

# Isı Transferi

## Giriş ve Temel Kavramlar-1

**Dünün mühendisi;** zamanının büyük kısmını formüllerde değerleri yerine koyup sayısal sonuçlar elde etmek için harcamıştır.

**Bugün formül işlemleri ve yoğun hesaplar** bilgisayarlara bırakılmaktadır.

**Yarının mühendisi;** en karmaşık problemleri anlayıp formüle etmek ve sonuçları yorumlamak üzere; **temel prensipleri** açıkça anlamak ve iyice kavramak zorundadır.

**Termodinamik;** sistemin denge durumundan diğereine geğerken transfer edilen ısı miktarı ile ilgilenir.

**Isı transferi;** işlemin ne kadar süreceği (ısı transfer hızı) ile ilgilenir.

**Isı transferi mekanizmaları;**

- İletim,
- Taşınım,
- Işınım

**İletim;** parçacıklar arası etkileşme sonucu, enerjinin bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişigindeki daha düşük olana aktarılması,

**Taşınım;** bir katı yüzey ve bitişigindeki hareket halinde olan sıvı ve gaz akışkan arasındaki ısı transferi,

**Işınım;** atom veya moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerin bir sonucu olarak, maddeden elektromanyetik dalga (veya foton) şeklinde yayılan enerji.

**İkinci kanun;** enerji transferi daima yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru gerçekleşir. Sıcaklıklar eşitlendiğinde ısı transferi tamamlanır.

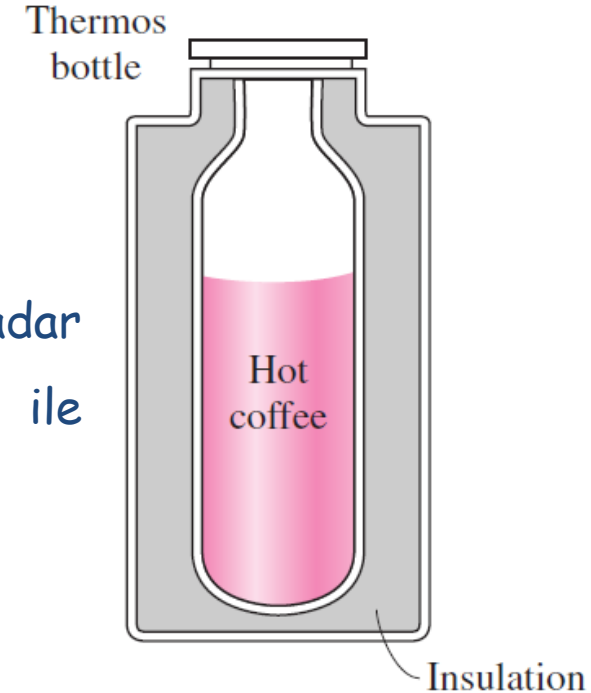
**Isı;** sıcaklık farkının sonucu olarak bir sistemden diğerine transfer edilen enerjidir.

**Isı transferi;** enerji transfer hızının belirlenmesi ile ilgilenir.

**TD çözümlleme;** belirli bir durum değişimini gerçekleştirmek için gereken ısı miktarını söyler. **İşlemin** ne kadar **süreceği** ile ilgili **bilgi vermez.**

**Örneğin;** termos içerisindeki  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki kahvenin  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ye kadar soğuduğunda aktarılan ısı miktarı TD çözümlleme ile belirlenebilir.

Bir termostaki sıcak kahvenin belirli bir sıcaklığa kadar soğumasının ne kadar zaman alacağı "Isı transferi" ile belirlenir.



Fakat kullanıcı için önemli olan **soğumanın ne kadar süreceğidir.**

Bu ise **ısı transferinin** konusudur.

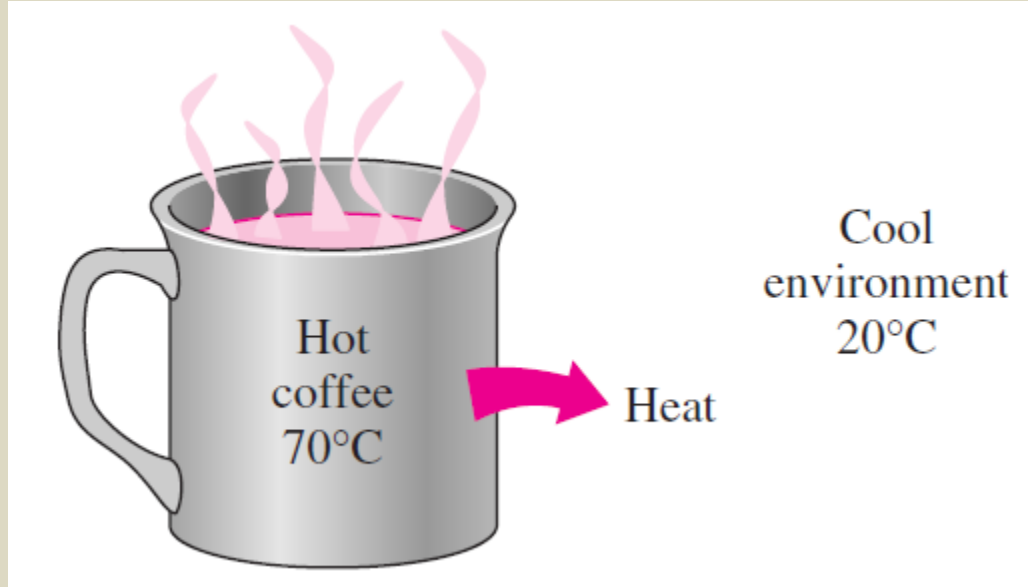
**TD;** denge durumları ile bir denge durumundan diğer denge durumuna olan değişimler ile ilgilenir.

**Isı transferi;** ısı dengesi bozulmuş sistemler ile ilgilenir.

Bu yüzden ısı transferi çalışmaları sadece TD prensiplere dayanmaz. **TD kanunları, ısı transferi bilimi için bir çerçeve oluşturur.**

**TD'in 1. kanunu;** bir sisteme olan enerji transfer hızının, o sistemdeki enerji artış hızına eşit olmasını gerektirir.

**TD'in 2. kanunu;** ısının azalan sıcaklık yönde transfer edilmesi gerektiğini ifade eder.



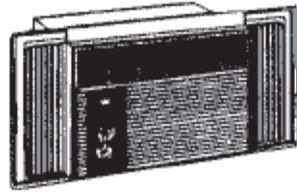
Isı transferi için zorlayıcı etki sıcaklık (T) farkıdır. Belirli bir yöndeki ısı transfer hızı, o yöndeki sıcaklık gradyanının büyüklüğüne bağlıdır.

**Sıcaklık gradyanı;** birim uzunluk başına T farkı veya T'deki değişim hızıdır. T gradyanı ne kadar büyükse ısı transfer hızı da o kadar yüksektir.

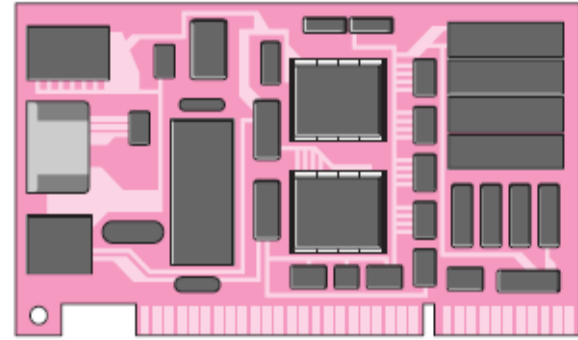
# Isı transferi uygulama alanları



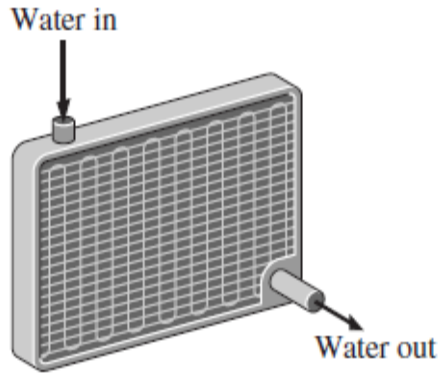
The human body



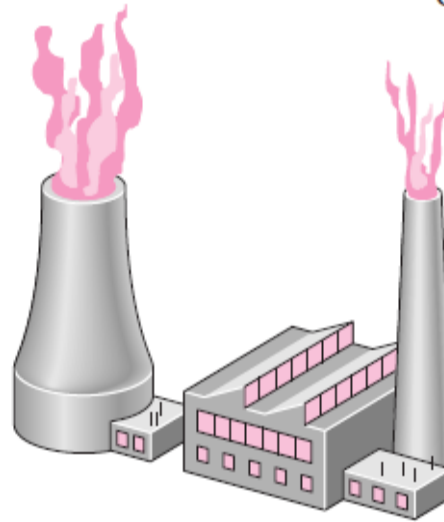
Air-conditioning systems



Circuit boards



Car radiators



Power plants



Refrigeration systems

# Mühendislik ısı transferi

Uygulamada karşılaşılan ısı transferi problemleri 2 grupta incelenebilir;

- **Isı transfer hızı hesaplama**; belirli bir  $T$  farkı için, var olan bir sistemin ısı transfer hızının belirlenmesi
- **Boyutlandırma**; tanımlı bir  $T$  farkı durumunda, belirli bir hızda ısı transfer edilmesi için bir sistemin boyutunun belirlenmesi problemleri.

# Mühendislikte modelleme

Fiziksel problemlerin matematik modellenmesi.



Bilim ve mühendislikte geniş ölçekteki problemleri incelemek için dif.denk.ler kullanılır.

Fakat uygulamada karşılaşılan çoğu problem, dif.denk. lere gerek kalmadan çözülebilir.

Kesin sonuç veren modeller karmaşık olup çözüm süresi uzundur.

Basit modeller ise kolayca çözülebilir fakat yeterli hassasiyette değildir.

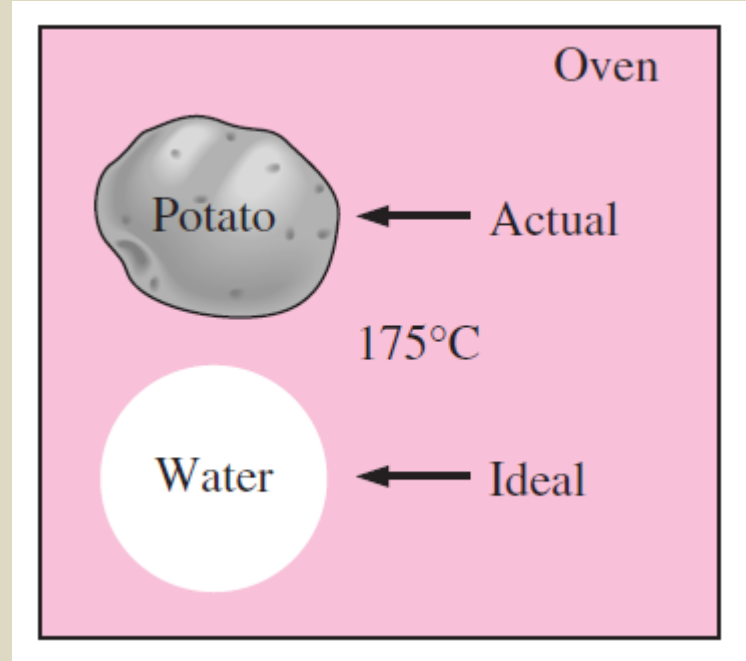
Problem çözülürken bu iki yöntem arasında tercih yapılmalıdır.

**Doğru çözüm;** yeterli sonuçları veren en basit modeldir.

Model gösterdiği fiziksel problemin temel özelliklerini yansıtmalıdır.

Bir çözümlenmeden elde edilen sonuçların, problem basitleştirilirken yapılan kabuller ölçüsünde hassas olacağı unutulmamalıdır.

Patatesin fırında pişirilmesi işlemi, su özelliklerine sahip küresel katı bir top gibi modellenerek, analitik olarak basit bir şekilde incelenebilir.



Bir binanın ısı kayıpları çözümlenirken, en kötü şartlardaki ısı kayıpları dikkate alınır ve bu ısı kayıplarını karşılamaya yetecek bir kazan emniyet faktörü dikkate alınarak seçilir.

## Isı ve enerjinin diğer türleri

**Enerji türleri;** ısı, mekanik, KE, PE, elektrik, manyetik, kimyasal ve nükleer enerji.

Bunların toplamı sistemin **toplam enerjisini** (E) oluşturur.

**Mikroskopik enerji;** sistemin moleküler yapısıyla ve moleküler hareketliliği ile ilgili enerji.

**İç enerji** (U); bütün mikroskopik enerji biçimlerinin toplamı.

Uluslar arası enerji birimi, joule (J) dır.

Bir başka enerji birimi **kalori**dir. 14,5 °C deki 1 g suyun sıcaklığını 1 °C arttırmak için gerekli enerjidir.

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

**İç enerji**; moleküllerin KE ve PE lerinin toplamı olarak da tanımlanır.

**Duyulur enerji** veya **duyulur ısı**; sistemin **iç enerjisinin** moleküllerin **KE ile ilgili** kısmıdır.

**Gizli enerji** (gizli ısı); sistemin **faz durumu** ile ilgili iç enerjisidir.

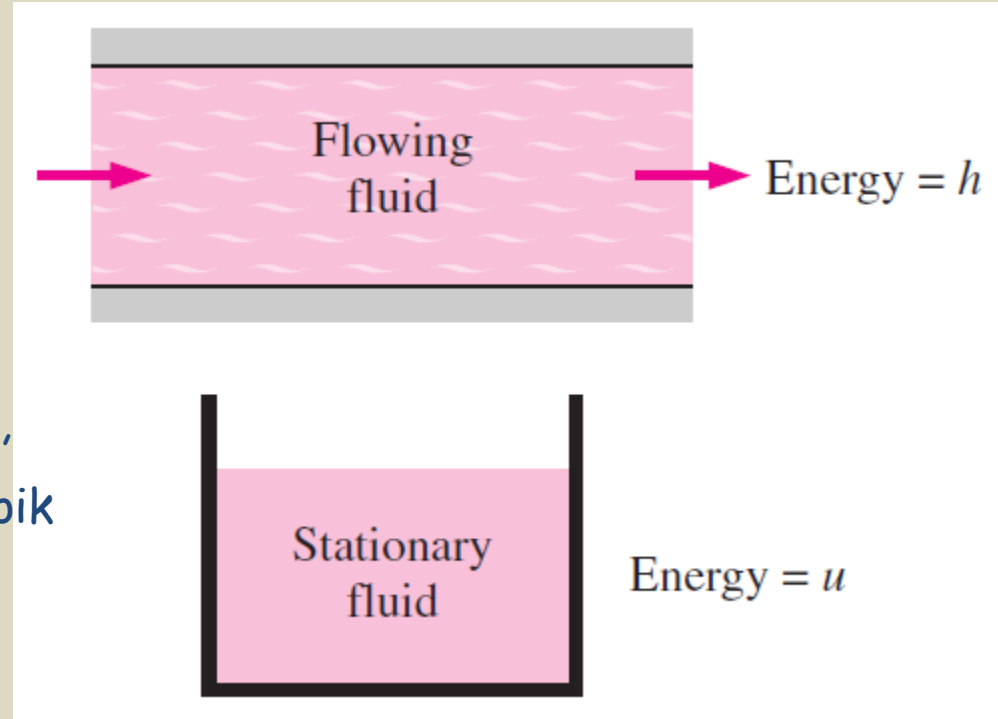
**Gaz fazındaki** bir sistemin **iç enerjisi** katı veya sıvı fazdakine göre daha **yüksektir**.

**Kimyasal (bağ) enerjisi**; moleküldeki atomik bağlarla ilgili iç enerji.

**Nükleer enerji**; atomun kendi çekirdeğinin içindeki bağlarla ilgili iç enerji

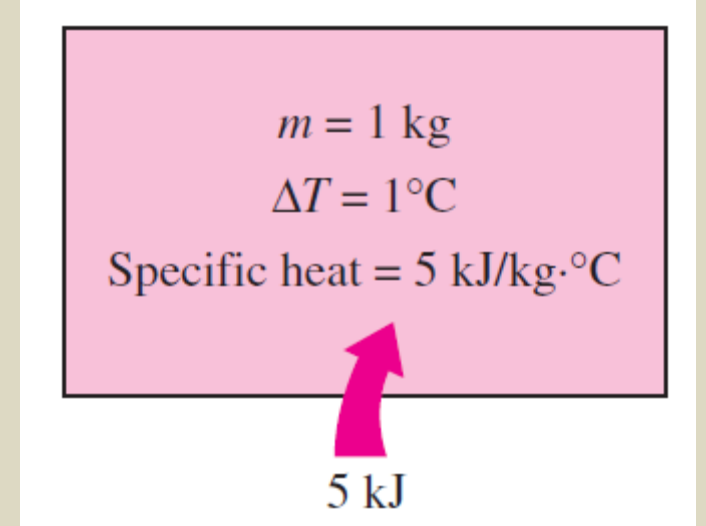
**Entalpi;** ( $h = u + Pv$ ), sıvı ya da gaz kütlesinin birim ağırlığının TD gücüdür.

