

ÖĞRENME FAALİYETİ-10

AMAÇ

Termodinamik kanunları ile ilgili olayları ve diyagramları kullanabilecek ve motor ile ilişkisini kurabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Termodinamiğin sıfıncı kanunu neyi açıklar? Araştırınız.
- Termodinamiğin birinci kanunu neyi açıklar? Araştırınız.
- Termodinamiğin ikinci kanunu neyi açıklar? Araştırınız.
- Termodinamiğin üçüncü kanunu neyi açıklar? Araştırınız.
- P-V ve T-S diyagramları neyi açıklar? Araştırınız.

10. TERMODİNAMİĞİN KANUNLARI İLE İLGİLİ OLAYLAR VE DİYAGRAMLAR

10.1. Termodinamiğin Sıfıncı Kanunu

Bir cisim, farklı sıcaklıktaki bir cisimle bir araya getirildiği zaman, yüksek sıcaklıktaki cisimden diğerine her iki cismin sıcaklığı eşitlenene kadar ısı geçişi olur ve bu noktada ısı geçişi son bulur ve cisimler ısıl dengede olur. Isıl denge için tek koşul sıcaklıkların eşit olmasıdır.

Termodinamiğin sıfıncı kanunu, iki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısıl dengede olmaları durumunda kendi aralarında da ısıl dengede olacaklarını belirtir. Sıcaklık ölçüm sonuçlarının gerçekliği bu kanuna dayanır. Üçüncü cisim bir termometre olarak alınırsa termodinamiğin sıfıncı kanunu şu şekilde ifade edilir:

Sıcaklıkları aynı değer olarak ölçülen iki cisim birbirleriyle temas etmeseler de ısıl dengededir.

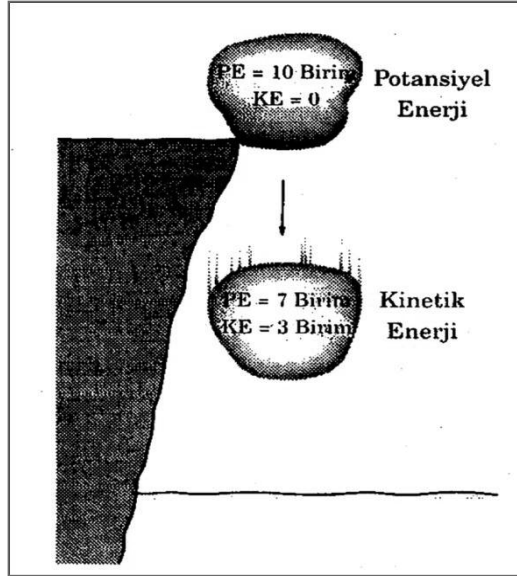
Bir başka deyişle, iki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

Adından da anlaşılacağı gibi temel bir fizik ilkesi olarak değeri, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarının ortaya konmasından yarım yüzyılı aşkın bir süre sonra anlaşılabilmiştir. Birinci ve ikinci kanundan önce gelmesi gerektiği için adı **sıfıncı kanun** diye konmuştur. Bu kanun ilk olarak 1931 yılında R. H. Fowler tarafından ortaya konmuştur.

10.2. Termodinamiğin Birinci Kanunu

10.2.1. Tanımı

Termodinamiğin birinci kanunu veya diğer adıyla enerjinin korunumu ilkesi deneysel gözlemlere dayanarak enerjinin var veya yok edilemeyeceğini ancak bir enerji biçiminden diğerine dönüşebileceğini vurgular. Birinci kanunu matematiksel olarak kanıtlamak olanaksızdır fakat doğadaki hâl değişimlerinin tümünün birinci kanuna uyduğu bilinir. Bu da yeterli bir kanıt olarak sayılabilir. Örneğin, dağın üzerinde bulunan bir taşın potansiyel enerjiye sahip olduğu ve düştüğü zaman bu enerjinin bir bölümünün kinetik enerjiye dönüştüğü bilinen bir olgudur. Fakat toplam enerji sabit kalır. Birinci kanunun özü toplam enerji adı verilen özelliğin ortaya konmasıdır (Şekil 10.1).



Şekil 10.1: Termodinamiğin birinci kanunu

Termodinamiğin birinci kanunu şöyle ifade edilir:

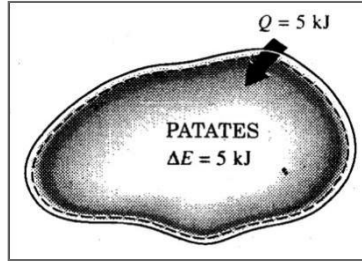
Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.

