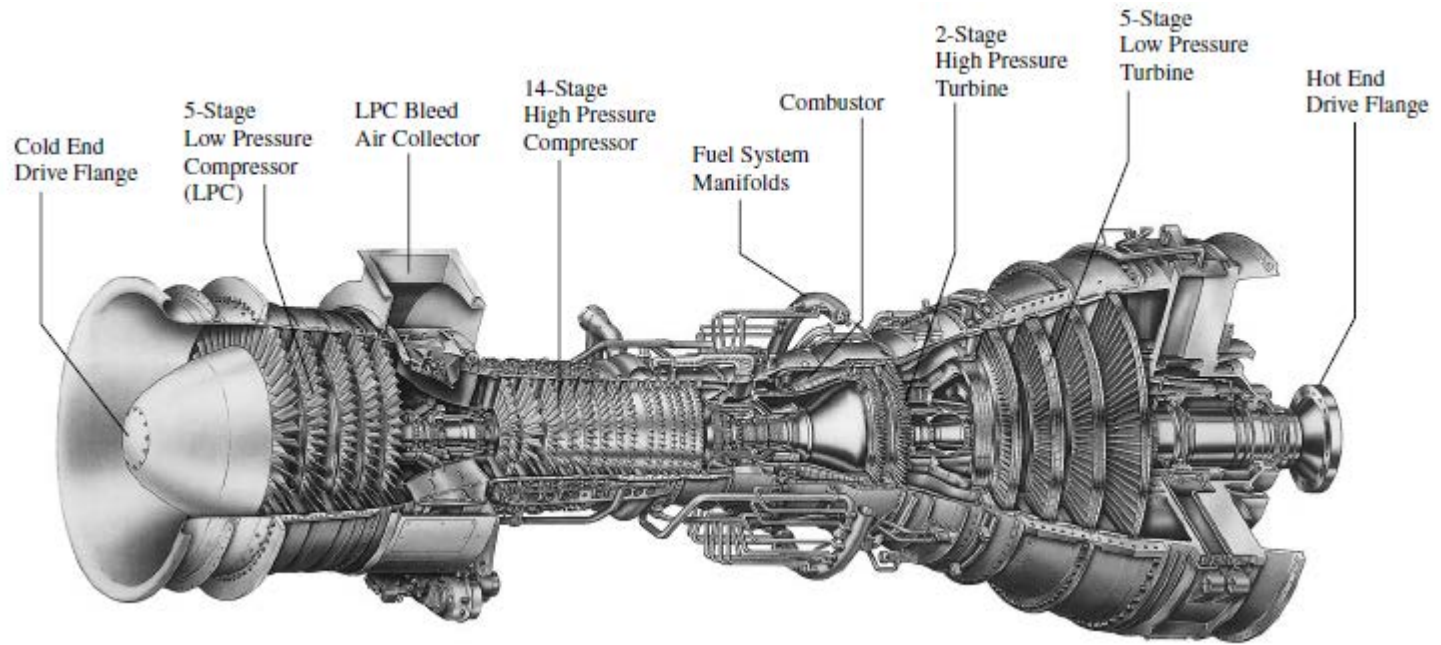




TERMODİNAMİK

Doç. Dr. Uğur AKYOL

DERS İÇERİĞİ

- 1) TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI
- 2) SAF MADDENİN ÖZELLİKLERİ**
- 3) TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: KAPALI SİSTEMLER
- 4) TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER**
- 5) TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI
- 6) ENTROPİ**
- 7) MÜHENDİSLİK SİSTEMLERİNİN İKİNCİ YASA ÇÖZÜMLEMESİ



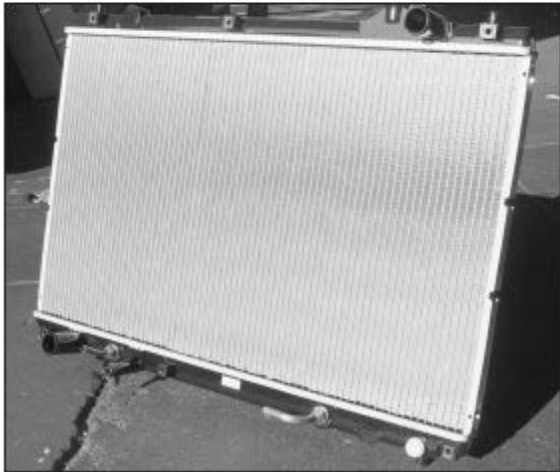
The human body



Air conditioning systems



Airplanes



Car radiators



Power plants



Refrigeration systems

1-TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

- Termodinamik ve Enerji
- Kapalı ve Açık Sistemler
- Enerjinin Biçimleri
- Sistemin Özellikleri
- Hal ve Denge
- Hal Değişimleri ve Çevrimler
- Basınç
- Sıcaklık ve Termodinamiğin Sıfırinci Yasası

1.1 Termodinamik ve Enerji

Termodinamik, enerjinin bilimi olarak tanımlanabilir. **Enerji** değişikliklere yol açan etken olarak düşünülebilir.

Doğanın en temel yasalarından biri **enerjinin korunumu** ilkesidir. Bu yasa, bir etkileşim sırasında enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, fakat toplam miktarının sabit kalacağını belirtir. Başka bir deyişle, enerji yaratılamaz veya yokedilemez. Örneğin, yamaçtan aşağı düşen bir kaya parçası potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesi sonucu hız kazanır

Termodinamik ile ilgili analizlerde kullanılan iki farklı yöntem vardır

Klasik Termodinamik

Parçacıkların ayrı ayrı davranışlarının bilinmesine gerek göstermeyen, onları toplu olarak ele alan yaklaşım, **klasik termodinamik** olarak bilinir. Klasik termodinamik, mühendislik problemlerinin çözümü için kolay ve doğrudan bir yöntem oluşturur.

İstatistiksel Termodinamik

Tek tek parçacıklardan yola çıkarak bunların oluşturdukları kümelerin ortak davranışlarını göz önüne alan yaklaşıma **istatistiksel termodinamik** olarak adı verilir. Mikroskobik yaklaşım adı da verilen bu yaklaşım daha karmaşık olup, bu derste sadece birinci yaklaşıma gerektiğinde destek vermek için kullanılacaktır.

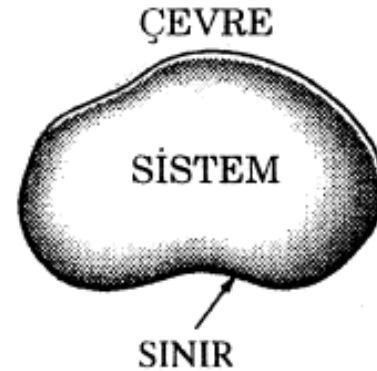
1.2 Kapalı ve Açık Sistemler

Sistem ve Çevre

Termodinamik sistem veya sadece **sistem** terimi, belirli bir kütleyi veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesini belirtir. Sistemin dışında kalan kütle veya bölgeye **çevre** adı verilir.

1.2 Kapalı ve Açık Sistemler

Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzey de **sınır** diye adlandırılır. Sistemin sınırları sabit veya hareketli olabilir. Matematiksel açıdan, sınırın kalınlığı sıfırdır, bu nedenle de kütlesi ve hacmi yoktur.



