

2. HAFTA

Giriş ve Temel Kavramlar

Isı Transfer Mekanizmaları

- **Isı**, sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğere transfer edilebilen bir enerji türü olarak tanımlanmıştır.
- Bir termodinamik çözümleme, bir sistem bir denge durumundan diğere geçiş yaparken ısı transfer **miktarıyla** ilgilidir.
- Böylesi bir enerji transferinin **hızlarını** bulmakla ilgilenen bilim dalı ısı transferidir.
- Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde **ısı transferi** durur.
- Isı, üç farklı yolla aktarılabilir:
 - **İletim** (Kondüksiyon)
 - **Taşınım** (Konveksiyon)
 - **Işınım** (Radyasyon)
- Isı transferinin bütün türleri bir sıcaklık farkını gerektirir.

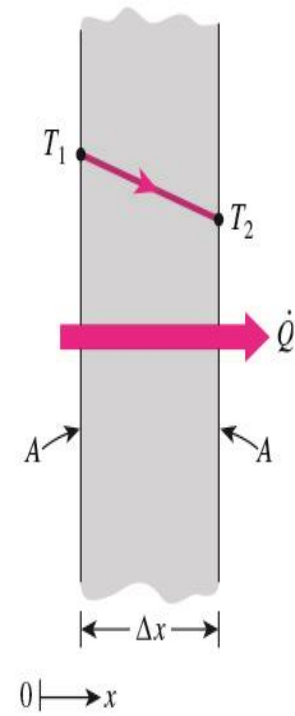
İletim

İletim parçacıklar arası etkileşmelerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha yüksek enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır.

Gazlarda ve sıvılarda iletim, moleküllerin gelişigüzel hareketleri sırasında **çarpışmaları** ve **yayılmaları** sebebiyle olur.

Katılarda ise iletim, kafeslerdeki moleküllerin **titreşimleri** ve bunun yanında **serbest elektronlarla** enerji aktarımı sonucu olur.

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



ŞEKİL 1-23

Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi.

$$\text{Rate of heat conduction} \propto \frac{\text{(Alan)} \text{(Sıcaklık Farkı)}}{\text{Thickness}} \\ \text{Rate of heat conduction} \propto \frac{\text{(Area)} \text{(Temperature difference)}}{\text{Thickness}} \\ \text{(Et kalınlığı)}$$

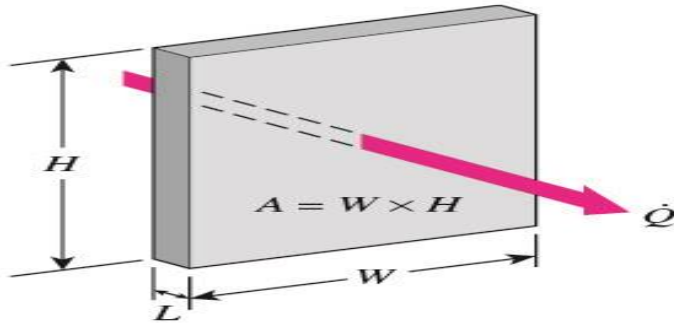
$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{W})$$

When $x \rightarrow 0$ $\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx}$ **Fourier ısı iletim kanunu**

Isıl iletkenlik: Bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin ölçüsüdür

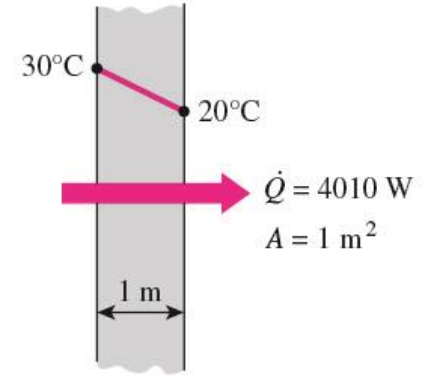
Sıcaklık gradyanı dT/dx : T - x diyagramında sıcaklık eğrisinin eğimidir.

Isı azalan sıcaklık yönünde iletilir ve sıcaklık artan x yönünde azalıyorsa, sıcaklık gradyanı negatif olur. Negatif işaret, pozitif x yönünde ısı transferinin pozitif bir nicelik olmasını sağlar.