**$Pv$  terimi;** akış işi (veya akış enerjisi) akışkanı itmek ve akışı sürdürmek için gerekli olan enerjidir.



$u$ , duran akışkanın mikroskopik enerjisini,  
 $h$ , akmakta olan akışkanın mikroskopik enerjisini göstermektedir.

**Özgül ısı**; bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını, belirli bir yolla, bir derece arttırmak için gerekli enerji.



**$C_v$** ; sabit hacimdeki özgül ısı,

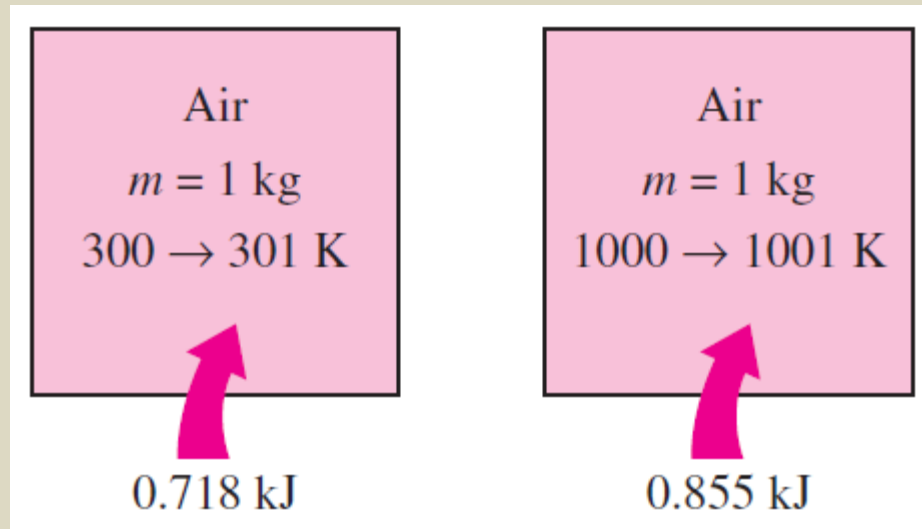
**$C_p$** ; sabit basınçdaki özgül ısı,

**$C_p > C_v$** ; sabit basınçta genişleme işi için sisteme enerji verildiğinden dolayı

İdeal gazlar için;  $c_p = c_v + R$

Özgül ısının birimi;  $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$  veya  $\text{kJ/kgK}$

$$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(\text{K})$$



Maddelerin özgül ısıları sıcaklığa bağlı olarak değişir.

İdeal bir gazın u ve h deki diferansiyel değişim;

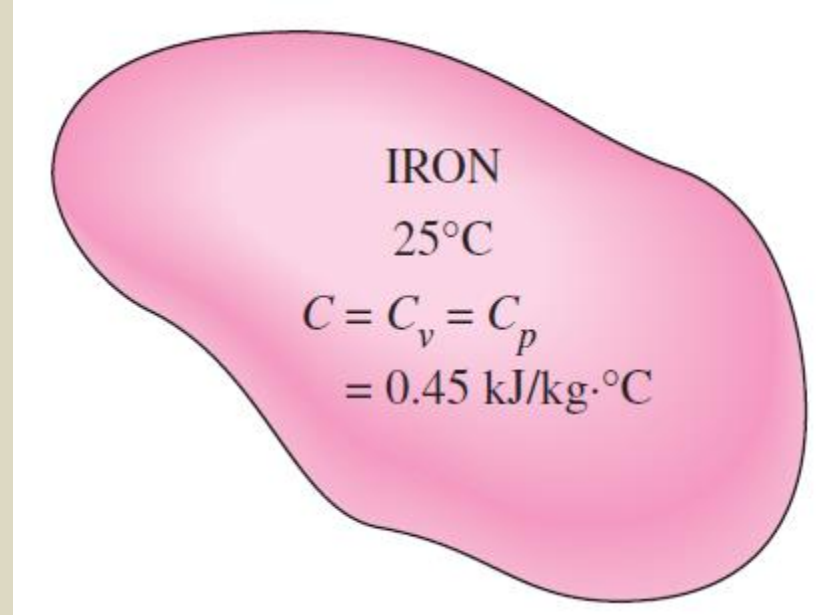
$$du = c_v dT \quad \text{ve} \quad dh = c_p dT$$

İdeal bir gazın u ve h deki sonlu değişim;

$$\Delta u = c_{v,ort} \Delta T \quad \text{ve} \quad \Delta h = c_{p,ort} \Delta T \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta U = mc_{v,ort} \Delta T \quad \text{ve} \quad \Delta H = mc_{p,ort} \Delta T \quad (\text{kJ})$$

**Sıkıştırılmaz madde;** özgül hacmi (veya yoğunluğu) T ve P ile değişmeyen madde. **Katı ve sıvılar sıkıştırılmaz** olarak kabul edilirler.



Katı ve sıvıların  $u$  deki değişimler sadece T liğe bağlı olduğundan;

$$\Delta U = mc_v \Delta T \quad (\text{kJ})$$

$C_v$ ; ort T da hesaplanan ort özgül ısı

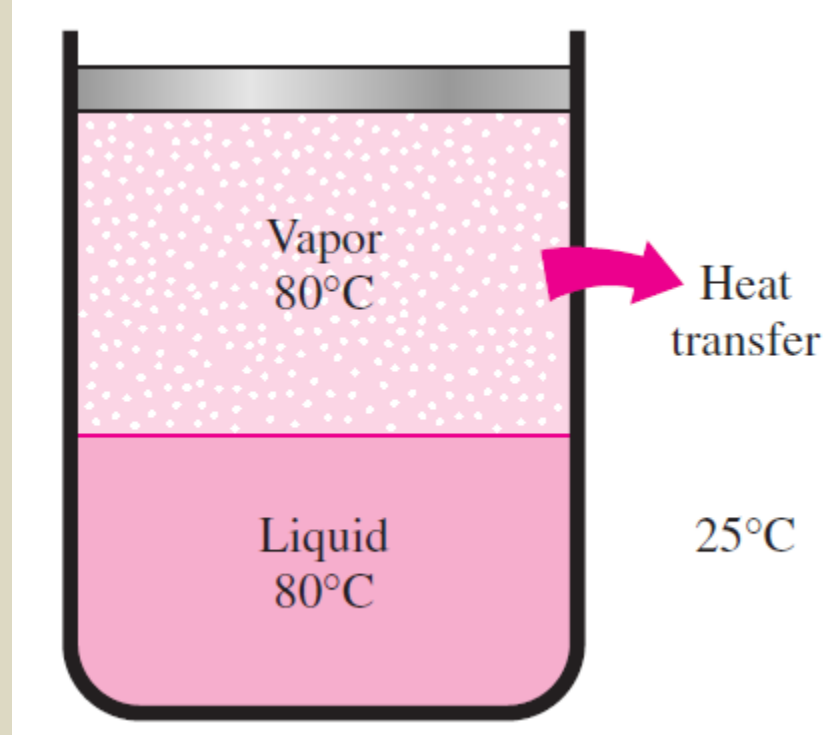
**Enerji Transferi;** bir kütleye veya kütleden olan enerji iki mekanizma ile aktarılabilir;

- Isı transferi (Q)
- İş (W)

Bir sistemin **enerjisi iş yaparken azalır, sisteme iş verirken artar.**

İYM'ler, buhar ve gaz türbinleri iş üretir, kompresör, pompa ve karıştırıcılar ise iş tüketirler.

Duyulur ve gizli ısı şekillerindeki **iç enerjiler** bir **T farkı** sonucu transfer edilebilirler. Isı veya ısı enerjisi olarak adlandırılırlar.



## Bazı terimler;

Vücut ısısı = Vücudun ısı enerji içeriği

Isı akısı = ısı enerjinin transferi

Isı = ısı enerji,

Isı transferi = ısı enerjinin aktarılması

$Q$  ; işlem esnasında transfer edilen ısı miktarı

$\dot{Q}$  ; ısı transfer hızı, birim zamanda transfer edilen ısı miktarı,

( $J/s = W$ )

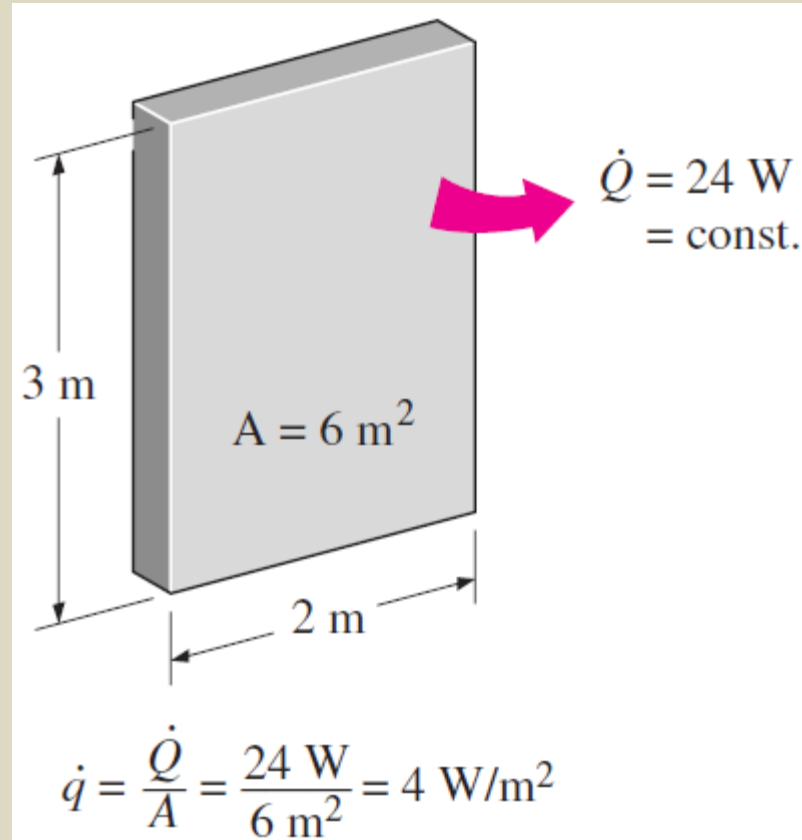
Isı transfer hızı, bilindiği zaman  $\Delta t$  zaman aralığındaki toplam ısı transfer miktarı;

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (J)$$

$\dot{Q} = \text{sabit}$  olursa;  $Q = \dot{Q} \Delta t \quad (j)$

Isı transferi doğrultusuna dik, birim alan başına ısı transfer hızı, **ısı akısı** olarak adlandırılır.

Ort. ısı akısı;  $\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad \left(\frac{W}{m^2}\right)$



**Ör 1-1:** 10 cm çaplı bakır bir küre, 30 dakikada 100 °C'den 150 °C ortalama sıcaklığa ısıtılacaktır. Verilen T aralığında özgül kütleyi 8950 kg/m<sup>3</sup>, özgül ısıyı ( $c_{\text{ort}}$ ) 0,395 kJ/kg °C olarak; a) bakır küreye transfer edilen toplam ısı miktarını, b) küreye ort.ısı transfer hızını, c) ort. ısı akısını bulunuz.

**Çözüm:**

a) Aktarılan ısı sadece bakır kürenin iç enerjisini artırmaktadır;

Sisteme aktarılan enerji = sistemin enerjisindeki artış

$$Q = \Delta U = mC_{\text{ave}} (T_2 - T_1)$$

$$m = \rho V = \frac{\pi}{6} \rho D^3 = \frac{\pi}{6} (8950 \text{ kg/m}^3)(0.1 \text{ m})^3 = 4.69 \text{ kg}$$

$$Q = (4.69 \text{ kg})(0.395 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(150 - 100)^\circ\text{C} = \mathbf{92.6 \text{ kJ}}$$

Küre sıcaklığını 100 °C'den 150 °C 'ye çıkarmak için verilmesi gereken ısı

b) Ortalama ısı transfer hızı;

$$\dot{Q}_{\text{ave}} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{92.6 \text{ kJ}}{1800 \text{ s}} = 0.0514 \text{ kJ/s} = \mathbf{51.4 \text{ W}}$$

c) Ortalama ısı akısı;

$$\dot{q}_{\text{ave}} = \frac{\dot{Q}_{\text{ave}}}{A} = \frac{\dot{Q}_{\text{ave}}}{\pi D^2} = \frac{51.4 \text{ W}}{\pi(0.1 \text{ m})^2} = \mathbf{1636 \text{ W/m}^2}$$

**Not:** Bir yüzeydeki ısı akısı konum ile değişmektedir. Burada hesaplanan değer kürenin tüm yüzeyinden ortalama ısı akısıdır.

## TD'in Birinci Kanunu (Enerjinin Korunumu)

Bir hal değişimi sırasında enerji bir biçimden diğerine dönüşür, yok olmaz.

*Bir işlem sırasında bir sistemin toplam enerjisindeki net değişme (artış veya azalış), işlem esnasında sisteme giren ve çıkan toplam enerjiler arasındaki farka eşittir.*

$$\begin{aligned} & \left( \begin{array}{l} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) \\ & = \left( \begin{array}{l} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right) \end{aligned}$$

Herhangi bir işlemde geçen, herhangi bir sistem için;

$$E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}}$$

Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi = İç enerji, KE, PE vb enerjilerdeki değişim

Hız cinsinden;

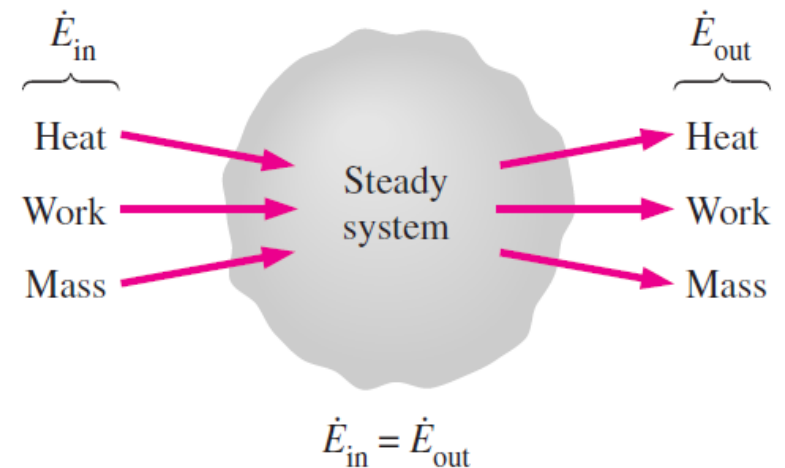
$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{dE_{\text{system}}/dt}_{\text{Rate of change in internal kinetic, potential, etc., energies}} \quad (\text{W})$$

Enerji bir özelliktir. Sistemin durumu değişmedikçe özelliğin değeri de değişmez.

Eğer bir sistemin durumu, bir işlem süresince değişmez ise buna **sürekli işlem** denir.

Sürekli bir sistemin hız cinsinden enerji dengesi;

$$\underbrace{\dot{E}_{in}}_{\text{Rate of net energy transfer in by heat, work, and mass}} = \underbrace{\dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer out by heat, work, and mass}}$$



Dikkate değer elektrik, manyetik, hareket, yerçekimi ve yüzey gerilme etkileri yok ise;

$$\Delta E_{\text{system}} = \Delta U_{\text{system}}$$

Isı transferi çözümlenmesinde enerjinin, sıcaklık farkı sonucu transfer edilen biçimleriyle (ısı veya ısıl enerji) ilgilenilir.

Isı dengesi yazılıp; nükleer, kimyasal ve elektrik enerjilerinin ısıl enerjiye dönüşümü "ısı üretimi" olarak ele alınır.

$$\underbrace{Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}}_{\text{Net heat transfer}} + \underbrace{E_{\text{gen}}}_{\text{Heat generation}} = \underbrace{\Delta E_{\text{thermal, system}}}_{\text{Change in thermal energy of the system}} \quad (\text{J})$$

# Kapalı Sistemler için Enerji Dengesi

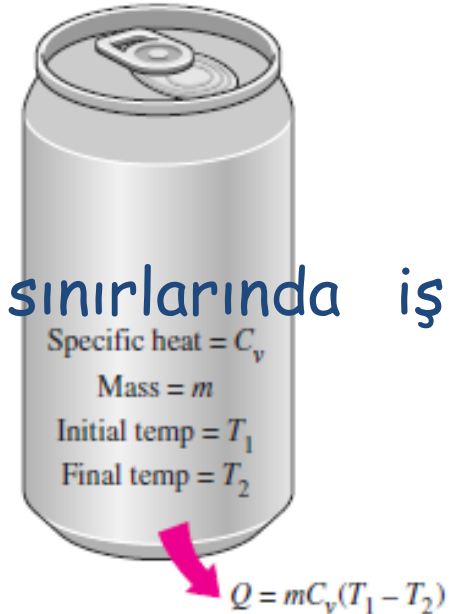
Kapalı sistemlerin **kütlesi sabit** olup, **toplam E**, **iş enerjiden** oluşmuştur.

