranı}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oranı}} \quad (\text{kW})$$

birim zaman için.

Zamana göre değişim oranı sabit olduğu durumlarda.

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

$$e_{\text{giren}} - e_{\text{çıkan}} = \Delta e_{\text{sistem}} \quad (\text{kJ/kg})$$

Birim kütle için enerji dengesi

$$\delta E_{\text{giren}} - \delta E_{\text{çıkan}} = dE_{\text{sistem}} \quad \text{veya} \quad \delta e_{\text{giren}} - \delta e_{\text{çıkan}} = de_{\text{sistem}}$$

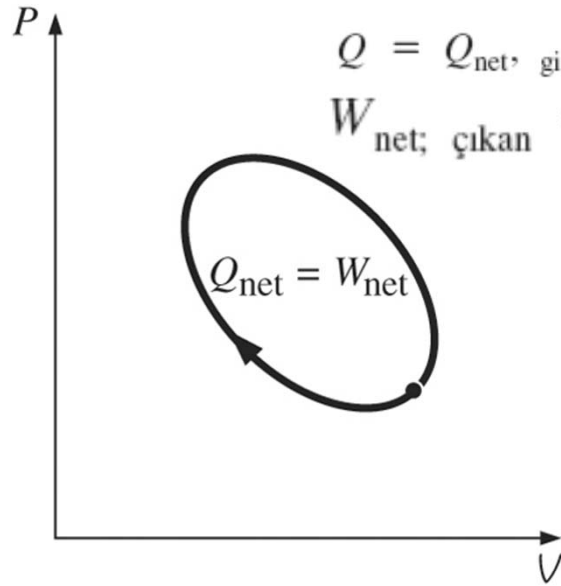
Enerji dengesinin diferansiyel formu

$$W_{\text{net,çıkan}} = Q_{\text{net,giren}} \quad \text{veya} \quad \dot{W}_{\text{net,çıkan}} = \dot{Q}_{\text{net,giren}}$$

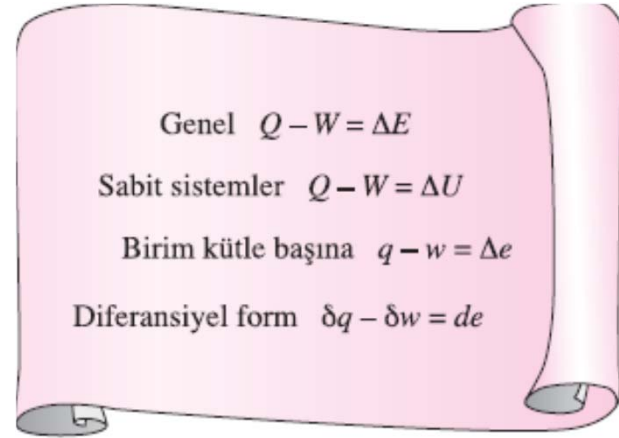
Çevrim için enerji denklemi

$$Q_{\text{net,giren}} - W_{\text{net,çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad \text{veya} \quad Q - W = \Delta E$$

bu etkileşimlerin yönü için bir kabul yapılması gerekmektedir .



$$Q = Q_{\text{net,giren}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}$$
$$W_{\text{net,çıkan}} = W_{\text{çıkan}} - W_{\text{giren}}$$



Kapalı sistemler için birinci yasanın değişik yazılış biçimleri.

Bir çevrim için $\Delta E = 0$, böylece $Q = W$

Birinci yasayı matematiksel olarak kanıtlamak olanaksızdır, fakat doğada birinci yasaya aykırı herhangi bir hal değişimi bilinmemektedir, bu da yeterli kanıt sayılmalıdır.

Sabit Basıncı bir genişleme ve sıkıştırma işlemi için Enerji denkliği

Sabit basınçta sanki dengeli hal değişiminden geçen kapalı bir sistem için genel analiz'de Isı geçiş yönü Q sisteme doğru ve W iş ise sistem tarafından yapıldığı kabul edilir.

Sabit basınçta sıkıştırma ve genişleme işlemi için:

$$\Delta U + W_s = \Delta H$$

Sabit basınçta hal değişim örneği

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} - W_s = \Delta U$$

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$\underbrace{E_{giren} - E_{çıkan}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

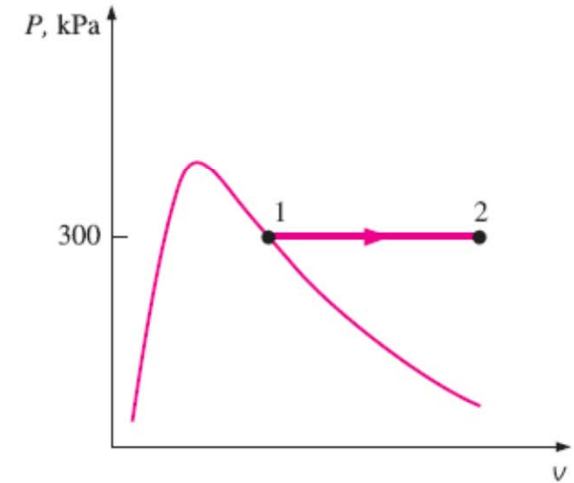
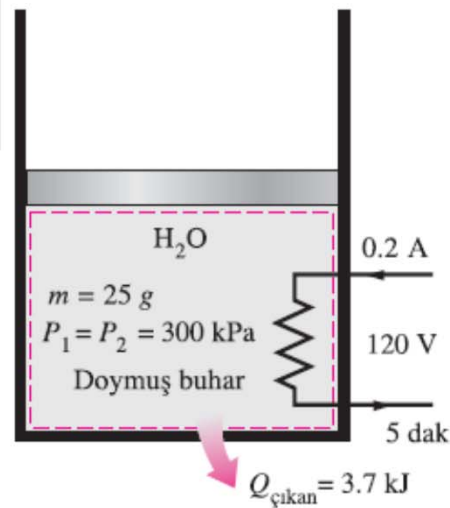
$$Q - W = \Delta U + \Delta KE^0 + \Delta PE^0$$

$$Q - W_{diğer} - W_s = U_2 - U_1$$

$$Q - W_{diğer} - P_0(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

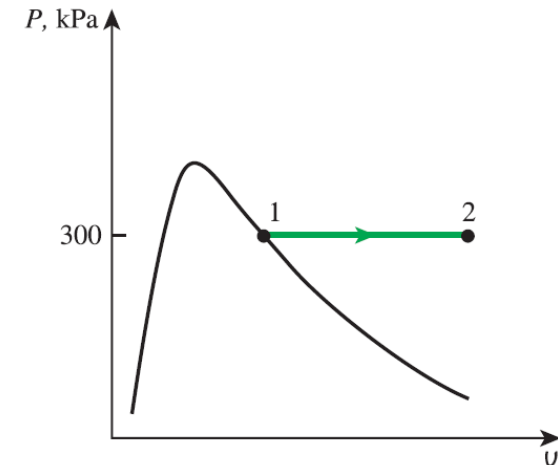
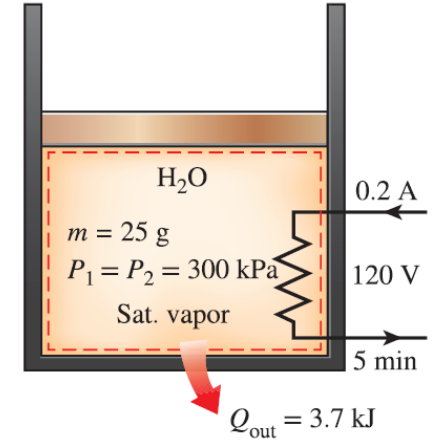
$$Q - W_{diğer} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