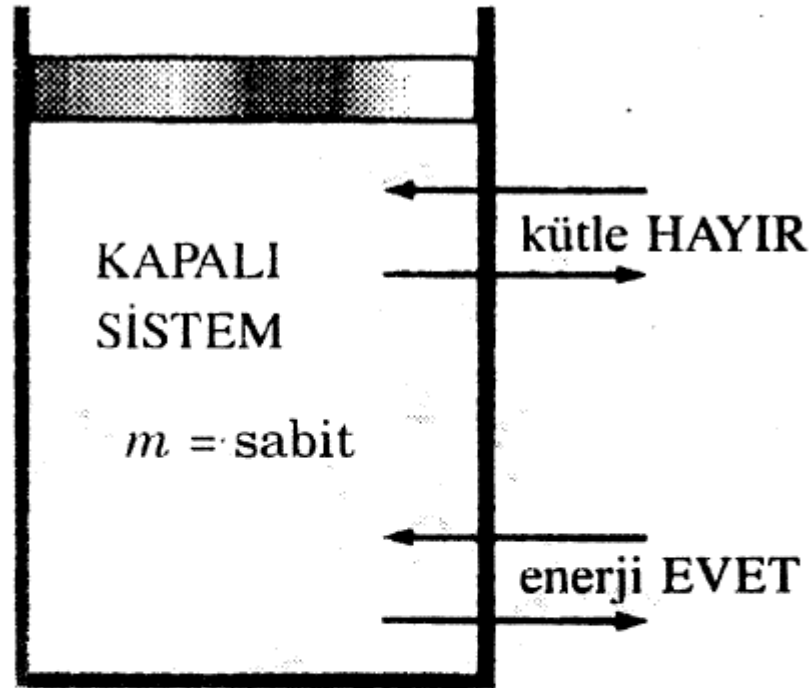
ŞEKİL 1-12

Sistem, çevre ve sınırlar.

a) Kapalı Sistem (Kontrol Kütlesi)

Kapalı sistem veya diğer adıyla **kontrol kütlesi**, sınırlarından kütle geçişi olmayan sabit bir kütledir. Kapalı sisteme kütle girişi veya çıkışı olamaz. Fakat enerji, iş veya ısı biçiminde kapalı sistem sınırlarından geçebilir.

a) Kapalı Sistem (Kontrol Kütlesi)



ŞEKİL 1-13

Kapalı sistem sınırlarından kütle geçişi olamaz, fakat enerji geçişi olabilir.

a) Kapalı Sistem (Kontrol Kütlesi)

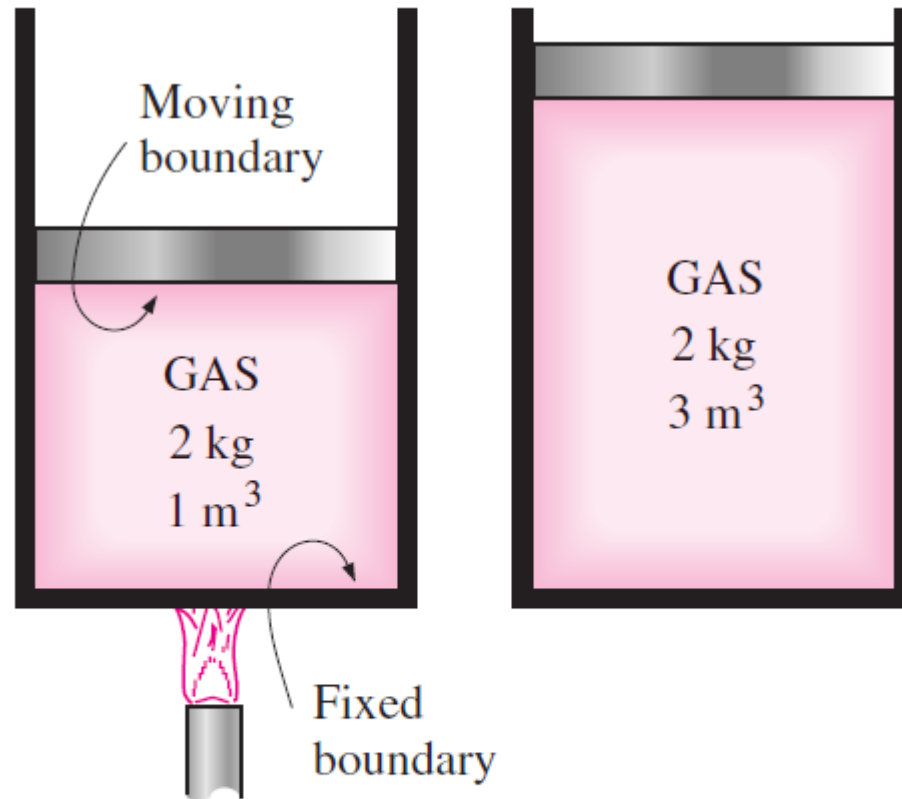


FIGURE 2-3

A closed system with a moving boundary.

Ayrık (izole) Sistem

- Sınırlarından kütle geçişi yanında enerji geçişinin de olmadığı kapalı sistemler "**ayrık (izole) sistem**" olarak adlandırılır.

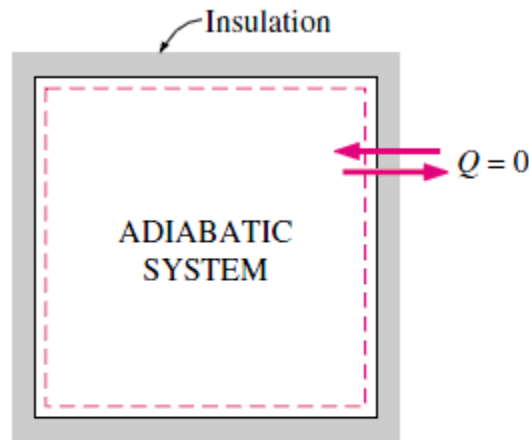


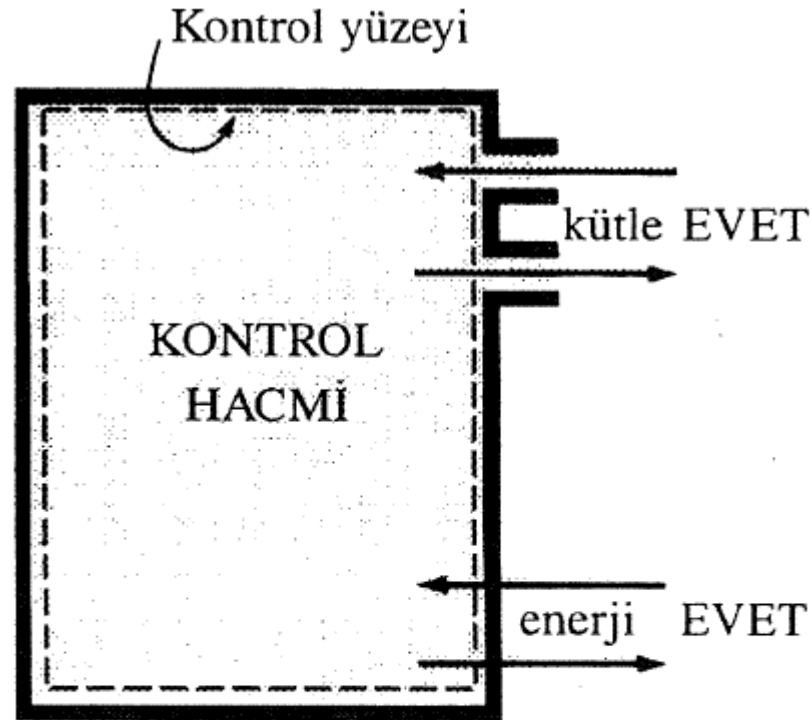
FIGURE 4-5

During an adiabatic process, a system exchanges no heat with its surroundings.