Sabit kapalı sistem için enerji dengesi;

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta U = mC_v\Delta T \quad (\text{J})$$

Sistem sadece ısı transferi içeriyorsa ve sınırlarında iş alışverişi yoksa;

$$Q = mC_v\Delta T \quad (\text{J})$$



## Sürekli Akış Sistemleri için Enerji Dengesi

Dış ortam ile **kütle alışverişi** bulunan sistemler (su ısıtıcısı, radyatör vb) **kontrol hacmi** olarak modellenir.

**Sürekli;** belli bir konumda zamana bağlı değişimin olmaması (sürekli ortaklık)

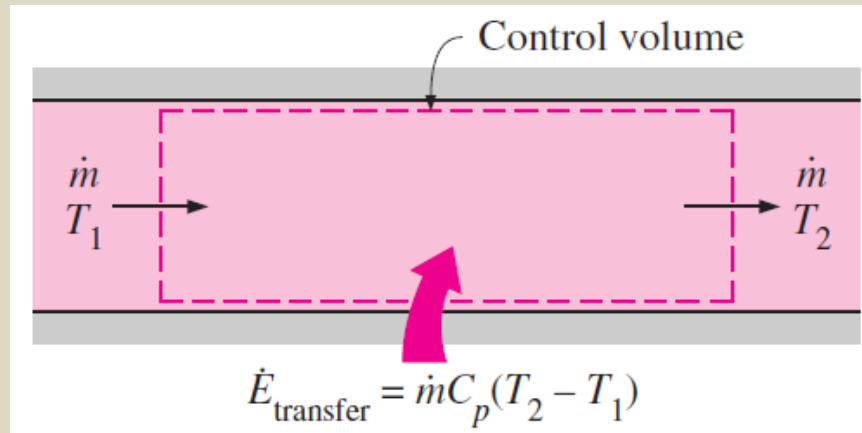
**Üniform;** belli bir zamanda bir yüzey veya bölge boyunca konuma göre değişimin olmaması (üniform dağılım)

**KH'nin enerjisi**, sürekli bir akış işlemi boyunca sabit kalır.

$$(E_{KH} = \text{sabit})$$

Sürekli akışlı açık bir sistem için **KH'deki toplam enerji değişimi** "sıfır"dır. ( $E_{KH} = 0$ )

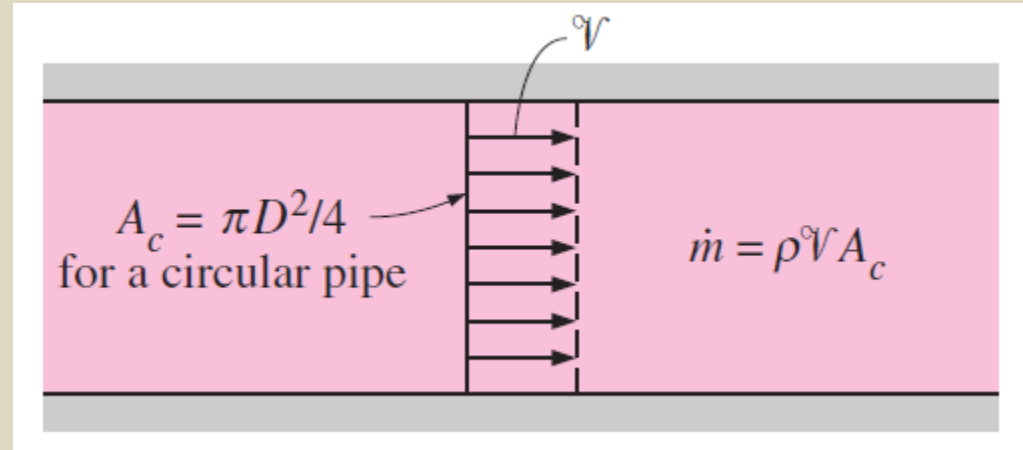
Sürekli bir **akış** işlemi için **KH'ne giren her tür enerji** (ısı, iş ve kütle transferi) miktarı, **KH'nden çıkan enerji** miktarına **eşit** olmalıdır.



**Kütleli debi;** bir kesitten **birim zamanda akan kütle** miktarıdır.

Tek boyutlu akış için boru veya kanalda akan akışkanın kütleli debisi;

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad (\text{kg/s})$$

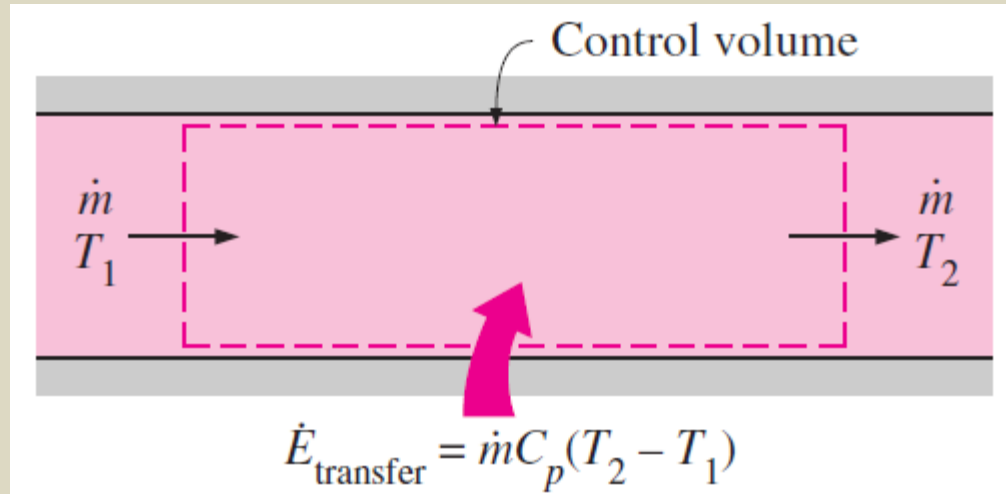


Bir kesitteki akışın kütle debisi; akışkanın **yoğunluğu**, ortalama akışkan hızı ve **kesit alanının** çarpımına eşittir.

Hacimsel debi; bir boru veya kanalın içerisinde **birim zamanda** akan akışkan hacmi.

$$\dot{V} = \mathcal{V}A_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

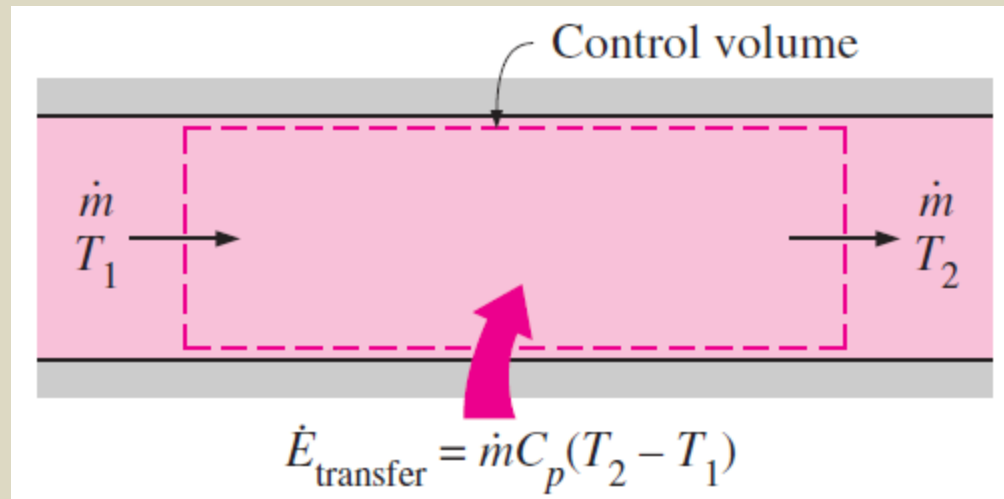
Tek giriş ve tek çıkışı olan bir **sürekli akış** sistemi için KH'ne giren ve çıkan kütle akış **debileri** birbirine eşit olmalıdır.



İş etkileşiminin olmadığı, KE ve PE değişimlerinin ihmal edilebileceği bir sürekli akışlı açık sistemin enerji dengesi;

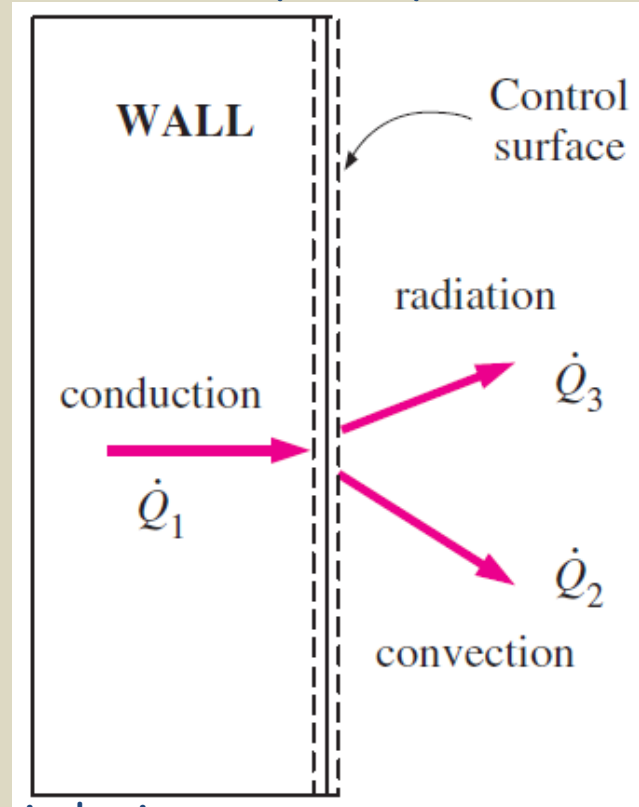
$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}C_p\Delta T \quad (\text{kJ/s})$$

$\dot{Q} = KH'$ 'ne giren veya çıkan net ısı transferi hızı



# Yüzey Enerji Dengesi

Isı, bir ortamdan diğerine aktarılırken sık sık vasıta (iletim, taşınım ve ışınım) değiştirir. Bu durumda yüzeydeki enerji etkileşimlerini takip edebilmek için yüzeye enerjinin korunumu prensibi uygulanır.



Bir evin dış duvarındaki enerji etkileşimleri

Yüzeyin hacmi ve kütlesi olmadığı için enerjisi de yoktur. Bu sebeple yüzey sürekli rejim veya sürekli akışlı sistem gibi modellenebilir.

Yüzey enerji dengesi;

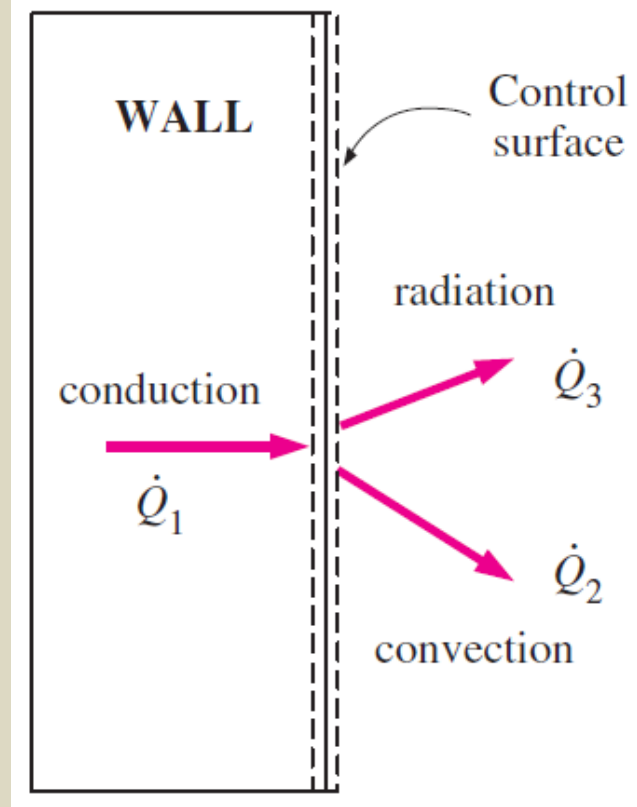
$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

Bu denklem sürekli ve süreksiz (zamana bağlı) şartlar için geçerlidir.

Yüzeyin hacmi olmadığı için, denklemde ısı üretimi terimi yoktur.

Duvarın dış yüzeyi için enerji dengesi;

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$



Isı transferi yönü bilinmiyor ise, bütün enerji etkileşimlerinin yüzeye doğru oldukları kabul edilip yüzeydeki enerji dengesi;

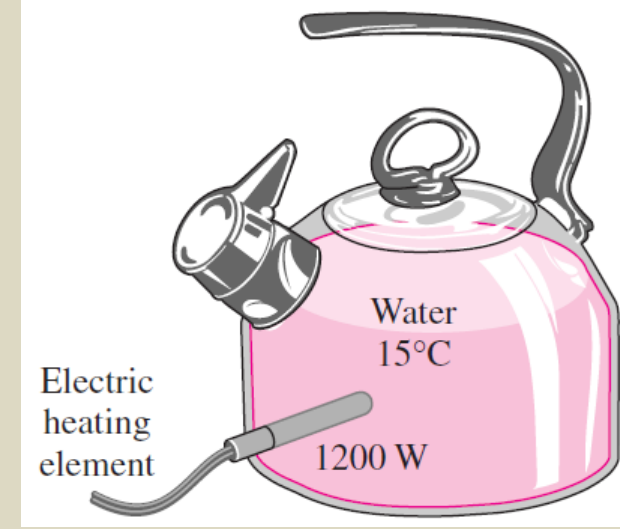
$$\sum \dot{E}_{in} = 0$$

şeklinde yazılır.

**Ör 1-2:** 15 °C'deki 1,2 kg su 1200 W lık bir elektrikli ısıtıcıyla 95 °C'ye kadar ısıtılacaktır. Demlik 0,5 kg ve ort. özgül ısısı 0,7 kJ/kg°C'dir. Suyun özgül ısısı 4,18 kJ/kgK alıp, demlikten olan ısı kayıplarını ihmal ederek suyun ne kadar sürede ısınacağını belirleyiniz.

**Çözüm:** Demlik ve içerisindeki su sistem olarak alınırsa,  
Enerji dengesi;

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$
$$E_{in} = \Delta U_{system} = \Delta U_{water} + \Delta U_{teapot}$$



Demlik ve suyun sıcaklığını 15 °C'den 95 °C'ye çıkarmak için gerekli olan enerji;

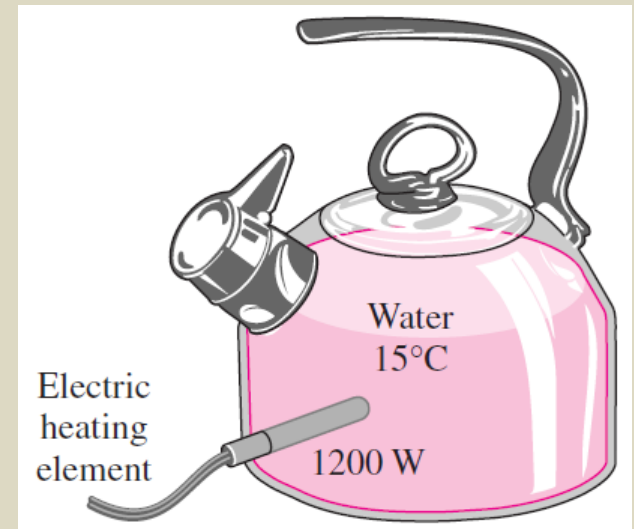
$$E_{in} = (mC\Delta T)_{water} + (mC\Delta T)_{teapot}$$
$$= (1.2 \text{ kg})(4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C})(95 - 15)\text{°C} + (0.5 \text{ kg})(0.7 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C})(95 - 15)\text{°C}$$
$$= 429.3 \text{ kJ}$$

1200 W'lık ısıtıcının 429,3 kJ ısı sağlaması için gerekli zaman;

$$\Delta t = \frac{\text{Total energy transferred}}{\text{Rate of energy transfer}} = \frac{E_{\text{in}}}{\dot{E}_{\text{transfer}}} = \frac{429.3 \text{ kJ}}{1.2 \text{ kJ/s}} = 358 \text{ s} = \mathbf{6.0 \text{ min}}$$

**Not:** Gerçekte, demlikten olan ısı kaybı kaçınılmaz olduğundan Isıtma işleminin gerçekleşmesi 6 dakikadan fazla sürecektir.