$$Q - W_{diğer} = H_2 - H_1 \quad (\text{kJ})$$



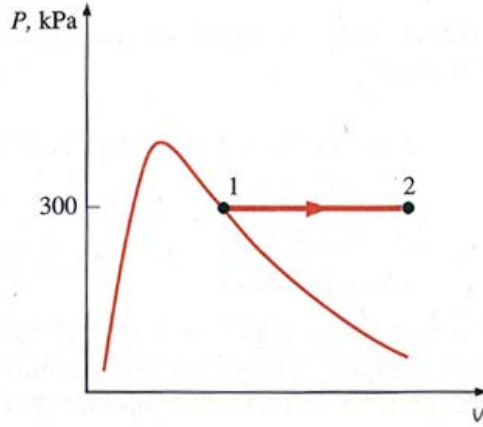
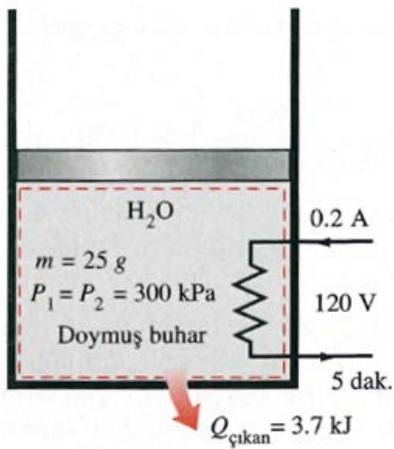
Örnek 4-5: Sabit Basıncıta Bir Gazın Elektrikli Isıtıcı ile Isıtılması

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 300 kPa basınçta 25 g doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra silindir içindeki bir elektrik ısıtıcısı çalıştırılmakta ve 5 dakika süresince ısıtıcıdan, 120 V kaynaktan sağlanan 0.2 A lik bir akım geçmektedir. Bu süre içinde silindirden çevreye 3.7 kJ ısı geçişi olmaktadır. (a) Kapalı bir sistemde sabit basınçta gerçekleşen bir hal değişimi için, sınır işi W_s ve iç enerji değişimi ΔU 'nun birleştirilip, entalpi değişimi ΔH olarak bir terime indirgenebileceğini gösterin. (b) Sistemin son sıcaklığını hesaplayın.



ÖRNEK 4-5 Sabit Basıncıta Bir Gazın Elektrikli Isıtıcı ile Isıtılması

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 300 kPa basınçta 25 g doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra silindir içindeki bir elektrik ısıtıcısı çalıştırılmakta ve 5 dakika süresince ısıtıcıdan, 120 V kaynaktan sağlanan 0.2 A'lık bir akım geçmektedir. Bu süre içinde silindirden çevreye 3.7 kJ ısı geçişi olmaktadır. (a) Kapalı bir sistemde sabit basınçta gerçekleşen bir hal değişimi için, sınır işi W_s ve iç enerji değişimi ΔU 'nun birleştirilip, entalpi değişimi ΔH olarak bir terime indirgenebileceğini gösterin. (b) Sistemin son sıcaklığını hesaplayın.



Analiz Piston-silindir düzeneğinde bulunan su ve direnç telleri sistem olarak ele alınabilir (Şekil 4-13). Hal değişimi sırasında kütle geçişi olmadığından bu bir kapalı sistemdir. Piston silindir düzeneğinin hareketli sınır işi W_s içerdiğine dikkat edilmelidir. Hal değişimi boyunca basınç sabit kalmaktadır $P_2 = P_1$. Aynı zamanda sistemden ısı kaybı olmakta ve elektrik işi sistem üzerinde yapılmaktadır.

(a) Çözümün bu kısmı, sabit basınçta, sanki-dengeli bir hal değişiminden geçen kapalı bir sistem için genel analizden oluşmaktadır. Isı geçişi Q yönü sisteme doğru, yapılan işin ise sistem tarafından yapıldığı kabulü yapılmaktadır. İş terimi, aynı zamanda sınır işi ve diğer işlerin (elektrik, mil işi gibi) toplamı olarak açıklanmaktadır. Enerji dengesi aşağıdaki gibi açıklanabilir,

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE^0 + \Delta PE^0$$

$$Q - W_{\text{diğer}} - W_s = U_2 - U_1$$

Sabit basınçta bir hal değişimi için, sınır işi $W_s = P_0(V_2 - V_1)$. Bu bağıntı yukarıdaki denklemden yerine konursa,

$$Q - W_{\text{diğer}} - P_0(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

elde edilir. Fakat

$$P_0 = P_2 = P_1 \rightarrow Q - W_{\text{diğer}} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

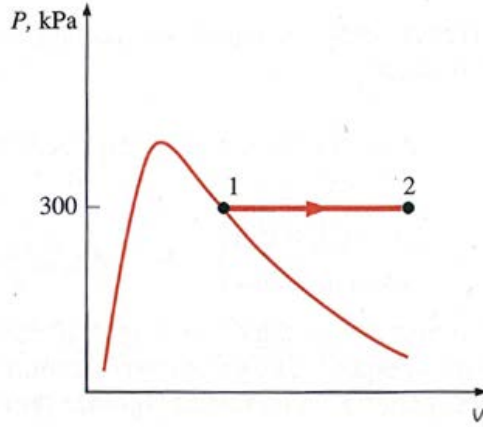
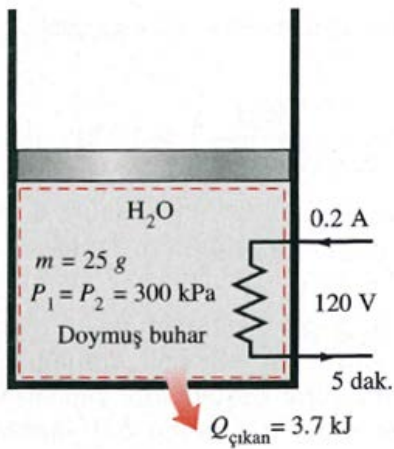
ayrıca $H = U + PV$ olduğu için,

$$Q - W_{\text{diğer}} = H_2 - H_1 \quad (\text{kJ}) \quad (4-18)$$

elde edilir. İstenen bağıntı budur (Şekil 4-14). Sabit basınçta sanki dengeli bir hal değişiminden geçen kapalı bir sistem için bu denklemin kullanımı kolaylık getirmektedir, çünkü sınır işi entalpi teriminin içinde kendiliğinden hesaplanmaktadır.

ÖRNEK 4-5 Sabit Basıncda Bir Gazın Elektrikli Isıtıcı ile Isıtılması

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 300 kPa basınçta 25 g doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra silindir içindeki bir elektrik ısıtıcısı çalıştırılmakta ve 5 dakika süresince ısıtıcıdan, 120 V kaynaktan sağlanan 0.2 A'lık bir akım geçmektedir. Bu süre içinde silindirden çevreye 3.7 kJ ısı geçişi olmaktadır. (a) Kapalı bir sistemde sabit basınçta gerçekleşen bir hal değişimi için, sınır işi W_s ve iç enerji değişimi ΔU 'nun birleştirilip, entalpi değişimi ΔH olarak bir terime indirgenebileceğini gösterin. (b) Sistemin son sıcaklığını hesaplayın.