b) Açık Sistem (Kontrol Hacmi)

- **Açık sistem** veya yaygın olarak bilinen adıyla "**kontrol hacmi**", uzayın problemin çözümüne uygun bir şekilde seçilmiş bir bölgesidir. Kontrol hacmi genellikle kompresör ve türbin gibi içinden kütle akışı olan bir makineyi içine alır. Kütle ve enerji, kontrol yüzeyi adı verilen kontrol hacmi sınırlarını geçebilir.

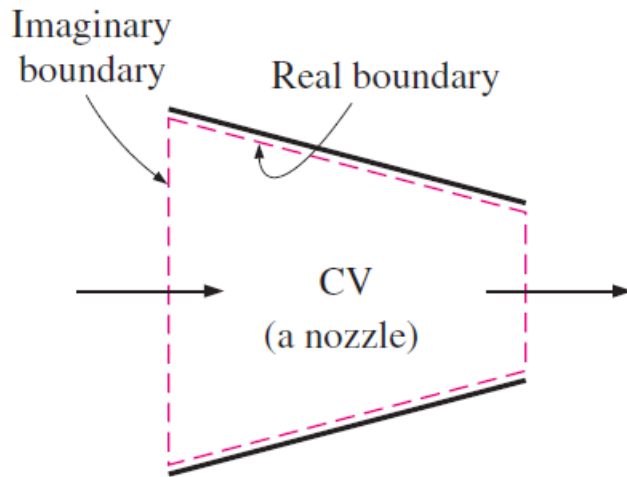
b) Açık Sistem (Kontrol Hacmi)



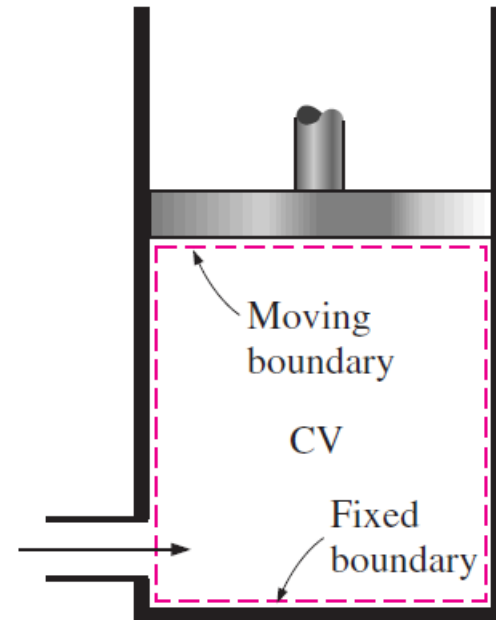
ŞEKİL 1-15

Kontrol hacminin sınırlarını
hem kütle hem de enerji
geçebilir.

b) Açık Sistem (Kontrol Hacmi)



(a) A control volume with real and imaginary boundaries



(b) A control volume with fixed and moving boundaries

FIGURE 2-5

A control volume can involve fixed, moving, real, and imaginary boundaries.

b) Açık Sistem (Kontrol Hacmi)

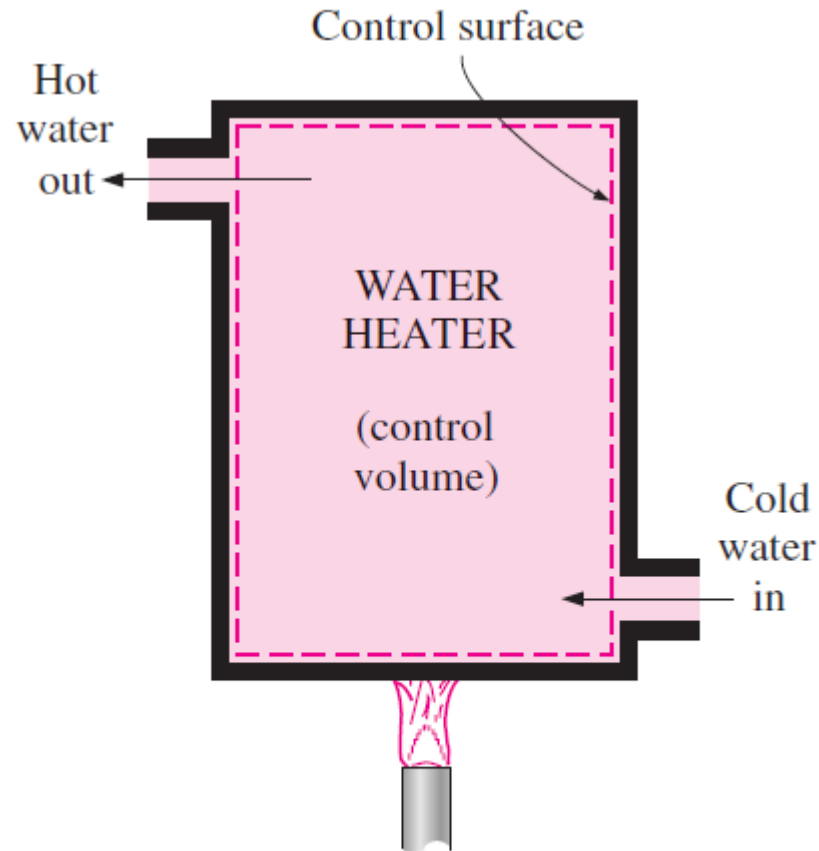
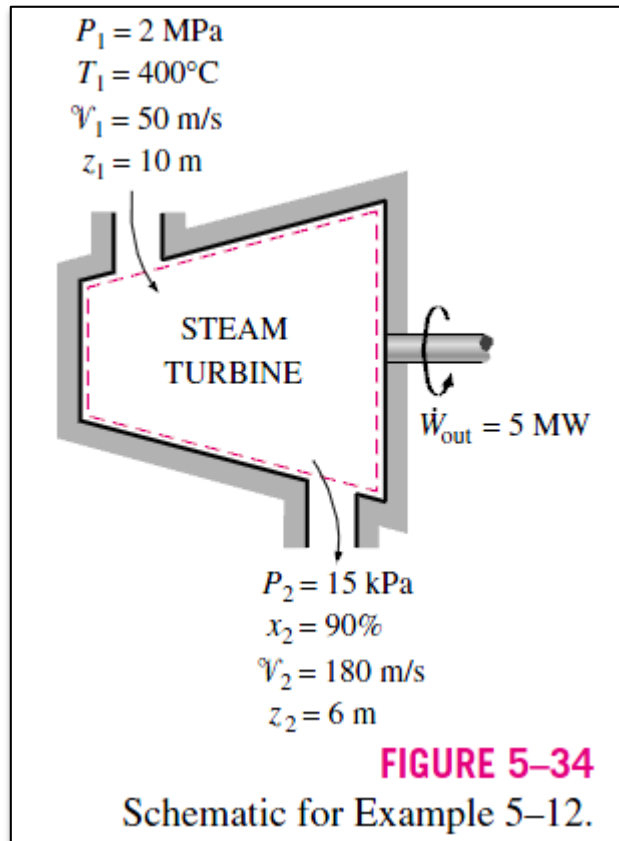


