

# **KAPALI SİSTEMLER için TERMODYNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI**

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: KAPALI SİSTEMLER

Enerji var veya yok edilemez ancak biçim değiştirebilir. Bu ilke deneysel gözlemlere dayanır ve **termodinamiğin birinci yasası** veya **enerjinin korunumu ilkesi** diye bilinir.

Enerji, kapalı bir sistemin sınırlarından birbirinden farklı iki biçimde geçebilir. Bunlar **ısı** ve **iştir**.

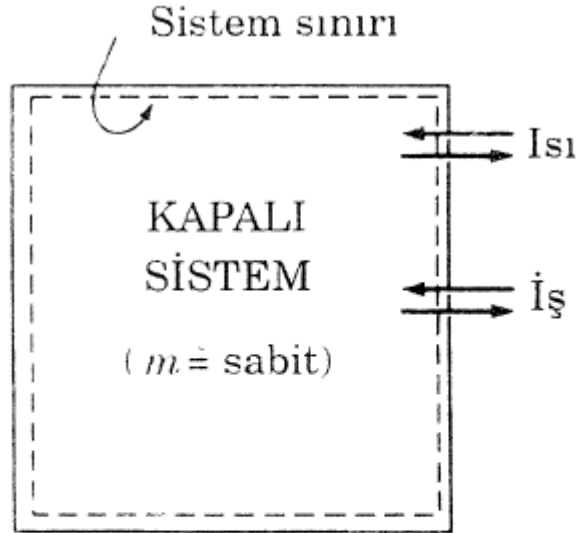
# Isı Geçişi

Isı Geçişi  $Q$  (kJ) veya  $q=Q/m$  (kJ/kg)

Isı, iki sistem arasında veya sistemle çevresi arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçiştir.

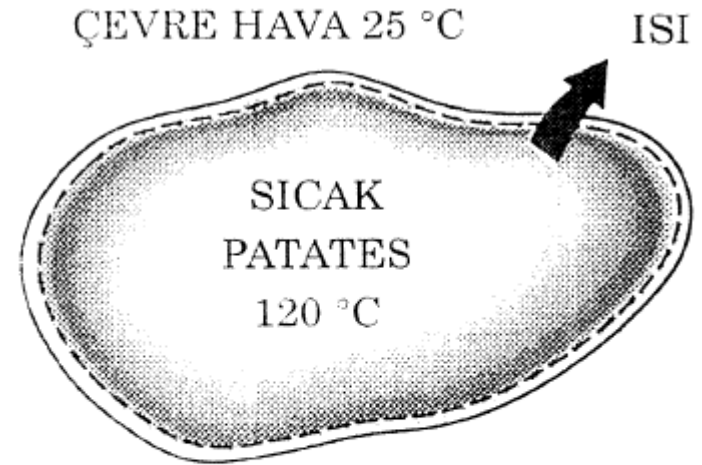
Isı, enerji geçişini vurgular. Isı sadece sistem sınırlarını geçişi sırasında tanımlanabilir.

# Isı Geçişi



**ŞEKİL 3-1**

Enerji, kapalı bir sistemin sınırlarından ısı veya iş olarak geçebilir.



**ŞEKİL 3-2**

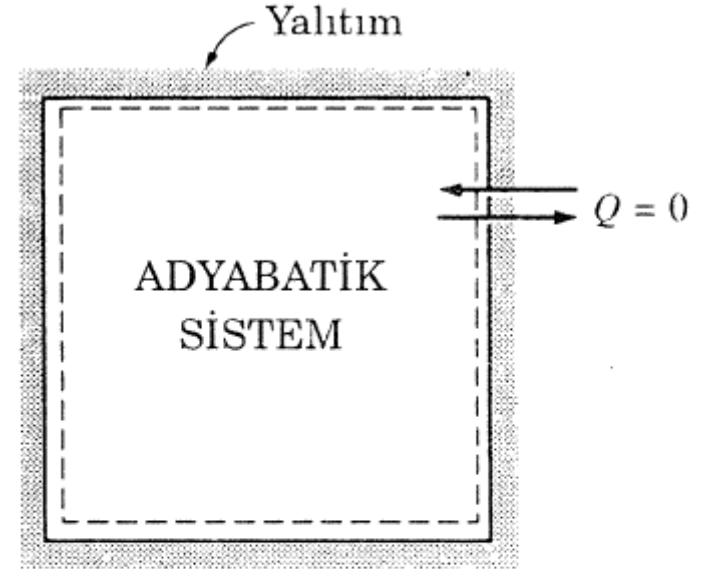
$Q_1$ , sıcak cisimlerden soğuk cisimlere, sıcaklık farkından dolayı geçen enerjidir.

# Isı Geçişi

## Adyabatik Hal Değişimi:

Isı geçişinin olmadığı bir hal değişimi **adyabatik hal değişimi** olarak adlandırılır.

Adyabatik hal değişimi sabit sıcaklıkta hal değişimi ile karıştırılmamalıdır. Adyabatik bir hal değişimi sırasında ısı geçişi olmasa da sistemin enerjisi ve buna bağlı olarak sıcaklığı, örneğin iş yapılması sonucu değişebilir.



**şEKİL 3-4**

Adyabatik bir hal değişimi sırasında sistemle çevresi sırasında ısı geçişi olmaz.

# Isı Geçişi

## Isı Geçişinin Gerçekleşme Yolları

Isı geçişi üç farklı biçimde gerçekleşebilir: *İletim (kondüksiyon)*, *taşınım (konveksiyon)* ve *ışınım (radyasyon)*. Sözü edilen ısı geçiş yollarının ayrıntılı incelenmesi, ısı transferi dersinin kapsamındadır.

# İletim

**İletim**, bir maddenin, enerjisi daha fazla olan moleküllerinden yakındaki diğer moleküllere, moleküller arasındaki etkileşim sonucunda enerji geçişidir. İletim katı, sıvı veya gaz ortamlarda gerçekleşebilir. Sıvılarda ve gazlarda iletim, moleküllerin rastgele hareketleri sırasında birbirleriyle çarpışmaları sonucunda oluşur. Katılarda ise moleküllerin sabit düzen içindeki titreşimleri ve serbest elektronların hareketleri sonucunda gerçekleşir.

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = -k_t A \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

Bu denklem **Fourier Isı İletim Yasası** diye bilinir ve verilen bir yöndeki ısı iletiminin o yöndeki *sıcaklık gradyanı*yla orantılı olduğunu belirtir. Isı, sıcaklığın azaldığı yönde iletilir.

# Taşınım

**Taşınım**, katı bir yüzeyle onun temas ettiği akışkan bir ortam arasında gerçekleşen ısı geçişidir. *İletimin* ve *akışkan hareketinin* ortak sonucu olarak gerçekleşir. Akışkan hareketi daha hızlı olduğu zaman taşınım ile ısı geçişi de daha çoktur. Akışkan eğer hareketsizse, bu durumda katı yüzeyle temas ettiği akışkan arasında sadece iletimle ısı geçişi olur. Akışkan hareketinin varlığı ısı geçişini artıran bir etkidir, fakat aynı zamanda ısı geçişinin hesaplanmasını zorlaştırır.

Birim zamanda taşınım ile ısı geçişi  $\dot{Q}_{\text{taşınım}}$ , **Newton'un Soğutma Yasası** adı verilen bağıntıyla ifade edilir:

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA(T_s - T_f) \quad (\text{W})$$



# Işınım

**Işınım**, maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığıyla gerçekleşen enerji aktarımıdır. İletim ve taşınımından farklı olarak, ışınlımla ısı geçişı cisimler arasında boşluk olması durumunda da vardır. Işınımıla ısı geçişı ışıık hızında gerçekleşir ve vakumda ışınlım akısında hiçbir azalma olmaz. Güneş enerjisinin yeryüzüne erişimi ışınlıma güzel bir örnektir.

$T_s$  mutlak sıcaklığındaki bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek en çok ışınlım *Stefan-Boltzmann Yasası*yla belirlenmiştir:

$$\dot{Q}_{\text{yayılan, maks}} = \sigma A T_s^4 \quad (\text{W})$$

Burada  $A$ , yüzey alanı;  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  ise *Stefan-Boltzmann sabiti*dir.

# Isı Geçişi

Isı geçişinin yönü vardır.  $Q=5$  kJ ısı geçişinin yönü hakkında bir bilgi vermez, bu nedenle bir işaret kuralına ihtiyaç duyulur. Genel olarak kabul edilen kural şöyledir.

Sisteme olan ısı geçişi artı işaretli veya pozitifdir, sistemden olan ısı geçişi ise eksi işaretlidir veya negatiftir. Başka bir deyişle, sistemin enerjisini arttıran yönde ısı geçişi artı işaretli, sistemin enerjisini azaltan yönde ısı geçişi eksi işaretlidir.

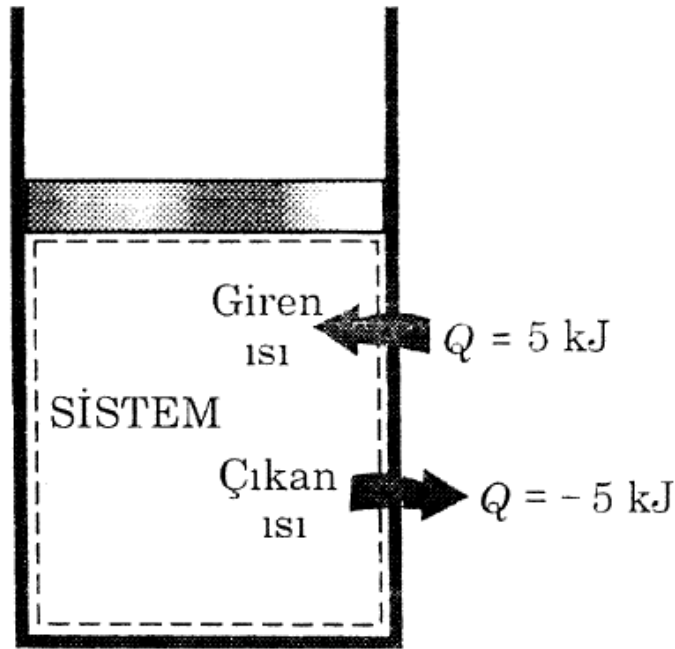
# Isı Geçişi

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

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

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

# Isı Geçişi



**ŞEKİL 3-6**

Isı geçişi için işaret kuralı:  
Sisteme giren ısı artı, sistem-  
den çıkan ısı eksi işaretlidir.

# iş

**iş  $W$  (kJ) veya  $w=W/m$  (kJ/kg)**

iş de ısı geçişi gibi, sistemle çevresi arasında bir enerji alışverişidir. iş sistemle çevresi arasında sıcaklık farkının neden olmadığı enerji verışı olarak tanımlıdır.

Daha alışıl gelmiş tanımla, iş bir kuvvetin bir yol boyunca etkide bulunması sonucu aktarılan enerjidir.

Bir sistem tarafından iş yapılması genellikle olumlu bir etki olarak algılanır, sistem üzerinde iş yapılması ise olumsuz bir etki olarak görülür.

# iş

Sistem tarafından yapılan iş artı, sistem üzerinde yapılan iş ise eksi kabul edilecektir. Başka bir deyişle, bir işlem sırasında üretilen iş artı tüketilen iş eksi alınacaktır.

Bazen iş ve ısı etkileşiminin yönünü belirten eksi ve artı işaretlerini kullanmak yerine giren ve çıkan nitelendirmeleri veya kısaca g ve ç indislerini kullanmak daha uygun olabilir.

# İŞ

İş de, ısı gibi enerji geçişinin bir biçimidir, bu nedenle birimi, örneğin kJ gibi, bir enerji birimidir. 1 ve 2 halleri arasında yapılan iş  $W_{12}$  veya sadece  $W$  ile gösterilir. Sistemin *birim kütlesi* için yapılan iş  $w$  ile gösterilir ve

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

bağıntısıyla tanımlanır. *Birim zamanda* yapılan iş, **güç** diye adlandırılır ve  $\dot{W}$  ile gösterilir (Şekil 3-14). Gücün birimi kJ/s veya kW'tır.

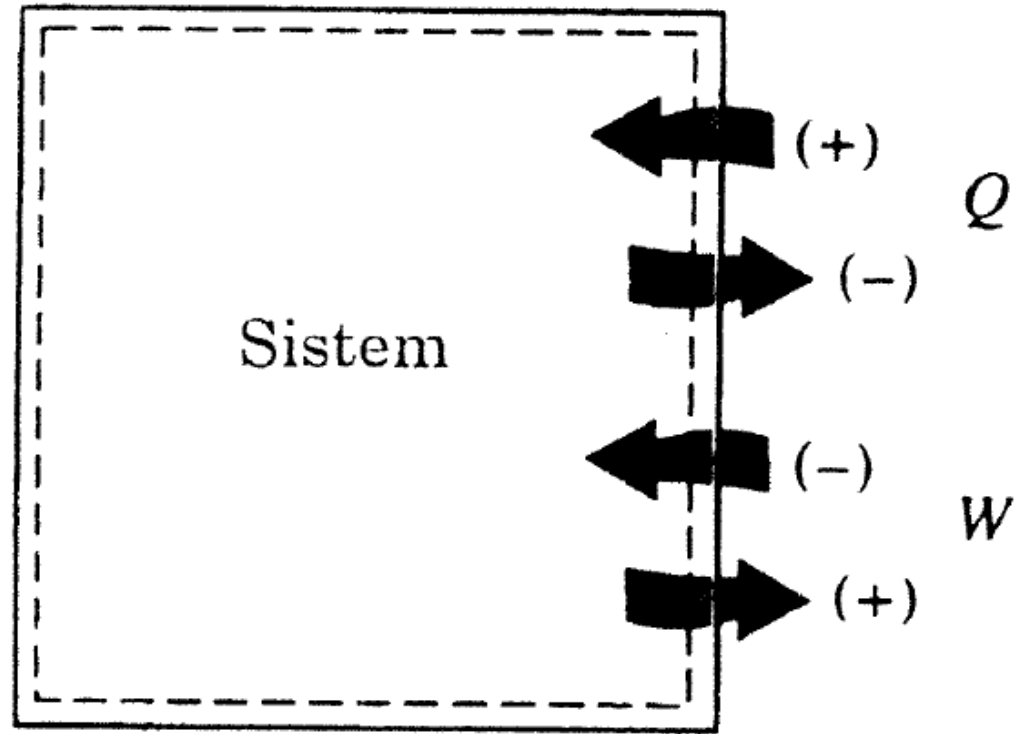
# iş

Bazen sisteme olan ısı geçişi  $Q_g$ , sistemden olan ısı geçişi  $Q_ç$  ile gösterilir. Benzer bir durum iş için de geçerlidir.

**Örnek:**  $Q=-5$  kJ yerine  $Q_ç=5$  kJ

$W=-2$  kJ yerine  $W_g=2$  kJ





### ŞEKİL 3-15

Isı ve iş için işaret kuralı.

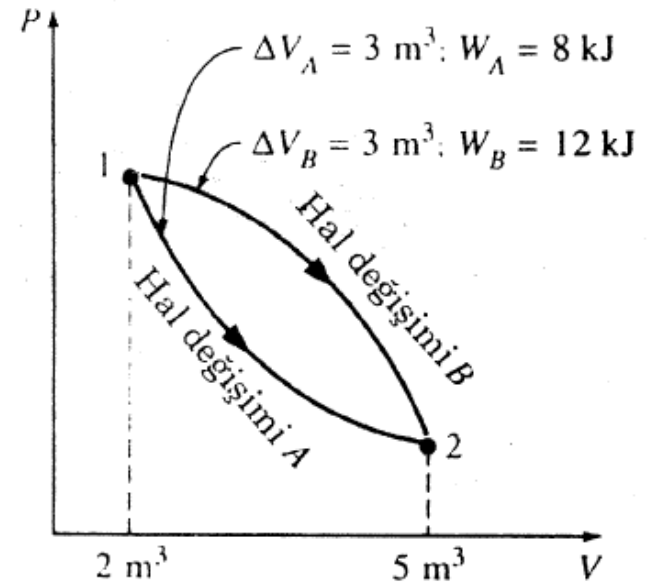
# Isı Geçişi ve İş Arasındaki Benzerlikler

Isı geçişi ve iş, sistemle çevresi arasında etkileşimi ifade eder. İkisi arasında bir çok benzerlik vardır.

1. Her ikisi de sistemin sınırlarını geçerken anlam kazanır. Başka bir deyişle, ısı ve iş sınır olgularıdır.
2. Sistemlerin enerjileri vardır, fakat ısı ve işleri yoktur.
3. Her ikisi de bir hal ile değil, bir hal değişim ile ilişkilidir. Özellikler bir hal için belirlenir, oysa bir haldeki ısı ve işten söz etmenin hiçbir anlamı yoktur.

