

# TERMODİNAMİĞİN TEMEL YASALARI

- **Giriş**

Yoktan enerji üretmek ve ısıyı işe dönüştürmek için yapılan çalışmalar sonucu **termodinamik** bilim dalı ortaya çıkmıştır. Fiziksel ve kimyasal olaylardaki denge konumu termodinamik ile incelenir.

Olaylar sırasındaki her türden enerji alışverişi, olayların kendiliğinden olma eğilimi ve denge konumu termodinamik ile belirlenir. Termodinamiğin deneyler sonucu ortaya çıkan dört temel yasası vardır.

Bunların en basiti olmasına karşın en sonra kabul edilen sıfırıncı yasanın getirdiği **termal denge** kavramı ile **keyfi sıcaklık ölçümü** yapılır.

Yoktan enerji elde etmek için düşünülen **birinci türden sürekli hareket makinası** yapılamadığından birinci yasa,

ısının tümünün işe dönüştürülmesi için düşünülen **ikinci türden sürekli hareket makinası** yapılamadığından ise ikinci yasa ortaya çıkmıştır.

Birinci yasa içinde **iç enerji (U)** ve **entalpi (H)** hal fonksiyonları, ikinci yasa içinde ise **entropi (S)** hal fonksiyonu ile **mutlak sıcaklık (T)** tanımlanmıştır.

# TERMODİNAMİĞİN TEMEL YASALARI

- **Giriş**

İç enerji ve entalpi fonksiyonlarının mutlak değerleri belirlenemediği halde daha sonraları ileri sürülen üçüncü yasa ile entropinin mutlak değerinin ölçülebileceği gösterilmiştir.

Mutlak değeri ölçülebilen nicelikler hal değişkeni olarak tanımlandığından dolayı entropi yerine göre bir hal fonksiyonu ya da bir hal değişkeni olarak kullanılabilir.

Değişimi, sabit hacim altında yürüyen olaylardaki ısı alışverişine eşit olan iç enerji fonksiyonu; değişimi, sabit basınç altında yürüyen olaylardaki ısı alışverişine eşit olan entalpi fonksiyonu ve sistemin düzensizliğinin bir ölçüsü olan entropi fonksiyonu kullanılarak fiziksel ve kimyasal olayların tümü termodinamik olarak incelenebilmektedir.

Bununla beraber, yapılması gereken termodinamik incelemeleri daha basitleştirmek için birinci ve ikinci yasalardan ortaya çıkan termodinamik fonksiyonlara bağımlı olarak sabit hacim altında yürüyen olaylar için **Helmholtz enerjisi** adı verilen **serbest iç enerji (A)** ve sabit basınç altında yürüyen olaylar için **Gibbs enerjisi** adı verilen **serbest entalpi (G)** hal fonksiyonları tanımlanmıştır.



# TERMODİNAMİĞİN TEMEL YASALARI

- **Giriş**

Bu bölümde termodinamiğin temel yasaları, bu yasalardan tanımlanan termodinamik hal fonksiyonlarının özellikleri ile bu fonksiyonların birbirine ve hal değişkenlerine bağımlılıkları incelenecektir.

Fiziksel ya da kimyasal bir olayın termodinamik yoldan incelenmesi demek, olay sırasındaki ısı ve iş alışverişi ile U, H, S, A ve G fonksiyonlarındaki değişimlerin bulunarak sonuçların değerlendirilmesi demektir.

Termodinamik ile yalnızca **olayların yönü** ve **denge konumu** incelenmektedir.

Başlangıçtan denge konumuna gelene kadar olayın zamanla değişiminin belirlenmesi termodinamik bir inceleme değil **kinetik** bir incelemedir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

- Enerjinin Korunumu

Yoktan enerji üretmek ya da var olan enerjiyi yok etmek için yapılan çalışmaların başarısızlıkla sonuçlanmasından birinci yasa ortaya çıkmıştır. Işın ısıya dönüşümü Benjamin Thomson (1753 - 1814) ve James Prescott Joule {1818 - 1887) tarafından nicel olarak incelenmiştir.

