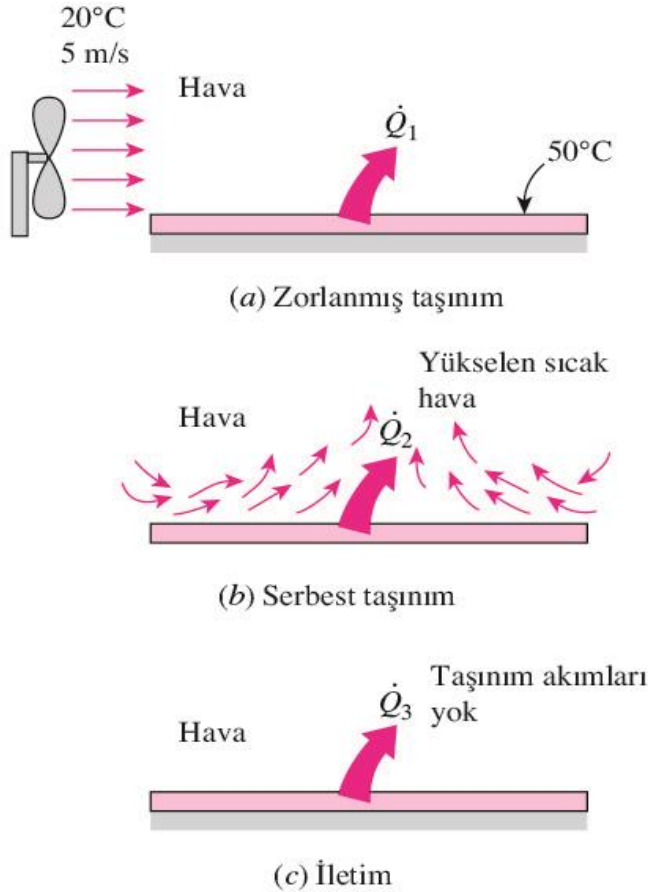


**9. HAFTA**  
**TAŞINIM ESASLARI**

# TAŞINIMIN FİZİKSEL MEKANİZMASI



## ŞEKİL 6-1

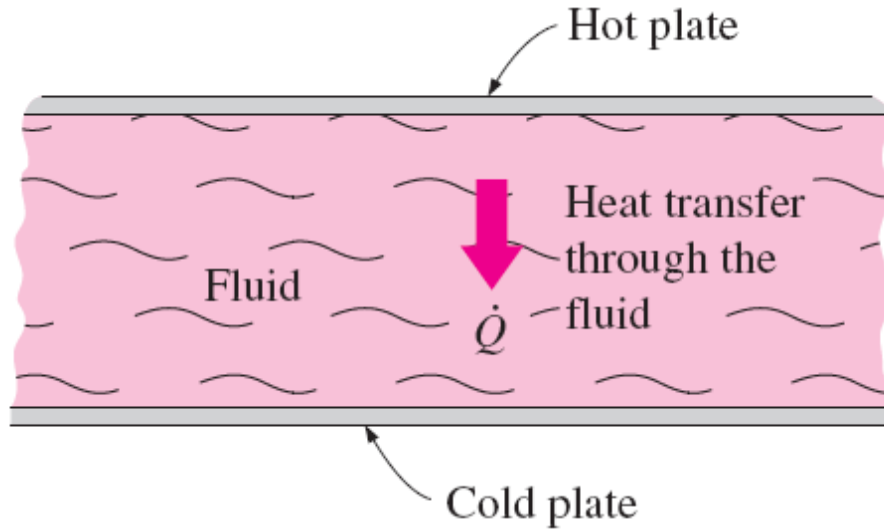
Sıcak bir yüzeyden çevre akışkana taşınım ve iletimle olan ısı transferi.

- İletim ve taşınım, her iki mekanizma da maddesel bir ortamın varlığını gerektirdiği için benzerdir; ancak taşınım bir akışkan hareketinin varlığını gerektirdiği için birbirinden farklıdır.
- Katı cisim molekülleri birbirine göre sabit konum kaldıkları için bir katı içindeki ısı transferi her zaman iletim ile olur.
- Bir akışkanda ısı transferi yoğun akışkan hareketi varsa taşınım, yoksa iletim ile gerçekleşir.
- Bu sebeple bir akışkan içindeki iletim, taşınımın –durgun akışkan durumuna karşılık gelen- limit durumu olarak görülebilir.