# Isı Geçişi ve İş Arasındaki Benzerlikler

4. Her ikisi de bir hal değişiminin nasıl geliştiğinin fonksiyonudur. Bu tür fonksiyonlar yola bağımlı fonksiyonlar diye adlandırılır. Başka bir deyişle, değerleri sadece ilk ve son hale değil, aynı zamanda hal değişiminin nasıl gerçekleştiğine bağlıdır.



ŞEKİL 3-16

Özellikler nokta fonksiyonlarıdır, fakat ısı ve iş yola bağımlı fonksiyonlardır (büyüklükleri hal değişiminin izlediği yola bağlıdır).

## a) Elektrik İşi

Sistem sınırlarını geçen elektronların yaptığı işe **elektrik işi** adı verilir.

Bir elektrik alanında, bir tel içindeki elektronlar elektromotor kuvvetlerinin etkisi altında hareket ederler ve iş yaparlar.

N coulomb elektron,  $\Delta V$  potansiyel farkından geçtiği zaman, yapılan elektrik işi

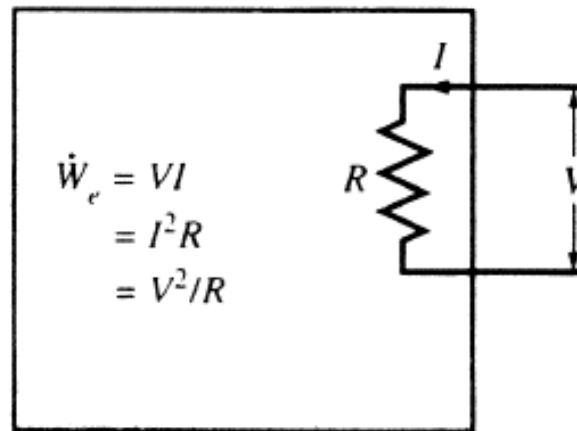
$$W_e = VN \text{ (kJ)}$$

ifadesinden hesaplanır.

## a) Elektrik İşi

Birim zamanda yapılan elektrik işi:

$$\dot{W}_e = VI \quad (\text{W})$$



**ŞEKİL 3-21**

Elektrik gücünün, direnç  $R$ , akım  $I$  ve potansiyel farkı  $V$  ile gösterilmesi

## a) Elektrik İşi

Genelde hem  $V$  hem de  $I$  zamana bağlıdır. Bu durumda elektrik işi

$$W_e = \int_1^2 V I dt$$

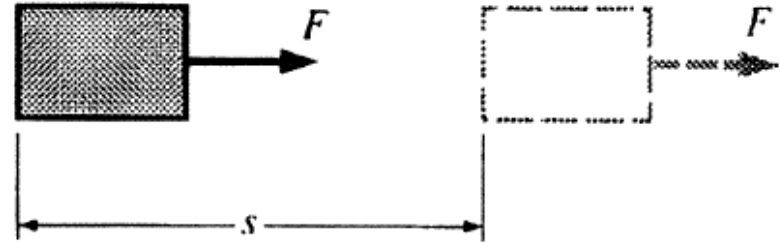
integralinin hesaplanmasıyla bulunabilir. Eğer  $\Delta t$  zaman aralığında  $V$  ve  $I$  sabit kalıyorsa bu bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$W_e = VI \Delta t \quad (\text{kJ})$$

## b) Mekanik İş

Mekanik iş, bir kuvvetin bir yol boyunca etkide bulunması sonucu aktarılan enerjidir. Eğer kuvvet hareket yönünde etki ediyorsa iş

$$W = \int_1^2 F ds$$



ifadesinden hesaplanır.

**ŞEKİL 3-23**

Yapılan iş, uygulanan kuvvete ( $F$ ) ve kuvvetin etkidığı uzunluğa ( $s$ ) bağlıdır.

## **b) Mekanik İş**

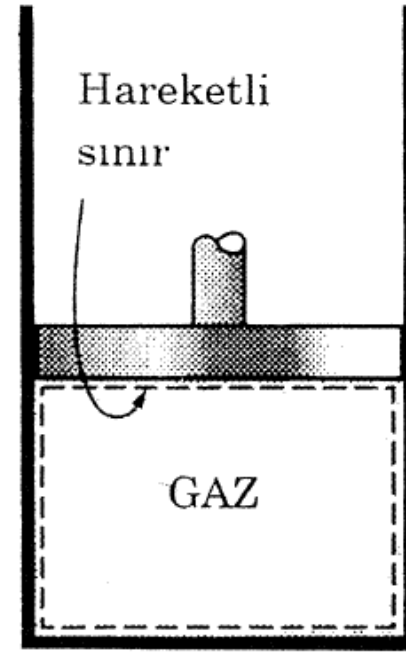
- 1. Hareketli Sınır İş**
- 2. Yerçekimi İş**
- 3. İvme İş**
- 4. Mil iş**
- 5. Yay İş**



# 1. Hareketli Sınır İşi

Mekanik işin uygulamada çok sık karşılaşılan bir türü, bir gazın piston silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir.

Sistem sınırlarının hareket etmesi sonucu oluşan genişleme veya sıkıştırma işi hareketli sınır işi veya sadece sınır işi olarak adlandırılır. Bu işe  $PdV$  işi adı da verilmektedir.

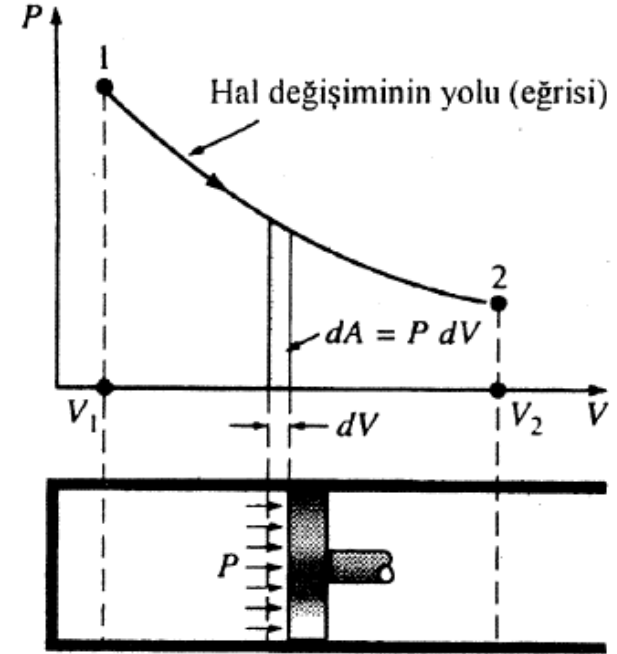


**ŞEKİL 3-25**

Hareketli sınırla ilişkili iş sınır işi diye adlandırılır.

# 1. Hareketli Sınır İşi

İşin hesaplanabilmesi için hal değişimi yolunun bilinmesi gerekir. Bu nedenle sınır işi yalnızca sanki-dengeli bir hal değişimi için hesaplanabilir. Şekilde gösterilen silindir-piston düzenliğini göz önüne alalım.



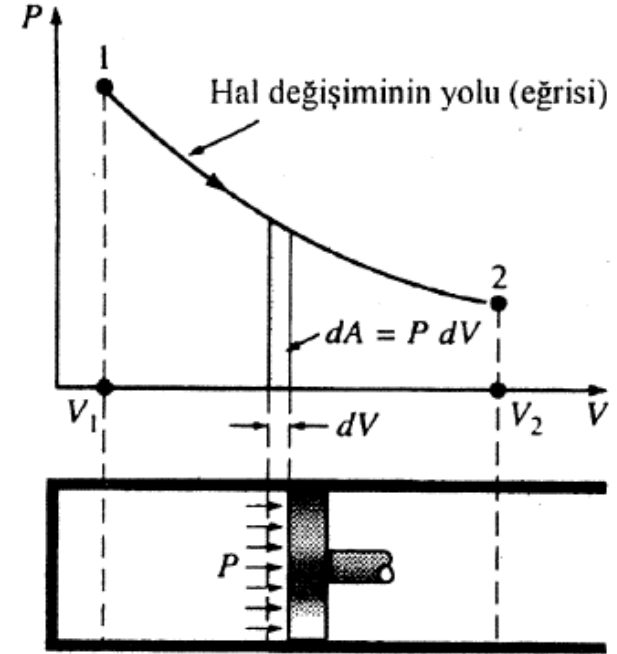
**ŞEKİL 3-27**

P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

# 1. Hareketli Sınır İş

Başlangıçta gazın basıncı  $P$ , toplam hacmi  $V$  olsun. Pistonun kesit alanı  $A$  ile gösterilsin. Piston sanki-dengeli bir biçimde  $ds$  kadar hareket ederse, yapılan diferansiyel iş

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



**ŞEKİL 3-27**

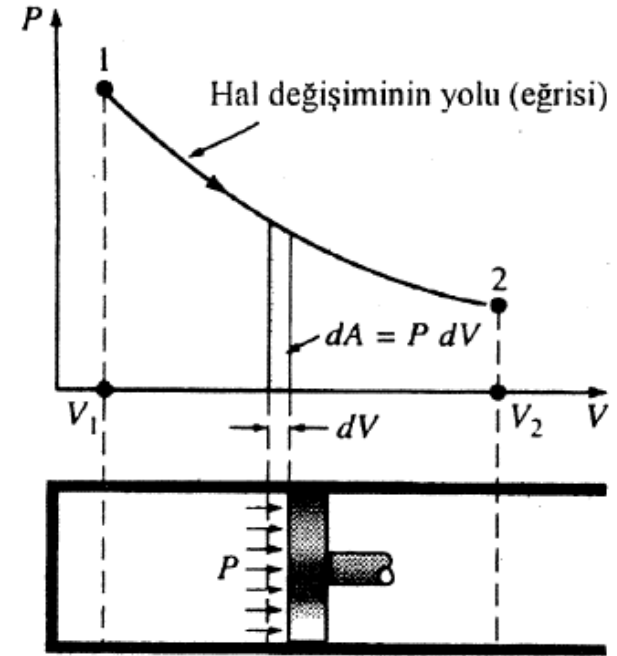
$P$ - $V$  diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

# 1. Hareketli Sınır İşi

İlk ve son haller arasında yapılan sınır işi ise

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

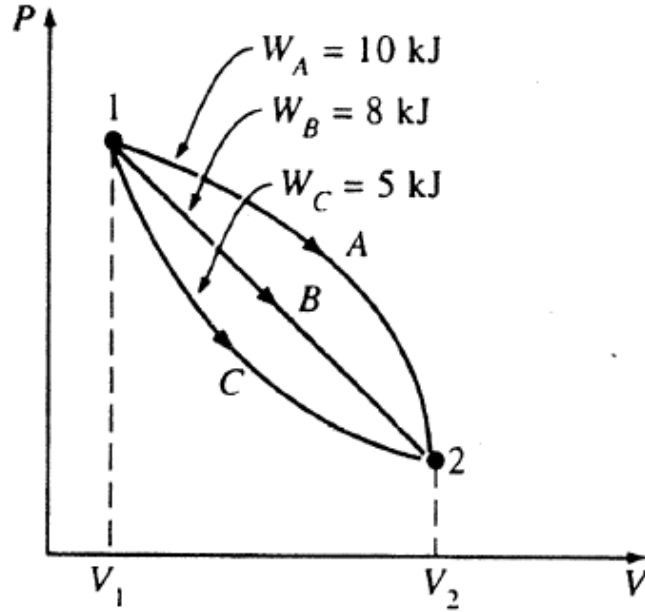
Bu ifadeye göre P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan sınır işine eşittir.



**ŞEKİL 3-27**

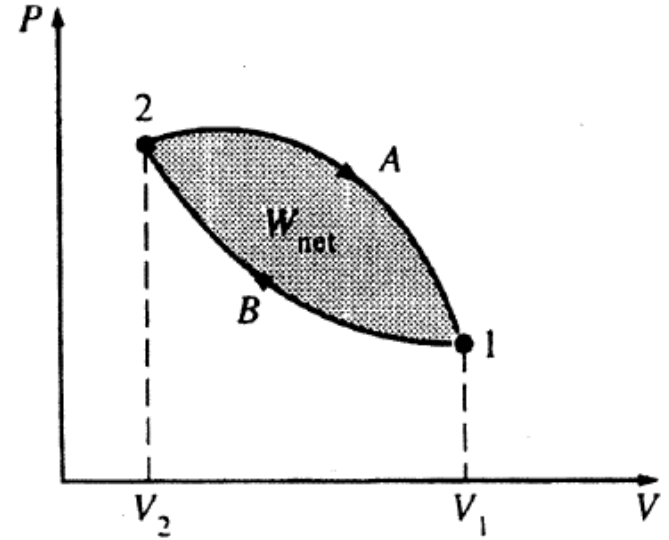
P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

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



**ŞEKİL 3-28**

Bir hal değişimi sırasında yapılan sınır işi, ilk ve son hallerle hal değişiminin yoluna bağlıdır.



**ŞEKİL 3-29**

Bir çevrim sırasında yapılan net iş, sistem tarafından yapılan işle sistem üzerinde yapılan iş arasındaki farktır.

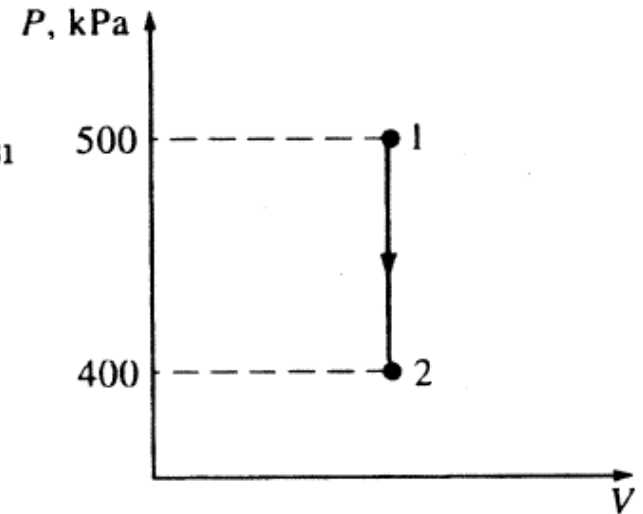
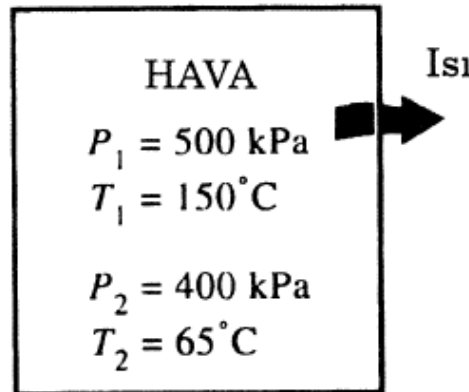
## ÖRNEK 13

Sabit hacimli, kapalı 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 değişim sırasında yapılan sınır işini hesaplayınız.

## ÖRNEK 13

Sabit hacimli, kapalı 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 değişim sırasında yapılan sınır işini hesaplayınız.

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



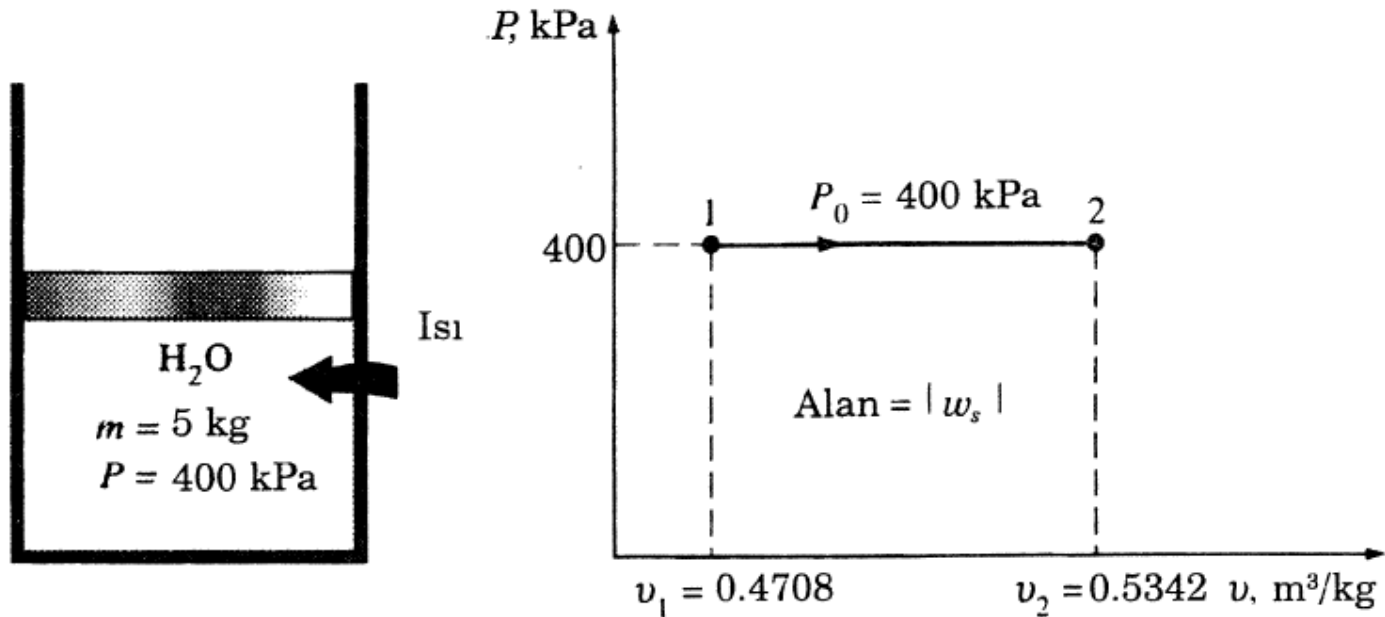
## ÖRNEK 14

Sürtünmesiz bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 150°C sıcaklıkta 5 kg su buharı bulunmaktadır. Daha sonra suya ısı geçişi olmakta ve sıcaklığı 200°C'ye yükselmektedir. Pistonun serbest hareket edebildiğini ve kütlelerinin sabit olduğunu kabul ederek, su tarafından yapılan işi hesaplayınız.