10.2.2. Kapalı Sistem

Kapalı bir sistem Şekil 1.2’de anlatılmıştı. Kapalı bir sistemde kütle sabittir. Enerji ise sistem sınırını ısı veya iş olarak terk eder. Enerji geçişi sıcaklık farkından dolayı gerçekleşiyorsa sistem sınırından geçen enerji ısıdır, eğer sıcaklık farkı söz konusu değilse veya sistem adyabatikse ($Q=0$ ise) sistem sınırından geçen enerji iştir.

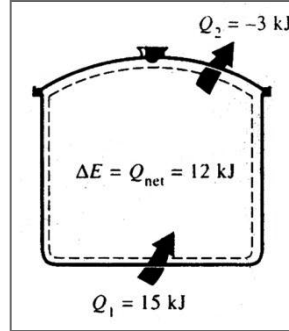
Şimdi önce işin yapılmadığı, sadece ısı geçişinin olduğu birkaç hâl değişimini inceleyelim.

Örnek 1: Şekil 10.2’de gösterilen fırındaki patates örneğini ele alalım. Patatese olan ısı geçişi sonunda patatesin enerjisi artacaktır. Kütle geçişinin başka bir deyişle patatesin nem kaybının olmadığını kabul edersek patatesin toplam enerjisindeki artış ısı geçişine eşit olacaktır. Eğer patatese 5 kJ ısı geçişi olmuşsa patatesin enerjisi de 5 kJ artacaktır. Böylece bu örnek için enerjinin korunumu ilkesi $Q=\Delta E$ şeklinde yazılabilir.



Şekil 10.2: Isı geçişine ait hâl değişimi

Örnek 2: Şekil 10.3’teki, ocakta çaydanlıkla su ısıtılması örneğini inceleyelim. Ocaktan suya 15 kJ ısı geçişi olur ve bunun 3 kJ kadarı sudan çevre havaya geçerse suyun enerji artışı 12 kJ olur. Bu da net ısı geçişine eşittir. Yani $Q = Q_{\text{net}} = \Delta E$ şeklinde yazılabilir.



Şekil 10.3: Isı geçişine ait hâl değişimi

Şimdi verdiğimiz iki örneğe göre varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

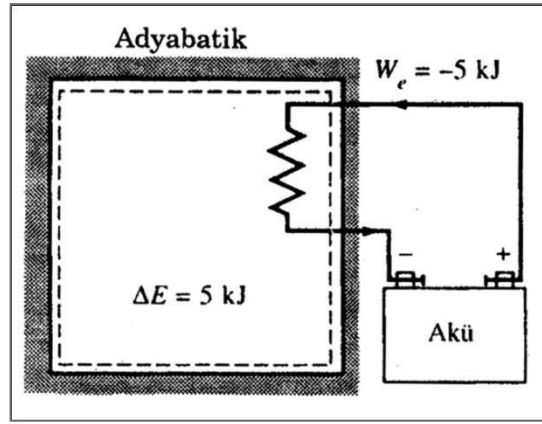
Sistemle çevresi arasında iş etkileşimlerinin olmadığı durumlarda, kapalı sistemin bir hâl değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, sistemle çevresi arasındaki net ısı geçişine eşittir. Matematiksel olarak;

$W = 0$ olması durumunda $Q=\Delta E$ şeklinde yazılır.

Şimdi ısı geçişinin olmadığı, sadece iş geçişinin olduğu birkaç hâl değişimini inceleyelim.

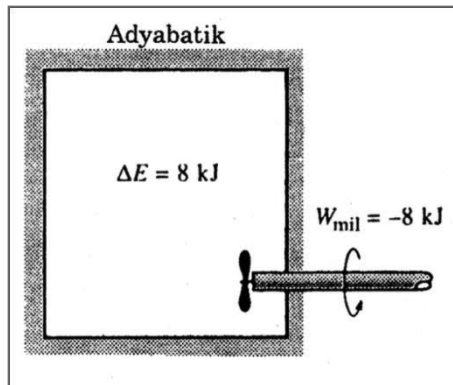
Örnek 1: Şekil 10.4'te sistem olarak elektrikli ısıtıcıyla ısıtılan, iyi yalıtılmış (bu nedenle adyabatik) bir odayı ele alalım. Yapılan elektrik işinin sonunda sistemin enerjisi artacaktır. Sistem adyabatik olduğundan çevreyle ısı alış verişi yoktur. Yani $Q=0$ 'dır. Enerjinin korunumu ilkesine göre sistemin enerji artışının, sistem üzerinde yapılan elektrik işine eşit olması gerekir. Başka bir deyişle;