Diğer enerji türlerinin tümüyle ısıya dönüştüğünü denel yoldan gösteren Joule 1840 yılında **1 cal**'lik ısıнын **4,184 J** değerindeki işe eşit olduğunu bulmuştur.

Bu alandaki benzer çalışmalar da göz önüne alınarak «**evrendeki enerji sabittir**» şeklinde özetlenebilen **termodinamiğin birinci yasası** kabul edilmiştir.

Bu yasaya göre, enerji var iken yok, yok iken de var edilemez ancak bir halden diğer bir hale dönüştürülebilir. Enerjinin yaratılamayacağı ve yok edilemeyeceği düşünülerek tüm fiziksel ve kimyasal olaylar için enerji denklikleri yazılır.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

- **Enerjinin Korunumu**

Albert Einstein tarafından kuramsal yoldan bulunan enerji ile kütle arasındaki  $E = mc^2$  ilişkisi daha sonraları deneysel yoldan da doğrulanmıştır. Çok özel ve çok zor koşullarda olsa bile kütle ile enerjinin birbirine dönüşebileceğini ortaya koyan bu bağıntı uyarınca kütleye enerjinin yoğunlaşmış şekli olarak bakılabilir.

Buna göre, kütle korunumu yasası da termodinamiğin birinci yasasının kapsamı içinde düşünülebilir. Maddenin korunumu yasası uyarınca kütle ve mol denklikleri yazılır.

Tüm sistem ve sistemdeki bileşenlerden her biri için yazılabilen bu denklikler yardımıyla bilinmeyen madde miktarları bulunur.

Kimyasal olaylarda molar miktarlar değişeceğinden dolayı stokiyometrik tepkime göz önüne alınarak madde ve enerji denklikleri yazılır.

Bir sistem için yazılan madde ve enerji denkliklerinin ortak çözümünden tüm stokiyometrik hesaplamalar yapılabilir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Enerji ve enerji türleri

Bir sistemin iş yapabilme kapasitesine **enerji** adı verilir. Buna göre, iş yapan bir sistemin enerjisi azalırken iş alan bir sistemin enerjisi artar. Benzer şekilde, ısı salan bir sistemin enerjisi azalırken ısı alan bir sistemin enerjisi artar.

Sistem ile ortam arasındaki sıcaklık farkından doğan enerji akışına **ısı**, basınç farkından doğan enerji akışına ise **iş** adı verilir. Tüm enerji türlerinin ana kaynağı Güneştir. En çok kullandığımız enerji türlerini ısı, elektrik enerjisi ve mekanik enerji şeklinde sıralayabiliriz.

Kömür ve petrol türevleri yakılarak konutların ve endüstrinin gereksinimi olan ısı sağlanmaktadır. Bu fosil yakıtların yakılması sırasında kimyasal enerji tümüyle ısıya dönüşmektedir. Işıma ile ısı salan güneş en büyük ısı kaynağımızdır.

Elektrik enerjisi termoelektrik, nükleer ve hidroelektrik enerji santrallerinde üretilmektedir. Kimyasal enerji yanma ile ısıya, bir kazandaki su buharının sıcaklık ve basıncını yükselten bu ısının bir kısmı mekanik enerjiye ve türbinden geçirilen buharın mekanik enerjisi de elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Enerji ve enerji türleri

Termoelektrik santrallarda uygulanan bu işlem ısının nükleer yakıtlardan sağlandığı nükleer santrallerde de aynıdır.

Hidroelektrik santrallarda ise suyun potansiyel enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Elektrik enerjisi aydınlanma yanında çeşitli aygıtlar yardımıyla ısı ve mekanik enerjiye dönüştürülerek kolaylıkla kullanılmaktadır.

Kara, deniz ve havada yol alan her türden nakil araçlarının motorlarında sıvı yakıtların kimyasal enerjisi yanma sırasında önce ısıya sonra da ısının bir kısmı mekanik enerjiye dönüştürülmektedir.

Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine doğrudan ve çok büyük bir verimle çeviren düzeneklere **pil** adı verilmektedir.

Son yıllarda küçük enerjiler üretebilen bu pillere benzer şekilde büyük enerji üretebilen **yakıtlı hücreler** geliştirilmiştir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Potansiyel enerji

Bir sistemin konumundan dolayı kazandığı enerjiye **potansiyel enerji** adı verilir. Kütlesi  $m$  olan bir sistemin yer çekimi ivmesinin  $g$  olduğu bir yerdeki ağırlığı bu sistemi yerin merkezine doğru çeken kuvvet olup  $F = mg$  şeklinde yazılır.

Yer yüzeyinden  $z$  yüksekliğine çıkarılan bu sistemin potansiyel enerjisi aşağıdaki gibidir.

$$E_p = \int_0^z F dz = mg \int_0^z dz = mgz$$

Denge konumuna göre,  $z$  uzunluğunda gerilmiş veya sıkıştırılmış Hook sabiti  $k$  olan bir yay üzerine uygulanan kuvvet  $F_{\text{yay}} = kz$ , yayın potansiyel enerjisi ise

$$E_{\text{yay}} = \int_0^z F dz = k \int_0^z z dz = \frac{1}{2} kz^2$$

şeklindedir.

Yay denge konumuna gelirken ilişkili olduğu sistemle iş alışverişine bulunur.

«*Her türden potansiyel enerji bir mekanik enerjidir.*»



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Kinetik enerji

Kütlesi  $m$ , hızı  $\dot{z} = dz/dt$  ve ivmesi  $\ddot{z} = d\dot{z}/dt = d^2z/dt^2$  olan bir sistemin momentumu  $m\dot{z}$ , bu momentumun zamanla değışme hızı olan kuvvet  $F_z = d(m\dot{z})/dt = m(d\dot{z}/dt) = m\ddot{z}$  olarak tanımlandığına göre, eylemsizliğin bir ölçüsü olan kinetik enerji,

$$E_K = \int_0^z F_z dz = \int_0^z \left( \frac{d\dot{z}}{dt} \right) dz = m \int_0^z \left( \frac{dz}{dt} \right) d\dot{z} = m \int_0^z \dot{z} d\dot{z} = \frac{1}{2} m \dot{z}^2$$

olur.

Kütlesi  $m$  olan bir sistemin bir merkez noktadan  $r$  uzaklıkta dairesel hareket yaptığını düşünelim. Çizgisel hızı  $\dot{z}$ , açısal hızı  $\omega = \dot{\theta} = \dot{z}/r$ , ivmesi  $\ddot{z} = \dot{\omega} = \dot{\dot{z}}/r$ , açısal momentumu  $L = m\dot{z}r$  ve merkezkaç kuvveti  $F = m\dot{z}^2/r = m\dot{\theta}^2 r$  olan bir dairesel dönme hareketinin kinetik enerjisi,

$$E_K = \frac{1}{2} m \dot{z}^2 = \frac{1}{2} m r^2 \frac{\dot{z}^2}{r^2} = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} I \omega^2$$

olur. Burada  **$I$  eylemsizlik momenti** dir.

*«Her türden kinetik enerji bir mekanik enerjidir.»*

# TERMODİNAMIĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Kinetik enerji

Mekanik enerjiler birbirlerine ve ısıya tam olarak dönüştüğü halde ısı hiç bir durumda kendiliğinden diğer enerji türlerine dönüşmez.

İş üretmek için kullanılan mekanik enerji ve elektrik enerjisinin bir kısmı da sürtünmelerden dolayı kendiliğinden ısıya dönüşür.