## ÖRNEK 14

Sürtünmesiz bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 150°C sıcaklıkta 5 kg su buharı bulunmaktadır. Daha sonra suya ısı geçişi olmakta ve sıcaklığı 200°C'ye yükselmektedir. Pistonun serbest hareket edebildiğini ve kütlelerinin sabit olduğunu kabul ederek, su tarafından yapılan işi hesaplayınız.



## ÖRNEK 14

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

veya  $V = mv$  olduğundan,

$$W_s = mP_0 (v_2 - v_1) \quad (3-19)$$

yazılır. Özgül hacimler, kızgın buhar tablosundan (Tablo A-6), 1 halinde (400 kPa, 150 °C)  $v_1 = 0.4708 \text{ m}^3/\text{kg}$  ve 2 halinde (400 kPa, 200 °C)  $v_2 = 0.5342 \text{ m}^3/\text{kg}$  olarak okunur. Bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konursa,

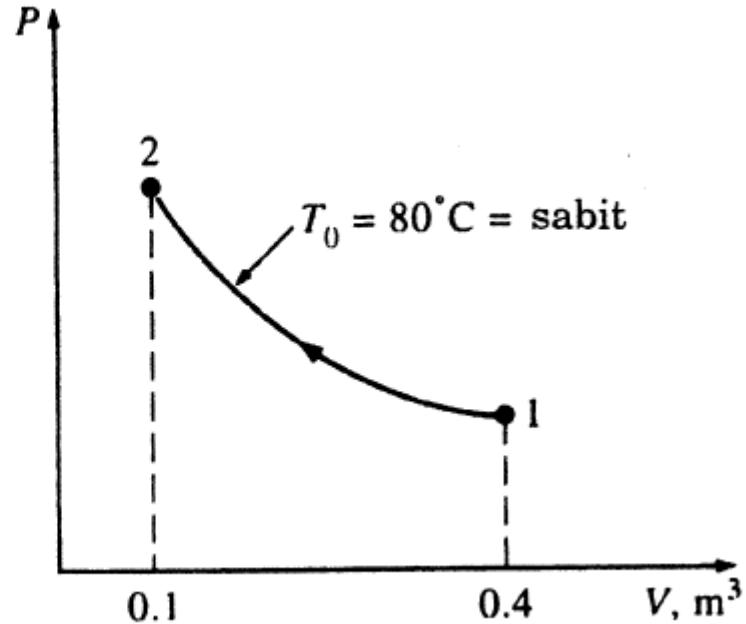
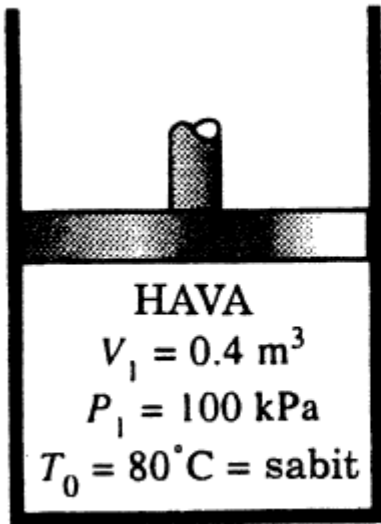
$$W_s = (5 \text{ kg})(400 \text{ kPa})[(0.5342 - 0.4708) \text{ m}^3/\text{kg}] \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 126.8 \text{ kJ}$$

## ÖRNEK 15

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 100 kPa basınç ve 80°C sıcaklıkta 0,4 m<sup>3</sup> hava bulunmaktadır. Daha sonra hava, sıcaklığı sabit kalacak biçimde sıkıştırılmakta ve son halde hacmi 0,1 m<sup>3</sup> olmaktadır. Hal değişimi sırasında yapılan işi hesaplayınız.

## ÖRNEK 15

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 100 kPa basınç ve 80°C sıcaklıkta 0,4 m<sup>3</sup> hava bulunmaktadır. Daha sonra hava, sıcaklığı sabit kalacak biçimde sıkıştırılmakta ve son halde hacmi 0,1 m<sup>3</sup> olmaktadır. Hal değişimi sırasında yapılan işi hesaplayınız.



## ÖRNEK 15

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

yazılabilir. Burada C sabit bir değer olmaktadır. Basınç, denklem 3-18'de yerine konursa,

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{C}{V} dV = C \int_1^2 \frac{dV}{V} = C \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\begin{aligned} W_s &= (100 \text{ kPa}) (0.4 \text{ m}^3) \left( \ln \frac{0.1}{0.4} \right) \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) \\ &= -55.45 \text{ kJ} \end{aligned}$$

elde edilir. Eksi işareti sistem üzerinde iş yapıldığını göstermektedir. Sıkıştırma işlemi için işaret her zaman eksidir.

# POLİTROPİK HAL DEĞİŞİMİ

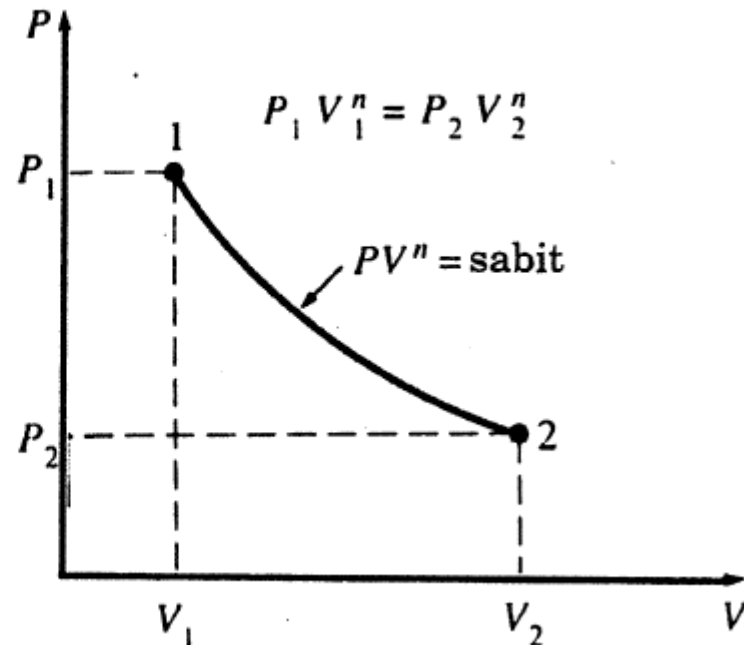
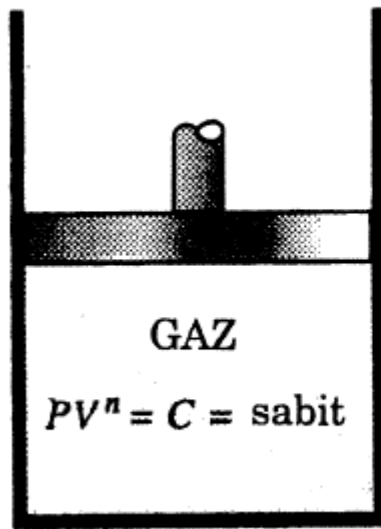
Gerçek gazların genişleme ve sıkıştırma işlemlerinde, basınç ve hacim ilişkisi genellikle

$$PV^n=C \quad n, C=\text{sabit}$$

ilişkisine uyar. Bu tür bir hal değişimi **politropik hal değişimi** diye adlandırılır.

# POLİTROPİK HAL DEĞİŞİMİ

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



# POLİTROPİK HAL DEĞİŞİMİ

Dikkat edilirse  $C = P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$  olmaktadır. Mükemmel bir gaz için ( $PV = mRT$ ) olduğundan, bu denklem

$$W_s = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1 - n}, \quad n \neq 1 \quad (\text{kJ}) \quad (3-23)$$

şeklinde de yazılabilir.  $n = 1$  olması durumu, bir önceki örnekte incelenen sabit sıcaklıkta hal değişimidir.



# Yerçekimi İşi

**Yerçekimi işi**, yerçekimi tarafından veya ona karşı yapılan iş olarak tanımlanır. Yerçekimi alanında bir cisim üzerinde etkiyen kuvvet

$$F = mg$$

bağıntısıyla verilir. Burada  $m$  cismin kütlesi,  $g$  ise sabit kabul edilen yerçekimi ivmesidir. Bu cismi  $z_1$  düzeyinden  $z_2$  düzeyine yükseltmek için yapılması gereken iş

$$W_y = \int_1^2 F dz = mg \int_1^2 dz = mg (z_2 - z_1)$$

# İvme İşi

Sistemin hızındaki değişimle ilgili işe **ivme işi** adı verilir. Kütlesi  $m$  olan bir cismi başlangıçtaki  $\mathbf{V}_1$  hızından  $\mathbf{V}_2$  hızına getirmek için gerekli ivme işi, ivmenin tanımından ve Newton'un İkinci Yasasından belirlenir

$$\left. \begin{array}{l} F = ma \\ a = \frac{d\mathbf{V}}{dt} \end{array} \right\} F = m \frac{d\mathbf{V}}{dt}$$

Diferansiyel büyüklükte bir yerdeğiştirme  $ds$  ile hız  $\mathbf{V}$  arasındaki ilişki

$$\mathbf{V} = \frac{ds}{dt} \longrightarrow ds = \mathbf{V} dt$$

# İvme İşi

$$W_i = \int_1^2 F ds = \int_1^2 \left( m \frac{d\mathbf{V}}{dt} \right) (\mathbf{V} dt) = m \int_1^2 \mathbf{V} d\mathbf{V} = \frac{1}{2} m (\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2)$$

Bir cismi hızlandırmak veya yavaşlatmak için yapılması gerekli iş, izlenen yoldan bağımsızdır ve cismin *kinetik enerjisindeki değişime* eşittir.

Sistem iş yapıyorsa (sistem hızlanıyorsa), ivme işi artıdır. Sistem üzerinde iş yapılıyorsa (sistem yavaşlıyorsa) ivme işi eksidir.

# Mil İşi

Dönen bir malle enerji aktarımına mühendislik uygulamalarında sıkça rastlanır (Şekil 3-38). Genellikle malle uygulanan burulma momenti  $\tau$  ve buna bağı olarak kuvvet  $F$  sabittir. Verilen bir burulma momenti için  $n$  devirde yapılan iş aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır: Moment kolu  $r$  'ye uygulanan  $F$  kuvveti, Şekil 3-39'da görüldüğü gibi  $\tau$  burulma momentini oluşturur:

$$\tau = Fr \longrightarrow F = \frac{\tau}{r}$$

Bu kuvvet  $s$  uzunluğu boyunca uygulanmakta olup,  $s$  ve  $r$  arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

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

# Mil İşi

$$W_{\text{mil}} = Fs = \left(\frac{\tau}{r}\right)(2\pi rn) = 2\pi n\tau$$

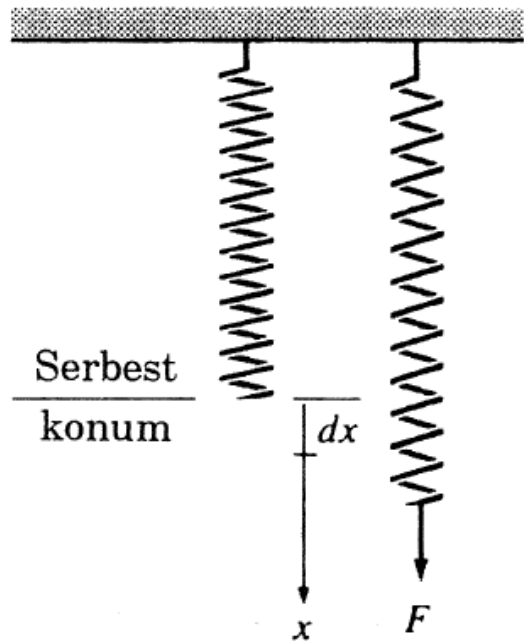
Mille iletilen güç, birim zamanda yapılan mil işidir ve

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

bağıntısıyla verilir. Burada  $\dot{n}$  birim zamandaki devir sayısıdır.

Mil işi sistem tarafından yapılıyorsa *artı*, sistem üzerinde yapılıyorsa *eksi* alınmalıdır.

# Yay İşi



**ŞEKİL 3-41**

Yayın, bir kuvvetin etkisi altında uzaması.

$$\delta W_{\text{yay}} = F dx$$

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

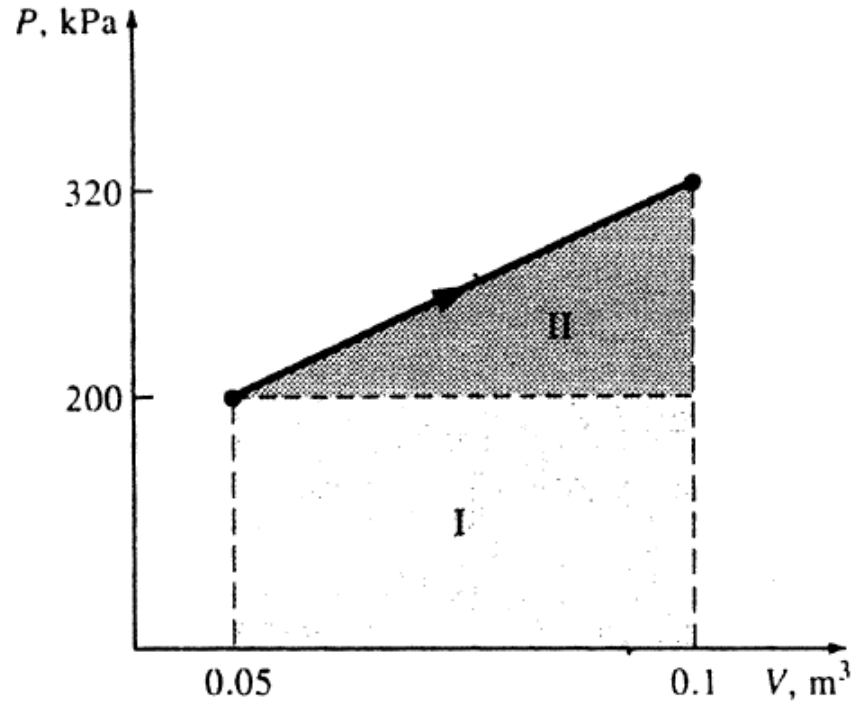
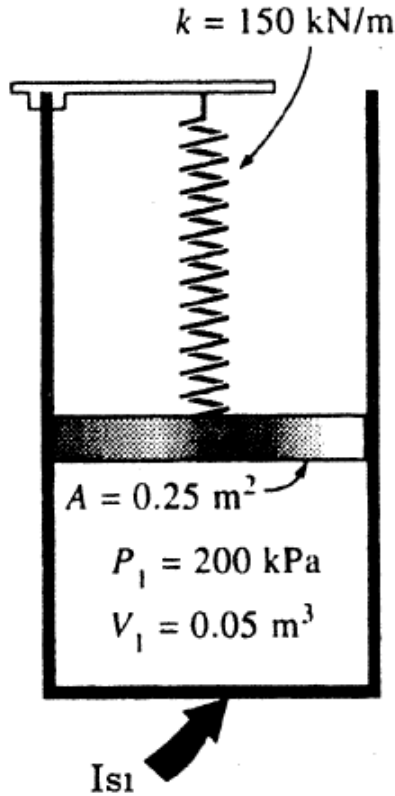
Burada  $k$ , yay katsayısı diye adlandırılan orantı sabitidir ve birimi kN/m'dir.

$$W_{\text{yay}} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) \quad (\text{kJ})$$

## ÖRNEK 16

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 200 kPa basınç ve  $0.05 \text{ m}^3$  hacminde bir gaz bulunmaktadır. Sistem bu halde iken, katsayısı 150 kN/m olan bir doğrusal yay pistona dokunmakta, fakat herhangi bir kuvvet etkimemektedir. Daha sonra gaza ısı geçişi olmakta ve piston yayı sıkıştırarak, gazın hacmi başlangıçtaki iki katı olana kadar yükselmektedir. Pistonun kesit alanı  $0.25 \text{ m}^2$  'dir. (a) Son halde silindir içindeki basıncı, (b) gaz tarafından yapılan toplam işi, (c) toplam işin ne kadarlık bir bölümünün yayı sıkıştırmak için yapıldığını hesaplayın.