FIGURE 2-6

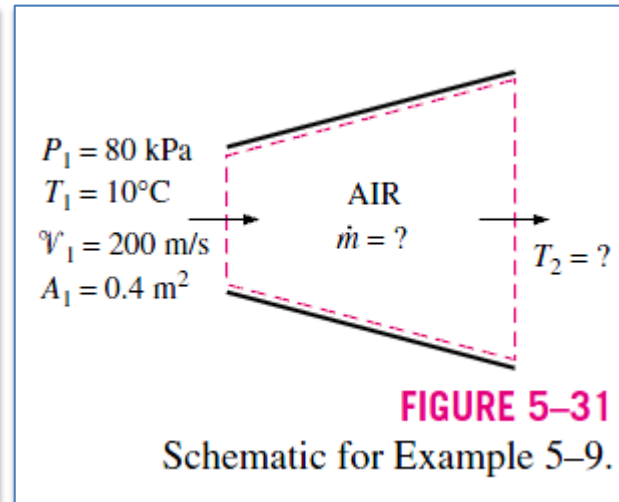
An open system (a control volume)
with one inlet and one exit.

b) Açık Sistem (Kontrol Hacmi)

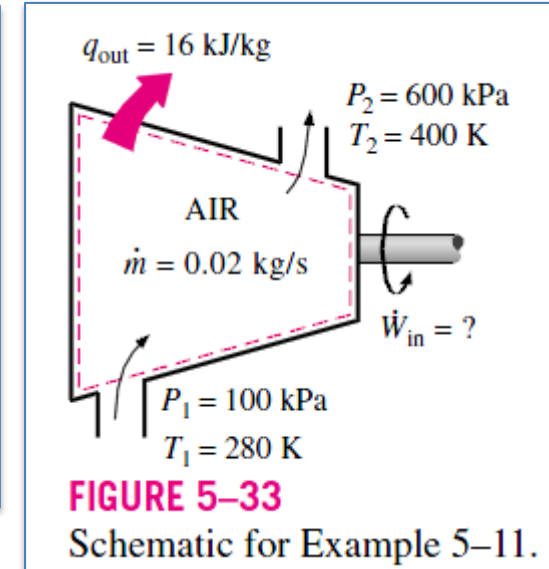
TÜRBİN



DİFÜZÖR



KOMPRESÖR



Not: Açık ve kapalı sistemlere uygulanan termodinamik bağıntılar farklıdır.

1.3. Enerjinin Biçimleri

Enerji değişik şekillerde bulunabilir.

- *Isıl*
- *Mekanik*
- *Kinetik*
- *Potansiyel*
- *Elektrik*
- *Manyetik*
- *Kimyasal*
- *Nükleer*

Bunların tümünün toplamı sistemin **toplam enerjisini** E oluşturur. Sistemin birim kütlesi esas alınarak tanımlanan **özellik enerjisi** e ile gösterilir.

1.3. Enerjinin Biçimleri

Sistemin birim kütlesi esas alınarak tanımlanan **özellik enerjisi** e ile gösterilir.

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ} / \text{kg})$$

1.3. Enerjinin Biçimleri

- **Not:** Termodinamik, bir sistemin toplam enerjisinin mutlak değeri hakkında bilgi vermez. Termodinamik sadece toplam enerjideki değişimler ile ilgilenir. Böylece sistemin uygun bir referans noktasındaki toplam enerjisi sıfır kabul edilebilir. Sistemin toplam enerjisindeki değişim seçilen referans noktasından bağımsızdır.

1.3. Enerjinin Biçimleri

Termodinamik analizlerde, sistemin toplam enerjisini oluşturan değişik enerji biçimlerini ***makroskopik*** ve ***mikroskopik*** olarak ele almakta yarar vardır.

Makroskopik Enerji

Sistemin tümünün bir dış referans noktasına göre sahip olduğu enerjidir.

Örnek: kinetik enerji, potansiyel enerji

1.3. Enerjinin Biçimleri

Mikroskobik Enerji

Sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgili enerjidir. Bu enerji dış referans noktalarından bağımsızdır.

Örnek: ısı enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji

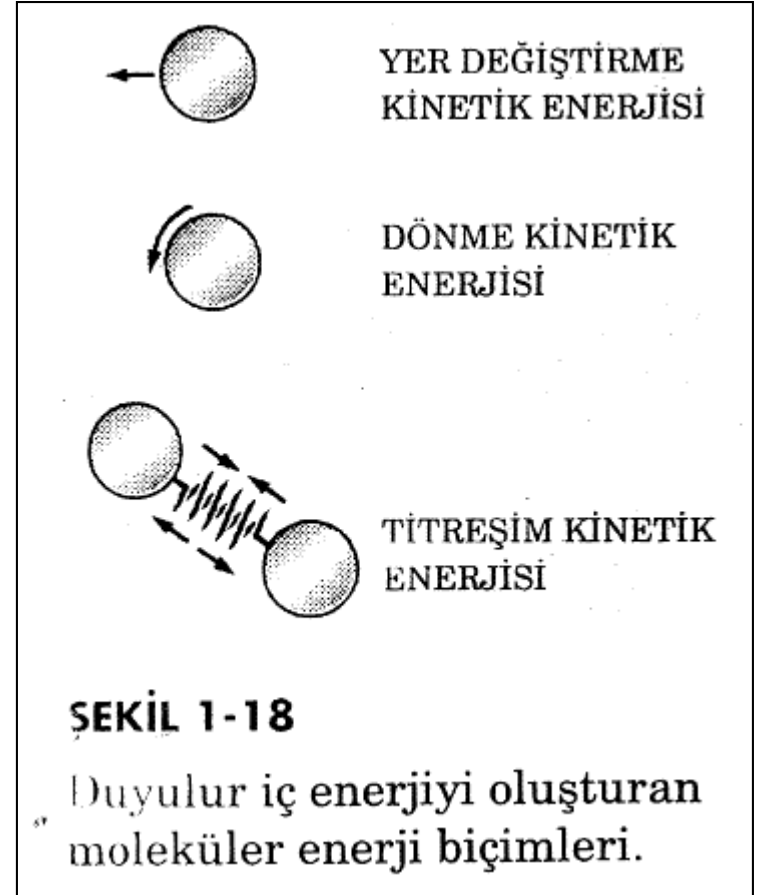
İÇ ENERJİ

İç enerji: Mikroskobik enerjilerin tümünün toplamına sistemin iç enerjisi denir ve U ile gösterilir. İç enerji moleküler yapıya ve moleküllerin hareketlilik düzeyine bağlı olup, moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak düşünülebilir.

Bir sistemdeki moleküller genelde rastgele bir hareket içinde belirli bir hızla oraya buraya giderek öteleme hareketi yapar, toplu olarak titreşir ve kendi eksenleri etrafında dönerler.