$$\text{kJ/kg } ^\circ\text{C} = \text{kJ/kg K}$$



**Ödev:** Ör 1-3 ve Ör 1-4'ü inceleyiniz . S.15-16

# Isı Transfer Mekanizmaları

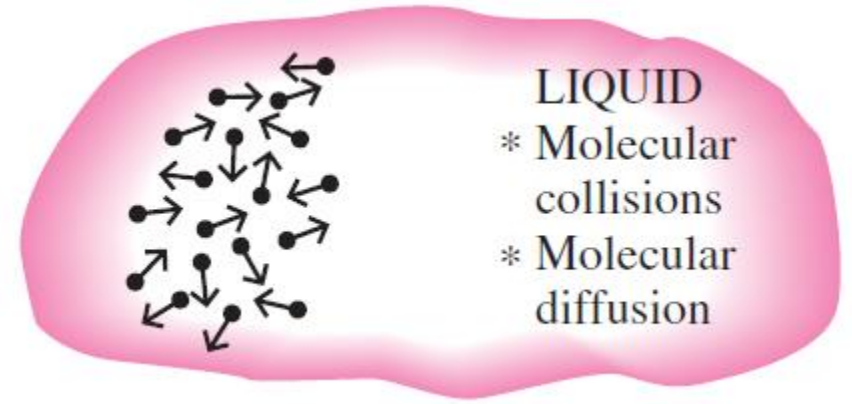
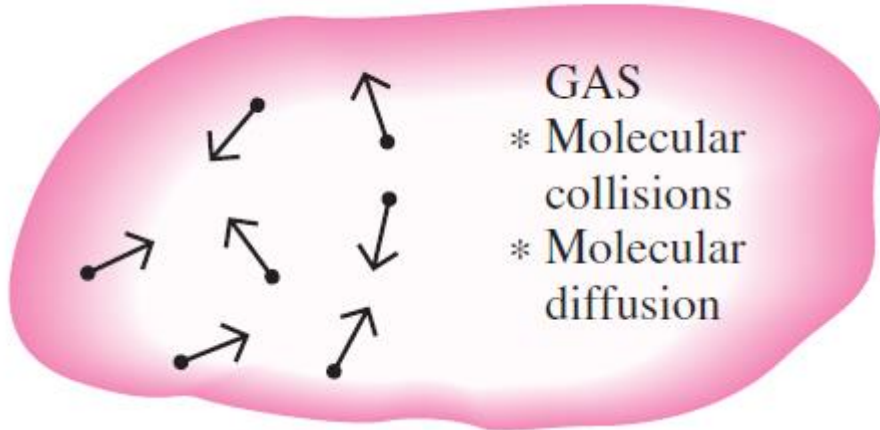
Isı 3 farklı yolla aktarılabilir;

- İletim (kondüksiyon)
- Taşınım (konveksiyon)
- Işınım (radyasyon)

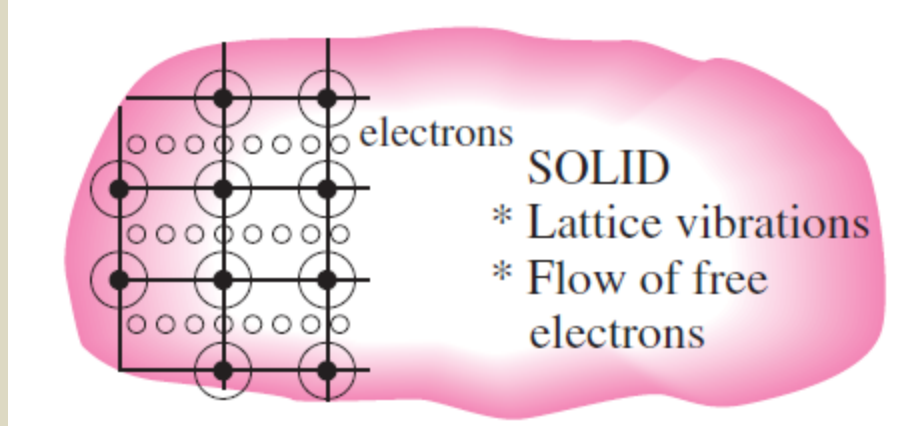
Isı transferinin bütün türleri bir sıcaklık farkını gerektirir.

**İletim;** parçacıklar arası etkileşimlerin sonucu olarak bir maddenin daha **yüksek enerjili parçacıklarından** bitişiklerindeki daha **düşük enerjili olanlara** enerji aktarılmasıdır.

İletim, katı, sıvı ve gazlarda olabilir. Gaz ve sıvılardaki iletim moleküllerin rastgele hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmaları sebebiyle olur.



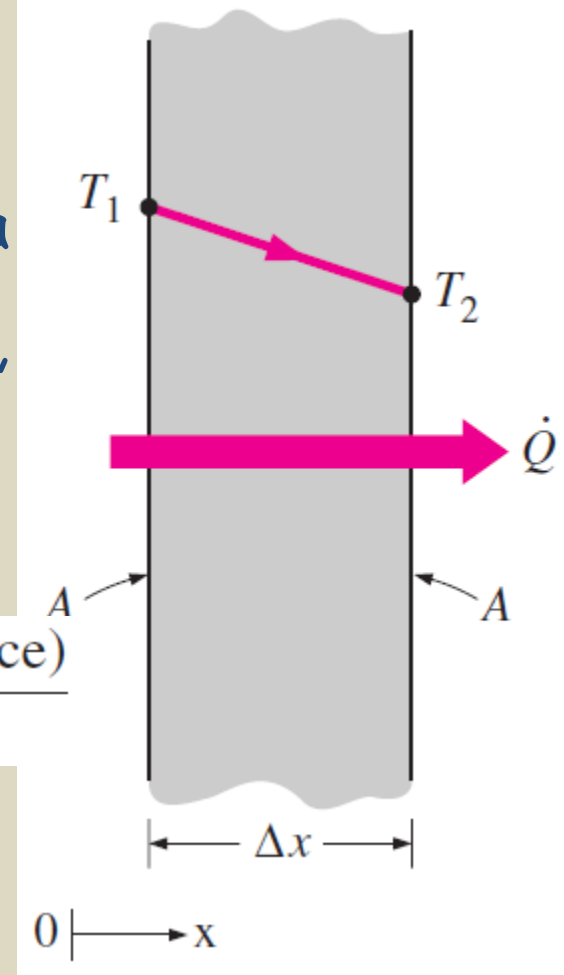
**Katılarda iletim;** kafes moleküllerinin titreşimleri ve serbest elektronlar ile enerji aktarımı sonucu oluşur.



Bir ortamda ısı iletim hızı; ortam boyunca sıcaklık farkına olduğu kadar ortamın geometrisine, kalınlığına ve malzemesine de bağlıdır.

Bir levhada ısı transfer hızı, tabaka boyunca sıcaklık farkı ve ısı transfer alanı ile doğru, tabaka kalınlığı ile ters orantılıdır.

$$\text{Rate of heat conduction} \propto \frac{(\text{Area})(\text{Temperature difference})}{\text{Thickness}}$$

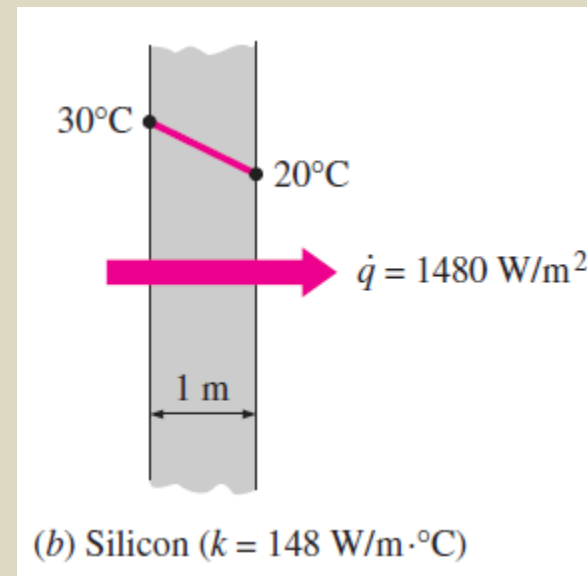
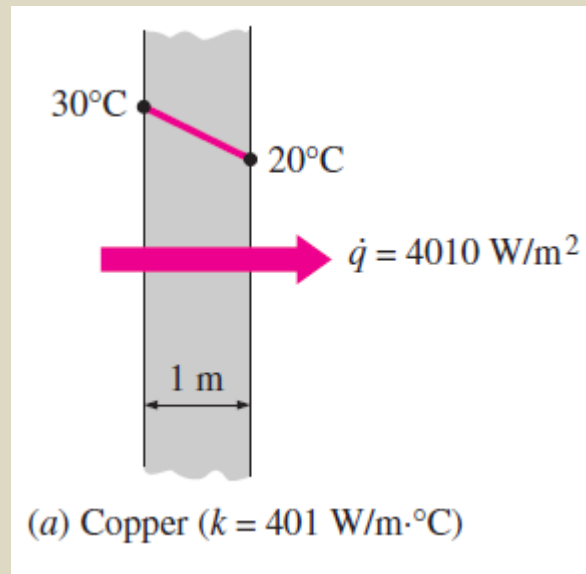


Kalınlığı  $\Delta x$  ve alanı  $A$  olan bir düzlem duvarda ısı iletimi

Rate of heat conduction  $\propto \frac{(\text{Area})(\text{Temperature difference})}{\text{Thickness}}$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{W})$$

$k$ ; orantı sabiti, ısı iletim katsayısı, malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin ölçüsü



Denklemin  $\Delta x \rightarrow 0$  için limiti alınır;

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

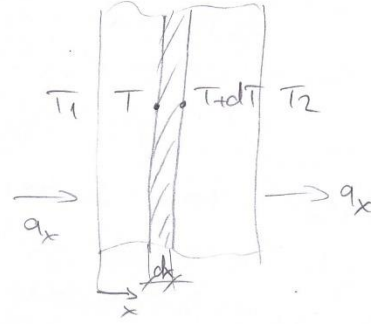
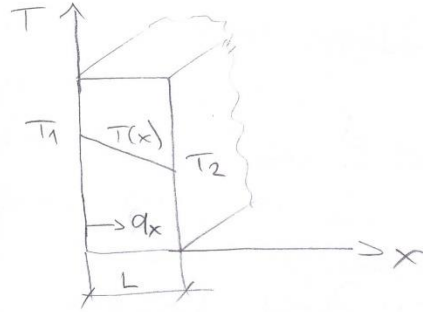
Fourier ısı iletim kanunu

$dT/dx$  ; sıcaklık gradyanı, sıcaklığın  $x$ 'e göre değişim hızı

Isı azalan sıcaklık yönünde iletilir.

Fourier Isi İletim Kanunu: Üniform kalınlıkta ve ② birim büyüklükteki bir pliyta iki yüzüne farklı sıcaklıklarda iki kaynağa temas ettirilsin. Bu kaynağın sıcaklığı üniform ve zamana değişmez olsun, iki yüzey arasında kalın belirtiyle iletkenin kalınlığı  $L$  olarak gösterilsin. Ortaya çıkan sıcaklık dağılımı aşağıdaki gibidir:

Şekil:



Aynı kalınlıkta farklı noktalardan yapılmış çok sayıda pliyta yapılar düzeylerle birim genişlikteki yüzeyden birim zamanda geçen ısının  $\frac{dT}{dx}$  ile orantılı

yani  $q_x \propto \frac{dT}{dx}$  olduğu görülmüştür. Orantı katsayısının kullanılması ile  $q_x = -k \frac{dT}{dx}$  elde edilir.

Burada;

$x$  → ısının  $x$  yönünde iletildiği

$k$  → Malzemenin fiziksel özelliği (ısı iletim katsayısı)

$q_x$  → Birim genişlikteki yüzeyden birim zamanda geçen ısı akışı ( $W/m^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  - ısı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı [K/m]

(-); ısı geçişi düşük sıcaklığa doğru olduğundan  
 $q_x$ 'i "+" yönüne için konulmuştur.

belirtir  
bu

Isi iletim katsayısı katı ve sıvılarda ölçüm ile 4  
gazlarda ise teorik hesap ile bulunur.

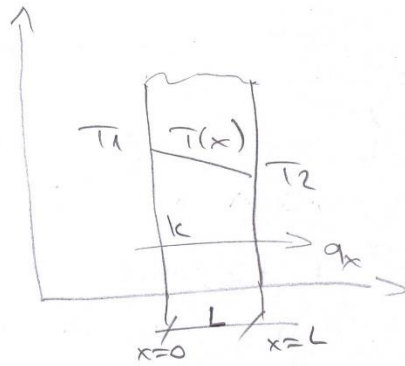
Isi geçisi problemlerinde yapılabilecek kabuller;

Isi geçisi istenirse etkili eden bir çok değişken olduğundan gözaman yapılabileceği için bazı kabullerin yapılması, problemin basite indirilmesi gerekmektedir.

Basitçe yapılabilecek kabuller;

- 1- Cismin termo fiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı ( $k, \mu, \rho, \beta$  gibi)
- 2- Isı geçisinin kaç boyutlu olduğu;  
Bir, iki veya üç boyutlu
- 3- Cismin içinde sıcaklıkla dağılımının olup olmadığı
- 4- Cismin geometrisinin belirlenmesi; düzlemsel veya silindirik veya karesel yüzeyler.
- 5- Isı geçisinin zamana bağlı olup olmadığı  
Sadece regim, Geçici regim
- 6- Cismin içerisinde ısı üretiminin olup olmadığı

## Isizlen duvarda iletim ile ısı geçiŖi



Kabuller;

- ısı geçiŖi tek boyutlu (x yönü)
- iç ısı üretimi yok.
- $k = \text{sbt}$
- Sıcaklık regim

Dilim için Fourier ısı iletim kanunu;

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

$$q_x \cdot dx = -k dT$$

$$q_x \int_0^L dx = -k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q_x \cdot (L - 0) = -k (T_2 - T_1)$$

$$q_x = -\frac{k(T_2 - T_1)}{L} \text{ (w/m}^2\text{) birim alan için.}$$

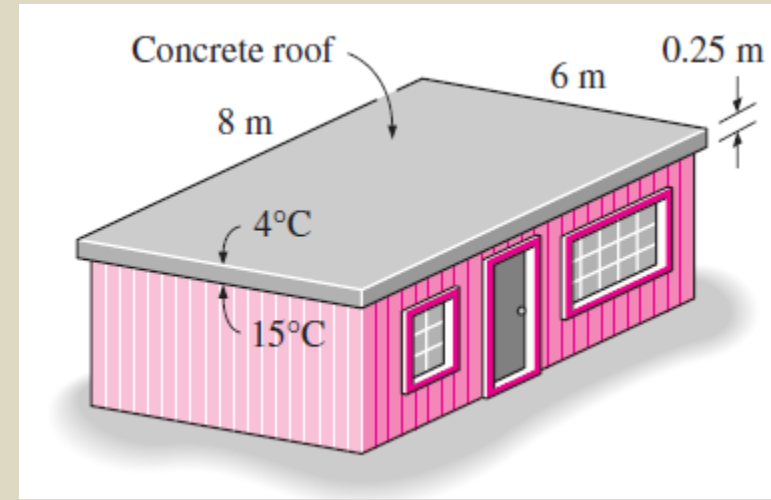
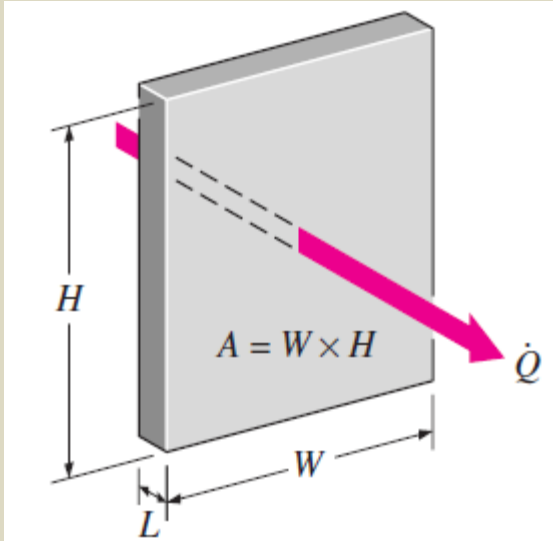
$$P_x = A \cdot q_x \Rightarrow P_x = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \text{ (w), toplam}$$

alan için.

ör. sayı 4 gör.

**Ör 1-5:** Elektrik ile ısıtılan bir evin çatısı 6 m uzunluğunda, 8 m genişliğinde olup 0,25 m kalınlığında  $k = 0,8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  olan betondan yapılmıştır. Geceleyin çatının iç ve dış yüzey sıcaklıkları  $15^\circ\text{C}$  ve  $4^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür; a) Çatıdaki ısı kayıp hızını b) Elektrik fiyatı  $0,08 \text{ USD/kWh}$  ise 10 saatlik süre için ısı kaybının ev sahibine olan maliyetini hesaplayınız.

**Çözüm:**  $A = 6 \times 8 = 48 \text{ m}^2$  (ısı transferi doğrultusuna dik alan)



Çatıdaki sürekli ısı transfer hızı;

$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = (0.8 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(48 \text{ m}^2) \frac{(15 - 4)^\circ\text{C}}{0.25 \text{ m}} = \mathbf{1690 \text{ W} = 1.69 \text{ kW}}$$

b) 10 saatlik süre ile çatıdan kaybedilen ısı ve maliyeti;

$$Q = \dot{Q} \Delta t = (1.69 \text{ kW})(10 \text{ h}) = 16.9 \text{ kWh}$$
$$\text{Cost} = (\text{Amount of energy})(\text{Unit cost of energy})$$
$$= (16.9 \text{ kWh})(\$0.08/\text{kWh}) = \mathbf{\$1.35}$$

**Not:** Duvarlardan olan ısı kayıpları dikkate alınmadığından gerçek maliyet daha fazla olacaktır.

**Isıl iletkenlik;** malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı (Fourier denkleminde yararlanarak) nı ifade eder.