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 200 kPa basınç ve  $0.05 \text{ m}^3$  hacminde bir gaz bulunmaktadır. Sistem bu halde iken, katsayısı 150 kN/m olan bir doğrusal yay pistona dokunmakta, fakat herhangi bir kuvvet etkimemektedir. Daha sonra gaz ısı geçişi olmakta ve piston yayı sıkıştırarak, gazın hacmi başlangıçtaki iki katı olana kadar yükselmektedir. Pistonun kesit alanı  $0.25 \text{ m}^2$ 'dir. (a) Son halde silindir içindeki basıncı, (b) gaz tarafından yapılan toplam işi, (c) toplam işin ne kadarlık bir bölümünün yayı sıkıştırmak için yapıldığını hesaplayın.



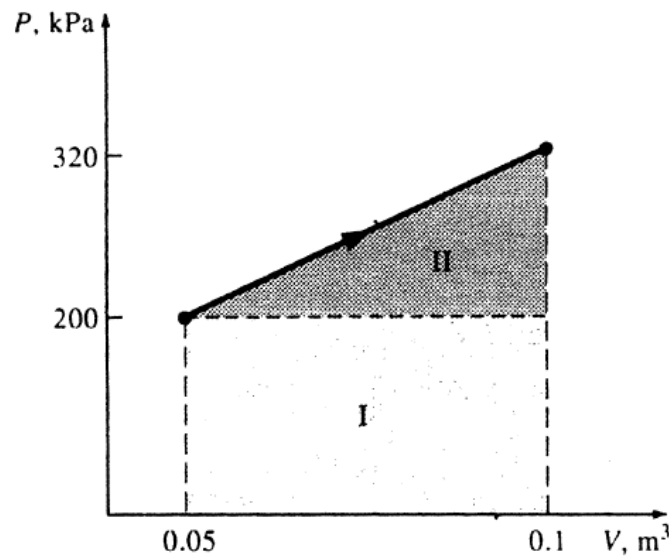
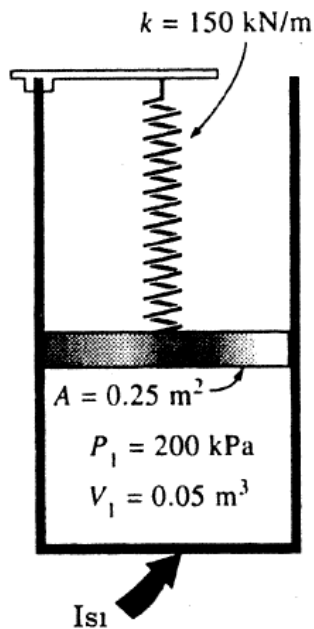


$$V_2 = 2V_1 = (2)(0.05\text{m}^3) = 0.1\text{m}^3$$

Pistonun (ve yayın) yerdeğişimi

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

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

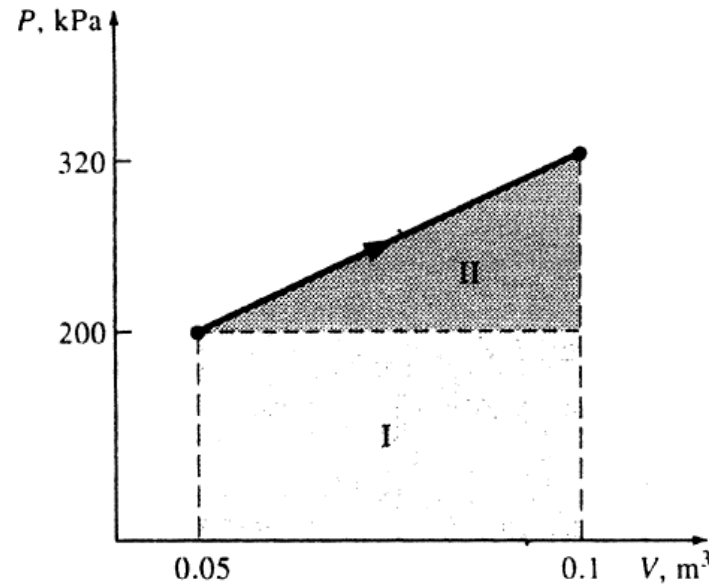
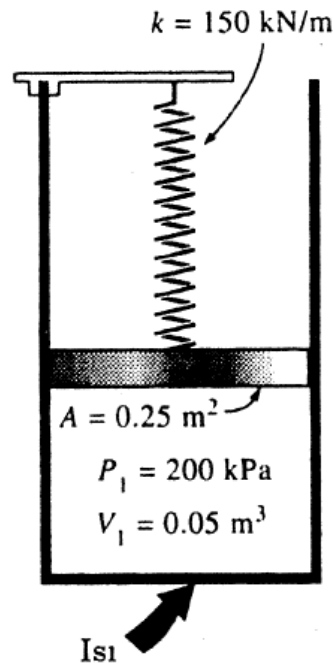


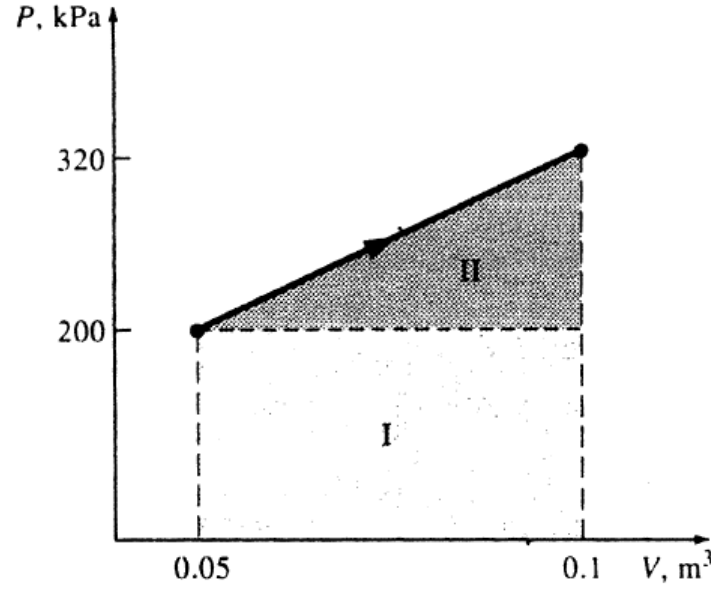
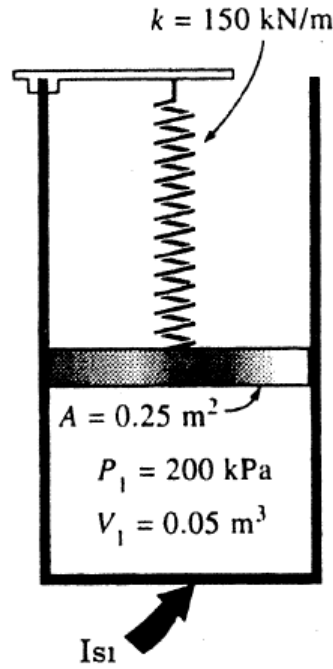
$$P = \frac{F}{A} = \frac{30\text{ kN}}{0.25\text{ m}^2} = 120\text{ kPa}$$

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.

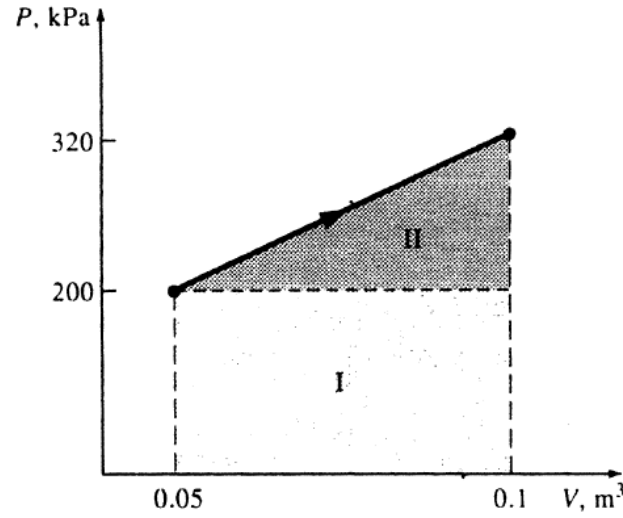
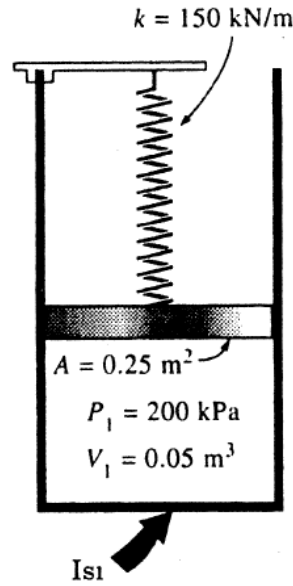




(b) Yapılan işi bulmanın kolay bir yolu, hal değişimini  $P$ - $V$  diyagramında çizmek ve eğrinin altında kalan alanı hesaplamaktır. Şekil 3-43'te görüldüğü gibi, hal değişimi eğrisinin altında kalan alan (yamuk) kolayca hesaplanabilir:

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

Hal değişimi incelendiği zaman, işin sistem tarafından yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle işin işareti artıdır.



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

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

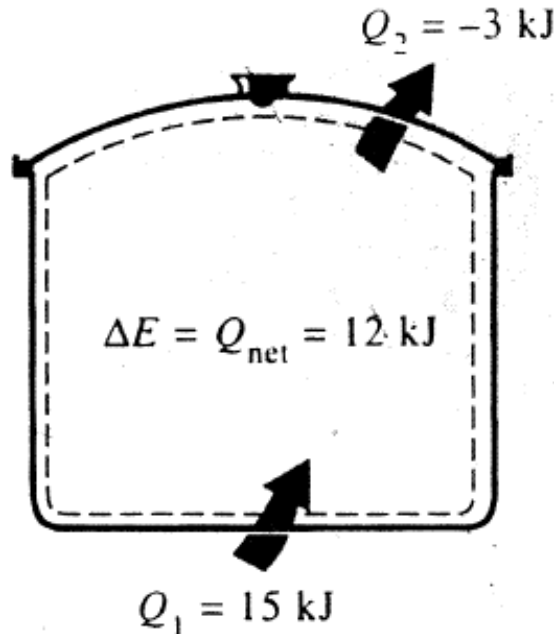
Bu sonuç aynı zamanda 3-30 numaralı denklemi kullanarak da hesaplanabilir:

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

# Termodinamiğin Birinci Yasası

Yapılan gözlemler, kapalı bir sisteme veya sistemden ısı veya iş geçişi olarak net enerji geçişinin sistemin toplam enerjisindeki net artış veya azalışa eşit olduğunu göstermektedir.

# Termodinamiğin Birinci Yasası



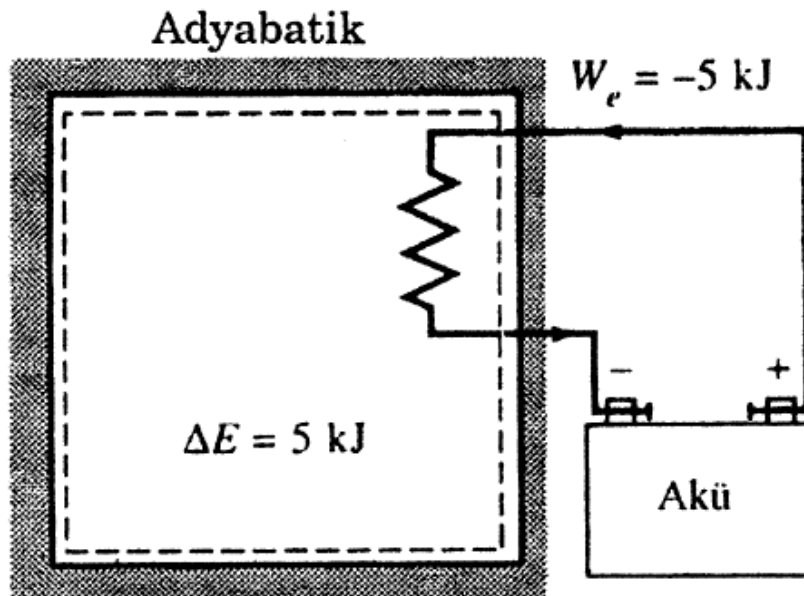
$W = 0$  olması durumunda,

$$Q = \Delta E$$

## ŞEKİL 3-48

İş etkileşiminin olmaması durumunda sistemin enerji değişimi net ısı geçişine eşittir.

# Termodinamiğin Birinci Yasası



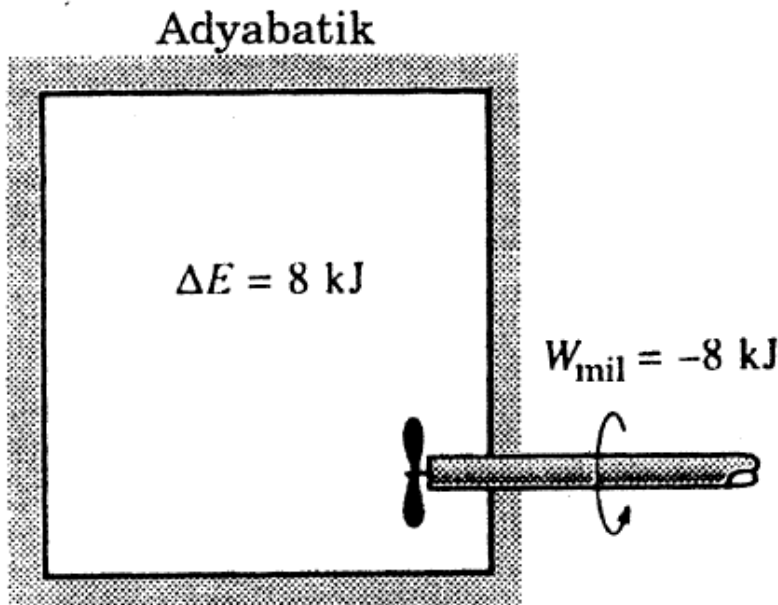
$$Q = 0$$

$$-W_e = \Delta E$$

**ŞEKİL 3-49**

Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (elektrik işi), sistemin enerji artışına eşittir.

# Termodinamiğin Birinci Yasası



$$Q = 0$$

$$-W_p = \Delta E$$

**ŞEKİL 3-50**

Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (mil işi), sistemin enerji artışına eşittir.

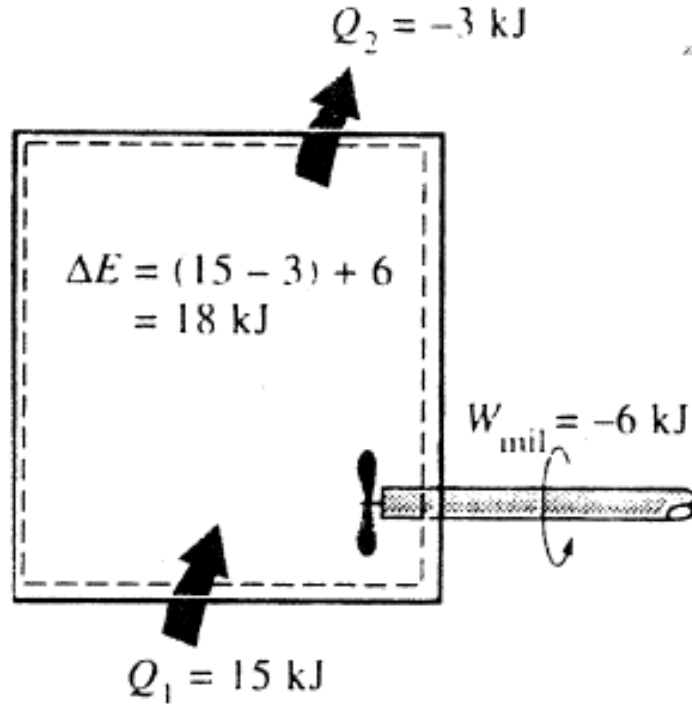


# Termodinamiğin Birinci Yasası

Yukarıdaki örneklerden, *kapalı bir sistemde adyabatik hal değişimi sırasında yapılan iş, sistemin toplam enerji değişimine eşittir, sonucuna varılabilir. Matematiksel anlatımla:*

$$Q = 0 \quad \text{olması durumunda,} \quad -W = \Delta E$$

Beklendiği gibi, eğer bir hal değişimi sırasında hem iş hem de ısı etkileşimi oluyorsa, sonuç her birinin katkısı toplanarak elde edilecektir. Başka bir deyişle, bir sistemin hal değişimi sırasında, sisteme 12 kJ ısı geçişi oluyor, ayrıca sistem üzerinde pervane tarafından 6 kJ iş yapılıyorsa, sistemin bu hal değişimi sırasındaki net enerji artışı 18 kJ olacaktır (Şekil 3-52).