Daha soğuk ve daha sıcak akışkan yığınlarını temas haline getirdiği ve akışkan içinde daha fazla bölgede yüksek iletim hızı başlattığı için, akışkan hareketi ısı transferini iyileştirir.

Bu yüzden bir akışkan içinde taşınım ile olan ısı transfer hızı, iletimle olan ısı transferinden çok daha yüksektir.

Aslında akışkan hızı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı da o kadar yüksek olur.



İki paralel plaka arasına yerleştirilmiş bir akışkanda ısı transferi

Taşınım ile ısı transferinin **akışkan hızı**  $V$  'ye olduğu kadar, **dinamik viskozite**, **ısı iletkenlik**, **özümlü kütle** ve **özümlü ısı** gibi akışkan özelliklerine de fazlaca bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, **akışkanın akış tipine** (akım çizgili veya türbülanslı olması gibi) ek olarak, katı yüzeyin **geometrisine ve pürüzsüzlüğüne** de bağlıdır.

$$\dot{q}_{\text{conv}} = h(T_s - T_\infty) \quad (\text{W/m}^2) \quad \text{Newton' un}$$
$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (\text{W}) \quad \text{soğutma}$$

**kanunu**

$h$  = convection heat transfer coefficient,  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

$A_s$  = heat transfer surface area,  $\text{m}^2$

$T_s$  = temperature of the surface,  $^\circ\text{C}$

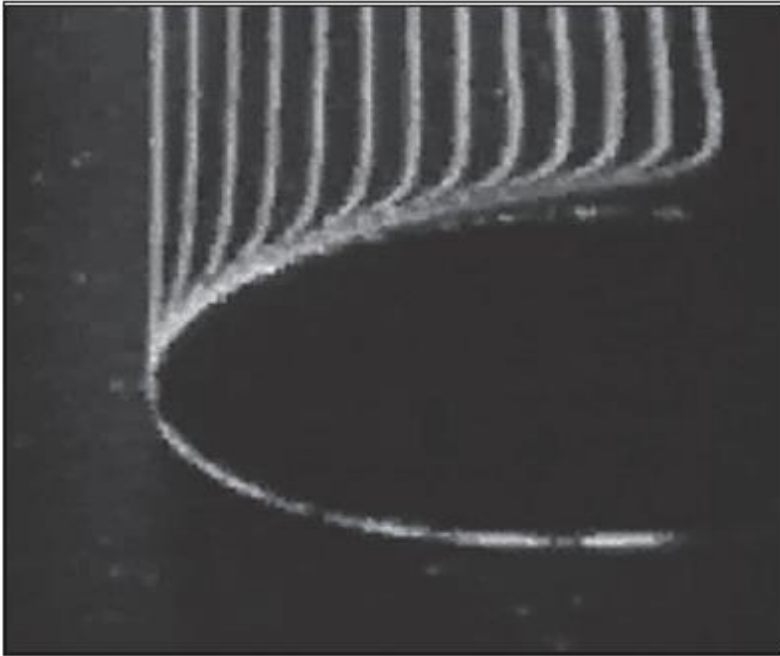
$T_\infty$  = temperature of the fluid sufficiently far from the surface,  $^\circ\text{C}$

Konveksiyonlu ısı transfer katsayısı,  **$h$** : **Birim yüzey sıcaklığı** farkına göre birim yüzey alanı başına katı bir yüzey ile bir sıvı arasındaki ısı transferi oranı.