İÇ ENERJİ

Bu hareketin sonucu olarak, bir molekülün **yer değiştirme**, **titreşim** ve **dönme** enerjilerinin toplamından oluşan bir kinetik enerjisi vardır. Sistemin iç enerjisinin, moleküllerin kinetik enerjisiyle ilişkili olan bölümüne **duyulur enerji** adı verilir.



İÇ ENERJİ

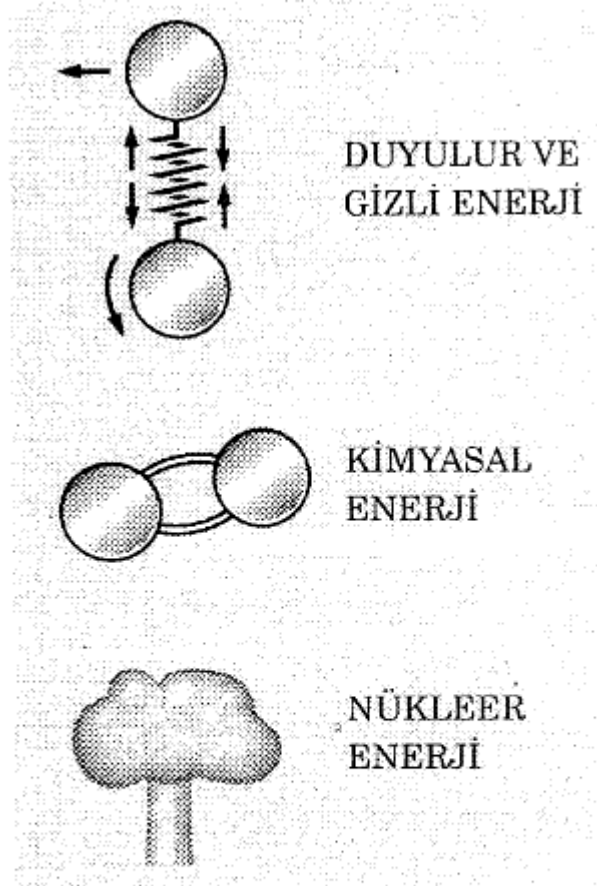
İç enerji aynı zamanda sistemin molekülleri arasındaki kuvvetlerle ilişkilidir. Bu kuvvetler molekülleri birbirine bağlayan kuvvetlerdir ve tahmin edileceği gibi katı cisimlerde çok güçlü, gazlarda ise daha zayıftır. Katı veya sıvı bir cismin moleküllerine yeterince enerji verilirse, moleküller, aralarındaki kuvvetleri yenip bağları kopararak sistemi gaza dönüştürebilirler. Bu bir faz değişimidir. Eklenen bu enerjiden dolayı gaz fazındaki sistem, katı veya sıvı fazlarına oranla daha yüksek bir iç enerjiye sahip olur. Sistemin, fazıyla ilgili bu iç enerjisine **gizli enerji** adı verilir.

İÇ ENERJİ

Yukarıda sözü edilen değişimler, sistemin kimyasal bileşiminde bir değişiklik olmadan gerçekleşebilir. Termodinamik ile ilgili problemlerin çoğu bu kapsama girer ve moleküllerin içindeki atomları birbirine bağlayan kuvvetleri dikkate almak gerekmez. Bir molekülün atomları arasındaki kuvvetlerle ilgili iç enerjiye **kimyasal enerji** veya **bağ enerjisi** denir. Yanma işleminde olduğu gibi, bir kimyasal reaksiyon sırasında, bazı kimyasal bağlar bozulurken bazı yeni bağlar oluşur. Bu nedenle iç enerji değişir.

Atom çekirdeği içindeki parçacıklar arasında varolan bağlarla ilişkili çok büyük miktarlardaki iç enerjiden de söz etmek gerekir (Şekil 1-19). Bu enerji, **nükleer enerji** diye adlandırılır ve nükleer reaksiyonlar sırasında açığa çıkar. Eğer füzyon veya fisyon reaksiyonları söz konusu değilse, termodinamikte nükleer enerjiyi gözönüne almak gerekmez.

İÇ ENERJİ



ŞEKİL 1-19

Sistemin iç enerjisi
tüm mikroskopik enerji
biçimlerinin toplamıdır.

1.3. Enerjinin Biçimleri

Mikroskobik enerjilerin tümünün toplamına sistemin iç enerjisi denir ve U ile gösterilir. Bu durumda bir sistemin toplam enerjisi:

$$E=U+KE+PE+ME+EE$$

olarak ifade edilebilir. Manyetik ve elektrik enerji sadece bazı özel durumlarda önem kazanır. Bu enerjilerin etkisiz olduğu durumlar için toplam enerji

$$E = U + KE + PE = U + \frac{m\mathbf{V}^2}{2} + mgz \quad (\text{kJ})$$

şeklinde ifade edilebilir.

1.3. Enerjinin Biçimleri

Kapalı sistemlerin birçoğu hareketsiz olup bu tür sistemlere **hareketsiz sistem** adı verilir. Hareketsiz sistemlerin kinetik ve potansiyel enerjilerinde bir değişme olmaz. Bu durumda sistemin toplam enerjisindeki değişim

$$\Delta E = \Delta U$$

olarak ifade edilebilir.

1.4. Sistemin Özellikleri

Sistemi nitelendiren büyüklüklere özellik adı verilir.

Örnek: basınç P , sıcaklık T , kütle m , hacim V

Özelliklerin bazıları bağımsız olmayıp diğer özellikler kullanılarak tanımlanır.

Örnek: Yoğunluk: $\rho = m/V$, Özgül Hacim $v = V/m$

Not: Termodinamikte yoğunluk özelliği pek kullanılmaz. Onun yerine yoğunluğun tersi olan özgül hacim kullanılır.

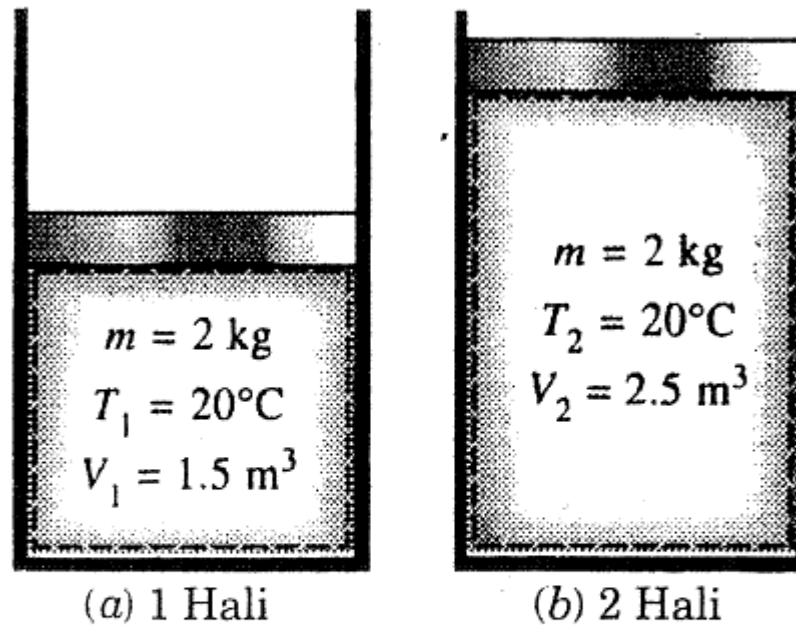
1.5. Hal ve Denge

Verilen bir anda özellikleri değişmeyen bir sistemi ele alın. Sistemin her noktasında tüm özellikler ölçülebilir veya hesaplanabilir. Sistemin bu özellikler tarafından belirlenen durumuna sistemin hali denir.