(b) Burada diğer iş olarak ele almamız gereken elektrik işi aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$W_e = VI \Delta t = (120 \text{ V})(0.2 \text{ A})(300 \text{ s}) \left(\frac{1 \text{ kJ/s}}{1000 \text{ VA}} \right) = 7.2 \text{ kJ}$$

$$\text{Hal 1: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 300 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} h_1 = h_g @ 300 \text{ kPa} = 2724.9 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Tablo A-5})$$

Son durumdaki entalpi, denklem 4-18'den ısı geçişi sistemden dışarı olacak şekilde (negatif) ve işin sistem üzerinde yapılması (negatif) durumu göz önüne alınarak belirlenebilir. (çünkü bunların yönü başlangıçta yapılan kabule terstir). Sırasıyla, genel enerji denkleminde, ΔU yerine ΔH yazılarak sabit basınçta genişleme veya sıkıştırma için sınır işinin otomatik olarak ΔH içinde hesaplanması basitleştirmesi yapılır:

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çikan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

$$W_{e,\text{giren}} - Q_{\text{çikan}} - W_s = \Delta U$$

$$W_{e,\text{giren}} - Q_{\text{çikan}} = \Delta H = m(h_2 - h_1) \quad (P = \text{sabit})$$

$$7.2 \text{ kJ} - 3.7 \text{ kJ} = (0.025 \text{ kg})(h_2 - 2724.9) \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2864.9 \text{ kJ/kg}$$

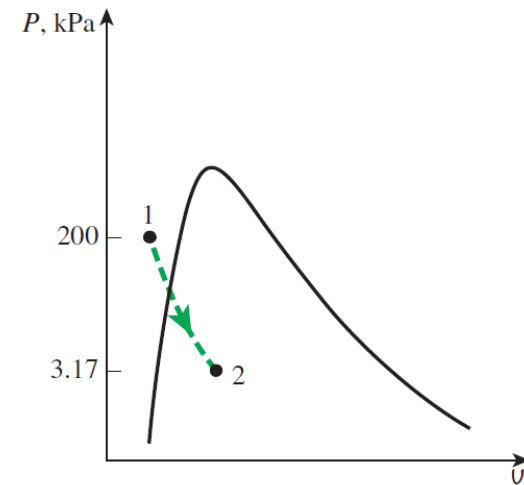
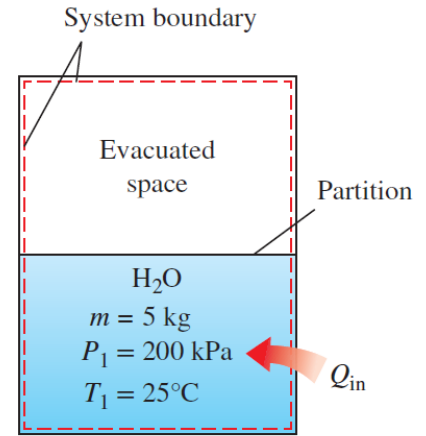
Basınç ve entalpi bilindiği için son durumu tamamen ile belirlenebilir. Son durumdaki sıcaklık,

$$\text{Hal 2: } \left. \begin{array}{l} P_2 = 300 \text{ kPa} \\ h_2 = 2864.9 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} T_2 = 200^\circ\text{C} \quad (\text{Tablo A-6})$$

Böylece, hal değişiminin sonunda su buharının sıcaklığı 200°C olmaktadır. **Tartışma** Hesaplamanın tam olması istenirse, potansiyel enerji değişiminin de hesaba katılması gerekir, çünkü su buharının kütle merkezi değişmektedir. Kütle merkezinin 1 m yükseldiği kabul edilsin. Bu durumda su buharının potansiyel enerji değişimi 0.0002 kJ olacaktır. Bu değer birinci yasa bağıntısında yer alan diğer terimlerin yanında çok küçük kalmaktadır. Bu nedenle, ele alınan probleme benzer problemlerde potansiyel enerji değişimi rahatlıkla göz ardı edilebilir.

Örnek 4-6: Suyun Serbest Genişlemesi

Sabit hacimli kapalı bir kap, metal bir perdeyle iki eşit hacimli bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerden birinde 200 kPa basınç ve 25 °C sıcaklıkta 5 kg su bulunmaktadır. Diğer bölmede vakum vardır. Daha sonra perde kaldırılmakta ve su kabın tüm hacmini doldurmaktadır. Çevreyle olan ısı alışverişi sonunda, su bir süre sonra yeniden 25 °C sıcaklığa gelmektedir. (a) kabın hacmini, (b) son haldeki basıncını, (c) bu hal değişimindeki ısı geçişini hesaplayınız.



Örnek 4-6: Sabit hacimli kapalı bir kap, metal perde ile iki eşit hacimli bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerden birinde 200 kPa basınç ve 25 °C sıcaklıkta 5 kg su bulunmaktadır. Diğer bölmede vakum vardır. Daha sonra perde kaldırılmakta ve kabın tüm hacmini doldurmaktadır. Çevreyle olan ısı alışverişi sonunda, su bir süre sonra yeniden 25 °C sıcaklığa gelmektedir, (a) Kabın hacmini, (b) son haldeki basıncını, (c) bu hal değişimindeki ısı geçişini hesaplayın.

Verilen şartlar için suyun durumunu inceleyelim; $P_1 = 200 \text{ kPa}$ ve $T_1 = 25^\circ\text{C}$ bu durumda sıkıştırılmış sıvıdır. (Tablo A-4)

$$\vartheta_1 = \vartheta_{f,25^\circ\text{C}} = 0,001003 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1 = m * \vartheta_1 = 5 * 0,001003 = 0,005015 \text{ m}^3$$

Kabın toplam hacmi bunun iki katıdır.

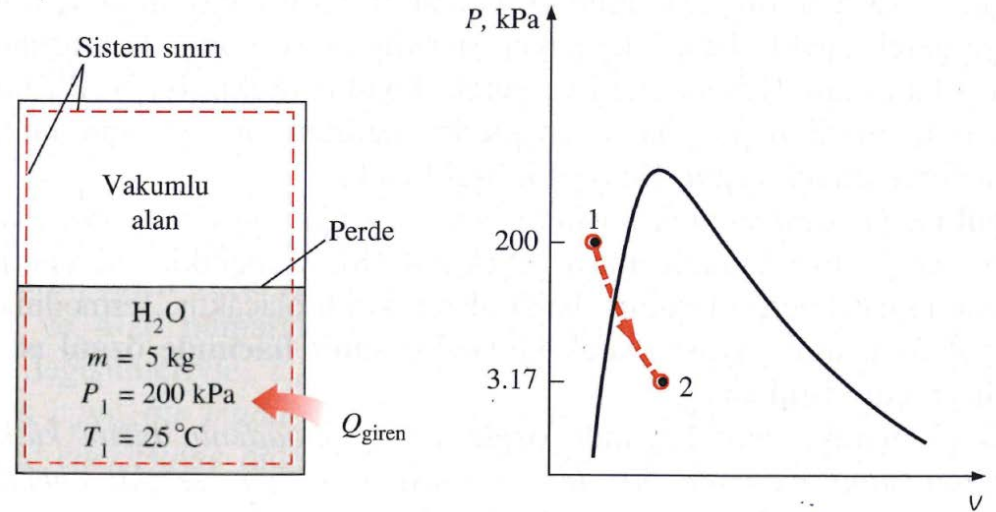
$$V_{\text{kap}} = 2 * V_1 = 2 * 0,005015 = 0,01003 \text{ m}^3$$

Son durumda suyun özgül hacmi;

$$\vartheta_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0,01003}{5} = 0,002006 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Özgül hacim başlangıçtaki iki katına çıkmıştır. Bu beklenen bir durumdur çünkü sistemin kütlesi sabit kalırken hacmi iki katına çıkmıştır. 25 °C sıcaklıkta ϑ_2 değeri Tablo A-4'te arandığında ϑ_f değeri ile ϑ_g değeri arasında yer aldığı görülmektedir. Bu durumda doymuş sıvı-buhar karışımı halindedir ve basınç değeri doyma basıncına eşit olacaktır.

$$P_2 = P_{\text{doy},25^\circ\text{C}} = 3,1698 \text{ kPa}$$



Örnek 4-6: Sabit hacimli kapalı bir kap, metal bir perde ile iki eşit hacimli bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerden birinde 200 kPa basınç ve 25 °C sıcaklıkta 5 kg su bulunmaktadır. Diğer bölmede vakum vardır. Daha sonra perde kaldırılmakta ve kabın tüm hacmini doldurmaktadır. Çevreyle olan ısı alışverişi sonunda, su bir süre sonra yeniden 25 °C sıcaklığa gelmektedir, (a) Kabın hacmini, (b) son haldeki basıncını, (c) bu hal değişimindeki ısı geçişini hesaplayın.