### ŞEKİL 3-52

Bir hal değişimi sırasında sistemin enerji değişimi, net iş ve çevreyle ısı alışverişinin toplamına eşittir.

Sonuçları genelleştirirsek, kapalı sistem olarak tanımlanan, belirli sınırlar içinde bulunan sabit bir kütle için **termodinamiğin birinci yasası** veya **enerjinin korunumu ilkesi** aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Sisteme veya sistemden} \\ \text{ısı veya iş olarak} \\ \text{net enerji geçişi} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Sistemin} \\ \text{toplam enerjisindeki} \\ \text{net artış veya azalma} \end{array} \right]$$

veya 
$$Q - W = \Delta E \quad (\text{kJ})$$

Burada:

$Q$ , sistem sınırlarından net ısı geçişini ( $= \sum Q_g - \sum Q_ç$ ),

$W$ , değişik biçimleri kapsayan net işi ( $= \sum W_g - \sum W_ç$ ),

$\Delta E$ , sistemdeki toplam enerji değişimini ( $E_2 - E_1$ ),

bir hal değişimi sırasında sistemin toplam enerjisinin değişimi, iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamı olarak ifade edilebilir:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ})$$

Bu bağıntıyı 3-33 numaralı denklemde yerine koyarsak:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ})$$

Burada,

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

$$\Delta KE = (m/2)(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

# Termodinamiğin Birinci Yasası

Uygulamada karşılaşılan sistemlerin çoğu hareketsizdir, bu nedenle hızlarında veya kütle merkezlerinin bulunduğu noktada hal değişimi sırasında bir değişiklik olmaz (Şekil 3-53). Böylece, **hareketsiz kapalı sistemlerin** kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimler göz ardı edilebilir ( $\Delta KE = \Delta PE = 0$ ) ve birinci yasa sadeleştirilerek

Hareketsiz sistemler

$$z_1 = z_2 \rightarrow \Delta PE = 0$$

$$V_1 = V_2 \rightarrow \Delta KE = 0$$

$$\Delta E = \Delta U$$

$$Q - W = \Delta U$$

## ŞEKİL 3-53

Hareketsiz sistemler için  $\Delta KE = \Delta PE = 0$ 'dır. Böylece  $\Delta E = \Delta U$  olur.

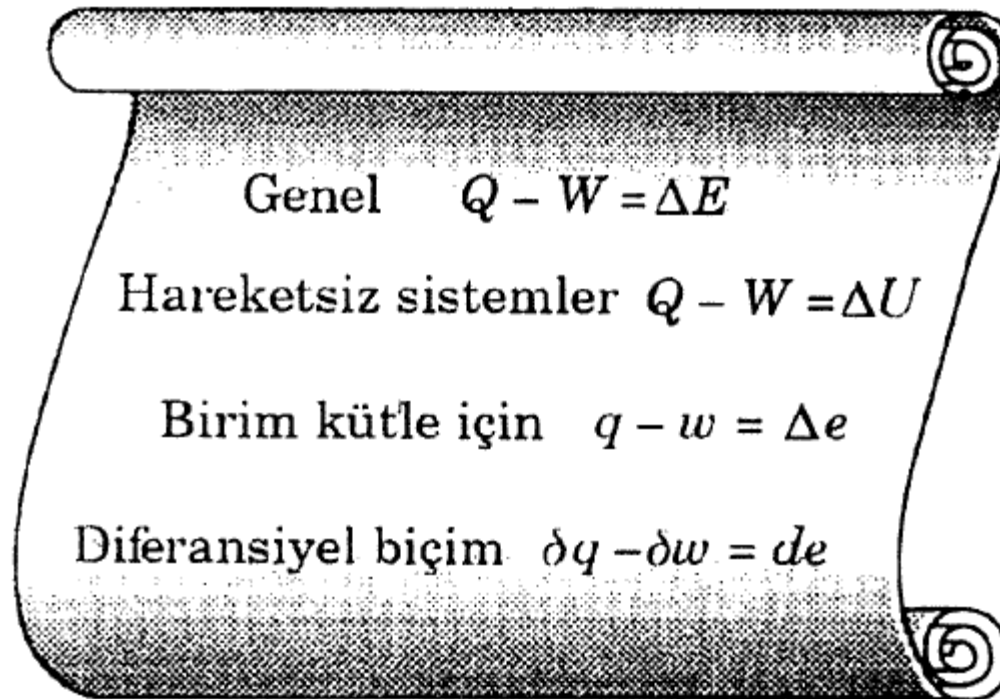
# Termodinamiğin Birinci Yasası

Bazı durumlarda iş terimini  $W_{\text{diğer}}$  ve  $W_s$  olarak iki kısımda ele almak kolaylık sağlar. Burada  $W_{\text{diğer}}$ , sınır işi dışında yapılan tüm işlerin toplamıdır. Bu ayırımın sonraki bölümlerde özellikle termodinamiğin ikinci yasası incelenirken önem kazandığı görülecektir. Bu durumda birinci yasa şu şekilde yazılabilir:

$$Q - W_{\text{diğer}} - W_s = \Delta E$$

# Termodinamiğin Birinci Yasası

**Birinci Yasanın Diğer Yazılış Şekilleri:**

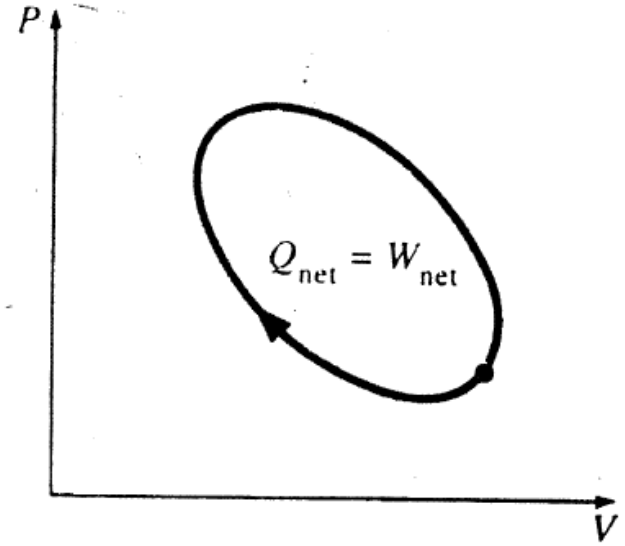


# Termodinamiğin Birinci Yasası

Çevrimi oluşturan bir hal değişimi için, ilk ve son haller aynıdır. Bu nedenle,  $\Delta E = E_2 - E_1 = 0$  dır. Bu durumda;

Çevrim için;

$$Q - W = 0 \quad (\text{kJ})$$



**ŞEKİL 3-55**

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

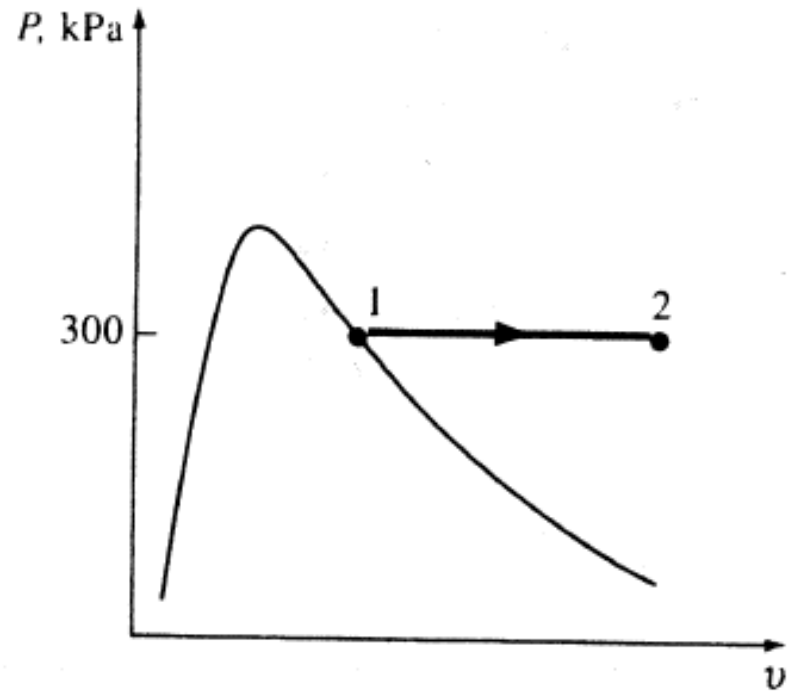
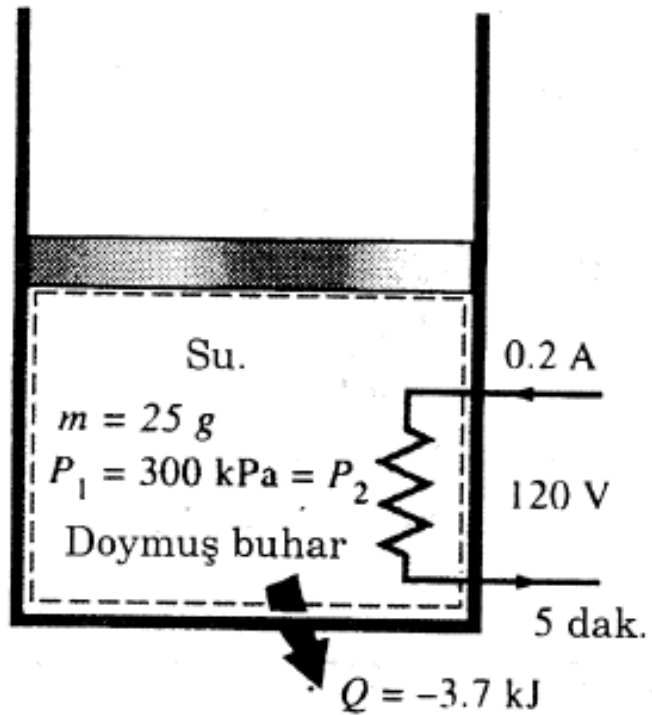


## ÖRNEK 17

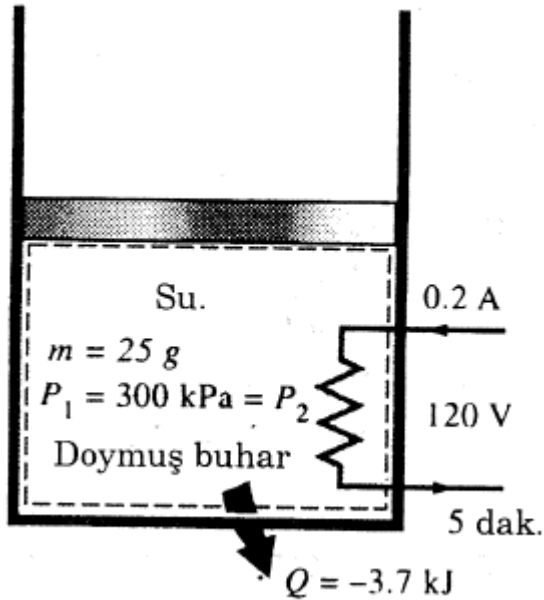
Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 300 kPa basınçta 25 gram doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra silindir içindeki bir elektrik ısıtıcısı çalıştırılmakta ve 5 dakika süresince ısıtıcıdan, 120 Volt kaynaktan sağlanan 0,2 Amperlik bir akım geçmektedir. Bu süre içerisinde silindirden çevreye 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  $\Delta U$ 'nun birleştirilip, entalpi değişimi  $\Delta H$  olarak bir terime indirgenebileceğini gösterin.
- b) Sistemin son sıcaklığını hesaplayın.

# ÖRNEK 17



# ÖRNEK 17



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

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

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

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

$H = U + PV$  olduğu için,

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

## ÖRNEK 17

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

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ Hali: } P_1 = 300 \text{ kPa} \\ \text{doymuş buhar} \end{array} \right\} h_1 = h_{g,300 \text{ kPa}} = 2725.3 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Tablo A-5})$$

$$Q - W_e = m(h_2 - h_1)$$

$$-3.7 \text{ kJ} - (-7.2 \text{ kJ}) = (0.025 \text{ kg})(h_2 - 2725.3 \text{ kJ/kg})$$

$$h_2 = 2865.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ Hali: } P_2 = 300 \text{ kPa} \\ h_2 = 2865.3 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} T_2 = 200^\circ \text{C} \quad (\text{Tablo A-6})$$

## ÖRNEK 18

0,1 m<sup>3</sup> hacmi olan sabit hacimli bir kapta, başlangıçta 0,8MPa basınç ve 60°C sıcaklıkta soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Soğutucu akışkan-12 daha sonra -5°C sıcaklığa soğutulmaktadır.

- a) Soğutucu akışkanın kütlesini,
- b) Son halde kap içindeki basıncı,
- c) Soğutucu akışkandan olan ısı geçişini hesaplayın.

## ÖRNEK 18

0,1 m<sup>3</sup> hacmi olan sabit hacimli bir kapta, başlangıçta 0,8MPa basınç ve 60°C sıcaklıkta soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Soğutucu akışkan-12 daha sonra -5°C sıcaklığa soğutulmaktadır.

- a) Soğutucu akışkanın kütesini,
- b) Son halde kap içindeki basıncı,
- c) Soğutucu akışkandan olan ısı geçişini hesaplayın
- d) Hal değişimini T-v diyagramında çizin.

a)  $P_1=0,8 \text{ MPa}$      $T_1=60^\circ\text{C}$  için Tablo A-13'den  
(soğutucu akışkan-12 için kızgın buhar tablosundan)

$$v_1 = 0,02525 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad u_1 = 200,52 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad m = \frac{V}{v_1} = \frac{0,1}{0,02525} = 3,96 \text{ kg}$$

## ÖRNEK 18

0,1 m<sup>3</sup> hacmi olan sabit hacimli bir kapta, başlangıçta 0,8MPa basınç ve 60°C sıcaklıkta soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Soğutucu akışkan-12 daha sonra -5°C sıcaklığa soğutulmaktadır.

- a) Soğutucu akışkanın kütlesini,
- b) Son halde kap içindeki basıncı,
- c) Soğutucu akışkandan olan ısı geçişini hesaplayın.

b) cevap:  $P_2=0,26096$  MPa

c) cevap: -462,8 kJ

## ÖRNEK 19

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 sonucunda, su bir süre sonra yeniden 25°C sıcaklığa gelmektedir.

- a) Kabın hacmini,
- b) Son haldeki basıncı,
- c) Bu hal değişimi sırasındaki ısı geçişini hesaplayın.