$-W_e = \Delta E$ şeklinde yazılır. Bu eşitlikteki eksi işaretinin yer alması, sistem üzerinde yapılan işin eksi kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece sistem üzerinde yapılan işin sistemin enerjisini artırması, sistem tarafından yapılan işin de sistemin enerjisini azaltması matematiksel olarak sağlanmış olur.



Şekil 10.4: Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (elektrik işi)

Örnek 2: Şekil 10.5'te bu kez elektrik ısıtıcısını bir pervaneyle değiştirelim. Karıştırma işleminin sonunda sistemin enerjisi artacaktır. Sistem ve çevresi arasında ısı geçişi olmadığı için ($Q=0$), pervanenin sistem üzerinde yaptığı iş, sistemin enerji artışı olarak kendini gösterecektir. Başka bir anlatımla $-W_p = \Delta E$ şeklinde yazılır.



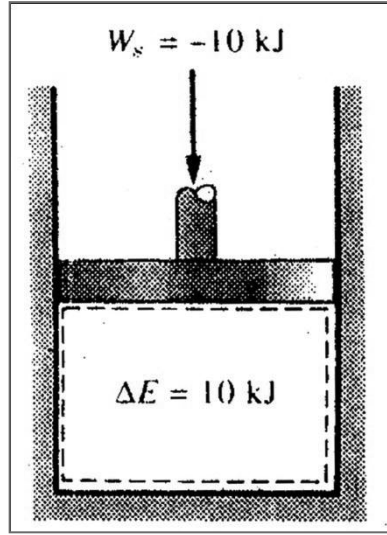
Şekil 10.5: Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (mil işi)

Örnek 3: Şekil 10.6'da piston tarafından sıkıştırılan havanın durumunu ele alalım. Sıkıştırılan havanın sıcaklığının arttığını genelde biliyoruz. Bunun nedeni yapılan sınır işi sonunda havanın enerjisinin artmasıdır. Herhangi bir ısı geçişinin olmaması durumunda ($Q=0$) yapılan tüm iş, havanın toplam enerjisinin bir bölümü olarak depolanacaktır. Gene enerjinin korunumu ilkesine göre, $-W_e = \Delta E$ olacaktır.

Bahsedilen örneklerden varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

Kapalı bir sistemde adyabatik bir hâl değişimi sırasında yapılan bir iş, sistemin toplam enerji değişimine eşittir, sonucuna varılabilir. Matematiksel olarak

$Q=0$ olması durumunda, $-W = \Delta E$ şeklinde yazılır.

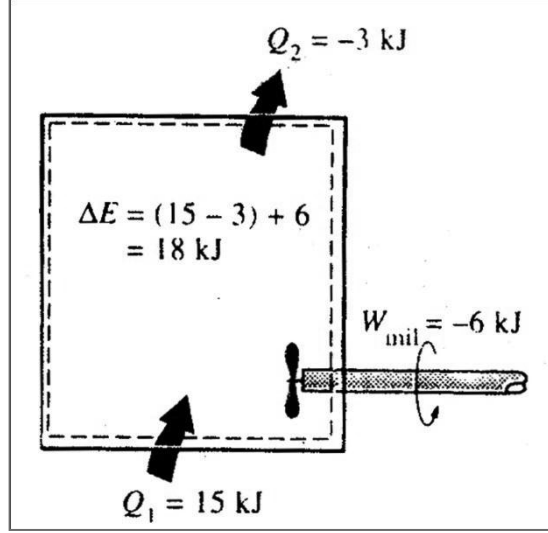


Şekil 10.6: Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan net iş (sınır işi)

Şimdi artık hem iş hem de ısı etkileşimlerinin olduğu hâl değişimlerini inceleyelim.

Eğer bir hâl değişimi sırasında hem iş hem de ısı etkileşimi oluyorsa bu durumda sonuç için her birinin katkısı toplanarak elde edilir. Bunu bir örnekle açıklamaya çalışalım.

Şekil 10.7'de bir sistemin hâl değişimi sırasında, sisteme 15 kJ ısı geçişi oluyor, ayrıca sistem üzerinde pervane tarafından 6 kJ iş yapılıyorsa sistemin bu hâl değişimi sırasındaki net enerji artışı 18 kJ olacaktır.