Sürtünme kuvveti yağlama ile düşürülerek iş kayıpları önlenir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ Elektrik enerjisi

Direnci  $R$  olan bir İletkenden  $\Delta\phi$  potansiyel farkı altında  $I$  akım şiddeti ile  $t$  sürede akan elektrik enerjisi,  $Q$  devreden geçen toplam elektrik yükü ve Ohm yasasına göre direnç  $R = \Delta\phi/I$  olmak üzere,

$$E_e = \Delta\phi Q = \Delta\phi It = RI^2t \quad \text{şeklinde verilir.}$$

## ✓ Enerji paketi: Kuantum

Her dalga boyundaki ışını yutarak enerjisini yükselten maddelere **siyah cisim** denir. Işınları absorplayarak ısınan siyah cisim kendisinden daha soğuk bir ortama konulduğunda sürekli olarak değil de paketler halinde enerji yayınlamaktadır. Bu enerji paketlerine kuantum adı verilmektedir. Bir kuantumun enerjisi

$$E = h\nu = hc/\lambda = pc \quad \text{şeklinde verilebilir.}$$

Burada  $h$  Planck sabitini,  $\nu$  ışığın frekansını,  $\lambda$  ışığın dalga boyunu,  $c$  ışık hızını,  $p$  ise ışığın madde doğası göz önüne alındığında momentumu göstermektedir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İç enerji

Bir sistemi oluşturan atom, iyon ve molekül gibi en küçük yapı taşlarının sahip olduğu tüm enerjilerin toplamına **iç enerji** adı verilir.

Sistemle ortam arasında iş ve ısı alışverişleri olmadığı sürece bir sistemin iç enerjisi bu sistemin konumundan dolayı kazandığı potansiyel enerji ve eylemsizliğinden dolayı kazandığı kinetik enerjiden bağımsızdır.

Bir mol madde için iç enerjisi  $U$ ,  $n$  mol için ise  $u$  ( $= nU$ ) olmak üzere, bir sistemin iç enerjisi için genel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$U = U_0 + U_{\text{tit}} + U_{\text{dön}} + U_{\text{öte}} + U_{\text{elek}} + U_{\text{çek}}$$

$U_0 = mc^2$  (sistemin kütesine karşılık gelen durgun enerji). Bu durgun enerji ışık hızına yaklaşılmadıkça değişmez; taneciklerin titreşim, dönme, ötelenme, elektron ve çekirdek enerjileri ise fiziksel ve kimyasal olaylar sırasında önemli ölçüde değişir.

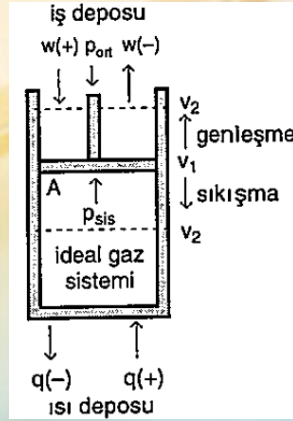
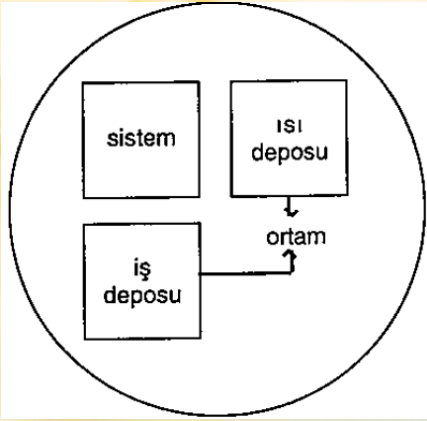
Durgun enerji kesin olarak bilinir, diğer enerjiler ise ölçülemez ve iç enerjinin mutlak değeri de tam olarak belirlenemez. Ancak, fiziksel ve kimyasal olaylar sırasındaki iç enerji değişimi kesin olarak ölçülebilmektedir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İç enerji

Yanında ortam olarak ısı ve iş depoları bulunan bir sistem düşünelim. Sistem ve ortam topluluğunun dışında evren bulunmaktadır. Sistem ve ortamdaki değişmelerin cebirsel toplamı evrendeki değişmeyi verir.



Hareketli bir pistonla bir silindir içine hapsedilmiş bir miktar ideal gaz en basit kapalı bir termodinamik sistem olarak düşünülebilir. Sistem ile ortam arasındaki ısı ve iş alışverişleri sistemin iç enerjisinin değişmesine neden olur.

