Enerjinin Çeşitli Formları

- ✓ Enerji değişik biçimlerde; ısıl, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi alabilir. Bunların toplamı, sistemin ***toplam enerjisini (E)*** oluşturur.
- ✓ Termodinamik, mühendislik açısından önemli olan ***toplam*** enerjideki değişimlerle ilgilenir.

Enerji için makroskobik form ve mikroskobik form olarak genel bir sınıflandırma yapılabilir. Bu durumda

- ✓ **Enerjinin makroskobik formu**: sistemin tümünün bir dış referans noktasına göre sahip olduğu enerjidir, kinetik ve potansiyel enerji gibi
- ✓ **Enerjinin mikroskobik formu**: İç enerji olarak bilinir, U ile gösterilir; mikroskopik enerjilerin tümünün toplamı iç enerjidir.

Enerjinin makroskobik formları

Kinetik enerji $\mathrm{KE} = m\frac{V^2}{2}$ ***(J)***

Kinetik enerji birim kütle için $\mathrm{ke} = \frac{V^2}{2}$ $(\mathrm{kJ/kg})$ ***(J/kg)***

Potansiyel enerji $\mathrm{PE} = mgz$ (kJ) ***(J)***

Potansiyel enerji birim kütle için $\mathrm{pe} = gz$ $(\mathrm{kJ/kg})$ ***(J/kg)***

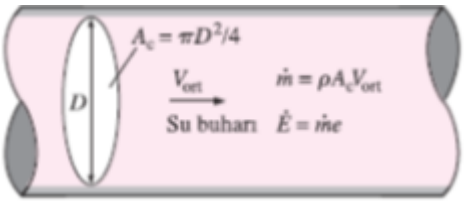
Sistemin **toplam** enerjisi ***E:***

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

Birim kütle için ***e = E/m*** olmak üzere (Yeğin enerji veya özgül enerji)

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

❖ Kütlesel debi ve birim zamandaki eneji

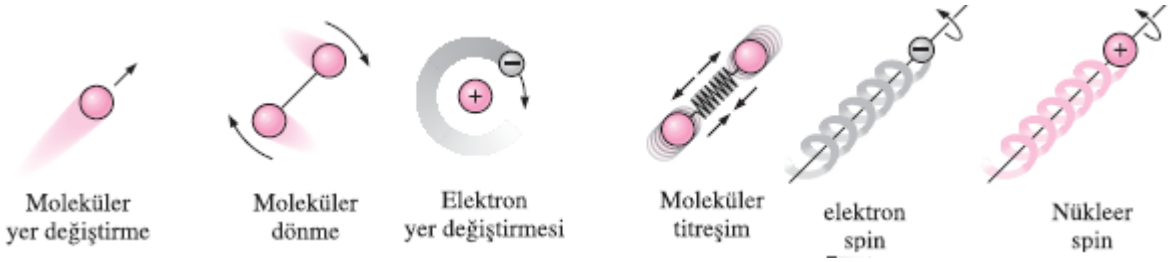


Kütlesel debi $\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c V_{ort.} \, (\mathrm{kg/s})$

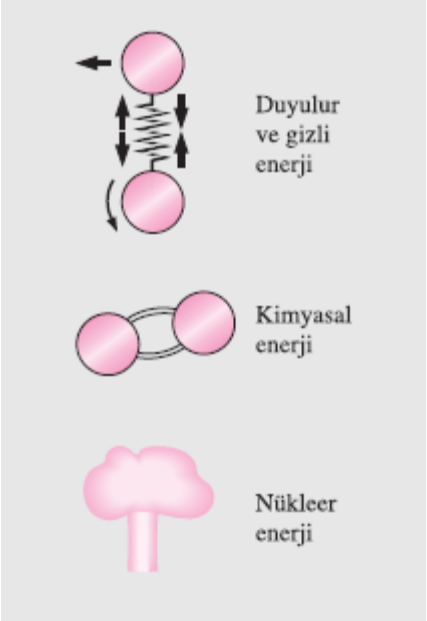
Birim zamndaki enerji $\dot{\boldsymbol{E}} = \dot{\boldsymbol{m}}\boldsymbol{E}$ *(J/s veya W)*