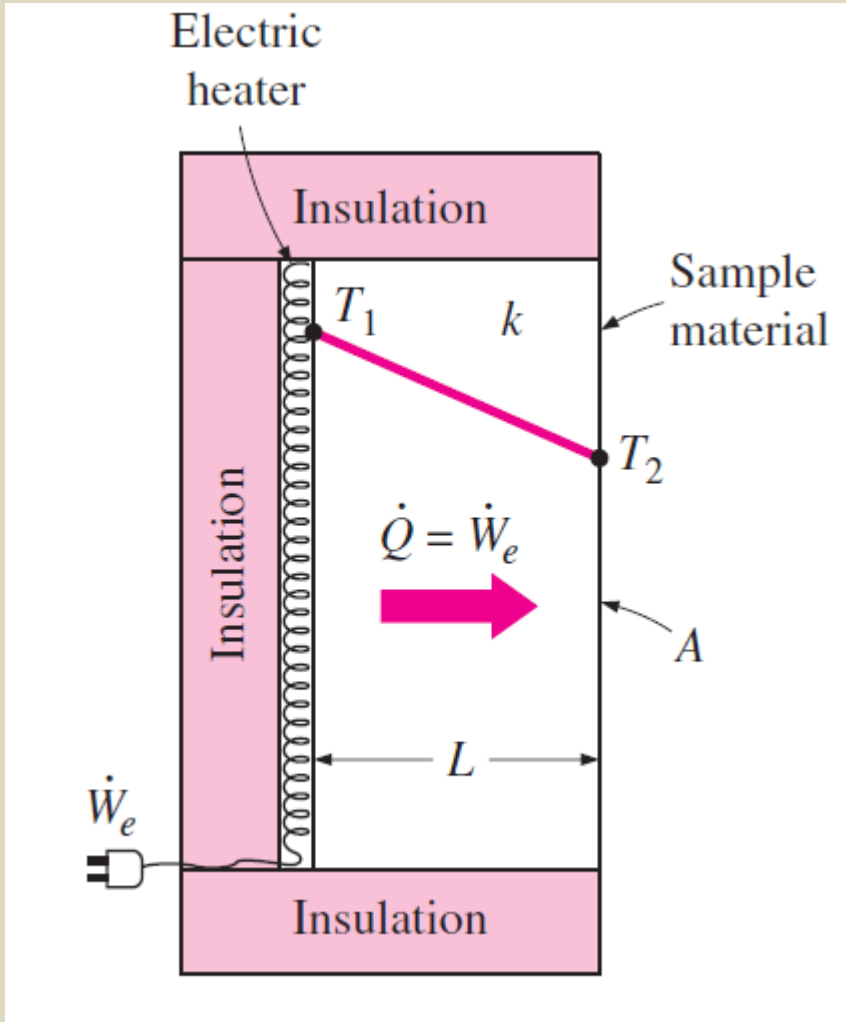
**Isıl iletkenlik** malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

1 m kalınlığındaki bakır duvar, ısıyı her  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı ve her  $\text{m}^2$  alan başına 401 W'lık hızla iletir

**The thermal conductivities of some materials at room temperature**

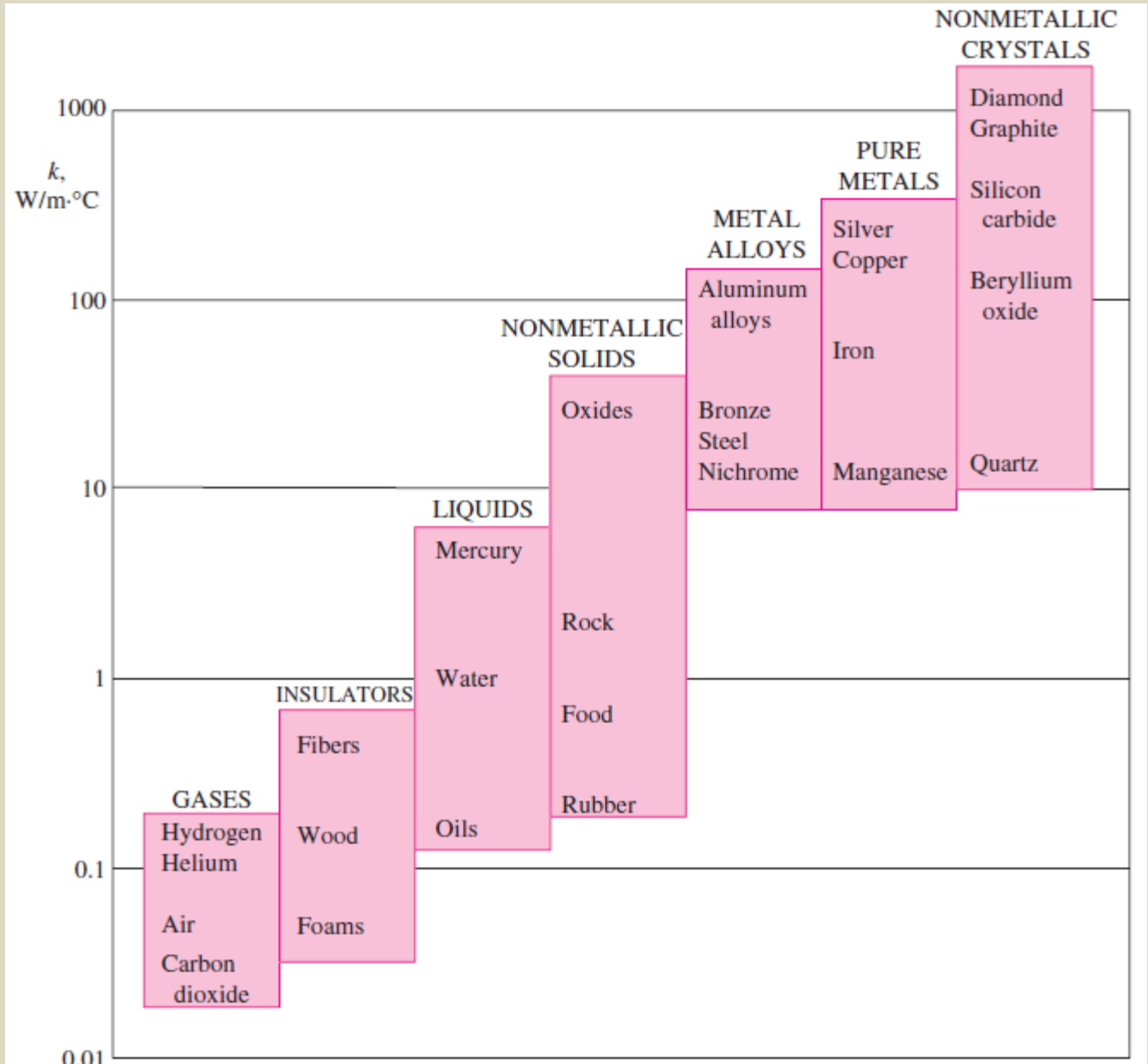
Material	k, W/m $\cdot$ $^{\circ}\text{C}^*$
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

Malzemelerin ısı iletkenliklerinin deneysel olarak belirlenmesi için bir yöntem;



$$k = \frac{L}{A(T_1 - T_2)} \dot{Q}$$

# Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik aralıkları



Sıvıların ısı iletkenlikleri genellikle katılar ile gazlarınkı arasında yer alır. Bir maddenin ısı iletkenliği normalde katı fazda iken en yüksek, gaz fazında iken ise en dūşüktür.

Gazlardan farklı olarak bütün sıvıların ısı iletkenlikleri (su hariç) artan sıcaklığa bağlı olarak azalır.

Gazlarda olduğu gibi sıvıların iletkenlikleri de artan molar kütleye bağlı olarak azalır.

**Civa ve sodyum** gibi sıvı metaller yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler.

Bir sıvıya yüksek ısı transfer hızının istendiği **nükleer güç santralleri** gibi yerlerdeki uygulamalarda kullanmak için çok uygundur.



Elmas gibi kristalli katılar ve silikon benzeri yarı iletkenler, iyi ısı iletken fakat kötü elektriksel iletkenlerdir.

Bu tür malzemeler elektronik endüstrisinde geniş kullanım alanı bulurlar.

Hassas elektronik parçaların soğutulmasında (yüksek fiyatına rağmen) mükemmel ısı iletkenliği sebebiyle elmas ısı alıcıları kullanılır.

Hem iyi ısıl temas, hem de iyi elektrik iletkenliği sağladıkları için, elektronik parçaların toplanmasında genellikle silikon yağlar veya contalar kullanılırlar.



Saf metallerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları yüzünden, metal alaşımlarının da yüksek iletkenliğe sahip olduğu zannedilebilir.

Isıl iletkenlikleri  $k_1$  ve  $k_2$  olan iki metalin oluşturduğu alaşımın ısı iletkenliğinin  $k_1$  ve  $k_2$  arasında olacağı beklenebilir. Fakat durum böyle değildir.

Bir alaşımın ısı iletkenliği genellikle o alaşımı oluşturan metallerin ikisinden de çok düşüktür.

Pure metal or alloy	$k$ , W/m · °C, at 300 K
---------------------	--------------------------

Copper	401
--------	-----

Nickel	91
--------	----

<i>Constantan</i> (55% Cu, 45% Ni)	23
---------------------------------------	----

Copper	401
--------	-----

Aluminum	237
----------	-----

<i>Commercial bronze</i> (90% Cu, 10% Al)	52
--	----

Bir **saf metalin** içerisinde kendisi de çok iyi ısı iletken olan yabancı moleküllerden **az bir miktar eklense** dahi, o metalin içerisindeki **ısı transferi** önemli ölçüde bozulur.

**Demir** için  $k$  değeri  $83 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$ , **krom** için  $k$  değeri  $95 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$  iken **% 1 krom** içeren **çeliğin**  $k$  değeri  $62 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$ 'dir.

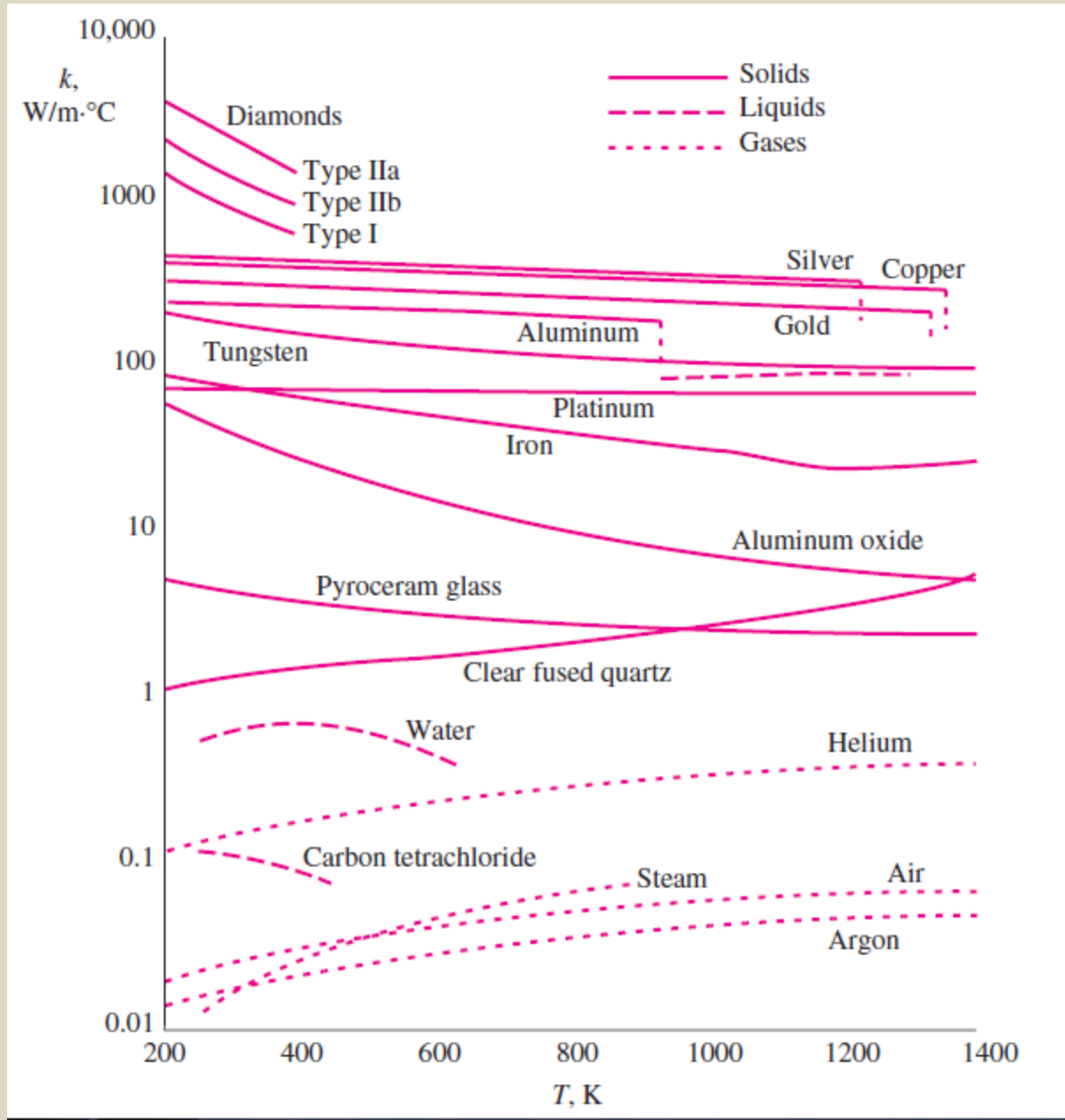
Malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Thermal conductivities of materials vary with temperature

$T, K$	Copper	Aluminum
100	482	302
200	413	237
300	401	237
400	393	240
600	379	231
800	366	218

Genel uygulamada "k" değeri ortalama sıcaklıkta belirlenir ve hesaplamalarda sabit olarak kullanılır.

# Çeşitli katı, sıvı ve gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi



Genellikle ısı iletim katsayısı değeri ortalama sıcaklıkta belirlenir ve hesaplamalarda sabitmiş gibi kullanılır.

Isı transfer çözümlemesinde bir malzeme, izotropik ( her doğrultuda üniform özellikte) olarak kabul edilir. Bu kabul tabakalı kompozit malzemeler ve ağaç dışında çoğu malzeme için gerçekçidir.

Ağacın liflerine dik ısı iletkenliği, liflere paralel olanından farklıdır.

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

belirtilir

Isi iletim katsayısı: Isinin cismin içerisindeki iletme hızını

Birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyinden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının  $1^\circ\text{C}$  olması halinde geçen ısı miktarıdır. Isı iletim katsayısı her madde için farklı olup sıcaklığa, malzemenin bileşimine, yapısına, malz. içi özelliklerine bağlı olarak değişir. Birim  $\text{W/mK}$

Isı iletim katsayısının cismin içinde her yönde aynı olduğu cisimlere "izotrop" cisim denir.

- Saf metallerde "k" sıcaklık  $\uparrow$ 'ca  $\downarrow$ .
- Alaşım ve yalıtım malzede "k", sıcaklık  $\uparrow$ 'ca  $\uparrow$ .
- Isı yalıtım malzede  $g$  ve  $T$   $\uparrow$ 'ca, "k"  $\uparrow$
- Gazlarda  $T$   $\uparrow$ 'ca "k"  $\uparrow$
- Saf bir maddenin "k" içerisine başka bir bileşen eklense  $\downarrow$ .
- Nem genellikle tüm malzemenin ısı iletim katsayısını artırır.

Isi iletim katsayısı katı ve sıvılarda ölçüm ile (4)  
gazlarda ise teorik hesap ile bulunur.

Isi geçisi problemlerinde yapılabilirle kabuller;  
Isi geçisi istenirse etkili eden bir çok değişken olduğunda aözaman yapılabilmesi için bazı kabullerin yapılması, problemin basite indirilmesi gerekmektedir.

Basitçe yapılabilirle kabuller;

- 1- Cismin termo fiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı. ( $k, \mu, c_p, \rho$  gibi)
- 2- Isı geçişinin kaç boyutlu olduğu;  
Bir, iki veya üç boyutlu
- 3- Cismin içinde sıcaklık dağılımının olup olmadığı
- 4- Cismin geometrisinin belirlenmesi; düzlemsel veya silindirik veya karesel yüzeyler.
- 5- Isı geçişinin zamana bağlı olup olmadığı;  
Sürekli rejim, Geçici rejim
- 6- Cismin içerisinde ısı üretiminin olup olmadığı

## Isıl yayılım

Isı transferinde sık karşılaşılan  $\rho c_p$  ( $\text{J}/\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) çarpımı malzemenin ısı kapasitesi olarak adlandırılır.