Sisteme gelen yani sistemin iç enerjisini artıracak yöndeki iş ve ısılar artı, sistemden giden yani sistemin iç enerjisini azaltacak yöndeki iş ve ısılar ise eksi olarak işaretlenmiştir. Sistem ile ortam arasındaki ısı ve iş alışverişlerinin cebirsel toplamı sistemin iç enerjisindeki değişimi verir.

$\Delta u = q + w$  yazılır. **Termodinamiğin birinci yasasının matematiksel tanımı** olan bu bağıntı diferansiyel olarak aşağıdaki gibi verilir.

$$du = \delta q + \delta w$$

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İç enerji

Mutlak değerlerini ölçemesek bile bir sistemin bir olaydan önce ve sonraki halleri için iç enerjileri vardır. Olaydan önce hiçbir değeri olmayan ısı ve iş alışverişleri ise olayla başlar ve olay sona erdiğinde belli bir değere ulaşarak ortadan kalkar. Buna göre, son bağıntının ilk ve son haller arasındaki integrali alınarak

$$\int_{u_1}^{u_2} du = \int_0^q \delta q = \int_0^w \delta w \quad \rightarrow \quad u_2 - u_1 = \Delta u = q + w$$

eşitliği bulunur. Buradaki  $\Delta$  işareti var olan iki değer arasındaki farkı göstermektedir. Isı ve iş için ise var olan iki değer söz konusu değildir. İlk ve son hal üst üste çakıştığında yani bir halden çıkılıp art arda gelen çeşitli yollar izlenerek aynı hale geri dönüldüğünde bir **çevrim** yapılmış olur.

Bir çevrim boyunca iç enerji değişimi sıfır olduğu halde ısı ve iş alışverişleri sıfırdan farklıdır. Bir çevrim boyunca integral alınarak yazılan aşağıdaki bağıntı termodinamiğin birinci yasasının en genel matematiksel tanımıdır.

$\oint du = \oint \delta q = \oint \delta w = 0$  Bir çevrim boyunca toplamları sıfırdan farklı olan ısı ve iş alışverişleri son bağıntı uyarınca ters işaretli birbirine eşittir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İş türleri ve işin bulunması

Bir sistem tarafından uygulanan bir  $F_z$  kuvveti ile ortamdaki bir maddenin yeri  $dz$  kadar değiştiriliyorsa ortama akan diferansiyel iş  $\delta w = F_z dz$  olacaktır. Bu durumda, ortama verilen iş artı işaretli olacaktır.

Sistemden ortama akan işin eksi işaretli olması gerektiğinden, diferansiyel iş  $\delta w = - F_z dz$  şeklinde yazılır. Bir şiddet özeliği olan kuvvet ile bir kapasite özeliği olan yol uzunluğunun çarpımı bir kapasite özeliği olan işi vermektedir.

Şekilde görülen sistemde kesiti  $A$  ve üzerindeki basınç  $p_{ort}$  olan bir pistonu ortamdaki uygulanan basınç kuvveti  $F_z = p_{ort} A$  olacaktır. Bu basınç kuvvetini yenerek pistonu  $dz$  kadar yukarıya iten gazın ortama yaptığı **diferansiyel iş**,

$$\delta w = - F_z dz = - p_{ort} A dz = - p_{ort} dv \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Genleşme sırasında hacim değişimi artı işaretli olduğundan iş eksi işaretli, sıkışma sırasında ise hacim değişimi eksi işaretli olduğundan iş artı işaretli olacaktır.

Tersinir genleşme ve sıkışmalarda ortamın basıncı yerine büyük bir yaklaşımla sistemin basıncı alınabilir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İş türleri ve işin bulunması

Tersinir genleşme sırasında sistemin basıncı ortamın basıncından, tersinir sıkışma sırasında ise ortamın basıncı sistemin basıncından diferansiyel ölçüde yani  $p$  kadar büyüktür.