Mikroskobik enerji (= iç enerji): Duyulur enerji (ısı) + Gizli ısı (enrji) + Kimyasal enerji + Nükleer enerji

- Kimyasal enerji ve Nükleer enerji, kimyasal ve nükleer reaksiyonlar ile ısı olarak açığa çıkar.
  - ✓ **Duyulur enerji:** Sistemin iç enerjisinin, moleküllerin kinetik enerjisiyle ilişkilidir ve sıcaklığın artışı/azalması ile anlaşılır (“duyulur”)
  - ✓ **Gizli enerji:** Sistemdeki maddenin faz değişim süreçleri ile ilgilidir, “faz değişim entalpisi” de denir. Faz değişim süresince sıcaklık sabit kalır, ancak sistemin iç enerjisi değişir, bu enerji gizli ısıdır.
  - ✓ **Kimyasal enerji:** Bir molekülün atomları arasındaki kuvvetlerle ilgili iç enerjidir.
  - ✓ **Nükleer enerji:** Atom çekirdeği içindeki parçacıklar arasında var olan bağlarla ilişkili büyük miktardaki iç enerjidir.

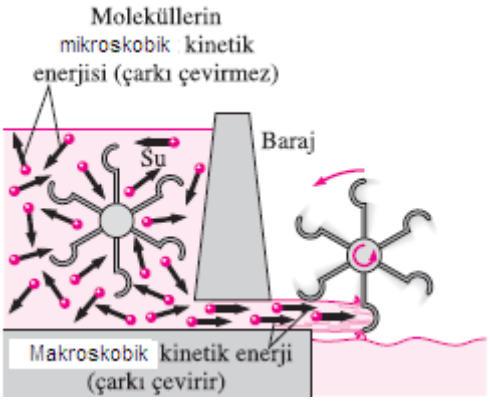


Duyulur iç enerjiyi oluşturan moleküler iç enerji biçimleri

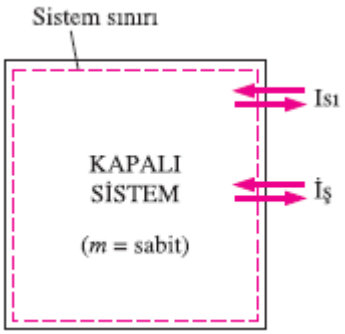


Sistemin iç enerjisi tüm mikroskobik enerji biçimlerinin toplamıdır.

Makroskobik kinetik enerji, enerjinin organize bir biçimidir ve moleküllerin sahip olduğu dağınık biçimdeki mikroskobik kinetik enerjilerden daha faydalıdır.



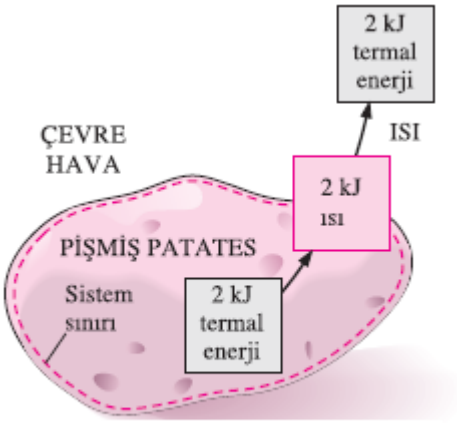
Enerji Geçişi



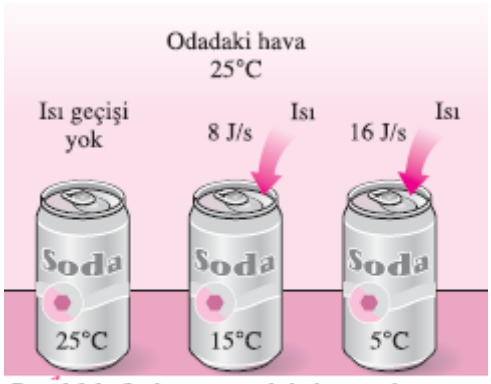
Enerji sistem sınırından iki formda geçer;
ısı ve iş olarak

Isı ile enerji geçişi: Isı nedir?