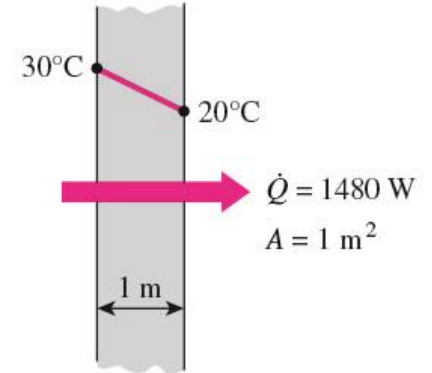


ŞEKİL 1-26

Isı iletimi çözümlenmesinde A , ısı transferi doğrultusuna *dik* alanı gösterir.



(a) Bakır ($k = 401 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)



(b) Silikon ($k = 148 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)

ŞEKİL 1-24

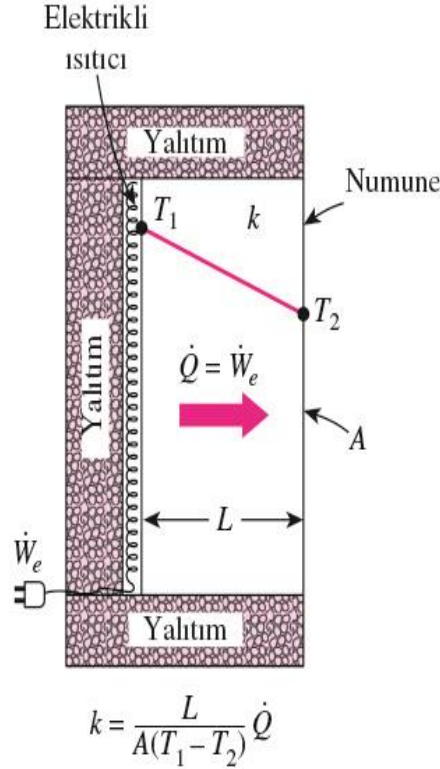
Bir katıda ısı iletiminin hızı, katının ısıl iletkenliğiyle doğrudan orantılıdır.

Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik: Bir malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı olarak tanılanabilir.

Bir malzemenin ısı iletkenliği, malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Yüksek ısı iletkenlik değeri malzemenin iyi bir ısı iletken olduğunu, düşük ısı iletkenlik değeri ise malzemenin kötü bir ısı iletken veya **ısı yalıtkan** olduğunu gösterir.



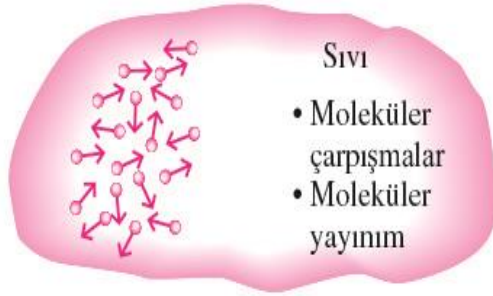
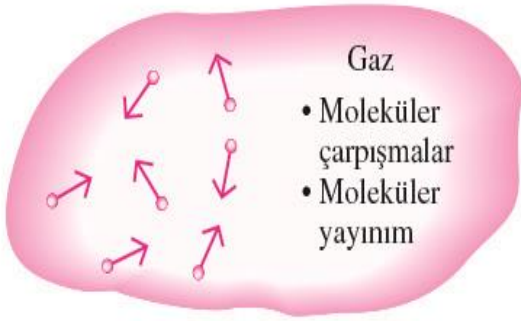
ŞEKİL 1-28

Bir malzemenin ısı iletkenliğini belirlemek için basit bir deneysel düzenek.

TABLO 1-1

Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlikleri

Malzeme	k , W/m·K
Elmas	2300
Gümüş	429
Bakır	401
Altın	317
Alüminyum	237
Demir	80.2
Cıva (s)	8.54
Cam	0.78
Tuğla	0.72
Su (s)	0.607
İnsan derisi	0.37
Ağaç (meşe)	0.17
Helyum (g)	0.152
Yumuşak kauçuk	0.13
Cam elyafı	0.043
Hava (g)	0.026
Üretan, katı köpük	0.026



ŞEKİL 1-30

Bir maddenin farklı fazlarda ısı iletim mekanizmaları.