Verilen bir halde sistemin tüm özelliklerinin sabit değerleri vardır. Sadece bir özelliğin değerinin değişmesi bile sistemin halini değiştirecektir.

1.5. Hal ve Denge

Şekilde iki farklı hal görülmektedir.



ŞEKİL 1-23

İki farklı halde bulunan bir sistem.

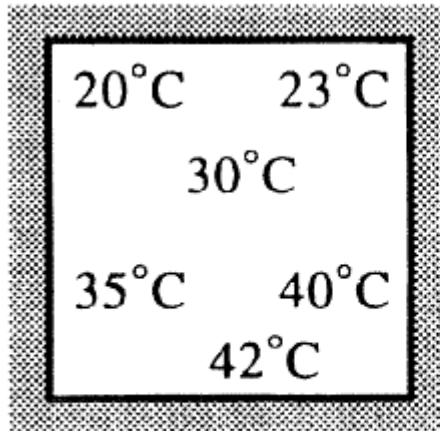
1.5. Hal ve Denge

Termodinamik denge halleri ile ilgilenir. Denge sözcüğü eşitlik kavramını çağrıştırır. Denge halinde bir sistem içinde değişimi zorlayan dengelenmemiş bir kuvvet yoktur. Denge halinde bir sistem, eğer çevresiyle etkileşimi yoksa bulunduğu halde kalmayı sürdürür.

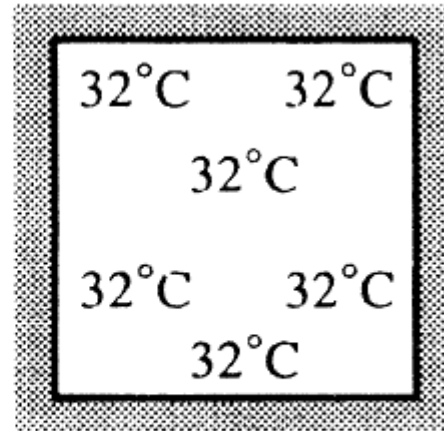
1.5. Hal ve Denge

Değişik denge kısıtları mevcuttur ve bir sistemin dengede olması için, ilgili tüm denge kısıtlarının sağlanmış olması gerekir. Örneğin ısı denge sistemin her noktasında sıcaklığın aynı olması anlamına gelir. Başka bir deyişle, sistemin içinde ısı geçişine neden olacak sıcaklık farklılığı yoktur.

1.5. Hal ve Denge



(a) Önce



(b) Sonra

ŞEKİL 1-25

Isıl dengeye erişen bir kapalı sistem.

1.5. Hal ve Denge

Mekanik denge basınçla ilgilidir. Sistemin herhangi bir noktasında basıncın zamana göre değişmediği anlamına gelir. Basınç sistemin içinde yerçekiminden dolayı yüksekliğe bağlı olarak değişebilir. Fakat en alt tabakadaki yüksek basınç, tabakanın fazladan taşınması gereken ağırlıkla dengelenmiştir; bu nedenle dengelenmemiş bir kuvvetten söz edilemez.

İki fazlı bir sistemde faz dengesinin olması, her fazın kütlelerinin bir denge düzeyine erişip orada kalması anlamındadır.

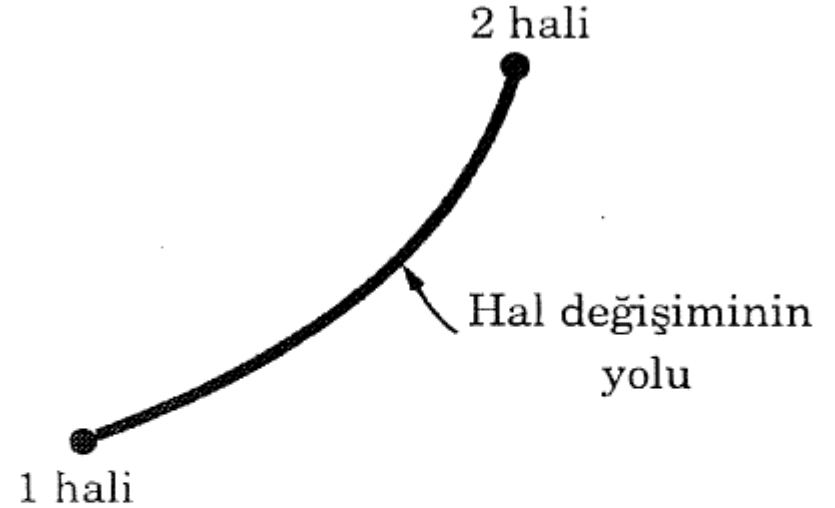
1.5. Hal ve Denge

Son olarak, kimyasal denge, sistemin kimyasal bileşiminin zamanla değişmemesi, başka bir deyişle, sistemde kimyasal reaksiyon olmaması anlamına gelir. Bir sistemin denge halinde olabilmesi için tüm denge kriterlerinin sağlanmış olması gerekir.

1.6. Hal Değişimleri ve Denge

Hal Değişimi

Sistemin bir denge halinden diğer bir denge haline geçişi **hal değişimi** diye adlandırılır. Hal değişimi sırasında sistemin geçtiği hallerden oluşan diziye de **hal değişimini yolu** denir.



ŞEKİL 1-26

1 ve 2 halleri arasında bir hal değişimi ve hal değişiminin yolu.

1.7. Sanki-Dengeli Hal Değişimi

Bir hal değişimi sırasında sistem izlediği yolun her noktasında denge haline çok yakın olursa, bu tür bir hal değişimi **sanki-statik** veya **sanki-dengeli** diye tanımlanır. Sanki dengeli bir hal değişiminin herhangi bir anında, sistemi oluşturan kütlenin her noktasında özellikler aynı olmalıdır. Bu bakımdan hal değişiminin, sistemin bu dengeyi sağlamasına olanak sağlayacak şekilde yavaş geliştiği kabul edilir.

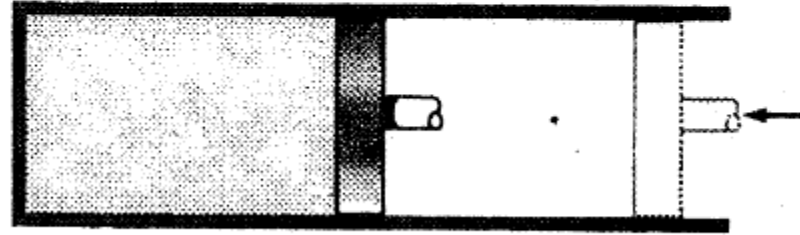
1.7. Sanki-Dengeli Hal Değişimi

Hal değişiminin yolu, sistemin hal değişimi sırasında geçtiği bir dizi denge halini belirtmektedir ve bu gösterim sadece sanki-dengeli bir hal değişimi için söz konusudur. Sanki-dengeli olmayan hal değişimleri için, hal değişimi sırasında oluşan halleri belirlemek olası değildir. Dolayısıyla hal değişiminin izlediği yoldan bahsedilemez. Sanki-dengeli olmayan bir hal değişimi ilk ve son haller arasında kesik bir çizgiyle gösterilir.