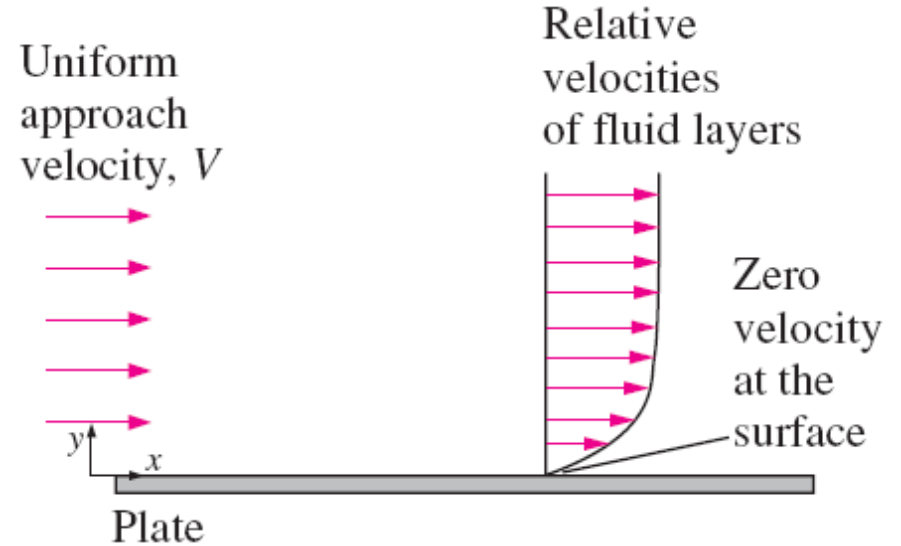
Bir katı yüzeyle doğrudan temas eden akışkan tabakası yüzeye “yapışır” ve orada kayma olmaz. Bu kaymama şartı olarak bilinir.

Viskoz etkilerin –ve dolayısıyla **hız gradyanlarının-** önemli olduğu çepere yakın bu **akış bölgesi** sınır tabaka olarak adlandırılır.

Kaymama şartının ve sınır tabakanın gelişiminin sebebi olan akışkan özelliği viskozitedir.



Bir akışkan küt bir burun üzerinden akarken kaynama şartından dolayı hız profiline gelişimi



Hareketsiz bir yüzey üzerinde akan bir akışkan kaynama şartı sonucu yüzeyde tamamen durur.

Kaynama şartının bir göstergesi, katı yüzeyden bitişikteki akışkan tabakasına olan ısı transferinin, akışkan tabakasının **hareketsiz olması** nedeniyle salt iletim yoluyla olmasıdır ve

$$\dot{q}_{\text{conv}} = \dot{q}_{\text{cond}} = -k_{\text{fluid}} \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (\text{W/m}^2)$$

Akışkan içindeki sıcaklık dağılımı bilindiği zaman taşınım **ısı transfer katsayısını** bulmak üzere

$$h = \frac{-k_{\text{fluid}}(\partial T/\partial y)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Taşınım ısı transfer katsayısı, genellikle akış doğrultusu (veya x) boyunca değişir. Böyle durumlarda bir yüzey için ortalama taşınım ısı transfer katsayısı, bütün yüzey üzerindeki yerel taşınım ısı transfer katsayılarının uygun şekilde ortalaması alınarak bulunur.

$$h = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h_{\text{local}} dA_s \quad \text{and} \quad h = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx$$

# Nusselt Sayısı

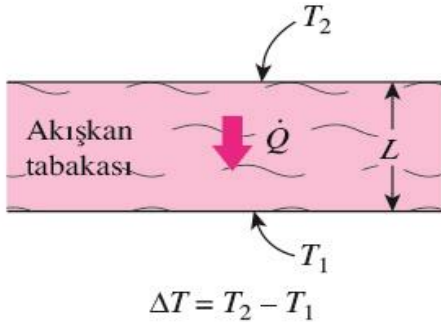
Taşınım çalışmalarında toplam değişken sayısını azaltmak için ana denklemleri boyutsuzlaştırmak ve boyutsuz sayılar halinde gruplandırılan değişkenleri birleştirmek sık rastlanan bir uygulamadır.

**Nusselt sayısı:** Boyutsuz taşınım ısı transfer katsayısı

$$Nu = \frac{hL_c}{k}$$

$L_c$  Karakteristik uzunluk

$$\dot{q}_{\text{conv}} = h\Delta T \quad \frac{\dot{q}_{\text{conv}}}{\dot{q}_{\text{cond}}} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L} = \frac{hL}{k} = Nu$$
$$\dot{q}_{\text{cond}} = k \frac{\Delta T}{L}$$



**ŞEKİL 6-6**

Kalınlığı  $L$  ve sıcaklık farkı  $\Delta T$  olan bir akışkan tabakası içinde ısı transferi.