Verilen şartlar için suyun durumunu inceleyelim; $P_1 = 200\text{kPa}$ ve $T_1 = 25^\circ\text{C}$ bu durumda sıkıştırılmış sıvıdır. (Tablo A-4)

$$u_1 = u_{f,25^\circ\text{C}} = 104,83 \text{ kJ/kg}$$

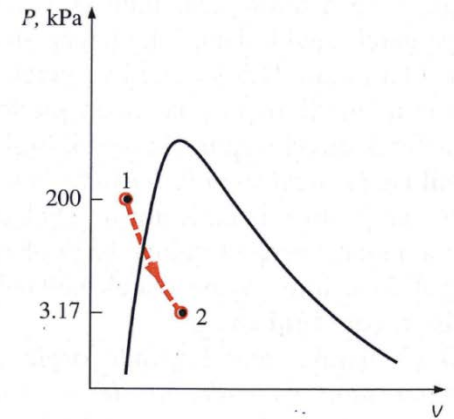
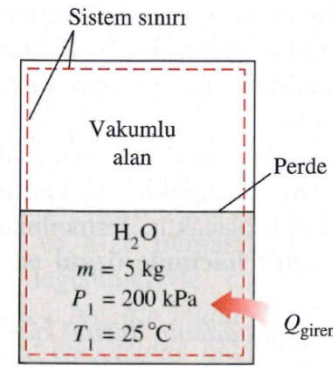
$$U_1 = m * u_1 = 5 * 104,83 = 524,15 \text{ kJ}$$

Son durumda suyun iç enerjisi özgül hacmi yardımı ile bulunur; $v_2 = 0,002006 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{u - u_f}{u_{fg}}$$

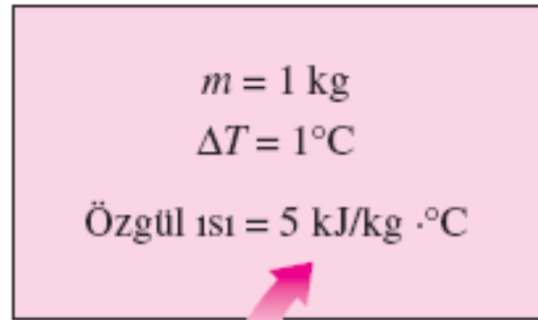
$$\frac{0,002006 - 0,001003}{43,34 - 0,001003} = \frac{u - 104,83}{2441,7} \rightarrow u = 104,88 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta Q = \Delta U = m * (u_2 - u_1) = 5 * (104,88 - 104,83) = 0,25 \text{ kJ}$$



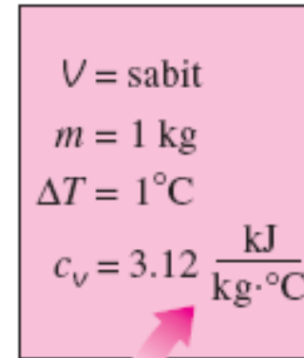
ÖZGÜL ISILAR

- **Sabit hacimde özgül ısı, c_v** : Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit hacimde bir derece yükseltmek için gerekli enerji.
- **Sabit basınçta özgül ısı, c_p** : Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit basınçta bir derece yükseltmek için gerekli enerji.

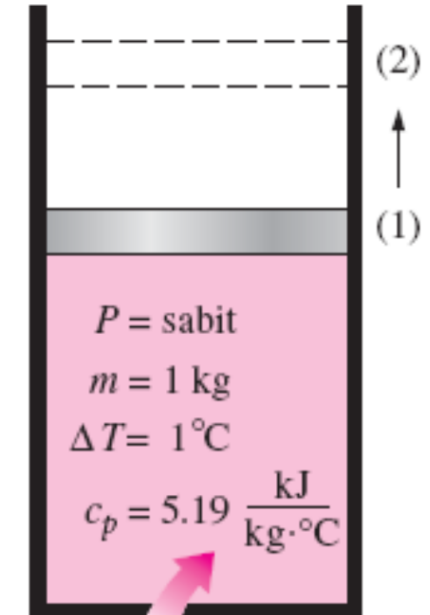


5 kJ

Sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısılar c_v ve c_p (verilen değerler helyum gazı içindir)



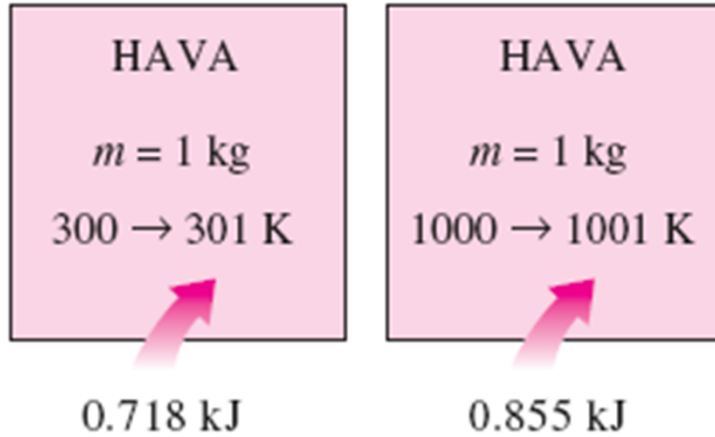
3.12 kJ



5.19 kJ

Özgül ısı, maddenin birim kütesinin sıcaklığını bir derece artırmak için gerekli enerjidir.

- c^v ve c^p 'nin özellikleri
- c_v 'nin iç enerji değişimleriyle, c_p 'nin ise entalpi değişimleriyle ilişkisi vardır.



Bir maddenin özgül ısısı sıcaklıkla değişir.

Doğru mu yanlış mı?
 c_p daima c_v den büyüktür.

c_v ve
 c_p 'nin
tanımı.

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

= sabit hacimde, iç enerjinin sıcaklıkla değişimi

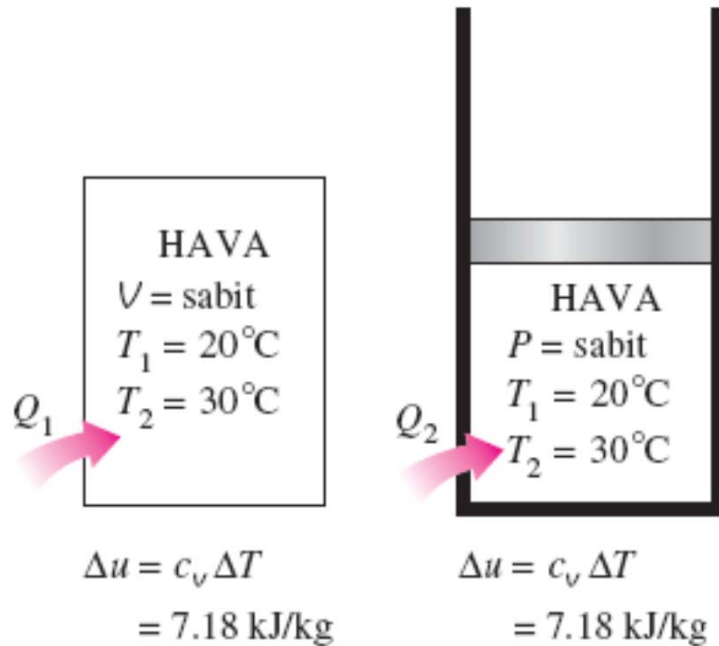
$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

= sabit basınçta entalpinin sıcaklıkla değişimi

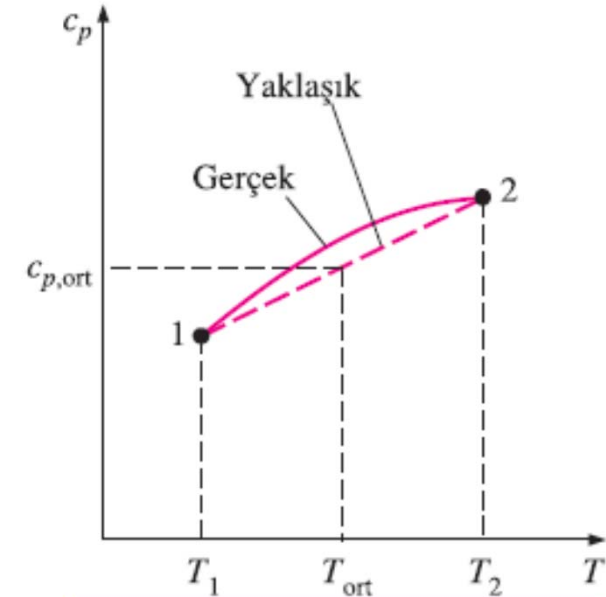
İç enerji ve enthalpy, özgül ısının, ortalama bir değerde sabit alındığı zaman değişir

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

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



$\Delta u = c_v \Delta T$ bağıntısı, sabit hacimde olsun veya olmasın tüm hal değişimleri için geçerlidir.