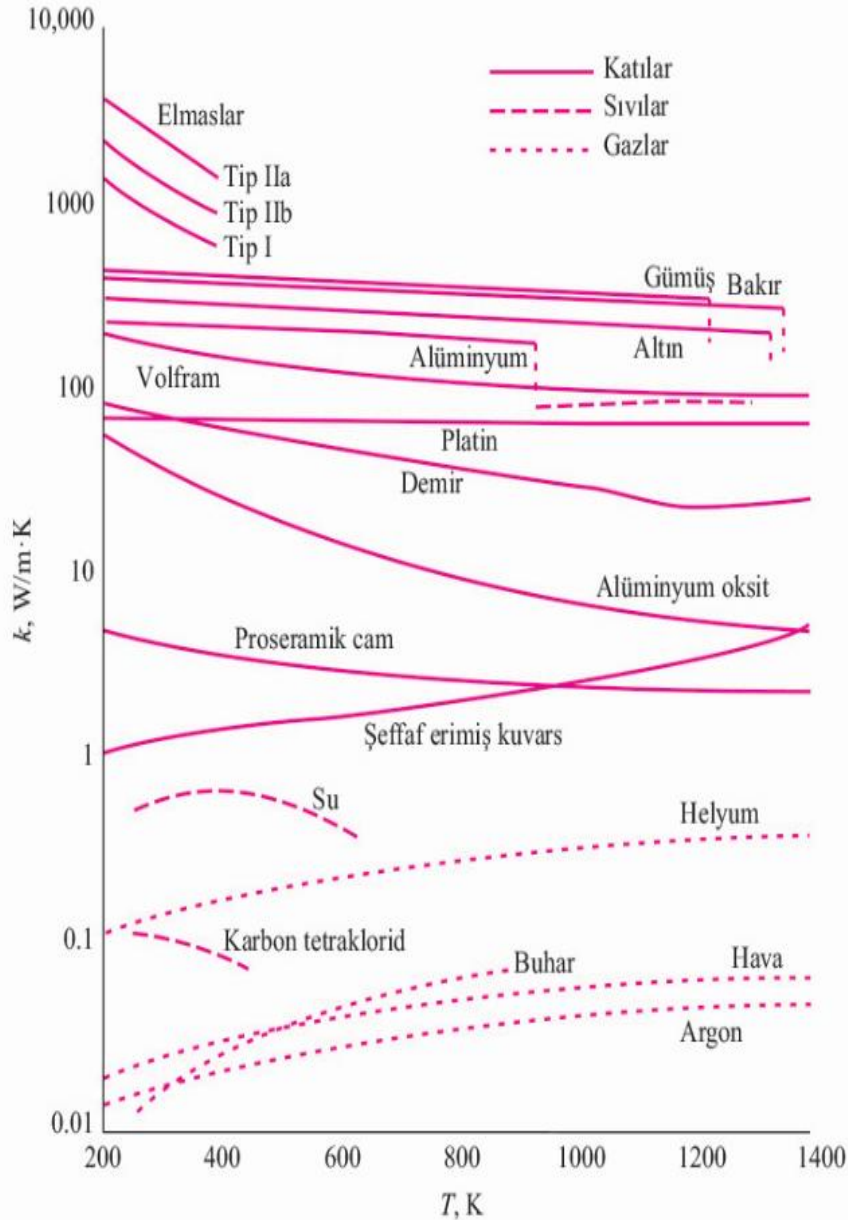
Hava gibi gazların ısı iletkenlikleri, bakır gibi saf metallerekinden 10^4 çarpanı oranında farklıdır.

Görüldüğü gibi gazların ve yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri en düşük, saf kristal ve metallerekinden ise en yüksektir.