Sistem ve ortam basınçları arasındaki fark yükseldikçe gitgide tersinirlikten uzaklaşan sistemde tersinmez genleşme ya da tersinmez sıkışma olur. Buna göre, tersinir genleşme ya da sıkışma her an geriye dönülebilecek şekilde çok uzun sürede yapıldığı halde, tersinmez genleşme ya da sıkışma olay başladıktan sonra geriye dönülemeyecek şekilde kendiliğinden çok hızlı olmaktadır.

Tersinmez olaylardaki iş diferansiyel denkleminin iki hal arasındaki integrali alınarak, tersinir olaylardaki aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\delta w = -p_{\text{ort}} dv \stackrel{tr}{\Leftrightarrow} -pdv$$

Son İki bağıntı kullanılarak sırayla tersinmez ve tersinir olaylardaki işlerin hesaplanmasında pistonun ağırlığı ve piston ile silindir arasındaki sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İş türleri ve işin bulunması

Sistemdeki maddenin, örneğin İdeal bir gazın hacmi; sıcaklık, basınç ve mol değişkenlerinin fonksiyonu olarak yazılıp tam diferansiyel bağıntısında yerine yazılırsa tersinmez olaylar için aşağıdaki sonuca varılır.

$$v = f(T, p, n)$$

$$dv = \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_{p,n} dT + \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_{T,n} dp + \left( \frac{\partial v}{\partial n} \right)_{T,p} dn$$

$$\delta w = -p_{ort} dv = -p_{ort} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_{p,n} dT - p_{ort} \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_{T,n} dp - p_{ort} \left( \frac{\partial v}{\partial n} \right)_{T,p} dn$$

$$\delta w = -p_{ort} \alpha dT + p_{ort} \kappa dp - p_{ort} V dn$$

$$\delta w = \delta w \text{ (termal iş)} + \delta w \text{ (teknik iş)} + \delta w \text{ (madde işi)}$$

Aynı bağıntılar  $p_{ort}$  yerine  $p$  alındığında tersinir olaylar için de geçerlidir.

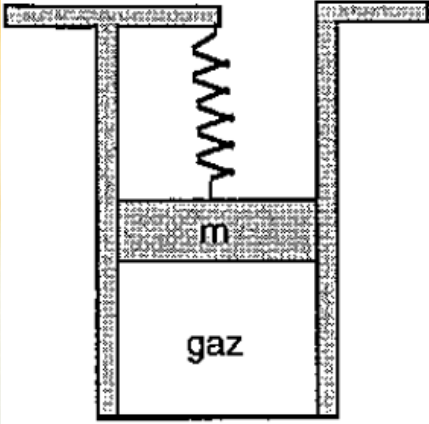
Yukarıdaki  $\alpha$  ve  $\kappa$  sırayla genleşme ve bastırılabilme katsayılarını,  $v$  toplam hacmi  $V$  ise molar hacmi göstermektedir.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İş türleri ve işin bulunması

Sıcaklık değişiminin neden olduğu hacim değişiminden kaynaklanan işe **termal iş**, basınç değişiminin neden olduğu hacim değişiminden kaynaklanan işe **teknik iş**, madde miktarı değişiminin neden olduğu hacim değişiminden kaynaklanan işe ise **madde işi** adı verilmektedir.

Bir silindirin sabit basınç ve sıcaklıkta bir gaz ile doldurulması ya da dolu silindirin boşaltılması sırasında sistem ile ortam arasında madde işi alışverişi olur.



Ağırlığı, eylemsizliği ve sürtünmesi ihmal edilemeyecek kadar büyük olan bir yaya bağlanmış bir pistonun bulunduğu basit bir termodinamik sistem.

$$F = F_{\text{gaz}} + F_{\text{sür}} + F_{\text{ağ}} + F_{\text{ey}} + F_{\text{yay}} \quad (2.1.15)$$

$$F = p_{\text{ort}} A + F_{\text{sür}} + mg + m\ddot{z} + kz$$

Sürtünme kuvveti hareket yönüne ters yönde etmektedir. Aynı yöndeki bir harekete etkileyen yay kuvveti yay denge konumuna göre uzarken hangi yönde ise kısalırken ters yöndedir.