Küçük sıcaklık aralıklarında özgül ısının sıcaklıkla doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir.

Δu ve Δh 'ı hesaplamak için kullanılan üç yol

1. Tablolarla verilmiş u ve h değerleri kullanılabilir. Tablolar bulunabiliyorsa en hassas ve en kolay yol budur.
2. c_v ve c_p değerlerini sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıları kullanarak integral alınabilir. El hesapları için bu yol zaman alıcıdır, ancak bilgisayarda yapılan hesaplar için çok elverişlidir. Elde edilen sonuçlar çok hassastır.
3. Ortalama özgül ısı değerleri kullanılabilir. Bu yol kolayca uygulanabilir ve özellik tabloları bulunamadığı zaman çok uygundur. Sıcaklık aralığı çok büyük olmadığı sürece sonuçlar oldukça hassastır.

$$\Delta u = u_2 - u_1 \text{ (tablo)}$$

$$\Delta u = \int_1^2 c_v(T) dT$$

$$\Delta u \cong c_{v,ort} \Delta T$$

Δu 'nun hesaplanmasının üç yolu.

Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağlıntıları

$$\left. \begin{aligned} h &= \bar{u} + RT, \\ dh &= du + R dT \end{aligned} \right\} \longrightarrow$$

$$dh = c_p dT \text{ ve } du = c_v dT$$

300 K sıcaklıkta hava

$$\left. \begin{aligned} c_v &= 0.718 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ R &= 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned} \right\} c_p = 1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

veya

$$\left. \begin{aligned} \bar{c}_v &= 20.80 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \\ R_u &= 8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \end{aligned} \right\} \bar{c}_p = 29.114 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

Mükemmel bir gazın c_p 'si, c_v ve R biliniyorsa hesaplanabilir. Δu 'nun hesaplanmasının üç yolu.

c_p , c_v ve R arasındaki bağlantı.

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

Mol esasına göre

$$\bar{c}_p = \bar{c}_v + R_u \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

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

Özgül ısı oranı

- Özgül ısıların oranı da sıcaklığın fonksiyonudur. Fakat özgül ısıların oranının sıcaklıkla değişimi çok belirgin değildir
- Tek atomlu gazlar için k sabit olup 1.667 değerindedir.
- Hava ve iki atomlu gazların birçoğu için oda sıcaklığında özgül ısıların oranı yaklaşık 1.4 değerindedir.

Örnek 4-7: Mükemmel Gazın İç Enerji Değişiminin Değerlendirilmesi

200 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktaki hava, sabit basınçta 600 K sıcaklığa ısıtılmaktadır. Havanın birim kütesinin iç enerji artışını, (a) hava tablosunda verilen değerleri kullanarak (Tablo A-17), (b) özgül ısıyı sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıyı kullanarak, (Tablo A-2c), (c) ortalama özgül ısı değerini kullanarak (Tablo A-2b) hesaplayın.

Örnek 4-7: 200 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktaki hava, sabit basınçta 600 K sıcaklığına ısıtılmaktadır. Havanın birim kütle sinin iç enerji artışını, (a) hava tablosunda verilen değerleri kullanarak (Tablo A-17), (b) özgül ısıyı sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıyı kullanarak (Tablo A-2c), (c) ortalama özgül ısı değerini kullanarak (Tablo A-2b) hesaplayın.

(a) Öncelikle verilen şartlar için gaz mükemmel gaz olarak kabul edilebilir değerdedir. Burada iç enerji değişimini havanın mükemmel gaz özelliklerinin verildiği Tablo A-17'den alacağız. Bu kısımda yanlışlıkla Tablo A-4, Tablo A-5 ya da Tablo A-6 'ya bakarsanız oradan okuyacağınız değerler su ve su buharına ait olacağı için **tamamen yanlış** olacaktır.

Bu durumda iç enerjinin ilk ve son durum için değerleri 300 K ve 600 K için;

$$u_1 = u_{1, 300K} = 214,07 \text{ kJ/kg} \quad u_2 = u_{2, 600K} = 434,78 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = 434,78 - 214,07 = 220,71 \text{ kJ/kg}$$

(b) Hava için $\bar{c}_p(T)$ Tablo A-2c'de üçüncü dereceden bir polinomla ifade edilmiştir;

$$\bar{c}_p(T) = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad a, b, c \text{ ve } d \text{ Tablo A-2c'den okunursa;}$$

$$a = 28,11 \quad b = 0,1967 \times 10^{-2} \quad c = 0,4802 \times 10^{-5} \quad d = -1,966 \times 10^{-9}$$

İç hacim değişikliği hesaplanabilmesi için bizim $\bar{c}_v(T)$ değerine ihtiyacımız var. Bu yüzden;

$\bar{c}_v = \bar{c}_p - R_u$ denkleminde \bar{c}_p değeri yerine yazılırsa denklem aşağıdaki gibi olur;

$$\bar{c}_v(T) = a - R_u + bT + cT^2 + dT^3$$

Örnek 4-7: 200 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktaki hava, sabit basınçta 600 K sıcaklığına ısıtılmaktadır. Havanın birim kütesinin iç enerji artışını, (a) hava tablosunda verilen değerleri kullanarak (Tablo A-17), (b) özgül ısıyı sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıyı kullanarak (Tablo A-2c), (c) ortalama özgül ısı değerini kullanarak (Tablo A-2b) hesaplayın.

$$\bar{c}_v(T) = a - R_u + bT + cT^2 + dT^3$$

$$\Delta\bar{u} = \int_1^2 \bar{c}_v(T) dT = \int_{T_1}^{T_2} [(a - R_u) + bT + cT^2 + dT^3] dT \quad \text{Burada integral işlemi uygulanırsa;}$$

$$\Delta\bar{u} = 6447 \text{ kJ/kmol}$$

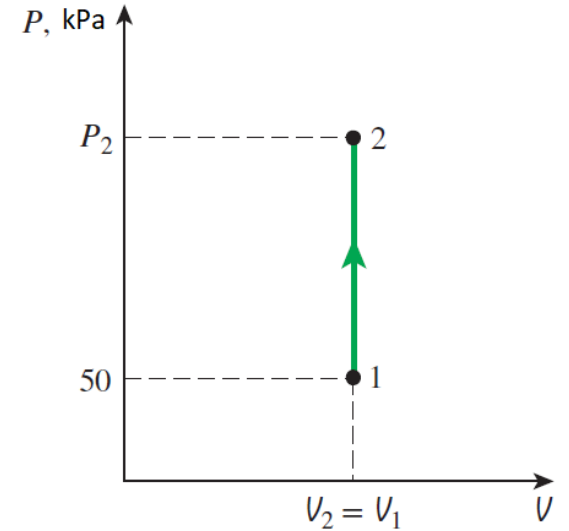
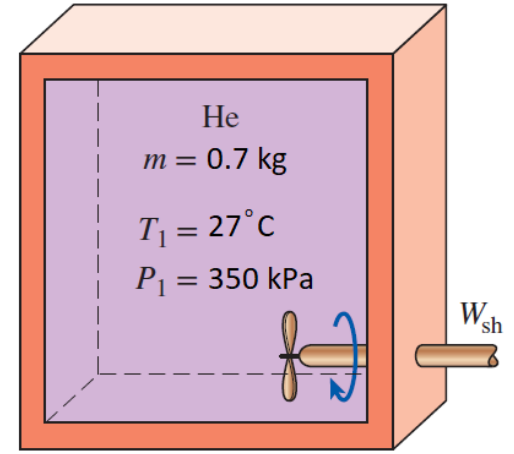
$$\Delta u = \frac{\Delta\bar{u}}{M} = \frac{6447 \text{ kJ/kmol}}{28,97 \text{ kg/kmol}} = 222,5 \text{ kJ/kg}$$