Şekil 10.7: Hâl değişimi sırasında sistemin enerji değişimi

Bütün incelediğimiz örneklerin sonuçlarını genelleştirirsek **kapalı sistem** olarak tanımlanan, belirli sınırlar içinde bulunan sabit kütle için **termodinamiğin birinci kanunu** veya **enerjinin korunumu ilkesi** şu şekilde ifade edilir:

Sistem veya sistemden ısı veya iş olarak net enerji geçişi = Sistemin toplam enerjisindeki net artış veya azalma. Bunun matematiksel ifadesi ise şöyledir:

$$\boxed{Q - W = \Delta E} \quad (10.1)$$

Burada;

Q = Sistem sınırlarından net ısı geçişini ($= \Sigma Q_g - \Sigma Q_ç$)

W = Değişik biçimleri kapsayan net işi ($= \Sigma W_g - \Sigma W_ç$)

ΔE = Sistemdeki toplam enerji değişimini ($E_2 - E_1$) göstermektedir.

g ve **ç** indisleri sistem sınırlarından **giren** veya **çıkan** ısıyı veya işi göstermektedir.

Sistemin toplam enerjisi E , üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar:

İç enerji **U**, kinetik enerji **KE** ve potansiyel enerji **PE**'dir.

Bu nedenle bir hâl değişimi sırasında sistemin toplam enerjisinin değişimi, iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamı olarak ifade edilir ve şu bağıntı ile gösterilir:

$$\boxed{\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE} \quad (\text{kJ}) \quad (10.2)$$

Bu bağıntıyı 1.63 numaralı denklemde yerine koyarsak

$$\boxed{Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE} \quad (\text{kJ}) \quad (10.3)$$

bağıntısı elde edilir. Burada;

$$\Delta U = m \cdot (U_2 - U_1)$$

$$\Delta KE = \left(\frac{m}{2} \right) \cdot (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = m \cdot g(z_2 - z_1) \text{ olmaktadır.}$$

Uygulamalarda karşılaşılan sistemlerin çoğu hareketsizdir, bu nedenle hızlarında veya kütle merkezlerinin bulunduğu noktada hâl değişimi sırasında bir değişiklik olmaz. Böylece hareketsiz kapalı sistemlerin kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimler göz ardı edilebilir ($\Delta KE = \Delta PE = 0$) ve birinci kanun sadeleştirilerek şu bağıntı şeklinde yazılabilir:

$$\boxed{Q - W = \Delta U} \quad (10.4)$$

Eğer ilk ve son hâller verilmişse bu hâllerdeki iç enerjiler $\Delta U = (U_2 - U_1)$ şeklinde denkleme yazılır.

Eğer sistemde sadece kütle hesaba katılacak, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilecekse birinci kanun şu şekilde ifade edilir:

$$\boxed{Q - W = m \cdot (u_2 - u_1)} \quad (10.5)$$

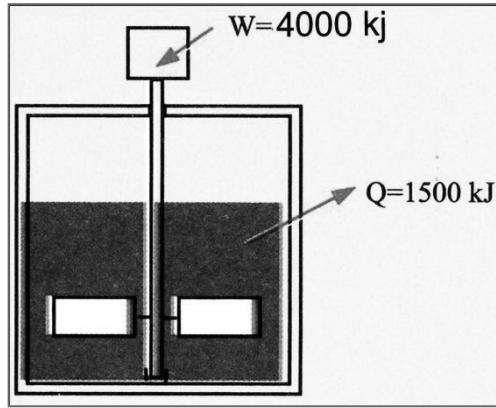
$$U_2 - U_1 = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) \text{ olur.}$$

Örnek problemler:

Tavsiyeler: Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazınız. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan, birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden

çekip kullanarak yapınız. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçiniz. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem veriniz. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapınız. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1: Şekil 10.8’de görüldüğü gibi sıvı, elektrik motoruyla döndürülen bir palet yardımıyla karıştırılmıştır. Paleti çevirmek için 4000 kJ’lük bir iş harcanmış ve bu sırada depodan çevreye 1500 kJ’lük ısı transfer edilmiştir. Sıvı ve depoyu kapalı bir sistem olarak düşünerek sistemin iç enerji değişimini bulunuz.