- Nusselt sayısı, bir akışkan tabakası üzerinde taşınımın iletme oranının sonucu olarak, o akışkan tabakasındaki ısı transfer iyileşmesini gösterir.

- Nusselt sayısı ne kadar büyük olursa taşınım da o kadar etkili olur.

- Bir akışkan tabakası için Nusselt sayısının  $Nu = 1$  olması, o tabaka içindeki ısı transferinin salt iletim ile olduğunu gösterir.

## Günlük yaşamda konveksiyon



### ŞEKİL 6-7

Isı transfer hızını artırmaya ihtiyaç duyulduğu zaman zorlanmış taşınımına başvurulur.

- Sıcak yaz günlerinde vücutta daha etkili bir soğutma yapabilmek için vantilatör kullanılır; vantilatör hızı ne kadar yüksek olursa insan kendini o kadar rahat hisseder.
- Daha hızlı bir soğutmanın gerçekleştirilmesi amacıyla çorba karıştırılır ve sıcak bir pizza dilimine iletilir.
- Rüzgarlı kış günlerinde hava olduğundan daha soğuk hissedilir.
- Elektronik düzeneklerin ısı problemleri için en basit çözüm yeterince büyük fan kullanmaktır.

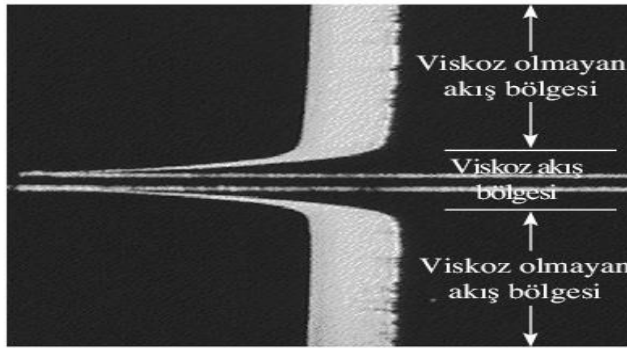


# AKIŞKAN AKIŞLARININ SINIFLANDIRILMASI

## Viskoz ve Viskoz Olmayan Akış Bölgeleri

Viskoz etkilerin önemli olduğu akışlara viskoz akış denir.

Atalet ve basınç kuvvetleri yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bölgeler (genellikle katı yüzeylere uzak bölgeler) vardır. Bu tür viskoz olmayan akış bölgelerinde viskoz terimlerin ihmal edilmesi, çözümlmeyi –duyarlığa fazlaca kaybetmeksizin- epeyce basitleştirir.



### ŞEKİL 6-9

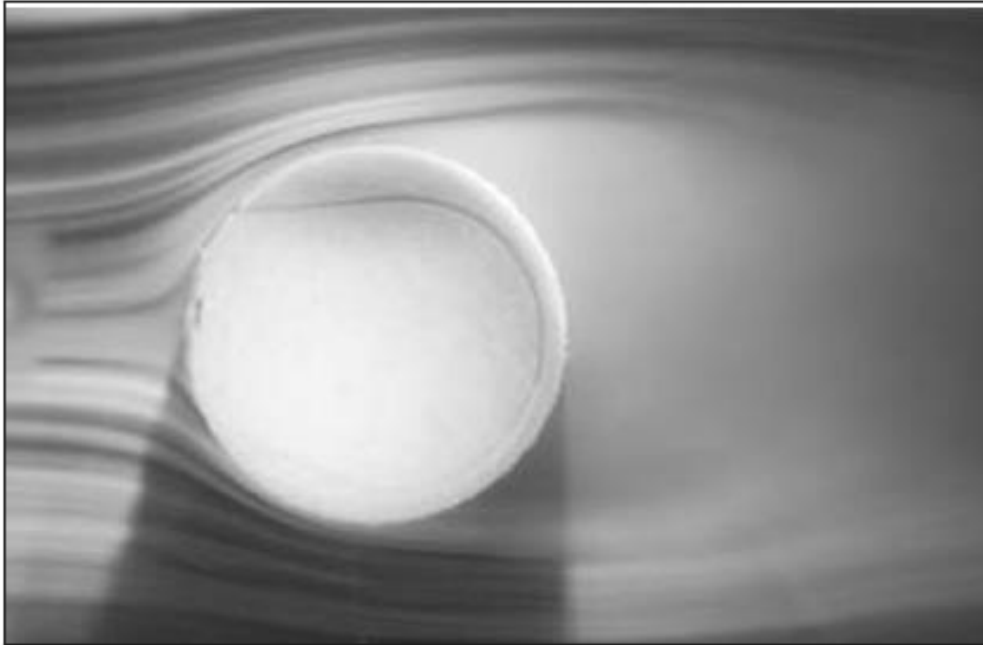
Düz bir plaka üzerinde ilk çıkış noktasında üniform olan bir akımın akışı ve viskoz akış (her iki tarafta plakanın bitişiğinde) ile viskoz olmayan akış (plakadan uzakta) bölgeleri.