Hem özgül ısı  $c_p$  ( $\text{J}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ) hem de ısı kapasite  $\rho c_p$  malzemenin ısı depolama kapasitesini gösterir.

Birimlerinden anlaşılacağı üzere  $c_p$  ( $\text{J}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ) birim kütle başına,  $\rho c_p$  ( $\text{J}/\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) birim hacim başına ısı depolama kapasitesini ifade eder.

**Isıl yayılım;** zamana bağlı ısı iletimi çözümlenmesinde kullanılır.

$\rho c_p$  ; birim hacim başına ısı kapasite (malz.nin birim hacminde ısıyı ne kadar depoladığını gösterir)

$c_p$  ; birim kütle başına ısı kapasite (J/kg °C)

**Isıl yayılım katsayısı ( $\alpha$ );** bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösterir.

$$\alpha = \frac{\text{Heat conducted}}{\text{Heat stored}} = \frac{k}{\rho C_p} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

Isıl yayılım **katsayısının küçülmesi**; ısının çoğunun malzeme tarafından absorbe edildiğini, küçük bir miktarının iletildiği anlamına gelir.

Isıl yayılım **katsayısının** ne kadar **yüksek** olursa, ısının ortam içerisinde yayılması o kadar hızlı olur.

$$\alpha = \frac{\text{Heat conducted}}{\text{Heat stored}} = \frac{k}{\rho C_p} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

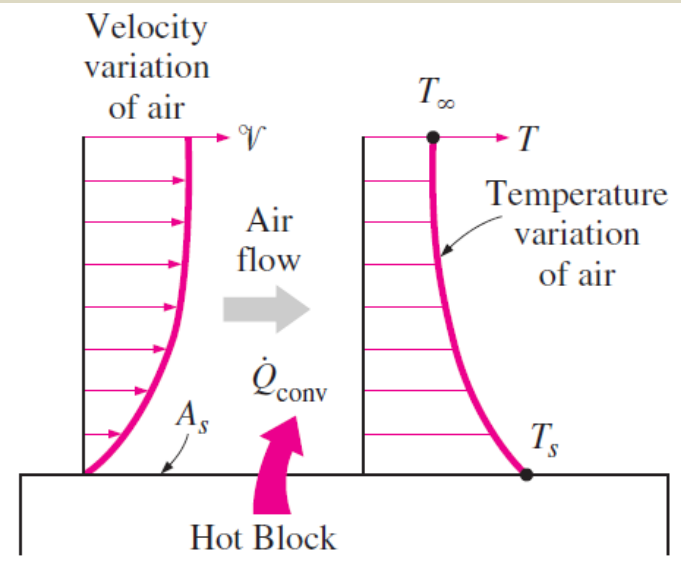
The thermal diffusivities of some materials at room temperature

Material	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s*
Silver	149 × 10 <sup>-6</sup>
Gold	127 × 10 <sup>-6</sup>
Copper	113 × 10 <sup>-6</sup>
Aluminum	97.5 × 10 <sup>-6</sup>
Iron	22.8 × 10 <sup>-6</sup>
Mercury (l)	4.7 × 10 <sup>-6</sup>
Marble	1.2 × 10 <sup>-6</sup>
Ice	1.2 × 10 <sup>-6</sup>
Concrete	0.75 × 10 <sup>-6</sup>
Brick	0.52 × 10 <sup>-6</sup>
Heavy soil (dry)	0.52 × 10 <sup>-6</sup>
Glass	0.34 × 10 <sup>-6</sup>
Glass wool	0.23 × 10 <sup>-6</sup>
Water (l)	0.14 × 10 <sup>-6</sup>
Beef	0.14 × 10 <sup>-6</sup>
Wood (oak)	0.13 × 10 <sup>-6</sup>

**Taşınım;** bir katı yüzey ile ona bitişik hareket halindeki sıvı veya gaz arasındaki enerji aktarımı çeşidi.

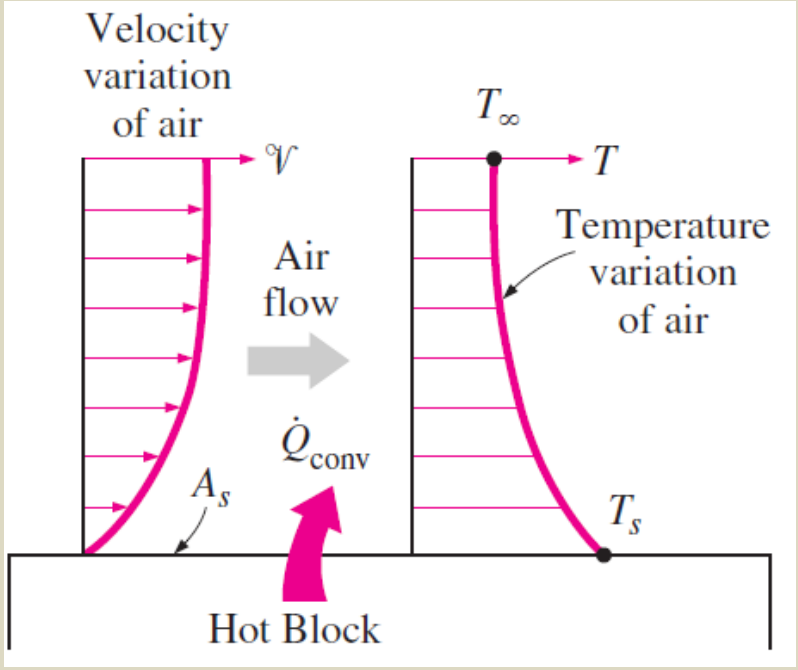
Taşınım, iletim ile akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar.

Akışkan hareketi arttıkça taşınım ile ısı transferi artar.

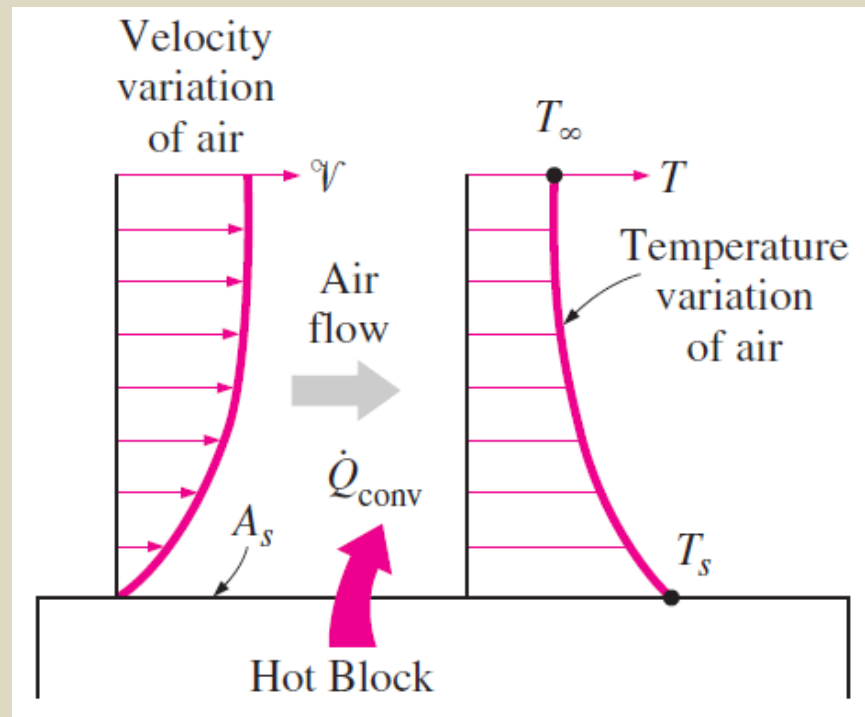


Katı yüzey ile bitişigindeki akışkan arasındaki ısı transferi sadece iletim ile gerçekleşir.

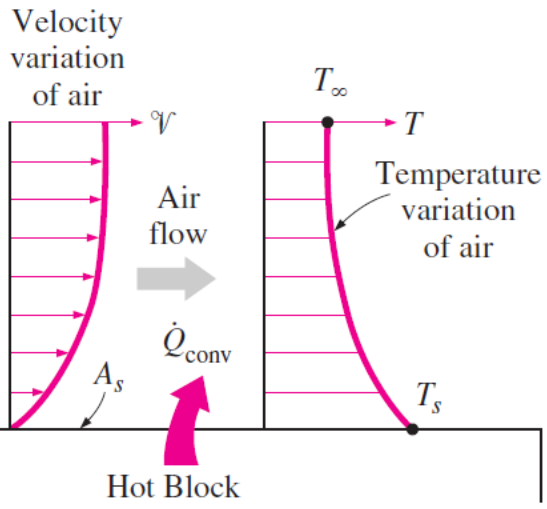
# Sıcak bir yüzeyden havaya taşınım ile ısı transferi



Akışkan akımı içerisindeki sıcak bir plakyi göz önüne alalım. Olayın bir akışkan mekanizması ve bir de ısı transferi yönü vardır. Plakın bitişigindeki akışkan hızı sıfır olup plakte dile obrak uzaktıkça akışkan hızı artar. Belli bir uzaklıkta sonra hızdaki değişim sıfıra yaklaşıyor. Akışkan hızının böyle değişim gösterdiği bölgeye "hidrodinamik sınır tabaka" denir.



diğer bölgeye  
 platin tam bitişigindeki durgun akışın sıcaklığı platin sıcaklığına eşit olmakla birlikte, platin ten uzaklaştıkça  $T$  azalır. Belli bir uzaklığın ötesinde  $T$  değişimi sıfıra yaklaşıyor. Sıcaklığın böyle değişim gösterdiği bölgeye "termal sınır tabaka" denir.



Plakten akışına olan ısı transferinin sayısal büyüklüğü hidrodinamik ve termal sınır tabaka içi sınırlı hız ve sıcaklık değişimleri tarafından yönetilmektedir. Isı transferi duvarın (plak) bitişindeki akışın içi sınırlı  $\frac{dT}{dy}$  değerine bağlıdır. Araştırmalar ayrıca ısı akışının  $(T_w - T_\infty)$  ile orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

$$q \propto (T_w - T_\infty)$$

$T_w$  - duvar sıcaklığı

$T_\infty$  - ortam sıcaklığı

Oran katsayısı istene konursa;

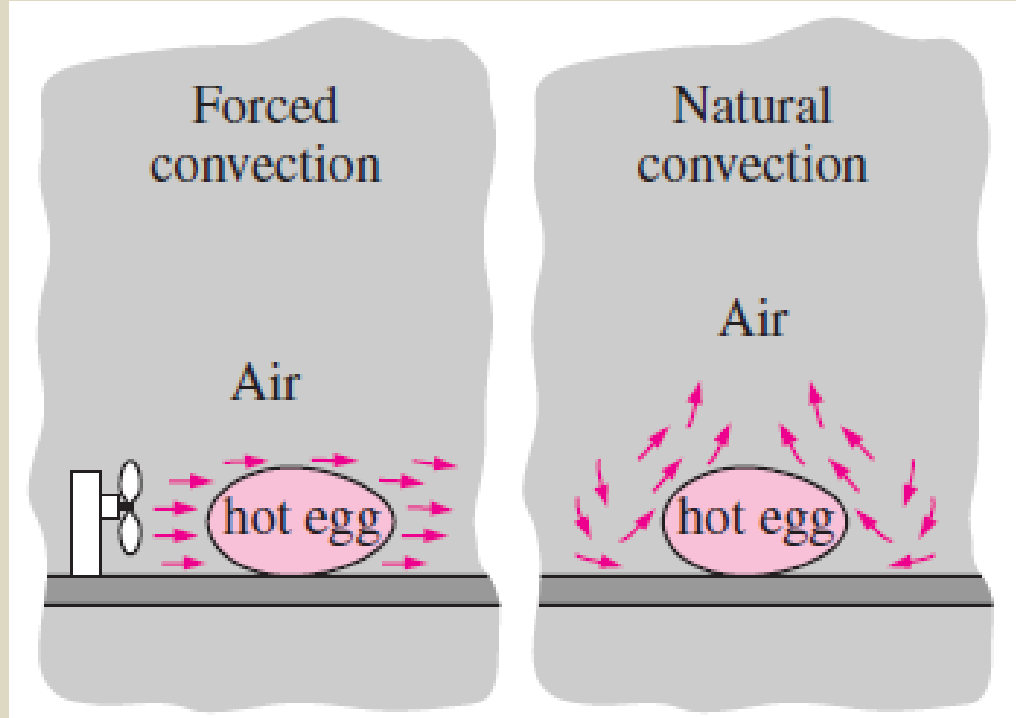
$$q = h \cdot (T_w - T_\infty)$$

$h$  - ısı taşıma katsayısı (film katsayısı)  $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

$$Q = h \cdot A \cdot (T_w - T_\infty)$$

**Zorlanmış taşınım;** akışkanın yüzeyin üzerinden fan, pompa veya rüzgar vasıtasıyla akmaya zorlanması,

**Doğal taşınım;** akışkan hareketinin, akışkan içerisindeki sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının sebep olduğu kaldırma kuvveti yüzünden oluşması,



Faz değişimi (**kaynama, yoğuşma**) içeren ısı transferi işlemleri de **taşınım** olarak değerlendirilir.

Taşınım ısı transfer hızı **Newton'un soğuma kanunu** ile belirlenir;

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W})$$

$h$ ; taşınım ısı transfer katsayısı ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$A$ ; taşınımın gerçekleştiği yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )

$T_s$ ; yüzey sıcaklığı (K)

$T_{\infty}$ ; yüzeyden yeteri kadar uzakta akışkan sıcaklığı (K)

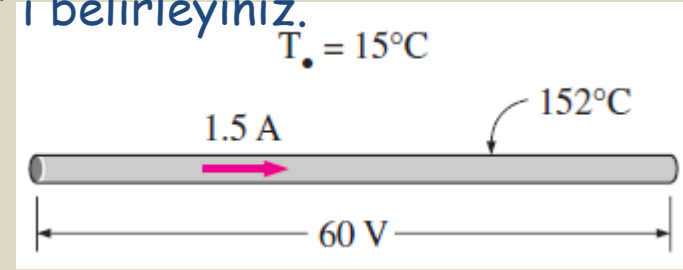
**Taşınım katsayısı** ( $h$ ): yüzey geometrisine, akışkanın hareket biçimine, akışkanın özelliklerine ve hızına bağlı olup deneysel olarak belirlenir.

Type of convection	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

\*Multiply by 0.176 to convert to  $\text{Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ .

Tipik “ $h$ ” değerleri

**Ör 1-8:** Uzunluğu 2 m, çapı 0,3 cm olan elektrik teli 15°C'deki bir odadan geçmektedir. Isı telde, dirençle ısıtma sonucu üretilmektedir. Sürekli rejimde telin yüzey sıcaklığı 152°C olarak ölçülmektedir. Teldeki gerilim düşüşü 60 volt ve elektrik akımı da 1,5 amper dir. Işınım ile ısı transferini ihmal ederek, telin dış yüzey sıcaklığı ile odadaki hava arasındaki ısı transferi için  $h'$  ı belirleyiniz.



**Çözüm:** Sıcaklıklar zamanla değişmediğinden; sürekli rejim.

Sürekli rejimde, telden olan ısı kaybı = teldeki ısı üretimi

$$\dot{Q} = \dot{E}_{\text{generated}} = VI = (60 \text{ V})(1.5 \text{ A}) = 90 \text{ W}$$

Telin yüzey alanı;

$$A_s = \pi DL = \pi(0.003 \text{ m})(2 \text{ m}) = 0.01885 \text{ m}^2$$

Newton'un soğuma kanunu;

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s (T_s - T_\infty)$$

Işınım ile olan ısı kayıpları ihmal edildiğinden, ısı kaybının tamamı taşınım ile olmaktadır.

Yukarıdaki denklemden "h" çekilirse;

$$h = \frac{\dot{Q}_{\text{conv}}}{A_s(T_s - T_\infty)} = \frac{90 \text{ W}}{(0.01885 \text{ m}^2)(152 - 15)^\circ\text{C}} = \mathbf{34.9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

**Işınım**; atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerin sonucunda **maddeden elektromanyetik dalgalar** (veya fotonlar) **şeklinde yayılan enerjidir**.

Işınım ile ısı transferi için **aracı bir ortama gerek yoktur**. (ör: güneş ışınları)

Isı transferi "**ısı ışınım**" ile ilgilenir. Mutlak sıfır T'liğın üzerindeki her cisim ısı ışınım yayar.

Isıl ışınım, elektromanyetik ışınımın diğer biçimlerinden (x, gama ışınları, mikrodalgalar, radyo, tv dalgaları gibi) farklıdır.