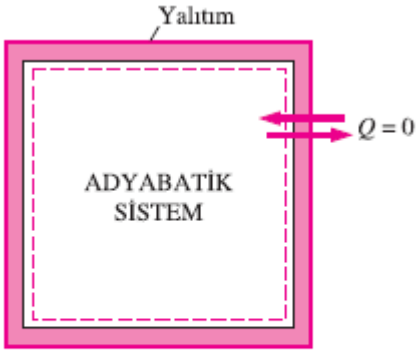
- **Isı,** iki sistem arasında (veya sistemle çevresi arasında) sıcaklık farkından kaynaklanan enerji geçişidir.
  Enerji geçşiş sadece sıcaklık farkından kaynaklanıyorsa geçen eneji ısıdır.



Enerji sadece sistem sınırlarını geçerken ısı olarak tanımlanabilir.



Sıcaklık farkı ısı geçişini meydana getiren etkidir. Sıcaklık farkı arttıkça, birim zamandaki ısı geçişi de artar.



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

Isının gösterim biçimleri:

$q = \frac{Q}{m}$, J/kg birim kütle için ısı

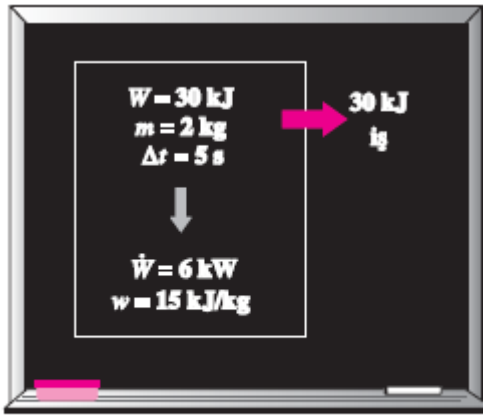
$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$, J/s ≡ W, birim zaman için ısı

Iş ile enerji geçişi: Iş nedir?

- **İş,** iki sistem veya bir sistemle çevresi arasındaki enerji geçişi sıcaklık farkından kaynaknanmıyorsa bu enerji iştir.
  Kapalı bir sistemin sınırından geçen enerji ısı değilse mutlaka iştir

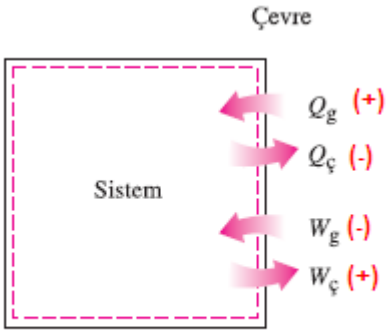
✓ Bilinen klasik tanımlar da vardır;
✓ Bir kuvvetin belirli bir mesafe boyunca etkide bulunması sonucu aktarılan enerjidir.
✓ W ile gösterilir, birimi Joule'dür. Birim zamda yapılan iş $\dot{W} = W/\Delta t$'dir ve birim watt'tır.

Birim kütle için enerji (yeğin ya da özgül enerji) $w = W/m$ (J/kg)'dır.



w, W ve $\dot{W}$ arasındaki ilişki

Isı ve iş yönlü büyüklüklerdir. Sistem sınırından geçerken anlamlıdırlar.

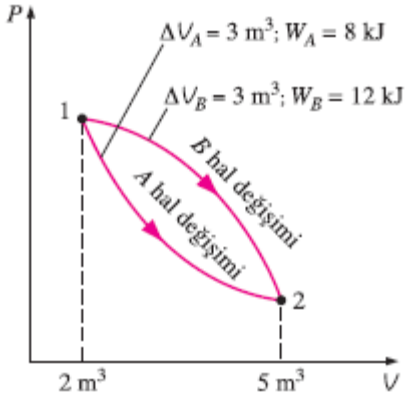


Isı ve iş yönlerinin belirtilmesi

- Sisteme ısı giriyorsa *pozitif*, sistem ısı kazanıyor
- Sistemden ısı çıkyorsa *negatif*, sistem ısı kaybediyor
- Sisteme iş girişi oluyorsa *negatif,* sistemin üzerine iş yapılıyor
- Sistemden iş çıkışı oluyorsa *pozitif*, sistem iş yapıyor

Isı ve işle ilgili şu genellemer yapılabilir:

1. Her ikisi de sistemin sınırından geçerken tanımlıdır, sınır olgusudurlar.
2. Sistemlerin enerjileri vardır, ısı ve işleri yoktur.
3. Durum ile değil, durum değişimi ile ilgilidirler.
4. Yola bağlı fonksiyonlardır.