TABLO 1-2

Bir alaşımın ısı iletkenliği genellikle o alaşımı oluşturan metallerekinden de çok düşüktür

Saf metal veya alaşım	k , W/m·K, 300 K 'de
Bakır	401
Nikel	91
<i>Konstantan</i> (%55 Cu, %45 Ni)	23
Bakır	401
Alüminyum	237
<i>Ticarî bronz</i> (%90 Cu, %10 Al)	52



TABLO 1-3

Malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklığa bağlı olarak değişir

T, K	k, W/m·K	
	Bakır	Alüminyum
100	482	302
200	413	237
300	401	237
400	393	240
600	379	231
800	366	218

Çeřitli katı, sıvı ve gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimleri.

Isıl Yayınım

c_p **Özgül ısı:** Birim kütle başına ısı kapasitesi

ρc_p **Isıl kapasitesi:** Birim hacim başına ısı kapasitesi

α **Isıl yayınım:** Bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösteren katsayıdır.

$$\alpha = \frac{\text{Heat conduction}}{\text{Heat storage}} = \frac{k}{\rho c_p} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

Yüksek ısı iletkenliğe veya düşük ısı kapasiteye sahip bir malzemenin ısı yayınımının yüksek olacağı açıktır.

Isıl yayınım ne kadar yüksek olursa, ısının ortam içerisinde yayılması o kadar hızlı olur.

Küçük ısı yayınım değeri, ısının çoğunun malzeme tarafından soğurulduğu ve küçük bir miktarının daha ileri iletildiği anlamına gelir.

TABLO 1-4

Oda sıcaklığında bazı malzemelerin ısı yayınım katsayıları

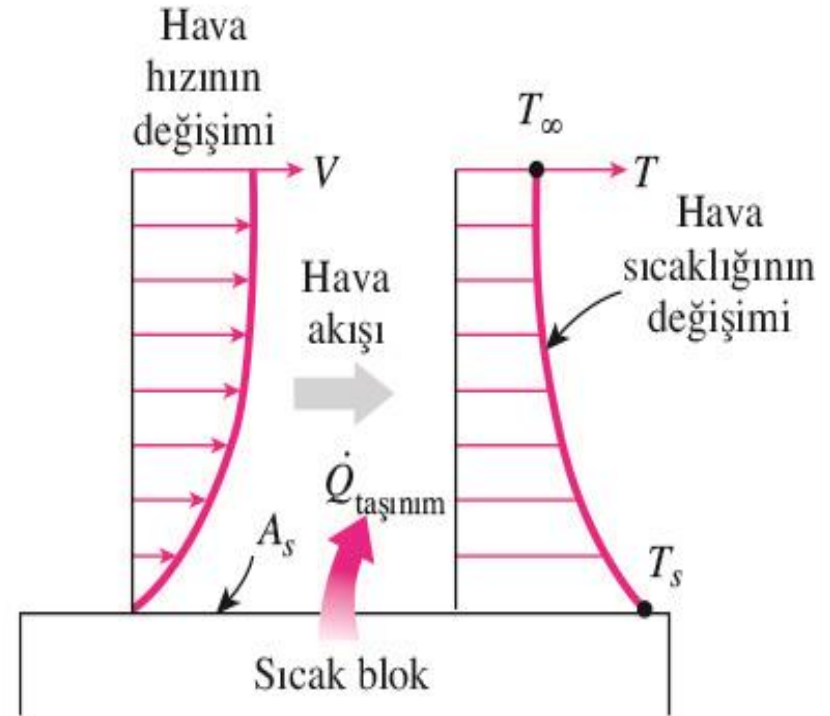
Malzeme	α , m ² /s
Gümüş	149×10^{-6}
Altın	127×10^{-6}
Bakır	113×10^{-6}
Alüminyum	97.5×10^{-6}
Demir	22.8×10^{-6}
Cıva (s)	4.7×10^{-6}
Mermer	1.2×10^{-6}
Buz	1.2×10^{-6}
Beton	0.75×10^{-6}
Tuğla	0.52×10^{-6}
Ağır toprak (kuru)	0.52×10^{-6}
Cam	0.34×10^{-6}
Cam yünü	0.23×10^{-6}
Su (s)	0.14×10^{-6}
Sığır eti	0.14×10^{-6}
Ağaç (meşe)	0.13×10^{-6}

Taşınım

Taşınım: Bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı veya gaz arasında enerji aktarımı türüdür; **iletim** ve **akışkan hareketinin** birleşik etkilerini kapsar.

Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım ısı aktarımı da o kadar büyük olur.

Yığın akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde, katı yüzeyle bitişikteki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletimle olur.



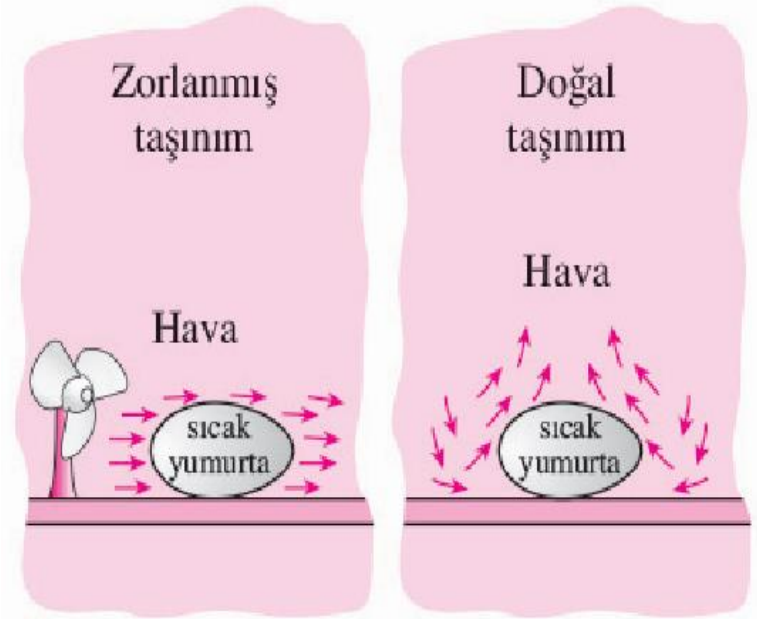
ŞEKİL 1-34

Sıcak bir yüzeyden havaya taşınım ile ısı transferi.

Zorlanmış Taşınım: Eğer akışkan, yüzeyin üzerinden fan, pompa veya rüzgar vasıtasıyla akmaya zorlanıyorsa bu taşınıma denir.

Doğal (serbest) Taşınım: Eğer akışkan hareketi, akışkan içerisinde sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının doğurduğu, kaldırma kuvveti sebebiyle olan taşınımdır.

Bir akışkanın faz değişimi içeren ısı transfer işlemleri, kaynama sırasında kabarcıkların yükselmesi veya yoğunlaşma sırasında sıvı damlacıklarının yağması gibi, işlem esnasında oluşan akışkan hareketleri sebebiyle, aynı zamanda taşınım olarak düşünülür.



Kaynamış bir yumurtanın zorlanmış ve doğal taşınım ile soğutulması

Bir sıvının faz değişimini içeren **ısı transferi işlemleri**, kaynatma sırasında buhar kabarcıklarının artması veya yoğunlaşma sırasında sıvı damlacıklarının azalması gibi işlem sırasında uyarılan sıvı hareketi nedeniyle konveksiyon olarak düşünülür.

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

(W) Newton'un soğutma kanunu

h konveksiyon ısı transfer katsayısı,
 A_s konveksiyon ısı transferinin geçtiği yüzey alanı,
 T_s yüzey sıcaklığı,
 T_∞ sıvının yüzeyden yeterli uzaktaki sıcaklığı,

- Taşınım katsayısı h akışkanın bir özelliği değildir.
- Bu katsayı deneysel olarak bulunan ve değeri
 - ✓ Yüzey geometrisine
 - ✓ Akışkan hareketinin tabiatına
 - ✓ Akışkanın özellikleri ve
 - ✓ Akışkanın yığın hızına bağlı parametredir.