*Fundamentals of Boundary Layers,  
National Committee from Fluid Mechanics  
Films, © Education Development Center.*

## İç ve Dış Akışlar

Sınırlanmamış bir akışkanın bir plaka, tel veya boru gibi bir yüzey üzerinden akışı dış akıştır.

Akışkan katı yüzeyler tarafından, -bir boru veya kanalın içinde olduğu gibi- tamamıyla sınırlanmışsa akış iç akıştır.



Bir tenis topu üzerindeki dış akış ve arkada türbülanslı iz bölgesi.

- Bir boru içinde suyun akışı iç akıştır ve bir topun veya rüzgarlı bir gün boyunca açıkta kalan bir borunun üzerinden hava akışı dış akıştır.
- Serbest yüzeyin olan akışkanların –yani sıvıların- kısmen doldurduğu kanaldaki akışı, açık kanal akışı olarak adlandırılır.

# Sıkıştırılmaz ve Sıkıştırılabilir Akış

**Sıkıştırılmazlık** bir yaklaşık tanımdır ve özgül kütle her yerde hemen hemen değişmiyorsa akış sıkıştırılmaz kabul edilir.

**Sıkıştırılabilir akış:** Akış sırasında yoğunluk değişirse (örneğin, yüksek hızlı gaz akışı)

**Yüksek hızlı gaz akışlarını** içeren roketler, uzay araçları ve diğer sistemleri analiz ederken akış hızı genellikle Mach numarası ile ifade edilir

$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{\text{Speed of flow}}{\text{Speed of sound}}$$

$c$  deniz seviyesinde, oda sıcaklığında hava değeri **346 m/s** olan ses hızıdır. Eğer yoğunluk değişimi yaklaşık olarak **% 5' in** altında ise –ki genellikle  $Ma < 0.3$  olduğu durumdur- gaz akışları çoğunlukla sıkıştırılmaz kabul edilir.

Dolayısıyla 100 m/s'nin altındaki hızlarda havanın sıkıştırılabilirliği ihmal edilebilir.

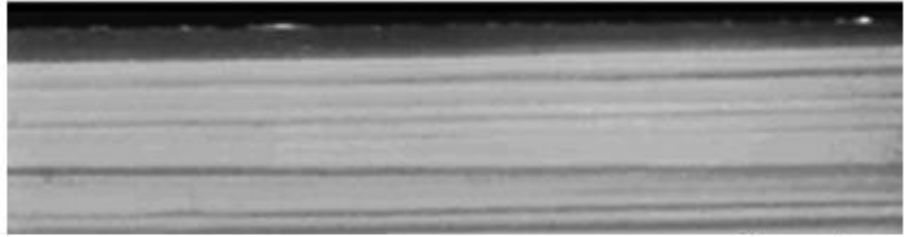
<b>Ma = 1</b>	<b>Sonik akış</b>
<b>Ma &lt; 1</b>	<b>Subsonik akış</b>
<b>Ma &gt; 1</b>	<b>Süpersonik akış</b>
<b>Ma &gt;&gt; 1</b>	<b>Hipersonik akış</b>