Şekil 10.8: Örnek problemin şekli

Veriler :

$$Q_g = \text{yok}$$

$$Q - W = \Delta U$$

$$Q_\phi = -1500 \text{ kJ}$$

$$(Q_g - Q_\phi) - (W_g - W_\phi) = \Delta U \text{ buradan,}$$

$$W_g = -4000 \text{ kJ}$$

$$\Delta KE = \Delta PE = 0 \text{ dir. } Q_g = 0 \text{ ve } W_\phi = 0 \text{ olduğu için}$$

$$W_\phi = \text{yok}$$

$$Q_\phi - W_g = \Delta U$$

$$\Delta U = ?$$

$$-1500 - (-4000) = \Delta U$$

$$-1500 + 4000 = \Delta U$$

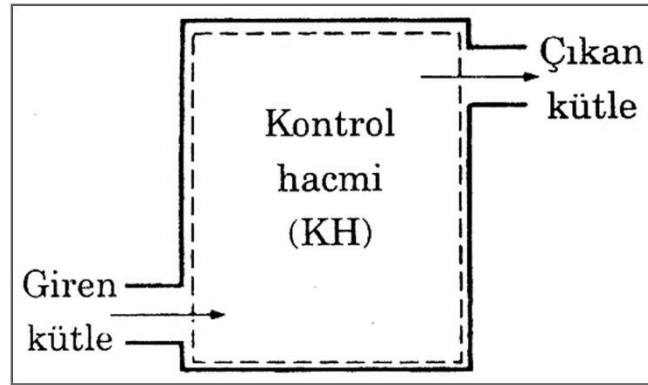
$$\Delta U = 2500 \text{ kJ olarak bulunur.}$$

10.2.3. Açık Sistem

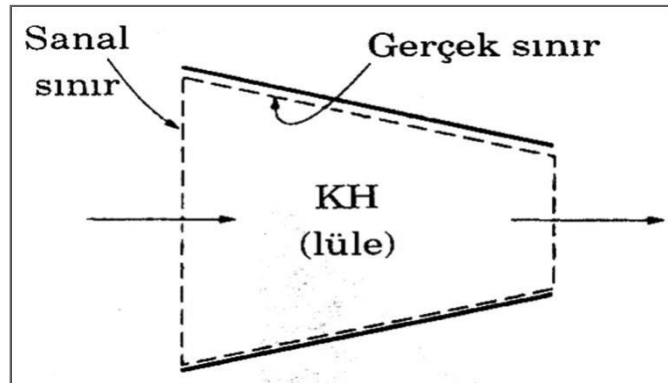
Su ısıtıcısı, otomobil radyatörü, lüle, kompresör içinden kütle akışının olduğu sistemlerdir. Bu sistemler incelenirken kabul edilecek sistem kapalı sistem (kontrol kütlesi) değilse açık sistem (kontrol hacmi) olarak ele alınmalıdır.

Açık sistemin (kontrol hacmi) sınırlarından kütle giriş ve çıkışı vardır (Şekil 10.9). Açık sisteme kütle girdiği zaman sistemin enerjisi artar, kütle çıktığı zaman sistemin enerjisi azalır. Çünkü çıkan kütle kendisiyle birlikte bir miktar enerjiyi de dışarı taşır.

Açık sistemin sınırları kontrol yüzeyi olarak adlandırılır. Kontrol yüzeyi gerçek veya sanal olabilir. Lüle örneğine bakıldığı zaman (Şekil 10.10) lülenin iç yüzeyi sınırın gerçek bölümünü giriş ve çıkıştaki yüzeyler ise sınırın sanal bölümünü oluşturur çünkü giriş ve çıkışta elle tutulur veya gözle görülür bir yüzey yoktur.



Şekil 10.9: Açık sistem



Şekil 10.10: Açık sistemin gerçek ve sanal sınırları

Açık sistemde akışkanın sisteme girmesi veya çıkması için yapılması gereken işe **akış enerjisi** denir. $P \cdot v$ ile gösterilir.

Bir girişli ve bir çıkışlı açık sistemlerde giriş ve çıkış hâlleri 1 ve 2 indisleri ile gösterilir. Açık sistemler için termodinamiğin birinci kanunu veya enerjinin korunumu denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$Q - W = \Delta E + P \cdot v \quad (10.6)$$

Bu denklem hakkında bazı açıklamalar ve kabuller yaparak açık sistemde, akış olan bir ortamda bir akışkanın giriş ve çıkış enerjilerinin aynı anda yazıldığı birim kütle için toplam enerji (genel enerji) denklemini ortaya çıkaracağız.