TABLO 1-5

Taşınım ısı transfer katsayısının özgün değerleri

Taşınımın türü	h , W/m ² ·K
Gazların doğal taşınımı	2–25
Sıvıların doğal taşınımı	10–1000
Gazların zorlanmış taşınımı	25–250
Sıvıların zorlanmış taşınımı	50–20,000
Kaynama ve yoğuşma	2500–100,000

Işınım

- **Işınım:** Atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerin sonucunda maddeden *elektromanyetik dalgalar* (veya *fotonlar*) şeklinde yayılan enerjidir.
- İletim ve taşınımından farklı olarak ışınımınla ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez.
- Gerçekte, ışınımınla ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. *Güneş enerjisinin* yeryüzüne ulaşma şekli budur.
- Isı transfer çalışmalarında, cisimlerin sıcaklıkları sebebiyle yaydıkları ışınım türü olan *ısı ışınım* ile ilgilidir.
- *Mutlak sıfırın üstündeki sıcaklıklarda bütün cisimler ısı ışınım yayarlar.*
- Işınım *hacimsel bir olaydır*; bütün katılar, sıvılar ve gazlar, ışınımı değişen seviyelerde yayar, soğurur ve geçirirler.
Böylesi katılar için ışınım genellikle bir *yüzey olayı* olarak göz önüne alınır.

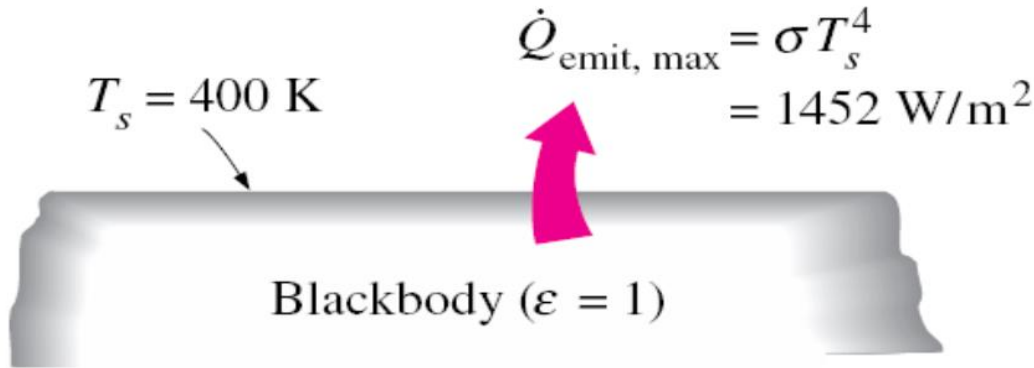
$$\dot{Q}_{\text{emit, max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad \text{Stefan-Boltzmann kanunu}$$

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Karacisim: Maksimum hızla ışıyım yayan ideal yüzeye denir.

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

Emissivite: Değeri $0 \leq e \leq 1$ aralığında değişen yayıcılık özelliği, bir yüzeyin yayıcılığı $e = 1$ olan karacisme ne kadar yakın olduğunun bir ölçüsüdür.



Karacisim ışıyımı, bilinen bir sıcaklıkta bir yüzeyin yayabileceği maksimum ışıyım miktarını gösterir.

TABLO 1-6

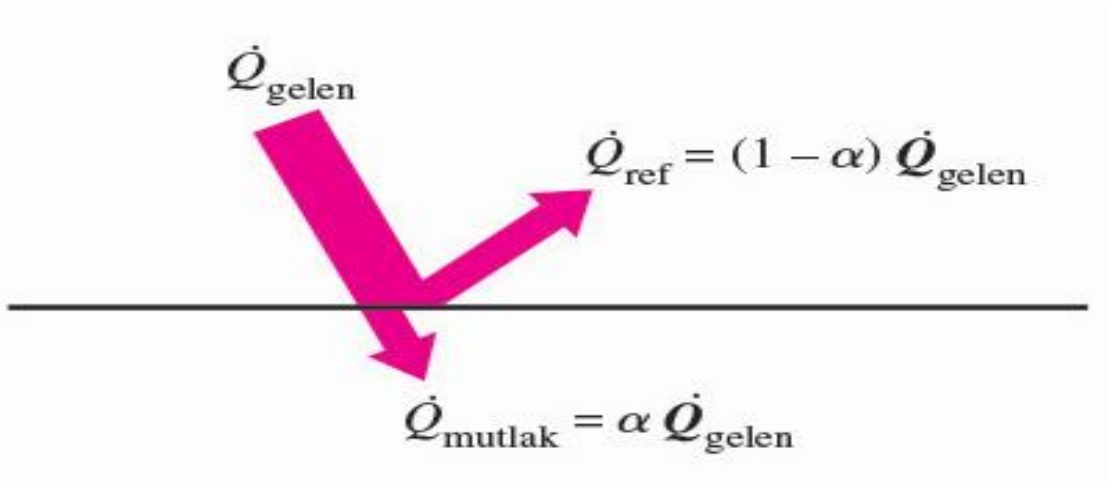
300 K sıcaklıkta bazı malzemelerin yayma katsayıları