# Laminar ve Türbülanslı Akışlar

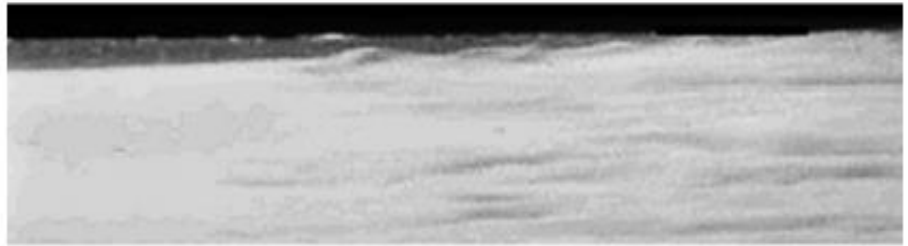
Çalkantısız, akım çizgileri ile tanımlanan oldukça düzenli akışkan hareketi laminar olarak adlandırılır. yağ benzeri yüksek viskoziteli akışkanların düşük hızlı akışı genel olarak laminardır.

Genellikle yüksek hızlarda meydana gelen ve hız çalkalanmaları ile tanımlanan oldukça düzensiz akışkan hareketi türbülanslı olarak adlandırılır. Hava gibi düşük viskoziteli akışkanların yüksek hızlarda akışı genellikle türbülanslıdır.

Laminar ve türbülans arasında değişen akış geçiş akışı olarak adlandırılır.



Laminar



Transitional



Turbulent

**Laminar akışı, geçiş akışı ve türbülanslı akışlar**

## Doğal (veya Zorlanmamış) ve Zorlanmış Akışlar

Zorlanmış akışta bir akışkan, pompa veya fan gibi bir dış araç tarafından, bir yüzey üzerinde veya bir boru içerisinde akmaya zorlanır.

Doğal akışlarda her akışkan hareketi, kaldırma kuvveti etkisi gibi doğal araçlarla gerçekleşir ki bu araçlar, sıcak – ve bu yüzden daha hafif- bir akışkanın yükselmesi ve daha soğuk –ve bu yüzden daha yoğun akışkanın aşağı inmesi şeklinde kendini gösterir.



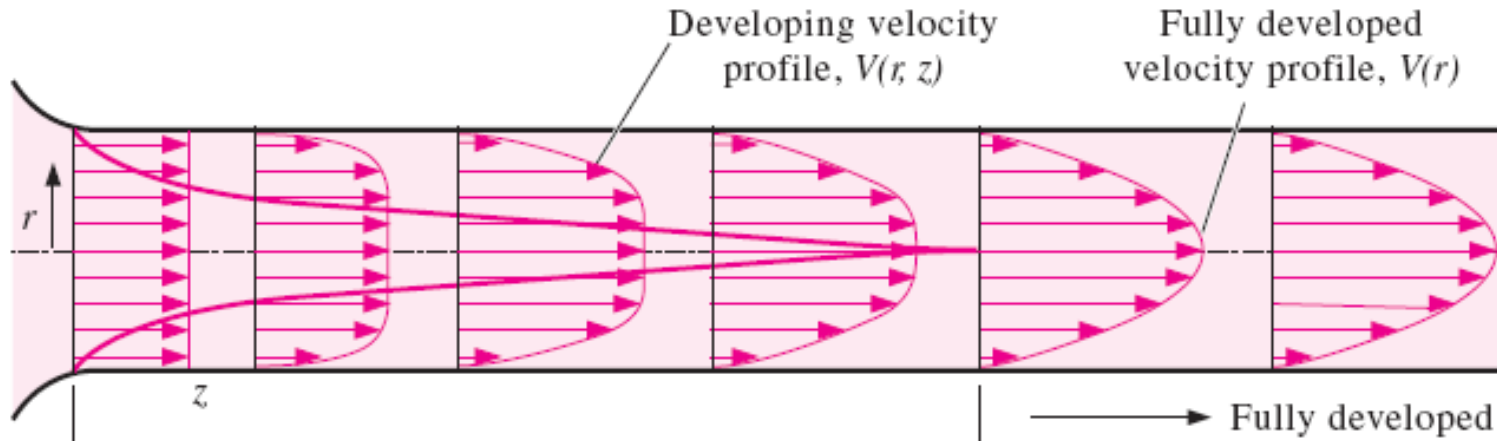
Bir kızın bu schlieren görüntüsünde, vücuduna yakın daha hafif ve sıcak olan havanın yükselmesi, insanların ve sıcak kanlı hayvanların yükselen sıcak havanın gaz sütunları ile sarıldığını göstermektedir.