## ÖRNEK 19

(a) Kap içindeki su başlangıçta sıkıştırılmış sıvıdır, çünkü basıncı (200 kPa), 25 °C sıcaklıktaki doyma basıncından (3.169 kPa) daha yüksektir. Sıkıştırılmış sıvı özelliklerini yaklaşık olarak aynı sıcaklıktaki doymuş sıvının özelliklerine eşit kabul edelim:

$$v_1 \cong v_{f, 25^\circ\text{C}} = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg} \cong 0.001 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{Tablo A-4})$$

Bu durumda suyun ilk haldeki hacmi

$$V_1 = mv_1 = (5 \text{ kg})(0.001 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0.005 \text{ m}^3$$

olmaktadır. Kabin toplam hacmi bu değerin iki katıdır:

$$V_{\text{kap}} = (2) (0.005 \text{ m}^3) = 0.01 \text{ m}^3$$

## ÖRNEK 19

(b) Son halde sistem sınırı başlangıçtaki boşluğu da kapsayacak şekilde genişlemiştir. Suyun özgül hacmi

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.01 \text{ m}^3}{5 \text{ kg}} = 0.002 \text{ m}^3/\text{kg}$$

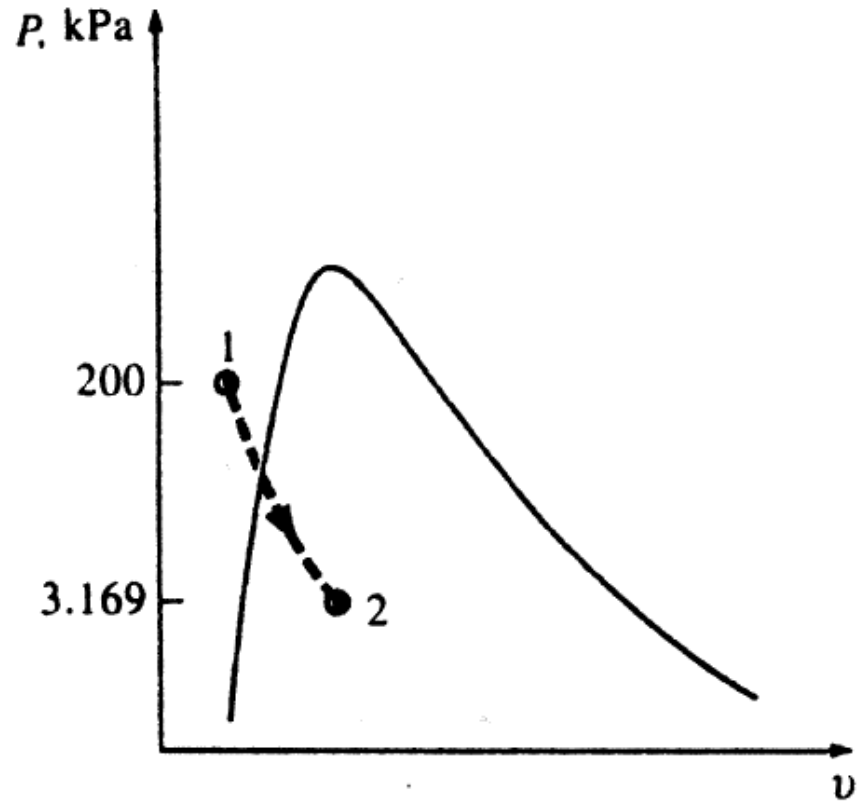
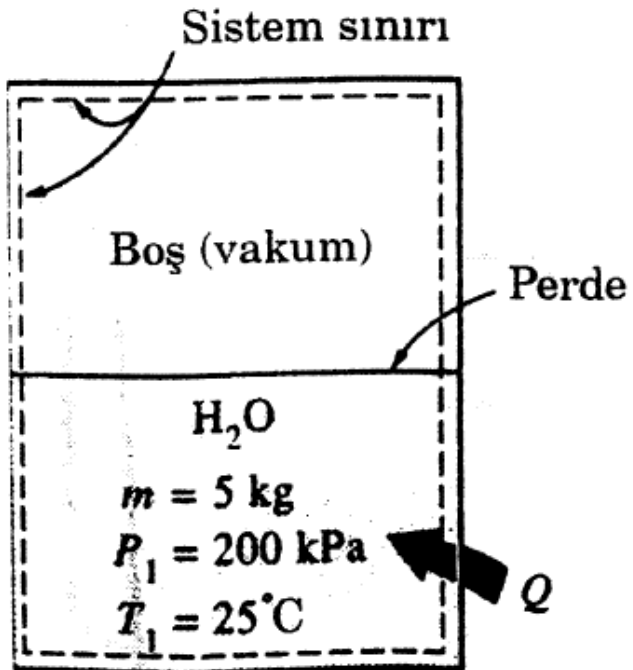
olarak hesaplanır. Özgül hacim başlangıçtaki iki katı olmuştur. Bu, beklenen bir sonuçtur, çünkü sistemin kütlesi sabit kalırken hacmi iki katına çıkmıştır.

25 °C sıcaklıkta:  $v_f = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg}$  ve  $v_g = 43.36 \text{ m}^3/\text{kg}$  (Tablo A-4)

$v_f < v_2 < v_g$  olduğu için su, son halde, doymuş sıvı-buhar karışımıdır. Bu nedenle basınç 25 °C sıcaklıkta doyma basıncı olacaktır:

$$P_2 = P_{\text{doyma}, 25^\circ\text{C}} = 3.169 \text{ kPa} \quad (\text{Tablo A-4})$$

# ÖRNEK 19



## ÖRNEK 19

(c) Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilsin.

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

$$Q = m(u_2 - u_1)$$

$$u_1 \cong u_{f, 25^\circ\text{C}} = 104.88 \text{ kJ/kg}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.002 - 0.001}{43.36 - 0.001} = 0.000023$$

$$u_2 = u_f + x_2 u_{fg}$$

$$= 104.88 \text{ kJ/kg} + (2.3 \times 10^{-5})(2304.9 \text{ kJ/kg})$$

$$= 104.93 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = (5 \text{ kg})[(104.93 - 104.88) \text{ kJ/kg}] = 0.25 \text{ kJ}$$

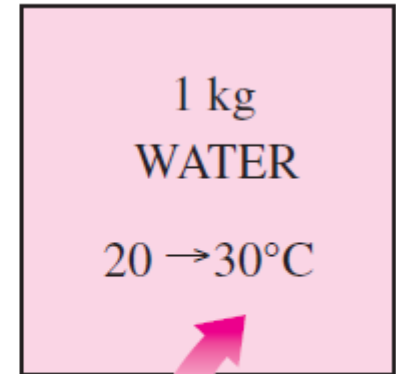
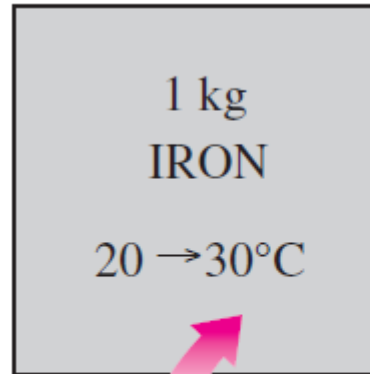
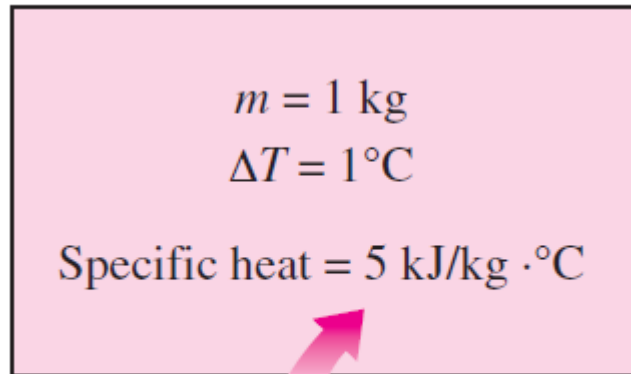
# Özgöl Isılar

Farklı maddelerin eşit kütlelerinin sıcaklığını bir derece artırabilmek için farklı miktarda enerji gerektiği, deneyler sonucu bilinir. Örneğin 1 kg demirin sıcaklığını  $20^{\circ}\text{C}$ 'den  $30^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseltmek için 4,5 kJ enerjiye gerek duyulurken, 1 kg suyun sıcaklığını aynı aralıkta arttırmak için bunun 9 katı olan 41,8 kJ enerjiye gerek duyulur.

Bu nedenle maddelerin enerji depolama yeteneklerini belirten bir özelliğin tanımlanmasına gerek duyulmuştur. Bu özellik özgül ısıdır.

# Özgül Isılar

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



# Özgöl Isılar

Genellikle bu enerji, hal değişiminin nasıl gerçekleştiğine bağlı olarak farklı olacaktır.

Termodinamikte iki özgül ısı tanımı yaygın olarak kullanılır: sabit hacimde özgül ısı  $C_v$  ve sabit basınçta özgül ısı  $C_p$ .

# Özgöl Isılar

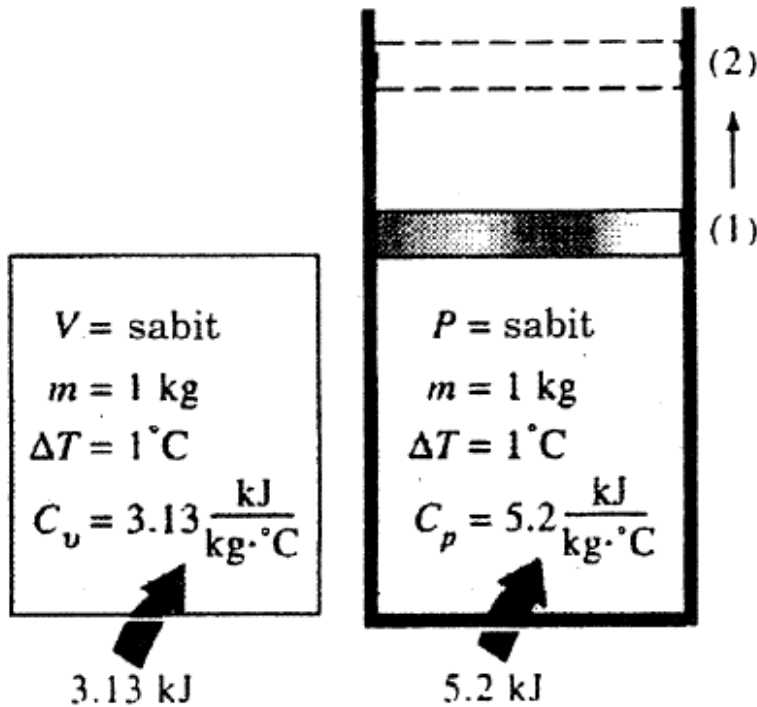
**Sabit hacimde özgöl ısı  $C_v$**  (kJ/kg°C veya kJ/kgK), maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli enerjidir.

**Sabit basınçta özgöl ısı  $C_p$**  (kJ/kg°C veya kJ/kgK), maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli enerjidir.



# Özgöl Isılar

Sabit basınçta özgöl ısı sabit hacimde özgöl ısıdan her zaman daha büyüktür. Bunun nedeni, sistemin sabit basınçta genişlerken yaptığı iş için, fazladan bir enerjinin gerekli olmasıdır.



**ŞEKİL 3-71**

Sabit hacimde ve sabit basınçta özgöl ısılar  $C_v$  ve  $C_p$  (verilen değerler helyum gazı içindir).

# Özgül Isılar

Aşağıda özgül ısıların diğer termodinamik özellikler ile ilişkileri belirtilmiştir. İlk olarak, sabit hacimde hal değişimi gerçekleştiren hareketsiz kapalı bir sistem ele alınsın. Bu hal değişimi için sınır işi sıfır olacaktır ( $w_s=0$ ).

Birinci yasa diferansiyel biçimde yazılırsa;

$$C_v dT = du$$

$$\delta q - \delta w_{\text{diğer}} = du$$

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

# Özgül Isılar

Benzer bir çözümleme, sabit basınçta bir hal değişiminin gerçekleştiği, hareketsiz kapalı bir sistem için yapılabilir. Birim kütle için sınır işi  $w_s$  denkleme eklenirse;

$$\delta q - \delta w_{\text{diğer}} = w_s + \Delta u = \Delta h$$

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

$$C_p \text{ nin tanımından} \quad C_p dT = dh \quad [\text{kJ/kgK}]$$

$C_p$  ve  $C_v$  diğer özelliklere bağlı olarak ifade edilmişlerdir, bu nedenle kendileri de birer özelliktir.

# Mükemmel Gazların İç Enerji, Entalpi ve Özgül Isıları

Mükemmel gazların iç enerjisi sadece sıcaklığın fonksiyonudur.

$$u = u(T)$$

# Mükemmel Gazların İç Enerji, Entalpi ve Özgül Isıları

Mükemmel gaz denklemi ve entalpinin tanımı kullanılarak

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

yazılabilir. R sabit  $u=u(T)$  olduğundan mükemmel gazın entalpisi de sadece sıcaklığın fonksiyonudur.

$$h = h(T)$$

# Mükemmel Gazların İç Enerji, Entalpi ve Özgül Isıları

Mükemmel bir gaz için  $u$  ve  $h$  sadece sıcaklığın fonksiyonu oldukları için  $C_v$  ve  $C_p$  de sadece sıcaklığa bağlıdır.

Bu nedenle, verilen bir sıcaklıkta, mükemmel gazın  $u$ ,  $h$ ,  $C_v$  ve  $C_p$  değerleri basınç ve hacim ne olursa olsun sabit kalacaktır.

# Mükemmel Gazların İç Enerji, Entalpi ve Özgül Isıları

Bu durumda mükemmel bir gazın iç enerjisi ve entalpisi

$$du = C_v(T)dT$$

$$dh = C_p(T)dT$$

bağıntısıyla verilebilir.

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v(T)dT \quad (kJ/kg)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 C_p(T)dT \quad (kJ/kg)$$

# Mükemmel Gazların İç Enerji, Entalpi ve Özgül Isıları

özüöl ısı fonksiyonlarının yerini, sabit ortalama özüöl ısı değeri alabilir. İntegraller de alınırırır;

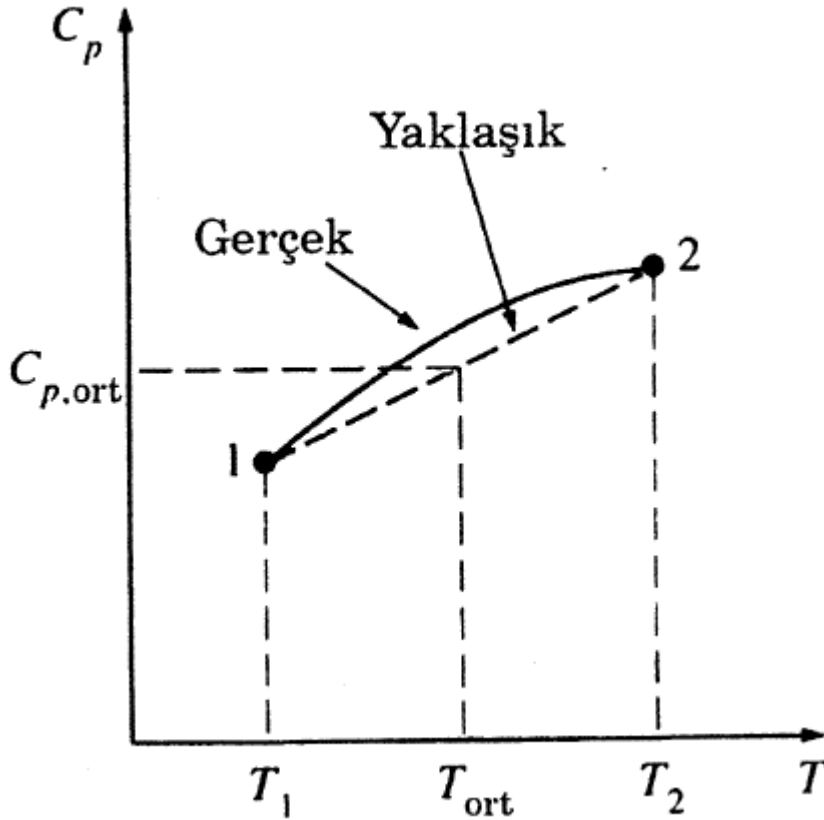
$$\Delta u = u_2 - u_1 = C_{v,ort}(T_2 - T_1) \quad (kJ/kg)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = C_{p,ort}(T_2 - T_1) \quad (kJ/kg)$$

yazılabilir.



# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağıntıları



**ŞEKİL 3-78**

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

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağıntıları

$C_p$  ve  $C_v$  arasında özel bir bağıntı,  $h=u+RT$  denkleminin türevi alınarak elde edilebilir.

$$dh = du + RdT$$

$dh$  yerine  $C_p dT$  ve  $du$  yerine  $C_v dT$  konulur ve elde edilen bağıntı  $dT$  ile bölünürse;

$$C_p = C_v + R \quad (kJ/kgK)$$

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağlantıları

Özgül ısılar mol esasına göre verilmişse, yukarıdaki bağlantıda yer alan  $R$ , üniversal gaz sabiti  $R_u$  ile değiştirilmelidir (Şekil 3-81):

$$\bar{C}_p = \bar{C}_v + R_u \quad [\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})] \quad (3-55)$$

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağlıntıları

300 K sıcaklıkta HAVA

$$\left. \begin{array}{l} C_v = 0.718 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \\ R = 0.287 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \end{array} \right\} C_p = 1.005 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} \bar{C}_v = 20.80 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)} \\ R_u = 8.314 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)} \end{array} \right\} \bar{C}_p = 29.114 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)}$$

## ŞEKİL 3-81

Mükemmel bir gazın  $C_p$  'si,  $C_v$  ve  $R$  biliniyorsa hesaplanabilir.