Malzeme	Yayıcılık
Alüminyum folyo	0.07
Anodize alüminyum	0.82
Parlatılmış bakır	0.03
Parlatılmış altın	0.03
Parlatılmış gümüş	0.02
Parlatılmış paslanmaz çelik	0.17
Siyah boya	0.98
Beyaz boya	0.90
Beyaz kâğıt	0.92–0.97
Asfalt döşeme	0.85–0.93
Kırmızı tuğla	0.93–0.96
İnsan derisi	0.95
Ağaç	0.82–0.92
Toprak	0.93–0.96
Su	0.96
Bitkiler	0.92–0.96

Soğurganlık α : Yüzeye gelen ışınım enerjisinin soğurulma oranıdır. $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığındadır.

Kirchhoff ışınım kanunu: Verilen bir sıcaklık ve ışınım dalga boyu için bir yüzeyin yayıcılığı ile soğurganlığının eşit olduğunu ifade eder.

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



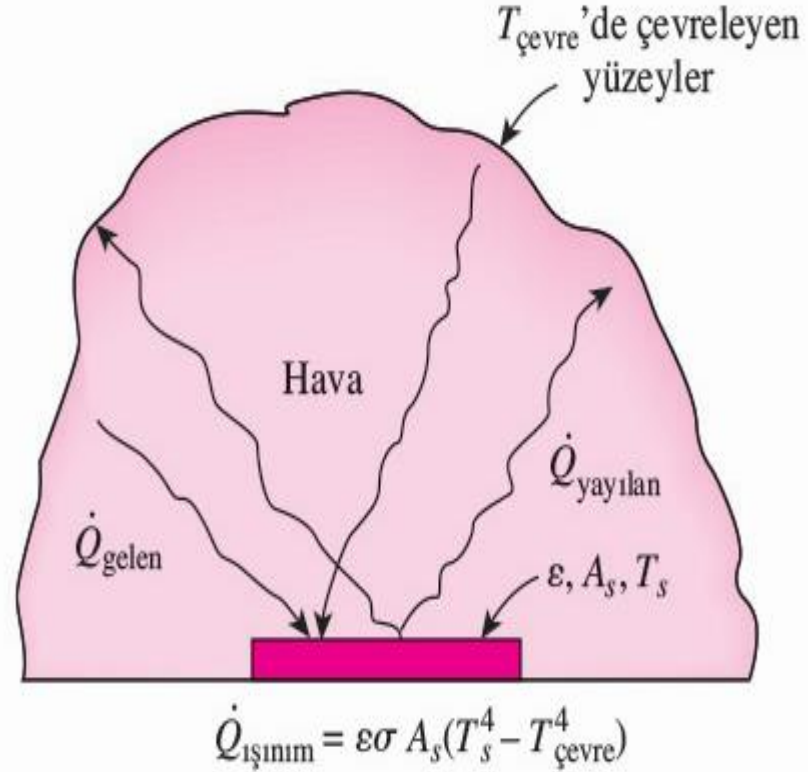
Soğurganlığı α olan opak bir yüzeye gelen ışınımın soğurulması

Net ışı nım ısı transferi: Bir yüzeyin yaydığı ışı nım ile soğurduğu ışı nım arasındaki farktır. İki yüzey arasındaki net ışı nım ısı transfer hızını bulmak, yüzeylerin özelliklerine, birbirlerine göre yerleşme durumlarına ve yüzeyler arasındaki ortamın ışı nımla olan etkileşmesine bağlı olduğundan, genel olarak karmaşık bir meseledir.