# Sürekli ve Zamana Bağlı Akışlar

- **Sürekli terimi**, bir noktada zamana bağlı değişim olmadığı anlamına gelir.
- Sürekliğin zıddı zamana bağlıdır.
- **Üniform terimi**, belirli bir bölge üzerinde konuma bağlı değişimin olmadığı anlamına gelir.
- **Periyodik terimiyle**, bir sabit ortalama etrafında salınım yapan zamana bağlı akış türü kastedilir.
- **Türbinler, kompresörler**, buhar kazanları, yoğunlaştırucular ve ısı değiştiriciler gibi birçok aygıt, aynı şartlar altında uzun zaman dönemleri boyunca çalışırlar ve bunlar sürekli akış cihazları olarak sınıflandırılır.

# Tek, İki ve Üç Boyutlu Akışlar

- Bir akış alanı en iyi şekilde hız dağılımı ile tanımlanır ve böylelikle, eğer akış hızı sırasıyla bir, iki veya üç ana boyutta değişiyorsa, akışın bir, iki veya üç boyutlu olduğu söylenir.
- Bununla beraber belli doğrultularda hız değişimi diğer yönlerdeki değişime göre küçük olabilir ve önemsiz bir hata ile ihmal edilebilir.



Dairesel bir boruda hız profilinin gelişmesi.  $V = V(r, z)$  ve dolayısıyla giriş bölgesinde akış iki boyutludur; hız profili tam geliştiğinde ve akış yönünde değişmeden kaldığında akış tek boyutlu olur,  $V = V(r)$



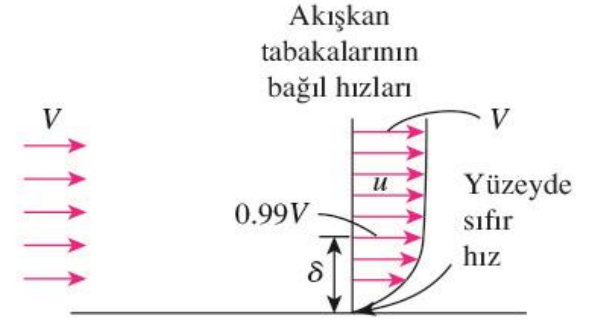
# HIZ SINIR TABAKASI

İçinde, akışkan viskozitenin yol açtığı kayma kuvveti etkilerinin hissedildiği, plaka üzerinde  $\delta$  ile sınırlı akış bölgesine hız sınır tabakası denir.

$\delta$  sınır tabaka kalınlığı, yüzeyden itibaren  $u = 0.99 V$  hız ilişkisinin olduğu  $y$  uzaklığı olarak tanımlanır.

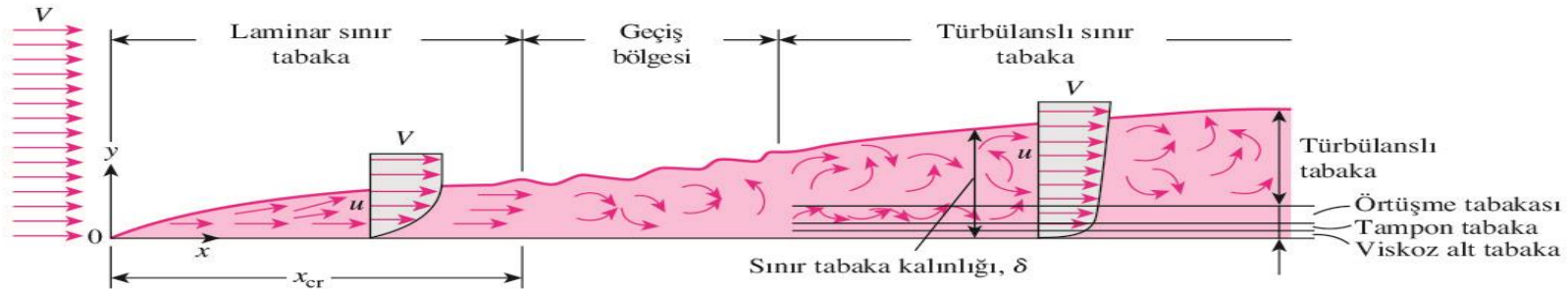
$u = 0.99V$  hayali çizgisi bir plaka üzerindeki akışı iki bölgeye ayırır.