1.7. Sanki-Dengeli Hal Değişimi



(a) Yavaş sıkıştırma
(sanki - dengeli)

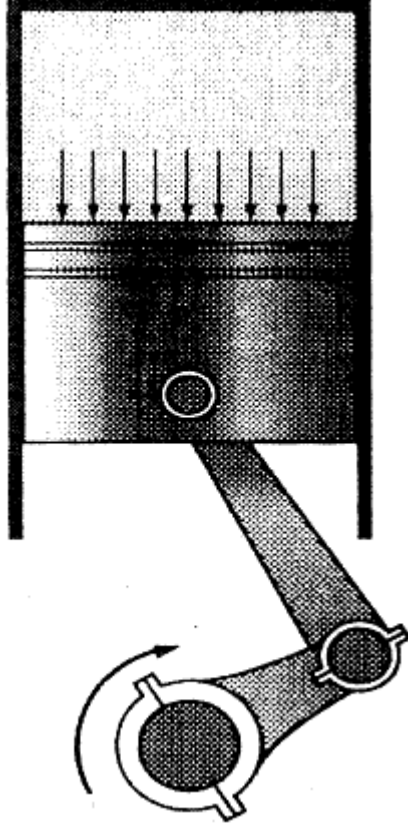


(b) Çok hızlı sıkıştırma
(sanki-dengeli değil)

ŞEKİL 1-27

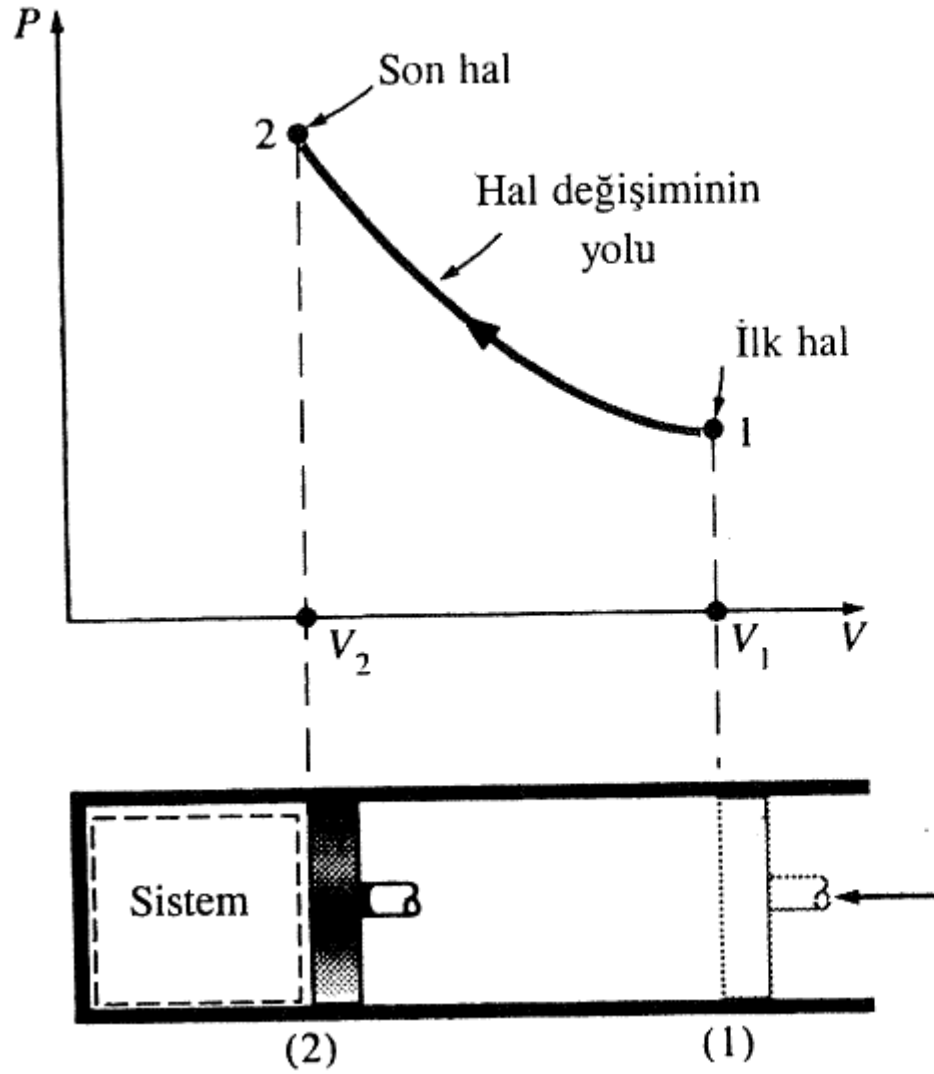
Sıkıştırma işleminin
sanki- dengeli ve
sanki-dengeli-olmayan şekli.

1.7. Sanki-Dengeli Hal Değişimi



şEKİL 1-28

Makineler sanki-dengeli
alışırken en çok işi yaparlar.

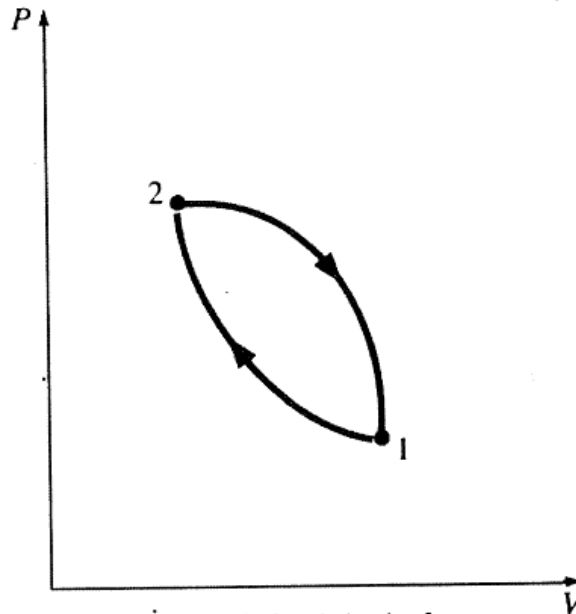


ŞEKİL 1-29

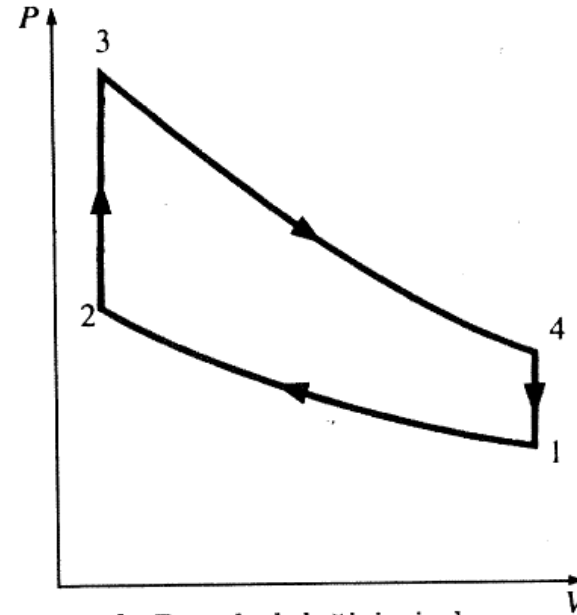
Sıkıştırma işleminin P - V diyagramı.