Bir yüzey $T(\text{çevre})$ termodinamik sıcaklığında çok geniş (veya kara) bir yüzeyle tamamen çevrelenmiş ve aralarında ışı nımla etkileşmeyen hava gibi bir gaz olduğu zaman, bu iki yüzey arasında net ışı nım ısı transfer hızı;

ışı nım genellikle iletim veya doğal taşınımın yanında önemlidir; fakat zorlanmış taşınımın yanında ihmal edilebilir.

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



Bir yüzey ve çevresindeki yüzeyler arasında ışı nım transferi

O zaman bir yüzeyden veya yüzeye, taşınım ve ışınım ile olan toplam ısı transfer hızı;

$$\dot{Q}_{\text{total}} = h_{\text{combined}} A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W})$$

Birleşik ısı transfer katsayısı h (birleşik)

Çoğunlukla taşınım ve ışınımın ikisinin de etkilerini kapsar.

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

$$\dot{Q}_{\text{total}} = h_{\text{combined}} A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W})$$

$$h_{\text{combined}} = h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}} = h_{\text{conv}} + \varepsilon \sigma (T_s + T_{\text{surr}})(T_s^2 + T_{\text{surr}}^2)$$

EŞZAMANLI ISI TRANSFER MEKANİZMALARI

Isı transferi, geçirgen olmayan katılarda yalnız iletimle, yarı geçirgen katılarda ise iletim ve ışınım yoluyla olur.

Böylece bir katı iletim ve ışınım içerebilir, fakat taşınım içermez. Ancak bir katı, bir akışkana veya başka yüzeylere açık yüzeylerinde taşınım ve/veya ışınım ile ısı transferi içerebilir.

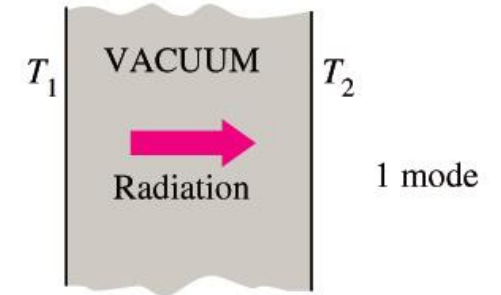
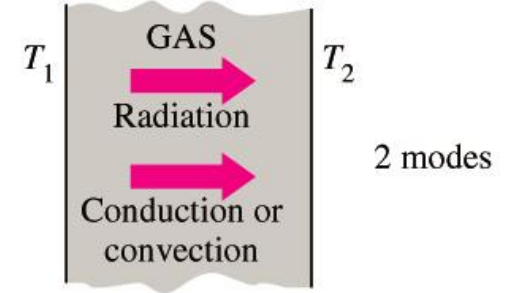
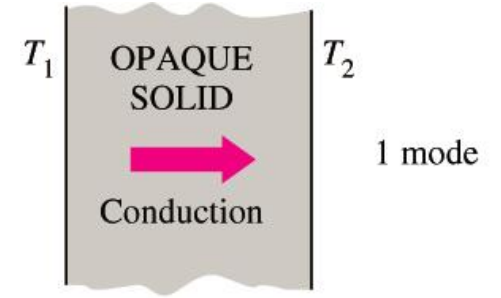
Isı transferi, yığın akışkan hareketin olmadığı durgun akışkanlarda iletim ve belki ışınım ile; akan akışkanlarda ise taşınım ve ışınım ile olur.

Işınım yoksa bir akışkandan ısı transferi, herhangi bir yığın akışkan hareketinin olup olmamasına bağlı olarak, ya iletim veya taşınım ile olur.

Vakum içinden ısı transferi yalnız ışınım ile olur.

Çoğu durumda iki katı yüzey arasındaki gaz, ışınım ile etkileşmez.

Sıvılar genellikle kuvvetli ışınım soğuruculardır.



Üç türlü ısı transfer mekanizmasının varlığına karşılık, bir ortamda ancak ikisi eşzamanlı gerçekleşebilir.