- Açık sistem, kapalı sistemden fazla olarak akış enerjisine ($P \cdot v$) sahiptir.
- Toplam enerji, akış olmadığı bir ortamda $\Delta E = U + PE + KE$ şeklinde, akış olan bir ortamda ise $\Delta E = P \cdot v + U + PE + KE$ şeklinde ifade edilir. Burada PE potansiyel enerji $PE = m \cdot g \cdot z$, KE kinetik enerji $KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot C^2$ dir.
- $U + P \cdot v = \text{Entalpi}$ 'dir. Birim kütle için entalpi h ile gösterilir. Burada kısaca entalpiye değinelim. Entalpi (H) bir durum özelliğidir. Yaygın (bağımlı) bir özelliktir. Entalpi sistemin iç enerjisi ile basınç ve hacminin çarpımının toplamıdır. $H = U + P \cdot V$ bağıntısı ile ifade edilir. Birim kütle için ise $h = U + P \cdot v$ şeklinde yazılır. Entalpi sadece sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklıkla entalpi arasındaki bağıntı sabit basınçtaki özgül ısı (C_p) ile ifade edilir.
- Kütleli debinin m' değişmediği düşünülür.
- Birim kütle için ısı q şeklinde ifade edilir.

Tüm bu açıklanan bu ifadeler 1.68 bağıntısında yerine yazılacak olursa birim kütlenin toplam enerjisini veren bağıntı şu şekilde ifade edilir:

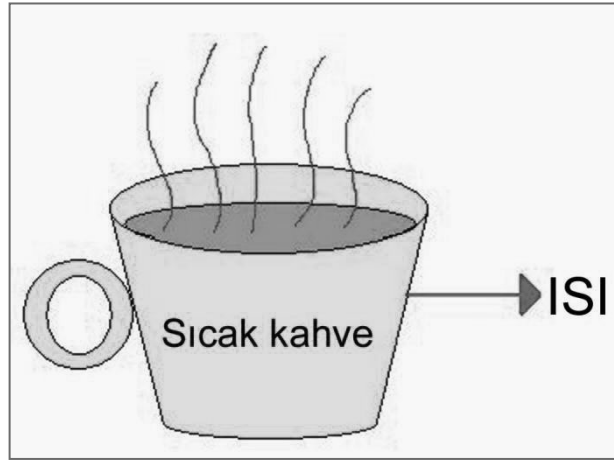
$${}_1q_2 + h_1 + \frac{C_1^2}{2} + g \cdot Z_1 = h_2 + \frac{C_2^2}{2} + g \cdot Z_2 + {}_1w_2 \quad (10.7)$$

10.3. Termodinamiğin İkinci Kanunu

10.3.1. Tanımı

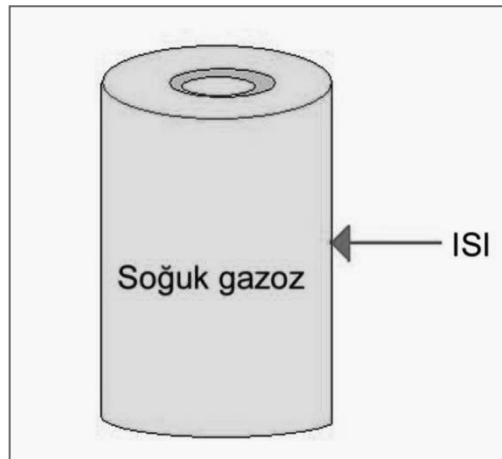
Termodinamiğin ikinci kanununu iyi anlayabilmek için basit birkaç örnek verelim.

Örnek 1: Bir odada masaya bırakılan sıcak bir fincan kahveyi inceleyelim (Şekil 10.11). Sıcak kahveden çevre havaya ısı geçişi olacak, kahve bir süre sonra soğuyacaktır fakat hiçbir zaman kendiliğinden ısınmayacaktır.



Şekil 10.11: Isı geçişi

Örnek 2: Bir odada buzdolabından çıkarılıp masaya bırakılan soğuk bir kutu gazozu inceleyelim (Şekil 10.12). Çevrenin ılık havasından soğuk gazozu ısı geçişi olacak, gazoz bir süre sonra ısınacaktır fakat hiçbir zaman kendiliğinden başlangıç sıcaklığına dönemeyecektir.



Şekil 10.12: Isı geçişi