(c) Sabit hacimde özgül ısının tam değeri, ortalama sıcaklık $(T_1 + T_2)/2$ 450 K için Tablo A-2b'den

$$\Delta u = c_{v,ort} (T_2 - T_1) = \left(0,733 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \right) (600 - 300) = 220 \text{ kJ/kg}$$

Örnek 4-8: Karıştırma Sonucu Tank İçindeki Gazın Isıtılması

Sabit hacimli yalıtılmış bir kaptaki, başlangıçta $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 350 kPa basınçta 0.7 kg helyum bulunmaktadır. Kap içindeki helyum, yarım saat süreyle, 0.015 kW gücünde bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Son halde helyum gazının (a) sıcaklığını, (b) basıncını hesaplayın.



Örnek 4-8: Karıştırma Sonucu Tank İçindeki Gazın Isıtılması

Sabit hacimli yalıtılmış bir kaptta, başlangıçta 27 °C sıcaklık ve 350 kPa basınçta 0.7 kg helyum bulunmaktadır. Kap içindeki helyum, yarım saat süreyle, 0.015 kW gücünde bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Son halde helyum gazının (a) sıcaklığını, (b) basıncını hesaplayın.

$$W_{dk} = \dot{W}_{dk} \Delta t = (0.015 \text{ kW})(30 \text{ dak}) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dak}} \right) = 27 \text{ kJ}$$

Yukarıda yapılan kabuller ve analizler yardımıyla sistem için enerji dengesi,

$$\underbrace{E_{giren} - E_{çıkan}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

$$W_{dk,giren} = \Delta U = m(u_2 - u_1) = mc_{v,ort} (T_2 - T_1)$$

Daha önce belirtildiği gibi, helyum gibi tek atomlu gazların mükemmel gaz özgül ısıları sabittir. Tablo A-2a'dan helyum için c_v değeri, $c_v = 3.1156 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ olarak okunur. Bu ve diğer bilinen değerler, yukarıdaki denklemde yerine konursa, sıcaklık aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$27 \text{ kJ} = (0.7 \text{ kg})(3.1156 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(T_2 - 27^\circ\text{C})$$

$$T_2 = \mathbf{39.4} \text{ }^\circ\text{C}$$

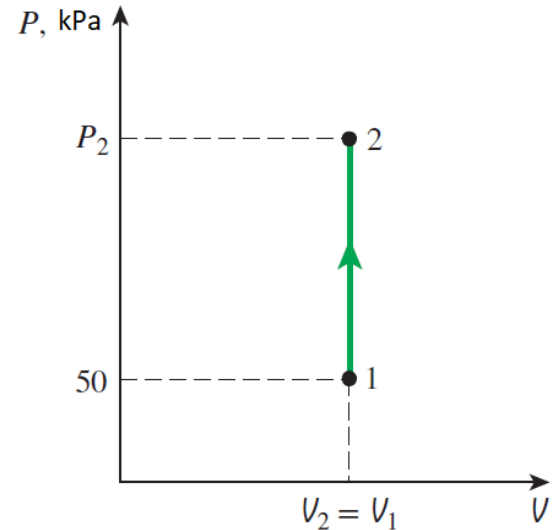
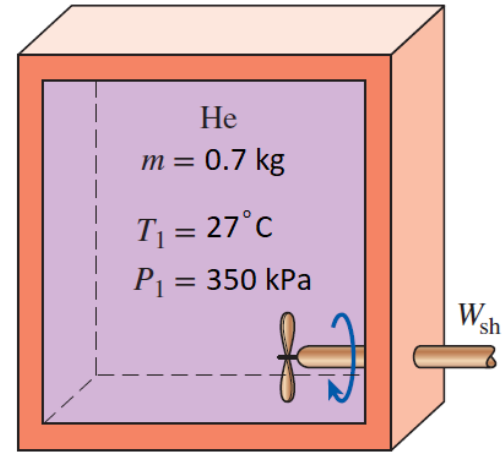
(b) Son haldeki basınç mükemmel gaz hal denkleminde hesaplanabilir:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

V_1 ve V_2 olduğundan, sadeleştirme yapılarak son haldeki basınç,

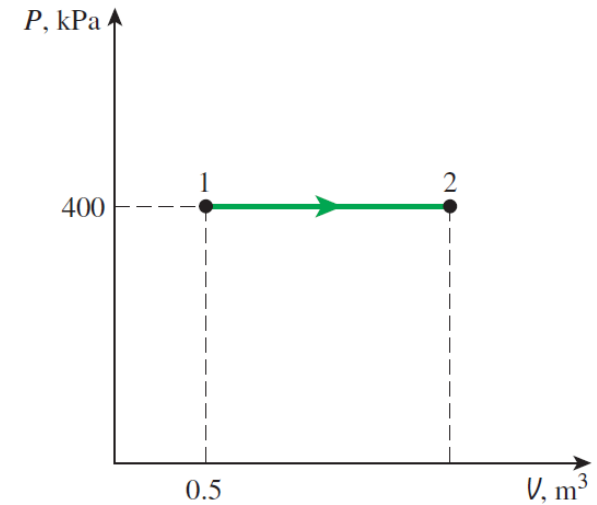
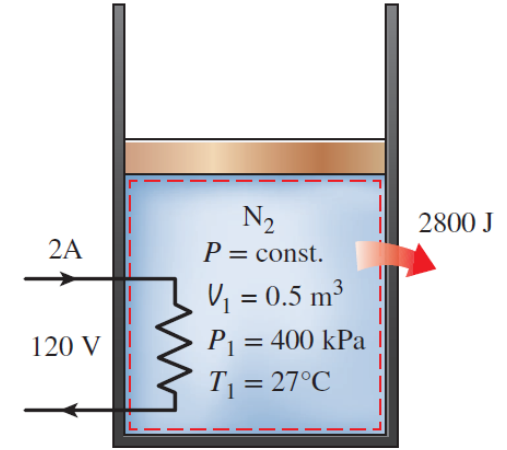
$$\frac{350 \text{ kPa}}{(27 + 273) \text{ K}} = \frac{P_2}{(39.4 + 273) \text{ K}}$$

$$P_2 = \mathbf{364.5 \text{ kPa}}$$



Örnek 4-9: Elektrikli Isıtıcı ile Bir Gazın Isıtılması

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27 °C sıcaklıkta 0.5 m³ azot bulunmaktadır. Daha sonra düzeneğin içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak, direnç telinden 5 dakika süreyle 2 A akım geçirilmektedir. Isıtıcı 120 V' luk bir kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında azot genişlemekte ve çevreye 2800 J ısı geçişi olmaktadır. Azotun son haldeki sıcaklığını belirleyin.



Örnek 4-9: Elektrikli Isıtıcı ile Bir Gazın Isıtılması

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27 °C sıcaklıkta 0.5 m³ azot bulunmaktadır. Daha sonra düzenek içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak, direnç telinden 5 dakika süreyle 2 A akım geçirilmektedir. Isıtıcı 120 V' luk bir kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında azot genişlemekte ve çevreye 2800 J ısı geçişi olmaktadır. Azotun son haldeki sıcaklığını belirleyin.