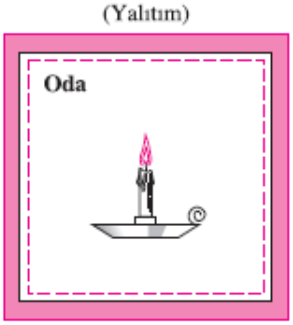


Özelikler nokta fonksiyonlarıdır, fakat ısı ve iş yola bağlı fonksiyonlardır (büyüklükleri hal değişiminin izlediği yola bağlıdır).

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1 = \Delta V$$

$$\int_1^2 \delta W = W_{12} \qquad (\Delta W \text{ değil})$$

Isı ve iş ile ilgili bazı düşünceler:

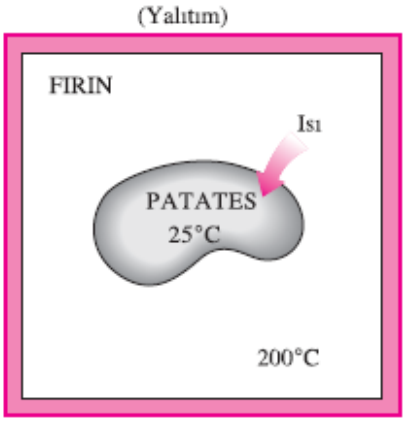


Yalıtılmış odada mumun yanması

Durum değişimi süresince sistemin çevresi ile ısı alış verişi yoktur; $Q = 0$

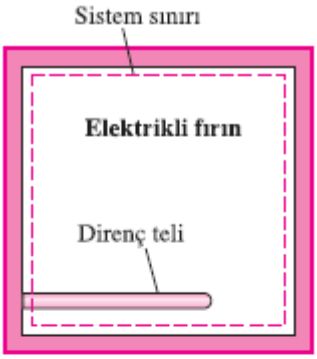
Durum değişimi süresince sistemin iç enerjisi değişmemiştir; $\Delta U = 0$

Durum değişimi sonucu kimyasal enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmüştür.



Fırında patatesin pişmesi

Fırından patatese ısı geçişi sıcaklık farkı nedeniyle meydana Geldiği için ısı geçişi söz konusudur.



Fırının iş (elektriksel) ile ısıtılması

Enerji sisteme elektriksel iş olarak girmektedir.



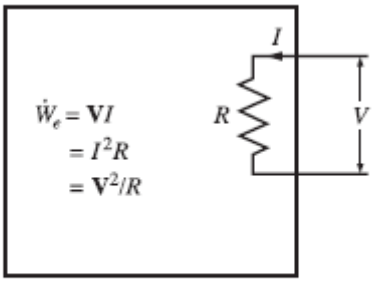
Fırının ısı ile ısıtılması

Enerji sisteme ısı olarak (sıcaklık farkı nedeniyle) olarak girmektedir.

İşin değişik formları:

1-Elektriksel iş:

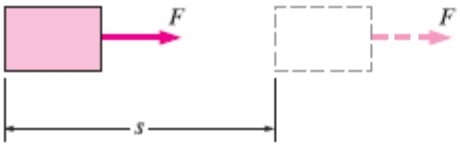
$$W_e = \int_1^2 \mathbf{V} I \, dt \quad \text{(J)}$$



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

2- Mekanik iş:

Genel olarak mekanik iş;

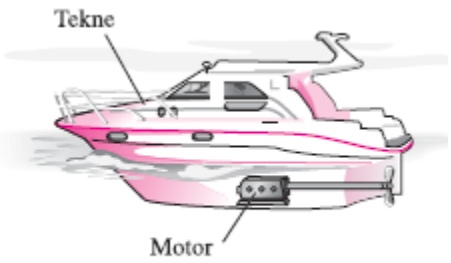


Yapılan iş, uygulanan kuvvete (F) ve kuvvetin etkilediği uzunluğa (s) bağlıdır.

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

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

Bu kapsamda örneğin <u>mil işi</u>:



Döner mille enerji aktar

Burada T burulma momenti ve r milin yarıçapı olmak üzere, kuvvet $F = T/r$ şeklindedir.