Isınım (Radyasyon) ile ısı geçişi: (8)

İletim ve taşınım ısının madde ortamı içindeki seyahatini sağlar. Enerjinin tan bir vakum ortamında seyahat etmesi ısıma ile sağlanır. İdeal bir ısınım yayıcısına siyah cisim denilir. Siyah cisim  $T_1$ 'in  $T_2$  kuvveti ile orantılı bir enerji yayar.

$$q_r \propto T^4 \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Oran katsayısı kullanıldığında;

$$q_r = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma$  - Stefan-Boltzman sabiti ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )

Gerçek cisimler ısınımı ideal yaymazlar. Varsayımlar siyah cisimlerde farklı davranırlar. Gerçek cisimlerin grile özelliği hesaba katılınca;

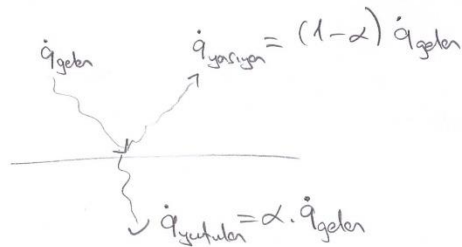
$$q_r = \sigma \cdot T^4 \cdot \epsilon$$

$\epsilon$  - ısınım yayma katsayısı  $0 < \epsilon < 1$   $\rightarrow$  siyah cisim

$F$  - sabit faktörü (ısığın yüzeye nasıl düştüğü)

$$q_r = \sigma \cdot T^4 \cdot \epsilon \cdot F, \alpha \quad (W/m^2) \quad Q_r = q_r \cdot A \quad (W)$$

$\alpha$  - emisivite; yüzeyin yutma oranı



Isıma enerjisinin maddenin yüzeyi ile nasıl etkileştiğini tarif eder.

Syf 8'deki örnekte problem

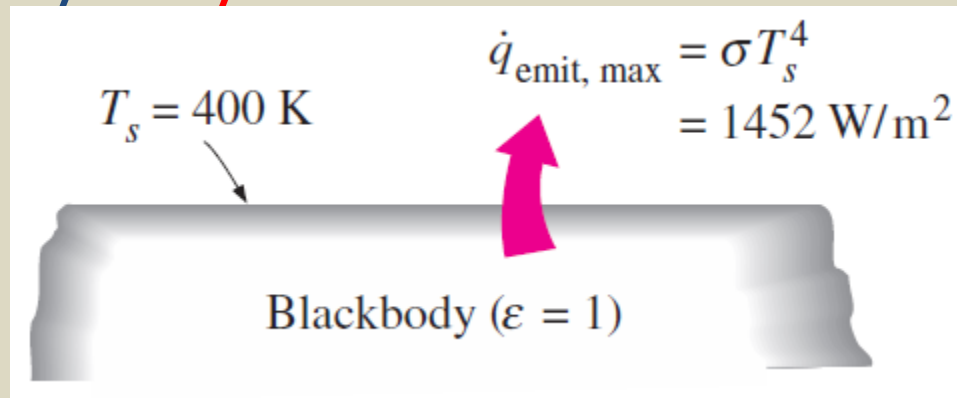
Işınım **hacimsel** bir **olay**dır. Bütün katı, sıvı ve gazlar ışınımı farklı seviyelerde yayar, soğurur veya geçirirler.

$T_s$  TD  $T$ 'liğindeki bir yüzeyden yayılabilecek maks. ışınım hızı;

$$\dot{Q}_{\text{emit, max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad (\text{Stefan-Boltzman kanunu})$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \quad (\text{Stefan-Boltzman sabiti})$$

İdeal ışınım yayıcıya "**siyah cisim**" denir.



Gerçek yüzeylerden yayılan ışınım, aynı T 'taki siyah cisim tarafından yayılan ışıнімından azdır;

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W})$$

$\epsilon$ ; yüzeyin yayıcılığı, siyah cisim için  $\epsilon = 1$

$$0 \leq \epsilon \leq 1$$

Material	Emissivity
Aluminum foil	0.07
Anodized aluminum	0.82
Polished copper	0.03
Polished gold	0.03
Polished silver	0.02
Polished stainless steel	0.17
Black paint	0.98
White paint	0.90
White paper	0.92–0.97
Asphalt pavement	0.85–0.93
Red brick	0.93–0.96
Human skin	0.95
Wood	0.82–0.92
Soil	0.93–0.96
Water	0.96
Vegetation	0.92–0.96

300 K T'da bazı malzemelerin yayma katsayıları

**Absorpsiyon** (soğurganlık); yüzeye gelen ışınımın ne oranda yutulduğunun ölçüsü.  $0 \leq \alpha \leq 1$

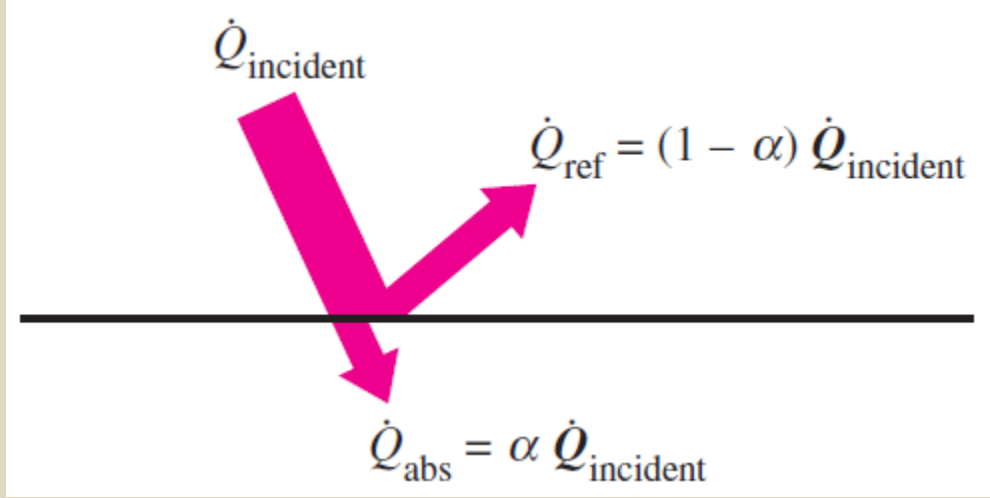
**Siyah cisim** üzerine gelen ışınımın tamamını absorbe eder ( $\alpha = 1$ )

Bir yüzeyin yayma ve soğurma katsayıları  $T$ 'liğe ve ışınım dalga boyuna bağlıdır.

Belirli bir  $T$  ve ışınım dalga boyu için bir yüzeyin yayıcılığı ile soğurganlığı arasındaki ilişki Kirchhoff ışınım kanunu ile belirlenir.

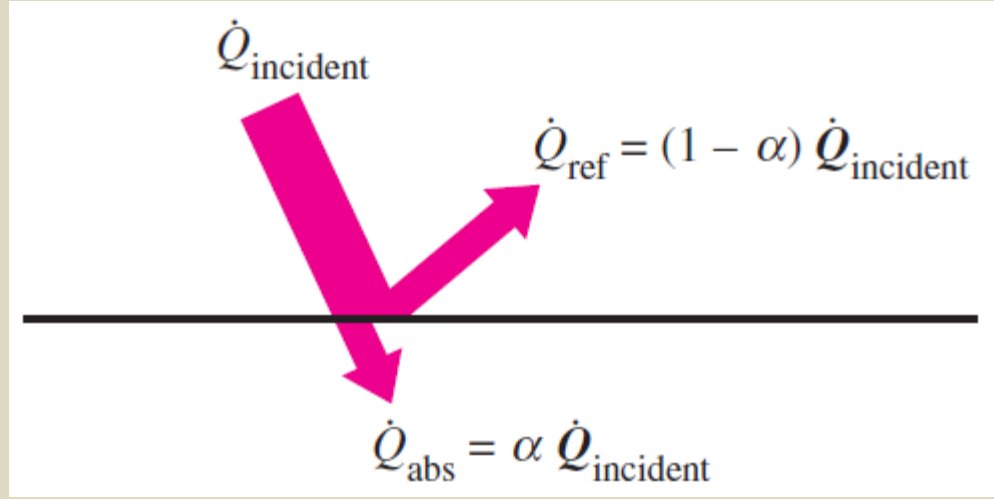
Bir yüzeyin ışınım soğurma hızı;

$$\dot{Q}_{\text{absorbed}} = \alpha \dot{Q}_{\text{gelen}} \quad (\text{W})$$



Geçirgen olmayan yüzeylere gelen ışınımın yüzey tarafından absorbe edilmeyen kısmı geriye yansır.

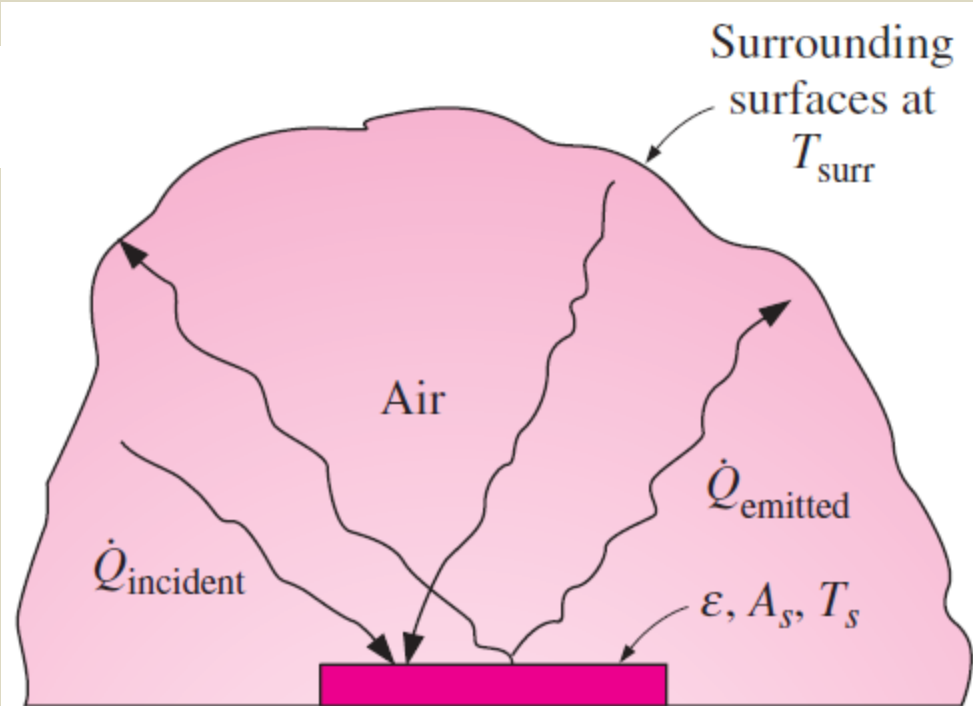
Bir yüzeyin yaydığı ışınım ile absorbe ettiği ışınım arasındaki fark **net ışınım ısı transferidir**.



**Absorbe edilen ışınım hızı, yayılan ışınım hızından büyükse, yüzey ışınım ile enerji kazanıyor**, aksi takdirde yüzey ışınım ile enerji kaybediyordur.

Yayılcılığı  $\varepsilon$ , yüzey alanı  $A_s$  ve TD sıcaklığı  $T_s$  olan bir yüzey,  $T_{\text{çevre}}$  TD sıcaklığında çok geniş (veya kara) bir yüzeyle tamamen çevrelenmiş ve aralarında ışınım ile etkileşmeyen hava gibi bir gaz olduğu zaman, bu **iki yüzey arasındaki net ışınım ısı transfer hızı**;

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (\text{W})$$



$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4)$$

**Ör 1-9:** Her zaman  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutulan bir odada ayakta duran bir kişi düşünelim. Evin duvarları, taban ve tavanının iç yüzeyleri kışın  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve yazın  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ortalama sıcaklıkta olduğu gözlenmiştir. Eğer bu kişinin açıktaki yüzey alanı  $1,4\text{ m}^2$  ve ort.dış yüzey sıcaklığı  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ise, bu kişi ile çevre yüzeyler arasındaki ışıınım ısı transfer hızını belirleyiniz.

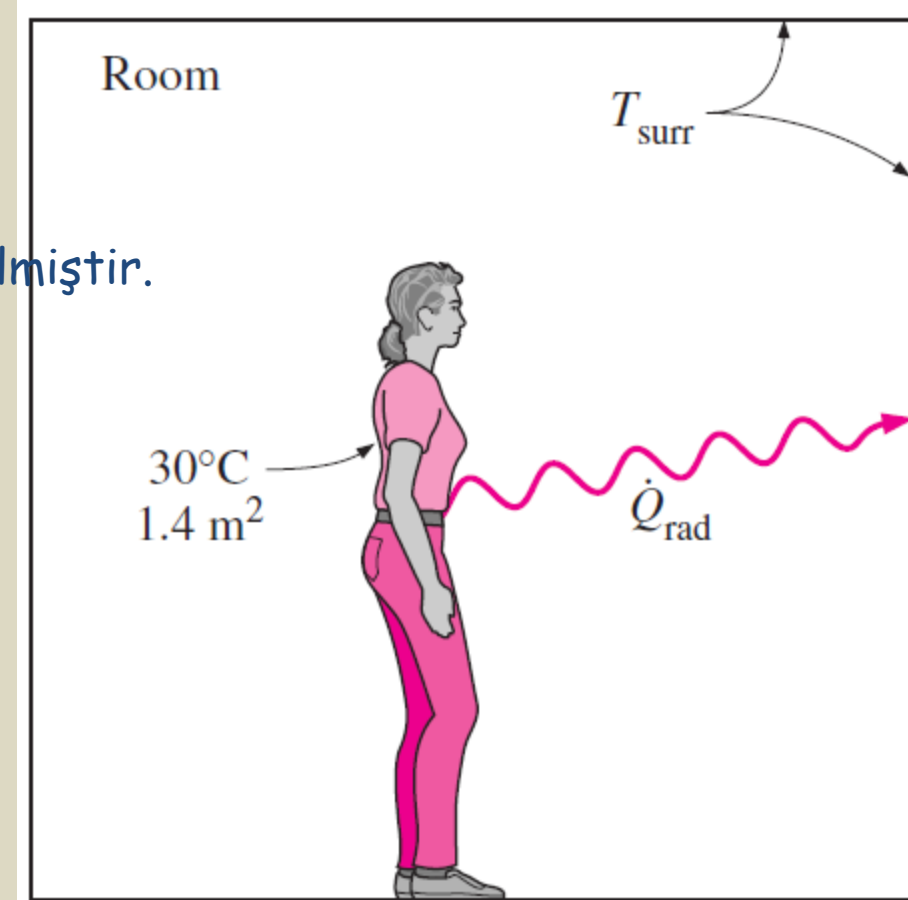
**Çözüm:**

**Kabuller;** 1- Sürekli rejim,

2- Taşınım ile ısı kayıpları ihmal,

3- Kişi tamamen odanın iç yüzeyleri ile çevrilmiştir.

4- Çevre yüzeyler üniform sıcaklıkta



Material	Emissivity
Human skin	0.95

Kışın ve yazın, vücuttan çevre duvarlara, tavana ve tabana olan net ışıınım ısı transfer hızları;

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{rad, winter}} &= \epsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr, winter}}^4) \\ &= (0.95)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1.4 \text{ m}^2) \\ &\quad \times [(30 + 273)^4 - (10 + 273)^4] \text{ K}^4 \\ &= \mathbf{152 \text{ W}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{rad, summer}} &= \epsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr, summer}}^4) \\ &= (0.95)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1.4 \text{ m}^2) \\ &\quad \times [(30 + 273)^4 - (25 + 273)^4] \text{ K}^4 \\ &= \mathbf{40.9 \text{ W}}\end{aligned}$$

**Not:** Işınım hesaplarında mutlak sıcaklıkların kullanılması gereklidir.

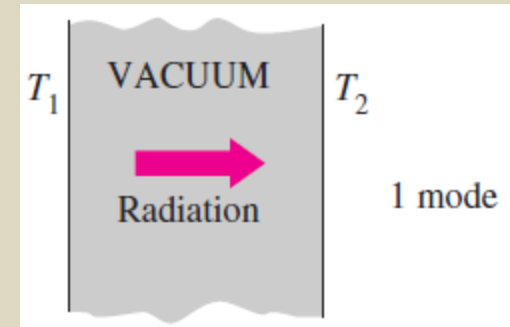
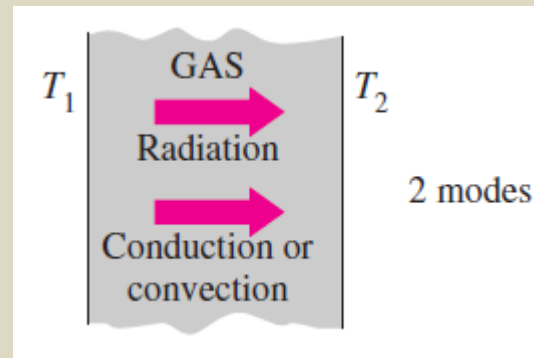
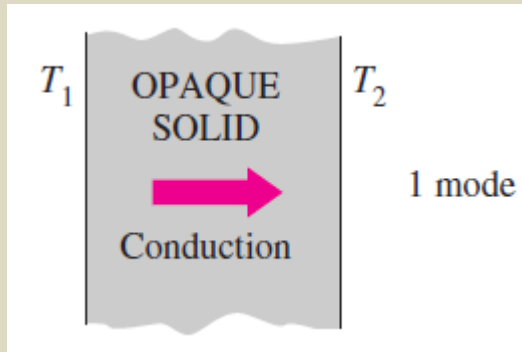
Kışın vücuttan ışıınım ile ısı kaybı hızı, yazınkinin neredeyse 4 katıdır.