1.8 Çevrim

Bir sistem geçirdiği bir dizi hal değişiminden sonra ilk haline dönerse bir çevrim'den geçti denir. Başka bir deyişle, çevrimin ilk ve son halleri aynıdır.



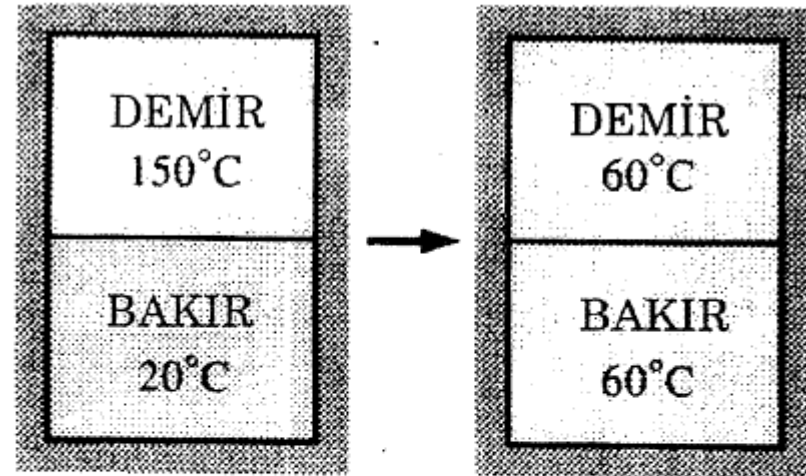
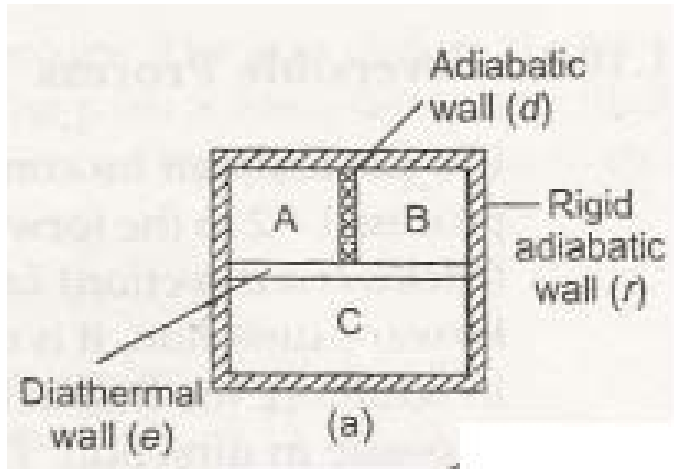
(a) İki hal değişiminden oluşan çevrim



(b) Dört hal değişiminden oluşan çevrim

1.9 Termodinamiğin Sıfıncı Yasası

İki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısı dengede olmaları durumunda, kendi aralarında da ısı dengede olacaklarını belirtir.

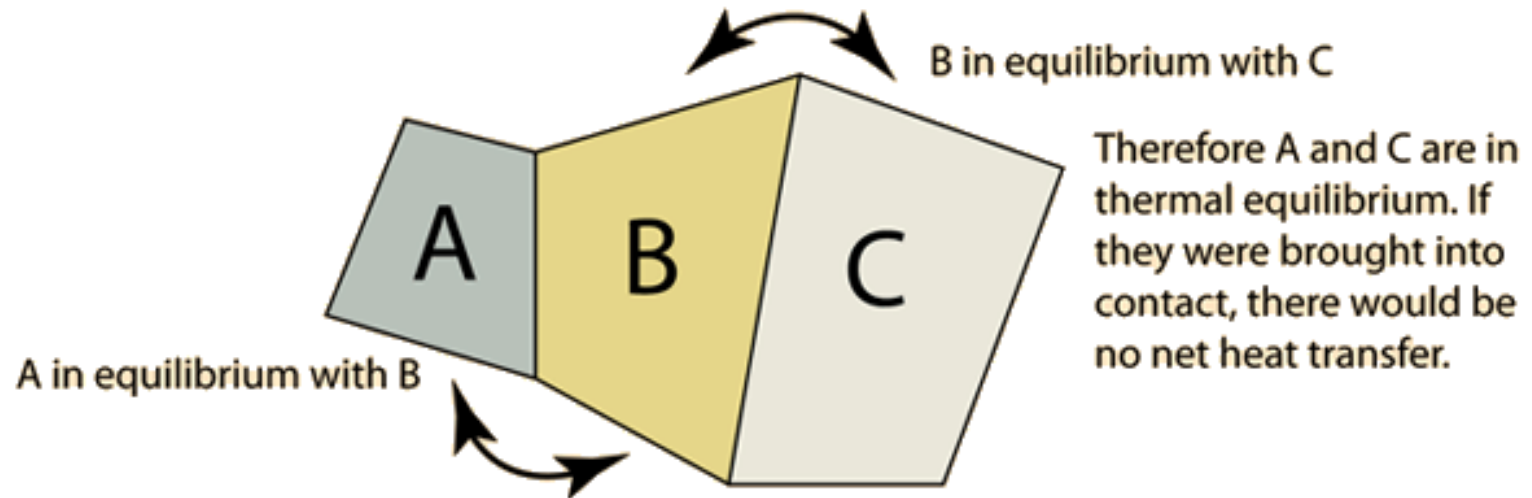


ŞEKİL 1-43

Ayrık bir ortamda biraraya getirilen iki cismin ısı dengeye ulaşması.

1.9 Termodinamiğin Sıfıncı Yasası

İki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısı dengede olmaları durumunda, kendi aralarında da ısı dengede olacaklarını belirtir.



1.10 Sıcaklık Ölçekleri

Sıcaklık değerlerinin ortak bir dille ifade edilebilmesi için sıcaklık ölçeklerine veya skalalarına gerek duyulur.

Günümüzde kullanılan sıcaklık ölçekleri suyun buz ve buhar noktası gibi kolayca elde edilebilir sıcaklık değerlerine dayanır. Bu ölçekler iki noktalı ölçekler olarak ta adlandırılır.

Günümüzde SI birim sisteminde kullanılan sıcaklık ölçeği **Celcius ölçeği** dir. Celcius ölçeğinde suyun buz ve buhar noktalarına sırasıyla 0 ve 100°C değerleri verilmiştir.

1.10 Sıcaklık Ölçekleri

Termodinamikte, madde veya maddelerin özelliklerinden bağımsız bir sıcaklık ölçeğinin kullanılması istenir. Bu tür bir sıcaklık ölçeği **termodinamik sıcaklık ölçeği** olarak adlandırılır.

SI birimlerinde termodinamik sıcaklık ölçeği **Kelvin ölçeği** dir ve K ile gösterilir. Kelvin ölçeğinde en düşük sıcaklık 0 K'dir. Kelvin ölçeği ile Celcius ölçeği arasındaki ilişki $T(K)=T(^{\circ}C)+273,15$ bağıntısı ile verilmektedir.