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağıntıları

Bu aşamada bir başka mükemmel gaz özelliği olan özgül ısıların oranı  $k$  tanımlanacaktır:

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

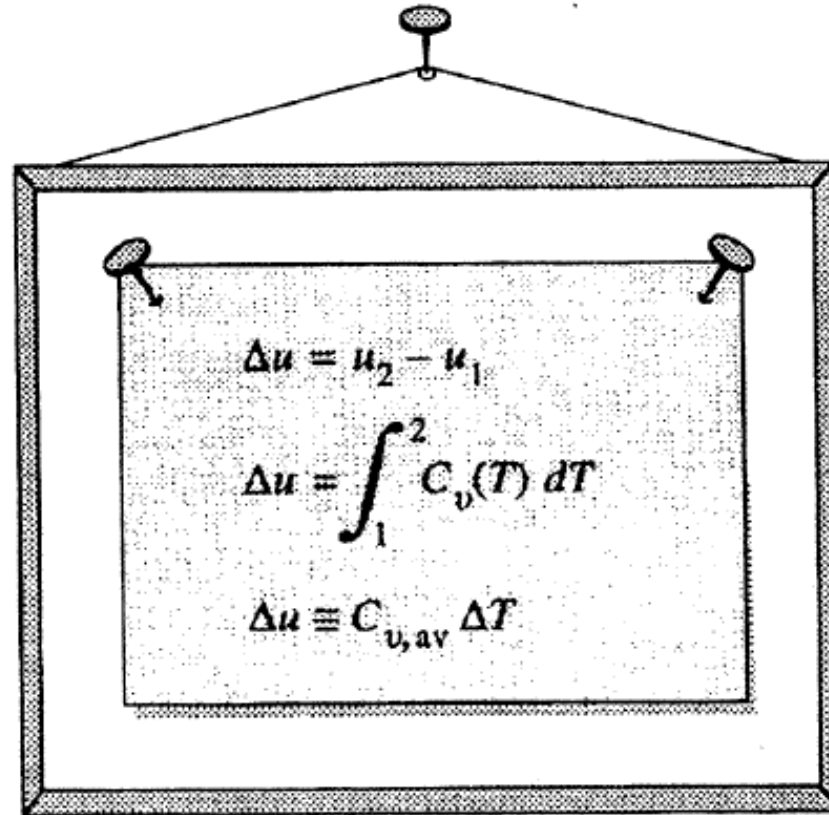
Özgül ısıları oranı da sıcaklığın fonksiyonudur. Fakat özgül ısıların oranının sıcaklıkla değişimi çok belirgin değildir. Tek atomlu gazlar için  $k$  sabit olup  $k=1,667$  değerindedir. Hava ve iki atomlu gazların bir çoğu için oda sıcaklığında özgül ısıların oranı yaklaşık 1,4 değerindedir.

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağıntıları

Özetle, mükemmel gazların iç enerji ve entalpi değişimlerini hesaplamak için üç yol vardır (Şekil 3-80):

- 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 özellikle tabloları bulunamadığı zaman çok uygundur. Sıcaklık aralığı çok büyük olmadığı sürece sonuçlar oldukça hassastır.

# Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağıntıları



A diagram of a whiteboard hanging from a wall. The whiteboard contains three equations for the change in internal energy ( $\Delta u$ ) of a perfect gas:

$$\Delta u = u_2 - u_1$$
$$\Delta u = \int_1^2 C_v(T) dT$$
$$\Delta u \equiv C_{v,av} \Delta T$$

SEKİL 3-80

## ÖRNEK 20

200 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktaki hava, sabit basınçta 600K sıcaklığa ısıtılmaktadır. Havanın birim kütlesinin iç enerji artışı,

- a) Hava tablosunda verilen değerleri kullanarak (Tablo A-17)
- b) Özgül ısıyı sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıyı kullanarak (Tablo A2-c)
- c) Ortalama özgül ısı değerlerini kullanarak (Tablo A2-b) bulunuz.



## ÖRNEK 20

(a) Havanın iç enerji değişimini hesaplamamanın yollarından biri, Tablo A-17'den  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıklarında  $u$  değerlerini okumak ve aradaki farkı hesaplamaktır:

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

$$u_2 = u_{600\text{ K}} = 434.78 \text{ kJ/kg}$$

Böylece,

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (434.78 - 214.07) \text{ kJ/kg} = 220.71 \text{ kJ/kg}$$

## ÖRNEK 20

(b) Havanın iç enerji değişimi, özgül ısıyı sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntı kullanılarak şöyle bulunabilir: Hava için  $\bar{C}_p(T)$  Tablo A-2c'de üçüncü dereceden bir polinomla ifade edilmiştir:

$$\bar{C}_p(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$$

Burada  $a = 28.11$ ,  $b = 0.001967$ ,  $c = 0.4802 \times 10^{-5}$  ve  $d = -1.966 \times 10^{-9}$  olmaktadır, (Tablo A-2c). 3-55 numaralı denklemden yararlanarak,

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

## ÖRNEK 20

$$\begin{aligned}\Delta \bar{u} &= \int_1^2 \bar{C}_v(T) dT \\ &= \int_{T_1}^{T_2} [(a - R_u) + bT + cT^2 + dT^3] dT\end{aligned}$$

İntegral alınır ve sayısal değerler yerlerine konursa,

$$\Delta \bar{u} = 6447.15 \text{ kJ/kmol}$$

Birim kütle için iç enerji değişimi, bu değer havanın mol kütlelerine (Tablo A-1) bölünmesiyle elde edilir:

$$\Delta u = \frac{\Delta \bar{u}}{M} = \frac{6447.15 \text{ kJ/kmol}}{28.97 \text{ kg/kmol}} = 222.55 \text{ kJ/kg}$$

Bu değer tam sonuca göre yüzde 0.8 farklıdır.

## ÖRNEK 20

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

$$C_{v, \text{ort}} = C_{v, 450\text{K}} = 0.733 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

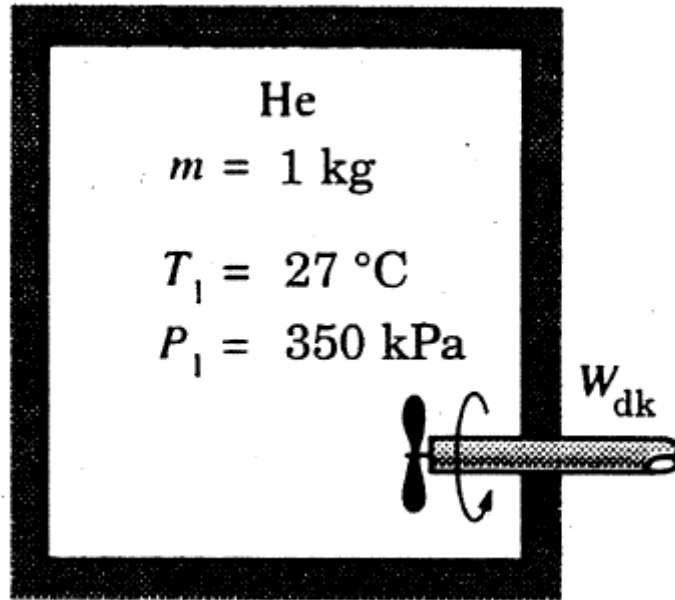
bulunur. Böylece,

$$\begin{aligned} \Delta u &= C_{v, \text{ort}} (T_2 - T_1) = [0.733 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})] [(600 - 300) \text{ K}] \\ &= 219.9 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Elde edilen sonuç tam değer olan 220.71 kJ/kg'dan sadece yüzde 0.4 farklıdır. Bu sonuç şaşırtıcı değildir, çünkü  $C_v$  'nin doğrusal olarak değiştiği kabulü, sıcaklık aralığı sadece birkaç yüz derece olduğu zaman geçerli bir kabuldür. Eğer  $T_{\text{ort}}$  yerine  $T_1 = 300$  K'deki  $C_v$  değeri kullanılsaydı, sonuç 215.4 kJ/kg olurdu. Bu değerdeki hata yaklaşık yüzde 2'dir. Bu mertebede hatalar mühendislik uygulamalarında genellikle kabul edilebilir ölçüler içindedir.

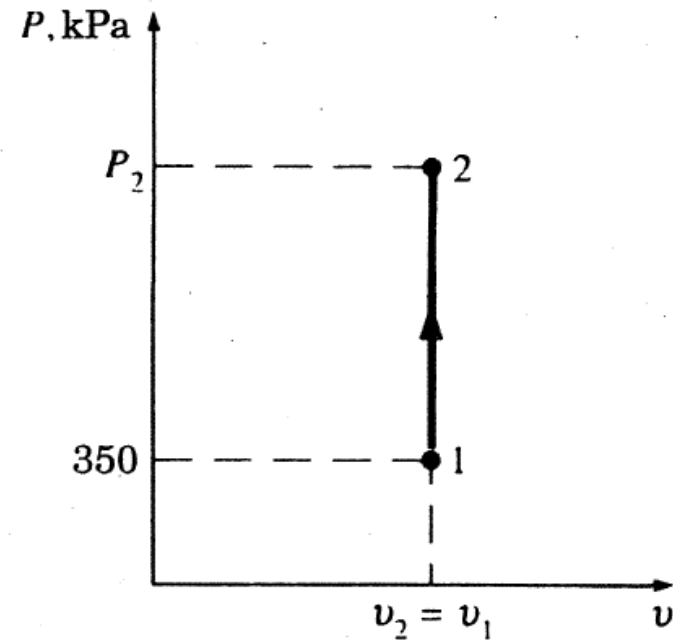
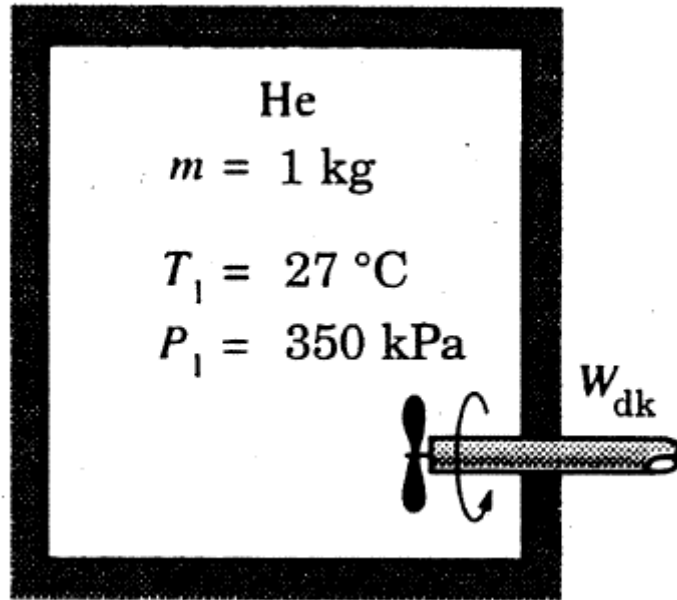
## ÖRNEK 21

Sabit hacimli yalıtılmış bir kapalı kapta, başlangıçta  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $350\text{ kPa}$  basınçta  $1\text{ kg}$  helyum bulunmaktadır. Kap içindeki helyum, yarım saat süreyle,  $0.02\text{ kW}$  gücünde bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Son halde helyum gazının (a) sıcaklığını, (b) basıncını hesaplayın.



## ÖRNEK 21

Sabit hacimli yalıtılmış bir kapalı kaptaki, başlangıçta  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $350\text{ kPa}$  basınçta  $1\text{ kg}$  helyum bulunmaktadır. Kap içindeki helyum, yarım saat süreyle,  $0.02\text{ kW}$  gücünde bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Son halde helyum gazının (a) sıcaklığını, (b) basıncını hesaplayın.



## ÖRNEK 21

(a) Sistem üzerinde yapılan döner kanat işi,

$$W_{dk} = \dot{W}_{dk} \Delta t = (-0.02 \text{ kW})(0.5 \text{ h}) \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = -36 \text{ kJ}$$

sınır işi sıfırdır ( $W_s = 0$ )

sistem yalıtılmış olduğundan ( $Q = 0$ )

$$\overset{0}{\cancel{Q}} - \overset{0}{W_{dk}} - \overset{0}{\cancel{W_s}} = \Delta U + \overset{0}{\cancel{\Delta KE}} + \overset{0}{\cancel{\Delta PE}}$$
$$-W_{dk} = m(u_2 - u_1) \cong m C_{v, \text{ort}} (T_2 - T_1)$$

## ÖRNEK 21

$$\overset{0}{\cancel{Q}} - W_{dk} - \overset{0}{\cancel{W_s}} = \Delta U + \overset{0}{\cancel{\Delta KE}} + \overset{0}{\cancel{\Delta PE}}$$

$$-W_{dk} = m(u_2 - u_1) \cong m C_{v, \text{ort}} (T_2 - T_1)$$

helyum gibi tekatomlu gazların mükemmel gaz özgül ısıları sabittir.

Tablo A-2'den helyum için  $C_v = 3.1156 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$-(-36 \text{ kJ}) = (1 \text{ kg})[3.1156 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})](T_2 - 27^\circ\text{C})$$

$$T_2 = 38.6^\circ\text{C}$$



## ÖRNEK 21

(b) Son haldeki basınç mükemmel gaz hal denkleminde

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

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{350 \text{ kPa}}{(27 + 273)\text{K}} = \frac{P_2}{(38.6 + 273)\text{K}}$$

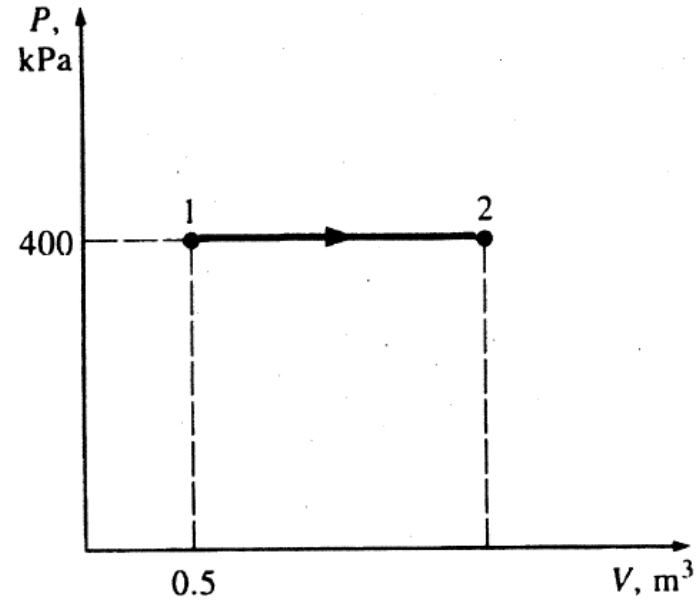
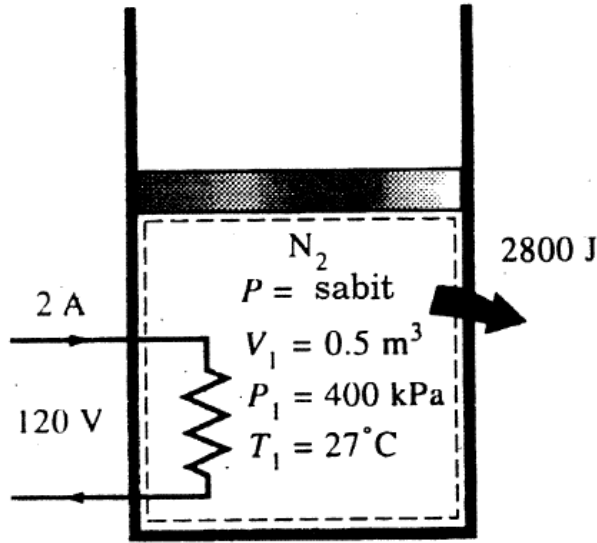
$$P_2 = 363.5 \text{ kPa}$$

## ÖRNEK 22

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27°C sıcaklıkta 0,5 m<sup>3</sup> azot bulunmaktadır. Daha sonra düzeneğin içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak, direnç telinden 5 dakika süreyle 2 A akım geçirilmektedir. Isıtıcı 120V'luk bir kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında azot genişlemekte ve çevreye 2800 J ısı geçişi olmaktadır. Azotun son haldeki sıcaklığını belirleyiniz.

## ÖRNEK 22

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27°C sıcaklıkta 0,5 m<sup>3</sup> azot bulunmaktadır. Daha sonra düzeneğin içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak, direnç telinden 5 dakika süreyle 2 A akım geçirilmektedir. Isıtıcı 120V'luk bir kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında **azot genişlemekte** ve **çevreye 2800 J ısı geçişi** olmaktadır. Azotun son haldeki sıcaklığını belirleyiniz.