Aynı sıcaklıktaki ortamda kışın daha fazla üşünmesinin sebebi budur.

# Eşzamanlı Isı Transfer Mekanizmaları

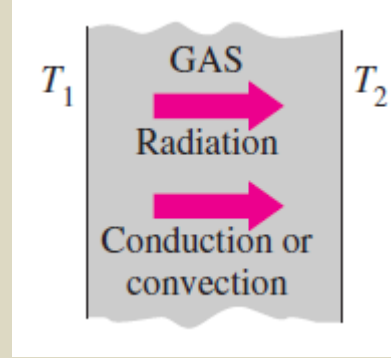
Isı transferi, yığın akışkan hareketinin olmadığı durgun akışkanlarda; iletim ve ışınım ile,

Akmakta olan sıvı veya gazda ise; taşınım ve ışınım ile gerçekleşir.

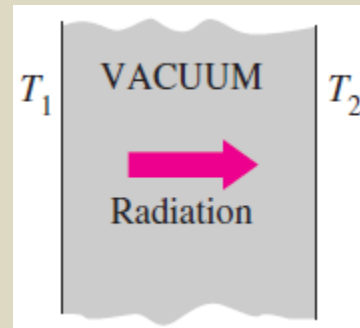


3 türlü ısı transfer mekanizması bulunmasına karşılık, bir ortamda ancak ikisi eşzamanlı gerçekleşebilir.

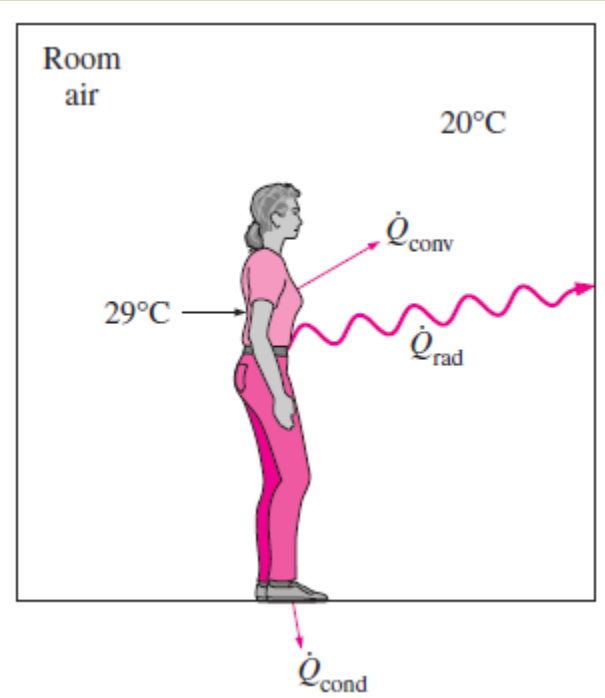
Akışkan içerisindeki ısı transferi ya iletim yada taşınım ile olur.  
İkisi birden olmaz.



İletim ve taşınım ile ısı transferi için maddesel ortam gerekli iken vakum içerisindeki ısı transferi sadece ışınım ile olur.



**Ör 1-10:** 20 °C'deki esintili bir odada ayakta duran bir insanı göz önüne alınız. Eğer bu insanın açık yüzey alanı 1,6 m<sup>2</sup>, ort. dış yüzey T'lığı 29°C ve taşınım katsayısı 6 W/m<sup>2</sup>K ise, bu şahıstan olan toplam ısı transfer hızını belirleyiniz.



**Çözüm:**

**Kabuller;**

- 1- Sürekli rejim,
- 2- İnsan tamamen odanın iç yüzeyleri ile çevrilmiştir.
- 3- Çevre yüzeyler odadaki hava ile aynı T'tadır.
- 4- Ayaklardan zemine olan iletim kayıpları ihmal

Material	Emissivity
Human skin	0.95

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

Odadaki insandan havaya taşınım ısı transfer hızı;

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{conv}} &= hA_s (T_s - T_\infty) \\ &= (6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(1.6 \text{ m}^2)(29 - 20)^\circ\text{C} \\ &= 86.4 \text{ W}\end{aligned}$$

Kişiden çevre yüzeylere, tavana ve tabana olan ışınım transfer hızı;

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{rad}} &= \varepsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \\ &= (0.95)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1.6 \text{ m}^2) \\ &\quad \times [(29 + 273)^4 - (20 + 273)^4] \text{ K}^4 \\ &= 81.7 \text{ W}\end{aligned}$$

Vücuttan olan toplam ısı transfer hızı;

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}} = (86.4 + 81.7) \text{ W} = \mathbf{168.1 \text{ W}}$$

**Not:** Eğer şahıs giyinik olmasaydı, açık yüzey T'lığı yükseleceğinden, ısı transferi hızı da artacaktı.

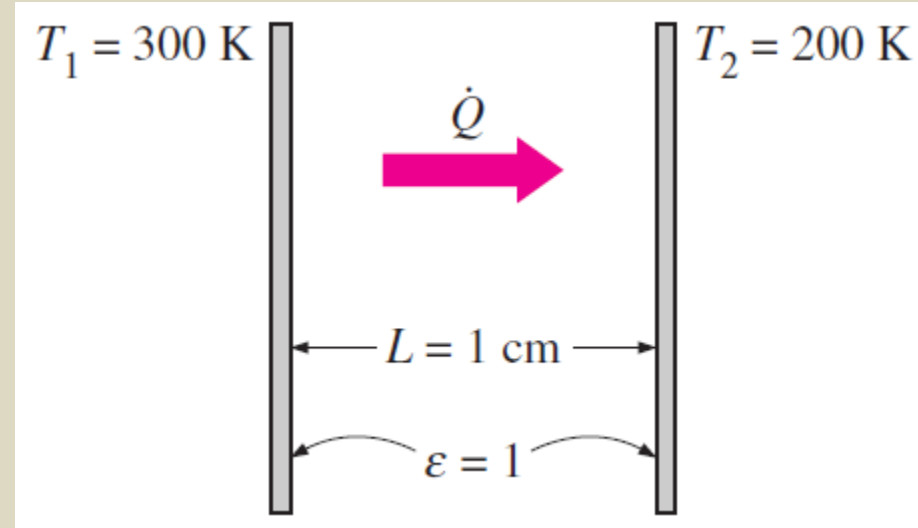
Ayrıca terleme ile olan ısı transferi burada dikkate alınmamıştır.

**Ör 1-11:** Birbirlerinden 1 cm uzaklıkta 300 K ve 200 K T'lıklarındaki geniş iki paralel plaka arasındaki sürekli ısı transferini göz önüne alalım. Yüzeylerin siyah olduğunu kabul ederek ( $\varepsilon = 1$ ), plakalar arasındaki boşluğun, a) atm havası ile doldurulmuş, b) boşaltılmış, c) poliüretan yalıtım ile doldurulmuş, d) görünür ısıl iletkenliği 0,00002 W/mK olan süper yalıtım ile doldurulmuş olduğunu kabul ederek plakalar arasındaki ısı transfer hızını belirleyiniz.

**Çözüm:**

Kabuller;

- 1- Sürekli rejim,
- 2- Plakalar arasındaki doğal taşınım ile olan ısı kayıpları ihmal
- 3- Yüzeyler siyah ( $\varepsilon = 1$ )



Havanın 250K'deki  $k = 0,0219 \text{ W/mK}$  (interpolasyon ile) **Tablo A-15**

$k = 0,026 \text{ W/mK}$  poliüretan köpük (**Tablo A-6**)

a) Plakalar arasındaki hava tabakasından olan iletim ve ışınım ısı transfer hızları;

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = (0.0219 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(1 \text{ m}^2) \frac{(300 - 200)^\circ\text{C}}{0.01 \text{ m}} = 219 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{rad}} &= \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4) \\ &= (1)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1 \text{ m}^2)[(300 \text{ K})^4 - (200 \text{ K})^4] = 368 \text{ W} \end{aligned}$$

Toplam;

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{cond}} + \dot{Q}_{\text{rad}} = 219 + 368 = \mathbf{587 \text{ W}}$$

Gerçekte, plakalar arasındaki hava, doğal taşınım ile ısının transfer edilmesine, bu ise ısı kayıplarının artmasına yol açacaktır.

b) Plakaların arasındaki **hava boşaltıldığında** iletim ve taşınım olmayacaktır. Isı transferi **sadece ışınım** ile gerçekleşecektir.

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{rad}} = 368 \text{ W}$$

c) İki plaka arasına mat bir katı malzemenin yerleştirilmesi ile plakalar arasındaki ışınım ile ısı transferi engellenir.

Poliüretan yalıtım içindeki ısı transfer hızı;

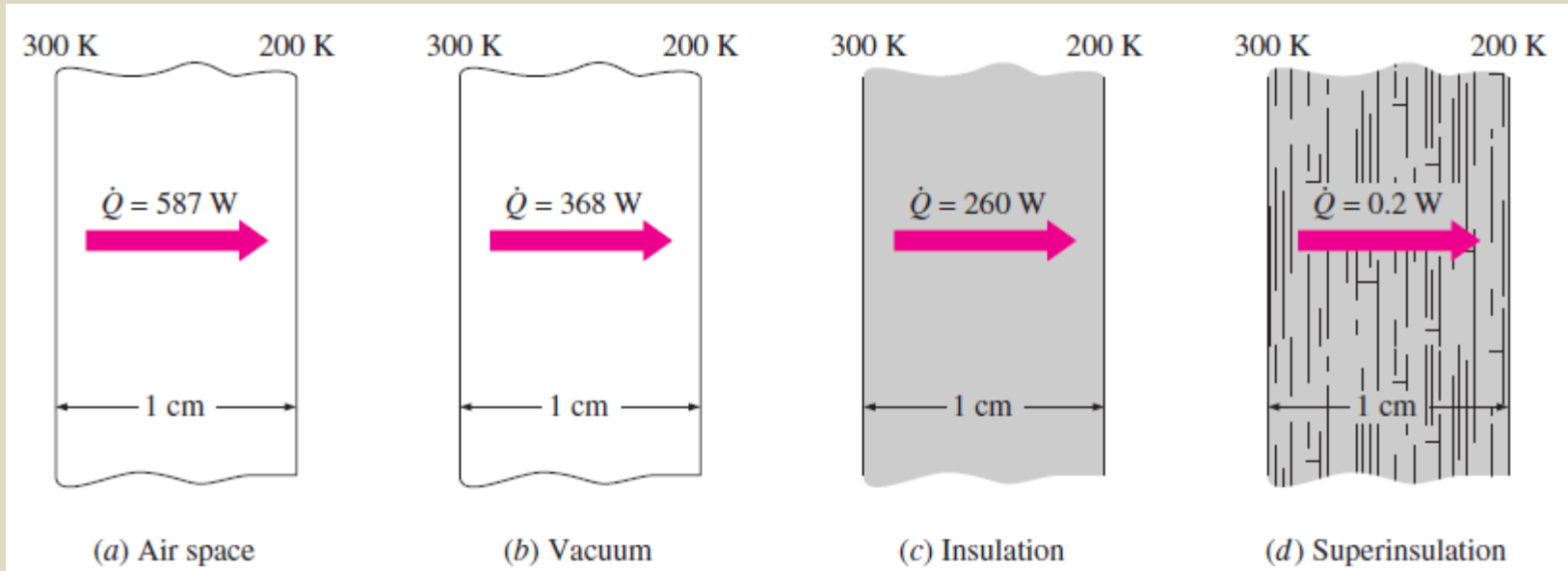
$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = (0.026 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(1 \text{ m}^2) \frac{(300 - 200)^\circ\text{C}}{0.01 \text{ m}} = \mathbf{260 \text{ W}}$$

**Not:** Yalıtım malzemesinin k değeri ( $k = 0,026 \text{ W/mK}$ ) havanınkinden ( $k = 0,0219 \text{ W/mK}$ ) daha yüksek olmasına rağmen "c" şıkkı için ısı kayıpları daha az olmaktadır.

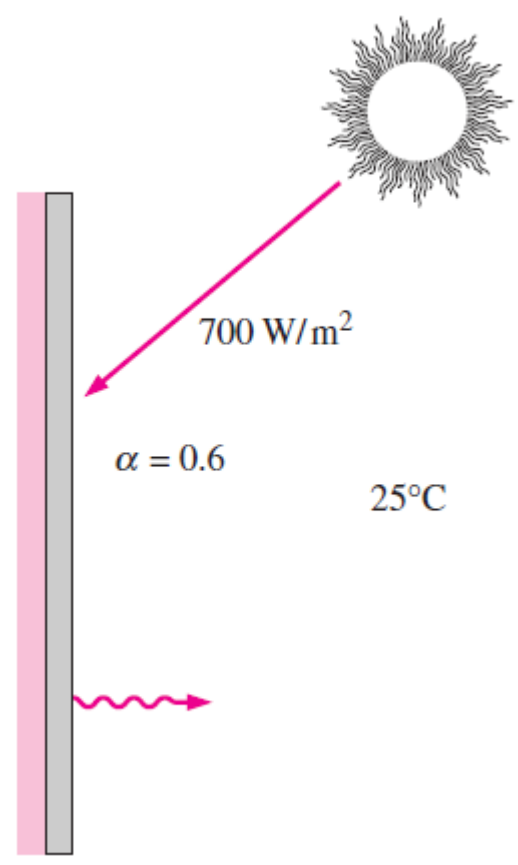
**Sebebi;** poliüretan yalıtım malzemesinin ışınlı engellemesi havanın ise geçirmesidir.

d) Süper yalıtım uygulanması durumunda;

$$\dot{Q}_{\text{total}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = (0.00002 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(1 \text{ m}^2) \frac{(300 - 200)^\circ\text{C}}{0.01 \text{ m}} = \mathbf{0.2 \text{ W}}$$



**Ör 1-1:** İnce bir metal plakanın arka tarafı yalıtılmış, ön yüzeyi ise güneş ışınımına açıktır. Plakanın açık yüzeyi güneş ışınımı için 0,6'lık soğurganlığa sahiptir. Eğer güneş ışınımı plakaya  $700 \text{ W/m}^2$ 'lik hızda geliyorsa ve çevre havanın  $T$ 'liği  $25^\circ\text{C}$  ise, taşınım ve ışınım ile olan ısı kaybı, plaka tarafından soğurulan güneş enerjisine eşit olduğu zaman, plakanın yüzey  $T$ 'liğini belirleyiniz. Birleşik taşınım ve ışınım ısı transfer katsayısını  $50 \text{ W/m}^2\text{C}$  olarak kabul ediniz.



**Çözüm:**

**Kabuller;** 1- Sürekli rejim,

2- Plakanın yalıtımlı tarafındaki ısı transferi ihmal,

3- Isı transfer katsayıları sabit

Gelen güneş ışınımının % 60'ı sürekli olarak absorbe ( $\alpha=0,6$ ) edilmektedir.

Sürekli rejim şartları sağlandığında (plakadan olan ısı kayıp hızının, soğurulan güneş enerjisi hızına eşit olması);

$$\dot{E}_{\text{gained}} = \dot{E}_{\text{lost}}$$

$$\alpha A_s \dot{q}_{\text{incident, solar}} = h_{\text{combined}} A_s (T_s - T_{\infty})$$

Plakanın yüzey T'lığı;

$$T_s = T_{\infty} + \alpha \frac{\dot{q}_{\text{incident, solar}}}{h_{\text{combined}}} = 25^{\circ}\text{C} + \frac{0.6 \times (700 \text{ W/m}^2)}{50 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} = \mathbf{33.4^{\circ}\text{C}}$$

**Not:** Isı kaybı plaka T'lığının 33,4 °C'nin üzerine çıkmasını engellemektedir.

Bileşik ısı transfer katsayısı taşınım ile ışınımın etkilerini hesaba katmaktadır.

## Anlamalı Basamakların Yorumu

Mühendislik hesaplamalarında sonuçları daha fazla anlamalı basamakla bildirmek daha büyük hassasiyet demektir ki bundan kaçınılmalıdır.

Genellikle virgülden sonra üç basamaklık hassasiyet yeterli olmaktadır.

## Anlamlı Basamakların Yorumu

*Given:*

Volume:  $V = 3.75 \text{ L}$

Density:  $\rho = 0.845 \text{ kg/L}$

(3 significant digits)

*Also,*  $3.75 \times 0.845 = 3.16875$

*Find:*

Mass:  $m = \rho V = 3.16875 \text{ kg}$

*Rounding to 3 significant digits:*

$m = 3.17 \text{ kg}$

Okuyunuz: s35-46

# Isı Transferi

Giriş ve Temel Kavramlar-1