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## ✓ İş türleri ve işin bulunması

Son bağıntı tersinmez olaylar için geçerli olan diferansiyel iş bağıntısından yerine konularak belirti integral alınır,

$$\delta w = -Fdz = -[p_{\text{ort}} Adz + F_{\text{sür}} dz + mg dz + m\ddot{z} dz + kz dz]$$

$$w = -[p_{\text{ort}} (v_2 - v_1) + F_{\text{sür}} (z_2 - z_1) + mg (z_2 - z_1) + m (\dot{z}_2^2 - \dot{z}_1^2) + k(z_2^2 - z_1^2)/2]$$

şeklinde işlerin cebirsel toplamı olarak **net iş** bulunur.

Hareketin yönüne göre diğer enerjilerin işaretleri kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## Örnek : Enerjinin korunumu

Isınma ısı **Dulong** ve **Pelit** kuralı ile hesaplanabilen, erime sıcaklığı  $327,5^{\circ}\text{C}$  ve erime ısı  $5,19 \text{ kJmol}^{-1}$  olan bir kurşun parçası tahtadan bir hedefe hızla fırlatılmaktadır. İlk sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  olan kurşunun çarpma sırasında tümüyle erimesi için fırlatma hızının ne olması gerektiğini tahtadaki ısınmayı ihmal ederek hesaplayınız.

**Çözüm:** Dulong ve Petit kuralından kurşunun özgül ısınma ısı  $C_p/M = 3R/M = 3 \times 8,314/207 = 0,12 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$  olarak bulunur. Termodinamiğin birinci yasası uyarınca yazılan enerji denkleğinden  $q_e$  kurşunun molar erime ısı olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplama yapılır.

$$(1/2)mv^2 = mc(t_2 - t_1) + m(q_e/M)$$

$$(1/2)v^2 = [0,12 \times (327,5 - 25,0) + (5,19 \times 10^3)/207] \times 10^7, v = 3,5 \times 10^4 \text{ cms}^{-1}$$

**Ödev:** Yerçekimi ivmesinin  $9,81 \text{ ms}^{-2}$  olduğu bir yerde kütlesi  $2,1 \text{ kg}$  olan bir kuş  $85 \text{ m}$  yüksekliğe uçarak yükselmektedir. Son hızı  $25 \text{ ms}^{-1}$  olan kuşun uçuşu sırasındaki enerji değışimi nedir? [2,407 kJ]



# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

## Örnek : Enerji denkliği

Boyutları 5 m, 4 m ve 3 m olan bir odada bulunan 600 W 'lık bir renkli televizyon açıldığından 15dk sonra odanın sıcaklığındaki yükselmeyi bulunuz. Oda duvarlarının ısı sığası  $50 \times 10^3 \text{ J K}^{-1}$  , oda sıcaklığı ve 1 atm basınçtaki yoğunluğu yaklaşık olarak  $1,22 \text{ kgm}^{-3}$  olan havanın ortalama özgül ısınma ısısı ise  $0,71 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$  olarak verilmektedir.

**Çözüm:** TV'dan yayılan ısı = (toplam ısı sığası) x  $\Delta T$

$$600 \times 60 \times 15 = [5 \times 4 \times 3 \times (1,22 \times 10^3) \times 0,71 + 50 \times 10^3] \Delta T , \quad \Delta T = 5,3 \text{ K}$$

**Ödev:** Boyutları 5 m, 4 m ve 4 m olan boş bir odanın sıcaklığını 10 K yükseltmek için gücü 2kW olan bir ısıtıcı hangi sürede çalıştırılmalıdır. Isı kaçağının olmadığı varsayılmaktadır. Duvarlarının ısı sığası  $50 \text{ JK}^{-1}$  olan oda koşullarında havanın özgül ısınma ısısı  $0,72 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ , yoğunluğu ise  $1,22 \text{ kgm}^{-3}$  olarak verilmektedir. [10 dk]