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

The mass of nitrogen is determined from the ideal-gas relation:

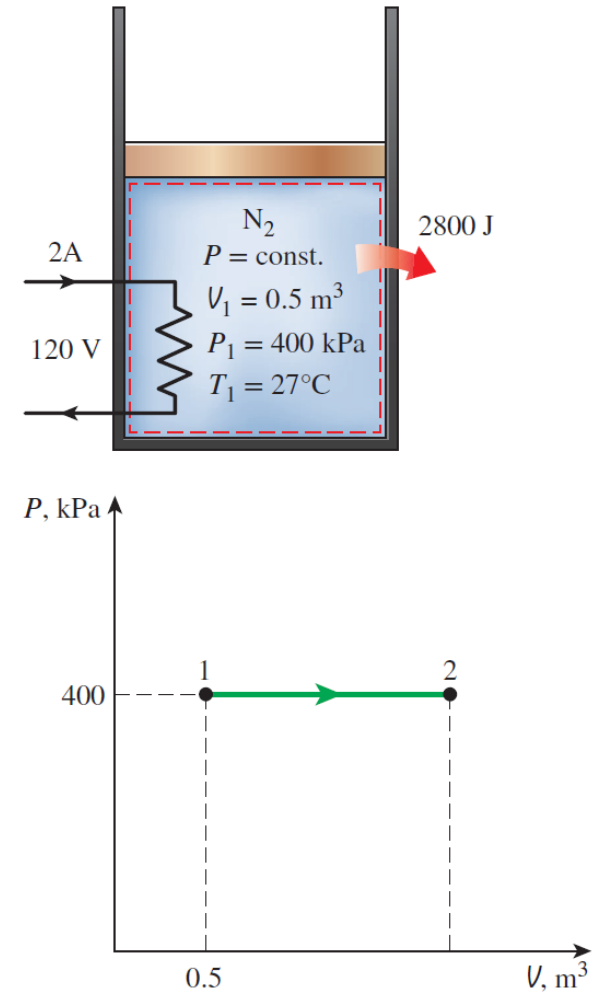
$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{(400 \text{ kPa})(0.5 \text{ m}^3)}{(0.297 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})} = 2.245 \text{ kg}$$

Under the stated assumptions and observations, the energy balance on the system can be expressed as

$$\underbrace{E_{\text{in}} - E_{\text{out}}}_{\substack{\text{Net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{\Delta E_{\text{system}}}_{\substack{\text{Change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc., energies}}}$$
$$W_{e,\text{in}} - Q_{\text{out}} - W_{b,\text{out}} = \Delta U$$
$$W_{e,\text{in}} - Q_{\text{out}} = \Delta H = m(h_2 - h_1) = mc_p(T_2 - T_1)$$

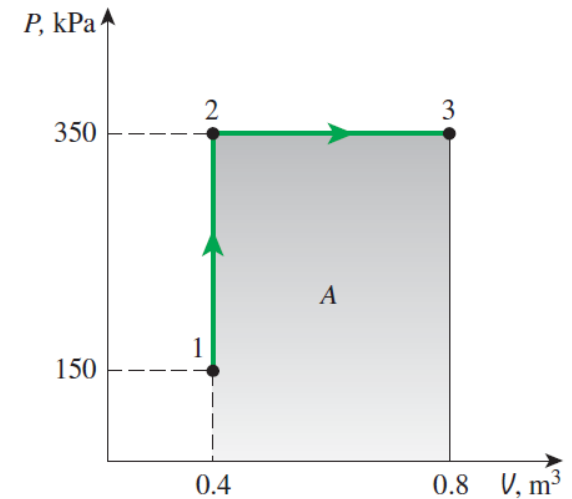
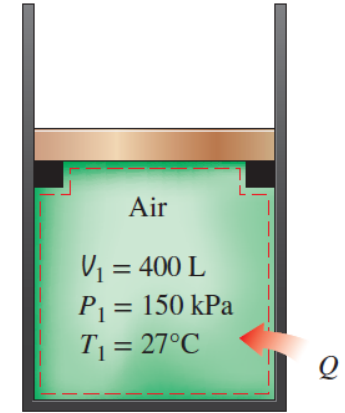
since $\Delta U + W_b = \Delta H$ for a closed system undergoing a quasi-equilibrium expansion or compression process at constant pressure. From Table A-2a, $c_p = 1.039 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ for nitrogen at room temperature. The only unknown quantity in the previous equation is T_2 , and it is found to be

$$72 \text{ kJ} - 2.8 \text{ kJ} = (2.245 \text{ kg})(1.039 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(T_2 - 27)^\circ\text{C}$$
$$T_2 = \mathbf{56.7^\circ\text{C}}$$



Örnek 4-10: Sabit Basınçta Bir Gazın Isıtılması

Bir piston-silindir düzeninde başlangıçta 150 kPa basınç ve 27 °C sıcaklıkta hava vardır. Bu durumda piston şekilde görüldüğü gibi durduruculara dayanmaktadır ve silindirin iç hacmi 400 L'dir. Pistonu hareket ettirmek için basıncın 350 kPa olması gerekmektedir. Daha sonra hava ısıtılmakta ve hacmi iki katına çıkmaktadır. Buna göre (a) Son haldeki sıcaklığı, (b) hava tarafından yapılan işi, (c) toplam ısı geçişini hesaplayın.



(a) The final temperature can be determined easily by using the ideal-gas relation between states 1 and 3 in the following form:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \rightarrow \frac{(150 \text{ kPa})(V_1)}{300 \text{ K}} = \frac{(350 \text{ kPa})(2V_1)}{T_3}$$

$$T_3 = \mathbf{1400 \text{ K}}$$

(b) The work done could be determined by integration, but for this case it is much easier to find it from the area under the process curve on a P - V diagram, shown in Fig. 4–32:

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

$$W_{13} = \mathbf{140 \text{ kJ}}$$

The work is done by the system (to raise the piston and to push the atmospheric air out of the way), and thus it is work output.

(c) Under the stated assumptions and observations, the energy balance on the system between the initial and final states (process 1–3) can be expressed as

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

$$Q_{\text{in}} - W_{b,\text{out}} = \Delta U = m(u_3 - u_1)$$

The mass of the system can be determined from the ideal-gas relation:

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

The internal energies are determined from the air table (Table A–17) to be

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

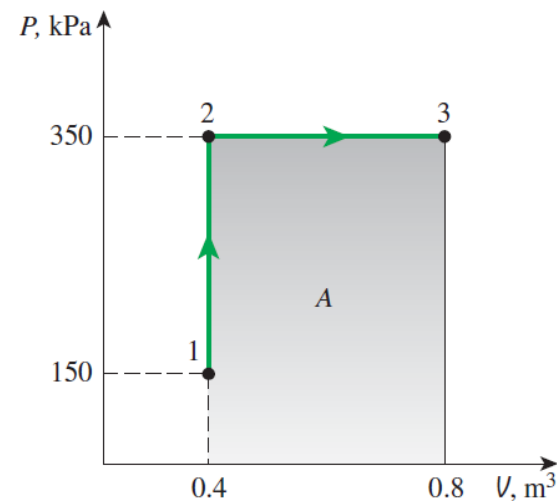
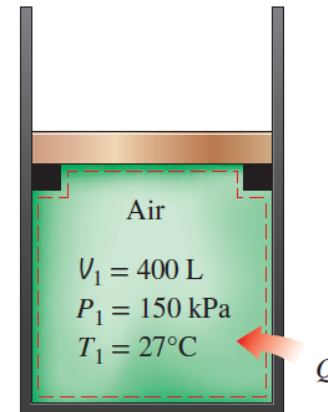
$$u_3 = u_{@1400 \text{ K}} = 1113.52 \text{ kJ/kg}$$