Yo s ve yarıçap r arasındaki ilişki ise $s = (2\pi r)n$ olmak üzere n milin devir sayısıdır. Buradan güç biriminde olmak üzere

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

olarak elde edilir.

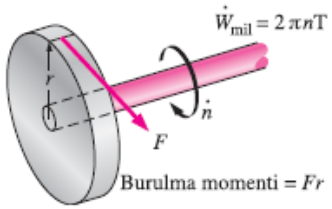
Örnek problem:

Bir Arabanın Krank Mili İle Kuvvet Aktarımı

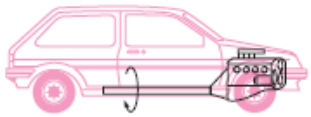
Bir arabanın krank miline uygulanan burulma momenti 200 N · m ise ve mil dakikada 4000 (rpm) hızla dönüyorsa, krank milinin ilettiği gücü hesaplayınız.

$$\dot{W}_{mil} = 2\pi n T = (2\pi)\left(4000\frac{1}{\text{dak.}}\right)(200\ \text{N}\cdot\text{m})\left(\frac{1\ \text{dak.}}{60\ \text{s}}\right)\left(\frac{1\ \text{kJ}}{1000\ \text{N}\cdot\text{m}}\right)$$

$$= 83.8\ \text{kW}$$



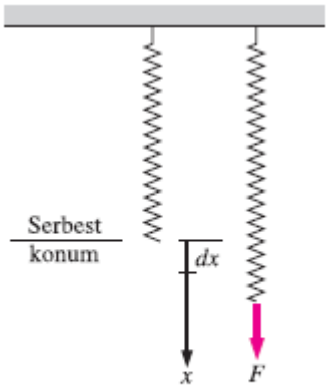
Mil işi, uygulanan burulma momenti ve milin devir sayısı ile orantılıdır.



n = 4000 devir/dakika
T = 200 N•m

Yay işi:

F kuvveti uygulandığı zaman yay dx kadar uzuyorsa yapılan iş



Yayın, bir kuvvet etkisi altında uzaması

$\delta W = F\,dx$ kadardır. Yay kuvveti ise k yay katsayısı olmak üzere $F = kx$'dir.

Yayın x_1'den x_2 ye kadar yer değiştirmesi,

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

Genel denklemi ile

$$W = \int_1^2 kx dx = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$$

şeklinde olacaktır.

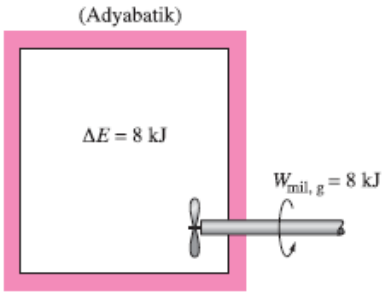
Termodinamiğin Birinci Yasası (TD1Y)

- TD1Y, enerjinin korunumu ilkesidir
- TD1Y-Kapalı Sistem
  Enerjinin korunumu ilkesi, bir durum değişimi sırasında sistemin toplam enerjisindeki net değişim sisteme giren enerji ile sistemden çıkan enerji farkına eşittir.

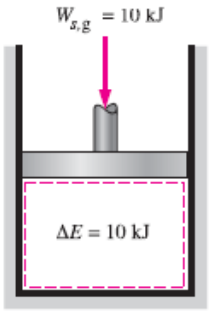
$$\begin{pmatrix}\text{Sisteme giren}\\ \text{toplam enerji}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Sistemden çıkan}\\ \text{toplam enerji}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Sistemin toplam}\\ \text{enerjisindeki değişim}\end{pmatrix}$$

veya

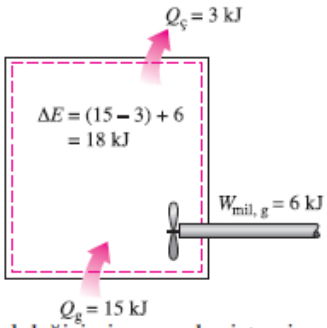
$$E_g - E_ç = \Delta E_{sistem}$$



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



Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (sınır) sistemin enerji artışına eşittir.