## ÖRNEK 22

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27°C sıcaklıkta 0,5 m<sup>3</sup> azot bulunmaktadır. Daha sonra düzeneğin içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak, direnç telinden 5 dakika süreyle 2 A akım geçirilmektedir. Isıtıcı 120V'luk bir kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında azot genişlemekte ve çevreye 2800 J ısı geçişi olmaktadır. Azotun son haldeki sıcaklığını belirleyiniz.

azot üzerinde yapılan elektrík işi:

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

Azotun mol miktarı

$$n = \frac{P_1 V_1}{R_u T_1} = \frac{(400 \text{ kPa})(0.5 \text{ m}^3)}{[8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})](300 \text{ K})} = 0.080 \text{ kmol}$$

Hava dışında gazlar söz konusu olduğu zaman kütle yerine mol kütlesini kullanmak daha elverişlidir, çünkü tüm  $u$  ve  $h$  bilgileri mol esasına göre verilmiştir

## ÖRNEK 22

$$Q - W_e - W_s = \Delta U$$

$$Q - W_e = \Delta H = m(h_2 - h_1) = n(\bar{h}_2 - \bar{h}_1)$$

Azot tablosundan  $h_1 = h_{300\text{K}} = 8723 \text{ kJ/kmol}$

$$-2.8 \text{ kJ} - (-72 \text{ kJ}) = (0.08 \text{ kmol})(\bar{h}_2 - 8723 \text{ kJ/kmol})$$

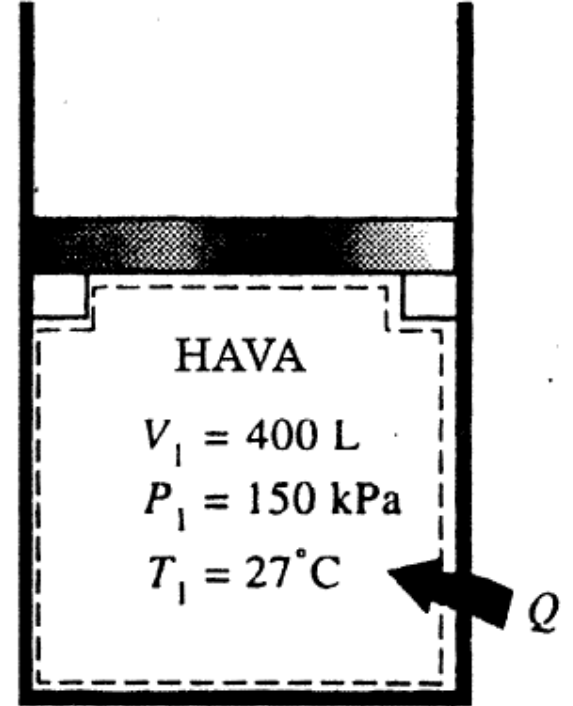
$$\bar{h}_2 = 9588 \text{ kJ/kmol}$$

Bu entalpi değerine karşı gelen sıcaklık değeri tablodan

$$T_2 = 329.7 \text{ K} = 56.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

## ÖRNEK 23

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 150 kPa basınç ve 27°C sıcaklıkta hava vardır. Bu durumda piston şekilde görüldüğü gibi pabuçlara dayanmaktadır ve silindirin iç hacmi 400 litredir. Pistonu hareket ettirmek için basıncın 350kPa olması gerekmektedir. Daha sonra hava ısıtılmakta ve hacmi iki katına çıkmaktadır.



- Son haldeki sıcaklığı,
- Hava tarafından yapılan işi,
- Toplam ısı geçişini hesaplayın.

## ÖRNEK 23

Bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 150 kPa basınç ve 27°C sıcaklıkta hava vardır. Bu durumda piston şekilde görüldüğü gibi pabuçlara dayanmaktadır ve silindirin iç hacmi 400 litredir. Pistonu hareket ettirmek için basıncın 350kPa olması gerekmektedir. Daha sonra hava ısıtılmakta ve hacmi iki katına çıkmaktadır.

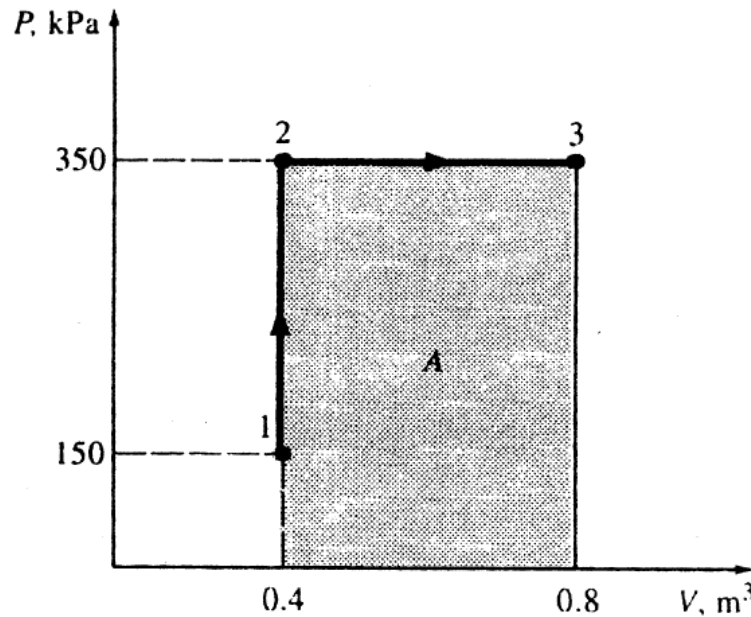
(a) Son haldeki sıcaklık

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

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

## ÖRNEK 23

(b) İş,  $P$ - $V$  eğrisi altında kalan alan



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

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



## ÖRNEK 23

(c) Toplam ısı geçişi  $Q_{13} - W_{13} = U_3 - U_1 = m(u_3 - u_1)$

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{(150 \text{ kPa})(0.4 \text{ m}^3)}{[0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})](300 \text{ K})} = 0.697 \text{ kg}$$

İç enerji değerleri havanın özellikleriyle ilgili tablodan (Tablo A-17)

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

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

$$Q_{13} - 140 \text{ kJ} = (0.697 \text{ kg})[(1113.52 - 214.07) \text{ kJ/kg}]$$

$$Q_{13} = 766.9 \text{ kJ}$$

## KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

katılar ve sıvılar için  $C_p$  ve  $C_v$  'nin indisleri atılabilir

her iki özgül ısı  $C$  ile gösterilebilir:

$$C_p = C_v = C$$

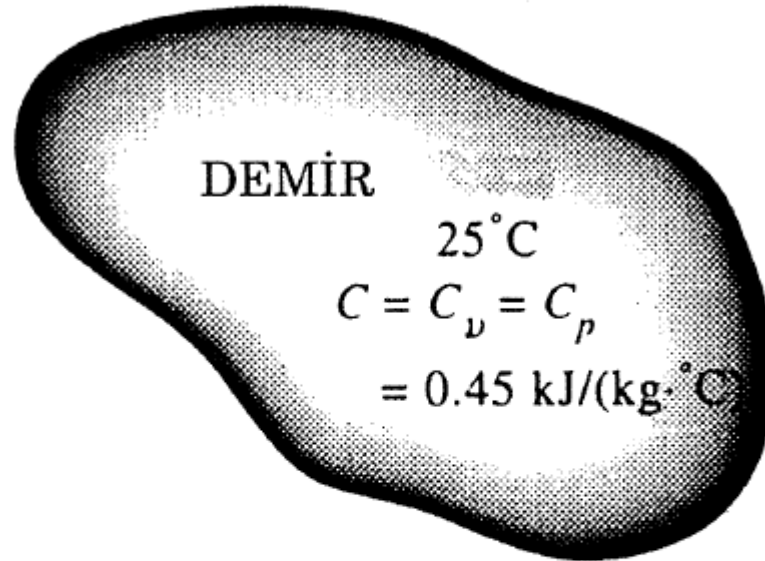
1 ve 2 halleri arasındaki iç enerji farkı integralle hesaplanabilir:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C(T) dT \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3-59)$$

Küçük sıcaklık aralıkları için, ortalama sıcaklıkta hesaplanan sabit bir  $C$  değeri alınabilir. Bu durumda,

$$\Delta u \cong C_{\text{ort}} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3-60)$$

# KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI



**ŞEKİL 3-87**

Sıkıştırılamayan maddelerin  
 $C_v$  ve  $C_p$  değerleri eşittir ve  
 $C$  ile gösterilir.

## KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

Sıkıştırılamayan maddenin (katı veya sıvı), bir hal değişimi sırasındaki entalpi değişimi, entalpinin tanımından ( $h = u + Pv$ )

$$h_2 - h_1 = (u_2 - u_1) + v (P_2 - P_1) \quad (3-61)$$

Burada  $v_1 = v_2 = v$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P$$

Bu denklemdeki ikinci terim ( $v \Delta P$ ) genellikle birinci terimden ( $\Delta u$ ) çok küçüktür ve büyük bir hataya yol açmadan ihmal edilebilir.

## KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

$$h_2 - h_1 = (u_2 - u_1) + v (P_2 - P_1) \quad (3-61)$$

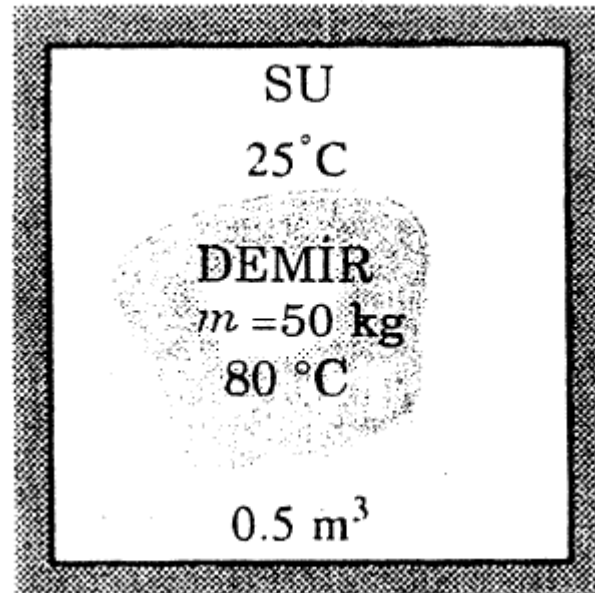
Sabit sıcaklıkta bir hal değişimi ( $\Delta T = 0$ ) sırasında, sıkıştırılamayan bir maddenin iç enerji değişimi sıfırdır. Bu durumda 3-61 numaralı denklemden entalpi değişimi,  $h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1)$  olur.

Eğer 2 hali sıkıştırılmış sıvı, 1 hali de aynı sıcaklıkta doymuş sıvı hali olarak alınırsa, verilen bir basınç  $P$  ve sıcaklık  $T$  'de sıkıştırılmış sıvının entalpisi,

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

## ÖRNEK 24

Kütlesi 50 kg olan, 80 °C sıcaklıkta bir demir külçesi, içinde 25 °C sıcaklıkta 0.5 m<sup>3</sup> su bulunan yalıtılmış bir kaba konmaktadır. Isıl denge sağlandığı zaman sıcaklık ne olur?



## ÖRNEK 24

Kütlesi 50 kg olan, 80 °C sıcaklıkta bir demir külçesi, içinde 25 °C sıcaklıkta 0.5 m<sup>3</sup> su bulunan yalıtılmış bir kaba konmaktadır. Isıl denge sağlandığı zaman sıcaklık ne olur?

Su ve demir külçesini sistem olarak birlikte ele alalım.

$$\overset{0}{\cancel{Q}} - \overset{0}{\cancel{W}} = \Delta U \quad \text{veya} \quad \Delta U = 0$$

Toplam iç enerji yaygın bir özelliktir, bu nedenle sistemin iç enerjisi, sistemi oluşturan parçaların iç enerjilerinin toplamı olarak yazılabilir. Enerjinin korunumu denklemi böylece,

$$\Delta U_{\text{sis}} = \Delta U_{\text{demir}} + \Delta U_{\text{su}} = 0$$

$$[mC(T_2 - T_1)]_{\text{demir}} + [mC(T_2 - T_1)]_{\text{su}} = 0$$

## ÖRNEK 24

Oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda suyun özgül hacmi  $0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$  alınabilir. Bu durumda suyun kütlesi,

$$m_{\text{su}} = \frac{V}{v} = \frac{0.5 \text{ m}^3}{0.001 \text{ m}^3/\text{kg}} = 500 \text{ kg}$$

Demirin ve suyun özgül ısıları Tablo A-3'den  $C_{\text{demir}} = 0.45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$  ve  $C_{\text{su}} = 4.184 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$  olarak bulunur. Bu değerler enerji denkleminde yerlerine konursa, son haldeki sıcaklık,

$$\begin{aligned} (50 \text{ kg})[0.45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})](T_2 - 80 ^\circ\text{C}) \\ + (500 \text{ kg})[4.184 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})](T_2 - 25 ^\circ\text{C}) = 0 \\ T_2 = 25.6 ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Suyun sıcaklığının çok artmaması, kütlesinin ve özgül ısısının daha büyük olmasından dolayıdır.



## ÖRNEK 25

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek, (c) 3-63 numaralı denklemle verilen düzeltmeyi yaparak bulun.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{doyma}}) \quad \text{--- (3.63)}$$

## ÖRNEK 25

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek, (c) 3-63 numaralı denklemle verilen düzeltmeyi yaparak bulun.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{doyma}}) \quad \text{--- (3.63)}$$

**Çözüm** 100 °C sıcaklıkta, suyun doyma basıncı 101.35 kPa olmaktadır.  $P > P_{\text{doyma}}$  olduğundan, verilen hal sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir.

(a) Sıkıştırılmış sıvı tablolarından (Tablo A-7),

$$\left. \begin{array}{l} P = 15 \text{ MPa} \\ T = 100 \text{ °C} \end{array} \right\} h = 430.28 \text{ kJ/kg}$$

Bu değer tam değerdir.

## ÖRNEK 25

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek, (c) 3-63 numaralı denklemle verilen düzeltmeyi yaparak bulun.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{doyma}}) \quad \text{--- (3.63)}$$

(b) Sıkıştırılmış sıvı özelliklerinin, genellikle yapıldığı gibi, yaklaşık olarak aynı sıcaklıkta doymuş sıvının özelliklerine eşit olduğu kabul edilirse:

$$h \cong h_{f@100^\circ\text{C}} = 419.04 \text{ kJ/kg}$$

Bu değerdeki hata yaklaşık yüzde 2.6'dır.

## ÖRNEK 25

100 °C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki suyun entalpisini (a) sıkıştırılmış sıvı tablolarını kullanarak, (b) aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek, (c) 3-63 numaralı denklemle verilen düzeltmeyi yaparak bulun.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{doyma}}) \quad \text{--- (3-63)}$$

(c) 3-63 numaralı denklem kullanarak, entalpi,

$$\begin{aligned} h_{@P,T} &= h_{f@T} + v_f(P - P_{\text{doyma}}) \\ &= (419.04 \text{ kJ/kg}) + (0.001 \text{ m}^3/\text{kg})[(15000 - 101.35) \text{ kPa}] \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) \\ &= 434.60 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Düzeltilme terimi hatayı yüzde 2.6'dan yüzde 1'e indirmiştir.

## ■ ÖZET

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = -k_t A \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA(T_s - T_f) \quad (\text{W})$$

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A(T_s^4 - T_{\text{ç evre}}^4) \quad (\text{W})$$

## ■ ÖZET

Elektrik işi

$$W_e = VI \Delta t \quad (\text{kJ})$$

Sınır işi

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

Yerçekimi işi ( =  $\Delta\text{PE}$  )

$$W_g = mg(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ})$$

İvme işi ( =  $\Delta\text{KE}$  )

$$W_i = \frac{1}{2} m(\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2) \quad (\text{kJ})$$

Mil işi

$$W_{\text{mil}} = 2\pi n\tau \quad (\text{kJ})$$

Yay işi

$$W_{\text{yay}} = \frac{1}{2} k(x_2^2 - x_1^2) \quad (\text{kJ})$$

## ■ ÖZET

Mükemmel gazların *politropik hal değişimi*

$$W_s = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} \quad (n \neq 1)$$

Kapalı bir sistem için *termodinamiğin birinci yasası* şöyledir:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ})$$

## ■ ÖZET

$$W = W_{\text{diğer}} + W_s$$

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

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m (\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2)$$

$$\Delta PE = mg (z_2 - z_1)$$

*Sabit basınçta bir hal değişimi için,*

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

$$Q - W_{\text{diğer}} = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ})$$



## ■ ÖZET

Özgül ısılar,

$$C_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad \text{ve} \quad C_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

İdeal gazlar için,  $u$ ,  $h$ ,  $C_v$  ve  $C_p$  sadece sıcaklığın fonksiyonudurlar.

İdeal bir gaz için

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v(T) dT \cong C_{v,\text{ort}}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 C_p(T) dT \cong C_{p,\text{ort}}(T_2 - T_1)$$

## ■ ÖZET

İdeal gazlar için

$$C_p = C_v + R \quad \left[ \text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K}) \right]$$

*Sıkıştırılmayan maddeler için (sıvılar ve katılar),*

$$C_p = C_v = C \quad \left[ \text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K}) \right]$$

$$\Delta u = \int_1^2 C(T) dT \cong C_{\text{ort}} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

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