Thus,

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

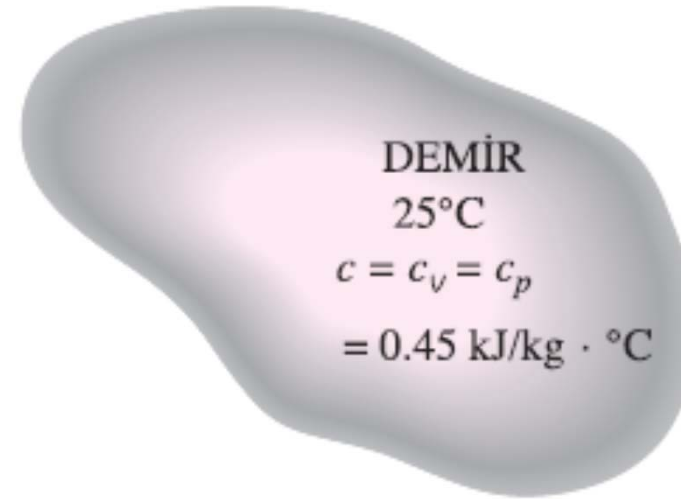
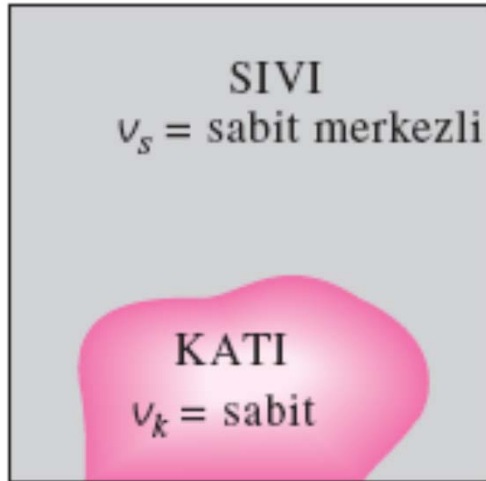
$$Q_{\text{in}} = \mathbf{767 \text{ kJ}}$$

Discussion The positive sign verifies that heat is transferred to the system.



KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

Sıkıştırılmayan madde: Özgül hacmi veya yoğunluğu sabit olan **Kati** ve **sıvıların** özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında hemen hemen sabit kalır



Sıkıştırılmayan maddelerin özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında sabit kalır.

Sıkıştırılmayan c_v ve c_p değerleri eşittir ve c ile gösterilir.

İç Enerji Değişimleri

$$du = c_v dT = c(T) dT \quad \Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c(T) dT \quad (\text{kJ/kg})$$
$$\Delta u \cong c_{\text{ort}} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

Entalpi Değişimi

$$h = u + Pv$$

$$dh = du + v dP + P d\overset{0}{v} = du + v dP$$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P \cong c_{\text{avg}} \Delta T + v \Delta P \quad (\text{kJ/kg})$$

Katılar için, $v \Delta P$ terimi ihmal edilebilecek kadar küçüktür, bu nedenle $\Delta h = \Delta u \cong c_{\text{ort}} \Delta T$. Sıvılar için iki özel durumla karşılaşılabilir:

1. Sabit basınçta hal değişimi, ısıtıcılarda ; ($\Delta P = 0$): $\Delta h = \Delta u \cong c_{\text{ort}} \Delta T$
2. Sabit sıcaklıkta hal değişimi, pompalarda ; ($\Delta T = 0$): $\Delta h = v \Delta P$

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{sat}@T})$$

Sıkıştırılmış sıvı entalpisi

son terimin etkisi genellikle çok küçüktür ve ihmal edilebilir.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T}$$

Örnek 4-11: Sıkıştırılmış Sıvının Entalpsi

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek bulun.

Örnek 4-11: Sıkıştırılmış Sıvının Entalpisi

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek bulun.

Analysis At 100°C, the saturation pressure of water is 101.42 kPa, and since $P > P_{\text{sat}}$, the water exists as a compressed liquid at the specified state.

(a) From compressed liquid tables, we read

$$\left. \begin{array}{l} P = 15 \text{ MPa} \\ T = 100^\circ\text{C} \end{array} \right\} h = \mathbf{430.39 \text{ kJ/kg}} \quad (\text{Table A-7})$$

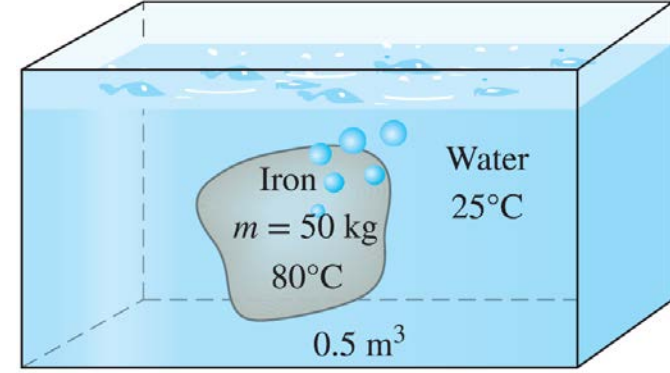
This is the exact value.

(b) Approximating the compressed liquid as a saturated liquid at 100°C, as is commonly done, we obtain

$$h \cong h_{f@ 100^\circ\text{C}} = \mathbf{419.17 \text{ kJ/kg}}$$

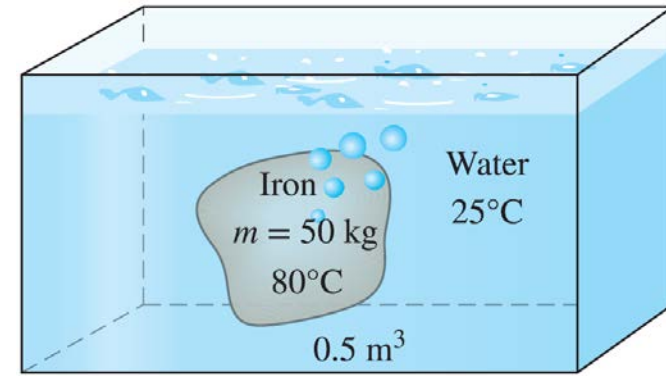
Örnek 4-12: Demir Külçesinin Su ile Soğutulması

Kütlesi 50 kg olan, 80 °C sıcaklıkta bir demir külçesi, içinde 25 °C sıcaklıkta 0.5 m³ su bulunan yalıtılmış bir kaba konmaktadır. Isıl denge sağlandığı zaman sıcaklık ne olur.



Örnek 4-12: Demir Külçesinin Su ile Soğutulması

Kütlesi 50 kg olan, 80 °C sıcaklıkta bir demir külçesi, içinde 25 °C sıcaklıkta 0.5 m³ su bulunan yalıtılmış bir kaba konmaktadır. Isıl denge sağlandığı zaman sıcaklık ne olur.



$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem}$$

$$0 = \Delta U_{sistem}$$

$$\Delta U_{sistem} = \Delta U_{demir} + \Delta U_{su}$$

$$m \cdot C_{demir} \cdot (T_2 - T_{1,demir}) + m \cdot C_{su} \cdot (T_2 - T_{1,su})$$

$$m_{su} = \frac{V_{su}}{v_f} = \frac{0,5m^3}{0,001m^3/kg} = 500 \text{ kg}$$

$$(50 \text{ kg})(0,45 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(T_2 - 80^\circ\text{C}) + (500 \text{ kg})(4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(T_2 - 25^\circ\text{C}) = 0$$

$$T_2 = 25,6^\circ\text{C}$$

Özet

- Hareketli sınır işi
 - W_s izotermal işlem için
 - W_s Sabit basınçlı işlem için
 - W_s Politropik işlem için
- Kapalı sistemlerde enerji dengesi
 - Sabit basınçta sıkıştırma ve genişleme işlemi için enerji dengesi
- Özgül Isı
 - Sabit basınçta özgül ısı, c_p
 - Sabit hacimde özgül ısı, c_v
- Mükemmel gazlarda iç enerji, entalpi, ve özgül ısı
 - Mükemmel gazlar için özgül ısı
- Katı ve sıvıların iç enerji, entalpi ve özgül ısıları