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

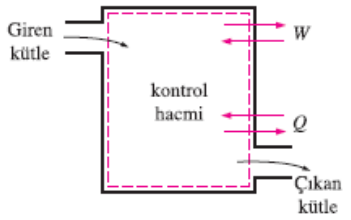
Sisteme enerji geçişinin (giriş-çıkış) yolları:

- ✓ Kapalı sistemlerde; sadece *ısı* ve *iş* olarak
- ✓ Açık sistemlerde *ısı* ve *iş* e ilave olarak kütle geçişi ile de gerçekleşir

Bu durumda açık sistemler için TD1Y2sını

$$E_g - E_ç = (Q_g - Q_ç) + (W_g - W_ç) + (E_{kütle,\,g} - E_{kütle,\,ç}) = \Delta E_{sistem}$$

şeklinde yazabiliriz.



Kütle akışı ile birlikte ısı ve iş etkileşimleri sonucu kontrol hacminin enerji içeriğinde değişim olur.

Herhangi bir hal değişimine uğrayan bir sistem için enerjinin korunumu bağıntısı daha basit bir şekilde

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Isı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{İç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerdeki değişim}}$$

veya **birim zamana bağlı** olarak

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_ç}_{\text{Birim zamanda, ısı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{dE_{sistem}/dt}_{\text{Birim zamanda sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

şeklinde yazılır. Δt zaman aralığında toplam değişkenler birim zamandaki değişkenlere bağlı olarak

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

yazılır. Denklemdeki tüm değişkenleri kütle m ile bölünürse enerjinin korunumu ilkesi **birim kütle** için elde edilmiş olur.

$$e_g - e_ç = \Delta e_{sistem}$$

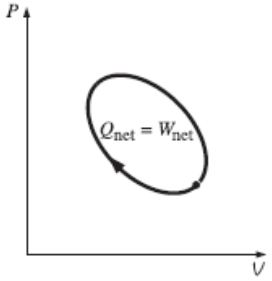
Birinci yasanın diferansiyel yazılışı

$$\delta E_g - \delta E_ç = dE_{sistem} \quad \text{veya} \quad \delta e_g - \delta e_ç = de_{sistem}$$

bağıntısıyla verilir. **Çevrim** oluşturan bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistem için ilk ve son haller aynıdır. Böylece $\Delta E_{sistem} = E_2 - E_1 = 0$ olur. Böylece bir çevrim için birinci yasa basit bir biçimde $E_{giren} - E_{çıkan} = 0$ veya $E_{giren} = E_{çıkan}$ yazılabilir. Kapalı bir sistemin sınırlarından herhangi bir kütle geçişinin olmadığı hatırlanmalıdır. Birinci yasa ısı ve iş etkileşimlerine bağlı olarak

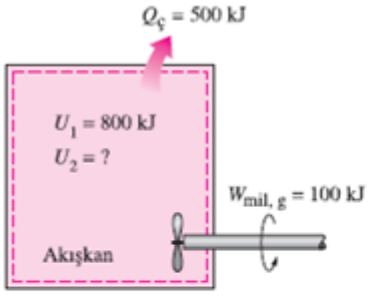
$$W_{net,ç} = Q_{net,g} \quad \text{veya} \quad \dot{W}_{net,ç} = \dot{Q}_{net,g} \quad \text{(çevrim için)}$$

bağıntısıyla verilir. Başka bir ifadeyle, çevrim oluşturan bir hal değişimi sırasında net ısı geçişi net işe eşit olur.



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

Örnek problem:



Sabit hacimli kapalı bir kapta bulunan sıcak bir sıvı soğutulurken, bir taraftan da pervane ile karıştırılmaktadır. Başlangıçta sıvının toplam iç enerjisi 800 kJ'dür. Soğutma işlemi sırasında çevreye 500 kJ ısı geçişi olmaktadır, sıvıyı karıştırmak içinse pervane 100 kJ iş yapmaktadır. Sıvının son haldeki toplam iç enerjisini hesaplayınız. Pervanede depolanan enerji ihmal edilebilir

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Isı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{sistemin; iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

$$W_{mil,g} - Q_ç = \Delta U = U_2 - U_1$$
$$100\ \text{kJ} - 500\ \text{kJ} = U_2 - 800\ \text{kJ}$$
$$U_2 = \mathbf{400\ kJ}$$

Böylece sistemin son haldeki iç enerjisi 400 kJ olur.