İçinde viskoz etkilerin ve hız değişimlerinin etkili olduğu sınır tabaka bölgesi ve sürtünme etkilerinin ihmal edilebildiği, hızın aslında sabit kaldığı dönele olmayan akış bölgesi.



ŞEKİL 6-15

Bir yüzeyde kaymama şartı ve sürtünme nedeniyle sınır tabakanın gelişmesi.



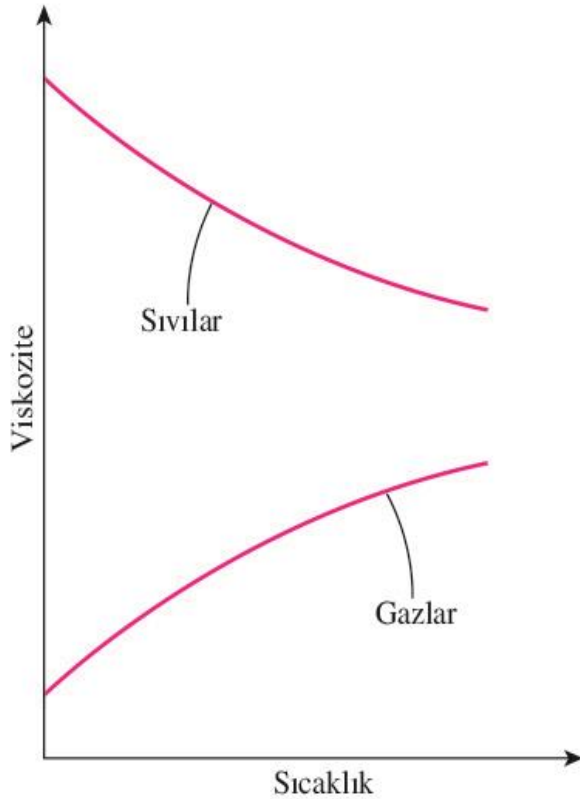
ŞEKİL 6-14

Düz bir plaka üzerindeki akış için sınır tabakanın gelişmesi ve farklı akış rejimleri.

University of Delaware izniyle.



# Yüzey Kayma Gerilmesi



## ŞEKİL 6-16

Sıvıların viskozitesi sıcaklıkla azalır; gazların viskozitesi sıcaklıkla artar.

Birim alan başına sürtünme kuvveti kayma gerilmesi olarak adlandırılır ve  $t$  ile gösterilir.

Birçok akışkan için kayma gerilmesinin hız gradyanı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir ve çeper yüzeyinde kayma gerilmesi;

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (\text{N/m}^2)$$

$\mu$  Dinamik viskozite

$\text{kg/m}\cdot\text{s}$  or  $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$  or  $\text{Pa}\cdot\text{s}$

1 poise = 0.1 Pa · s

Lineer bağıntıya uyan akışkanlar Newton tipi akışkanlar olarak adlandırılır.

Su, hava, petrol ve yağlar gibi en genel akışkanlar **Newton tipi akışkanlardır**.

Kan ve sıvı plastikler Newton tipi olmayan akışkan örnekleridir. Bu kitapta sadece Newton tipi akışkanlar dikkate alınmaktadır.

**Kinematik viskozite,**  $\nu = \mu/\rho$

**m<sup>2</sup>/s or stoke**

**1 stoke = 1 cm<sup>2</sup>/s = 0.0001 m<sup>2</sup>/s**

Bir akışkanın viskozitesi, onun şekil değiştirmeye karşı direncinin bir ölçüsüdür ve sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonudur.

**Duvar kayma gerilmesi:**

$$\tau_w = C_f \frac{\rho V^2}{2} \quad (\text{N/m}^2) \quad C_f \text{ Sürtünme katsayısı}$$

**Tüm yüzey boyunca sürtü:**

$$F_f = C_f A_s \frac{\rho V^2}{2} \quad (\text{N})$$

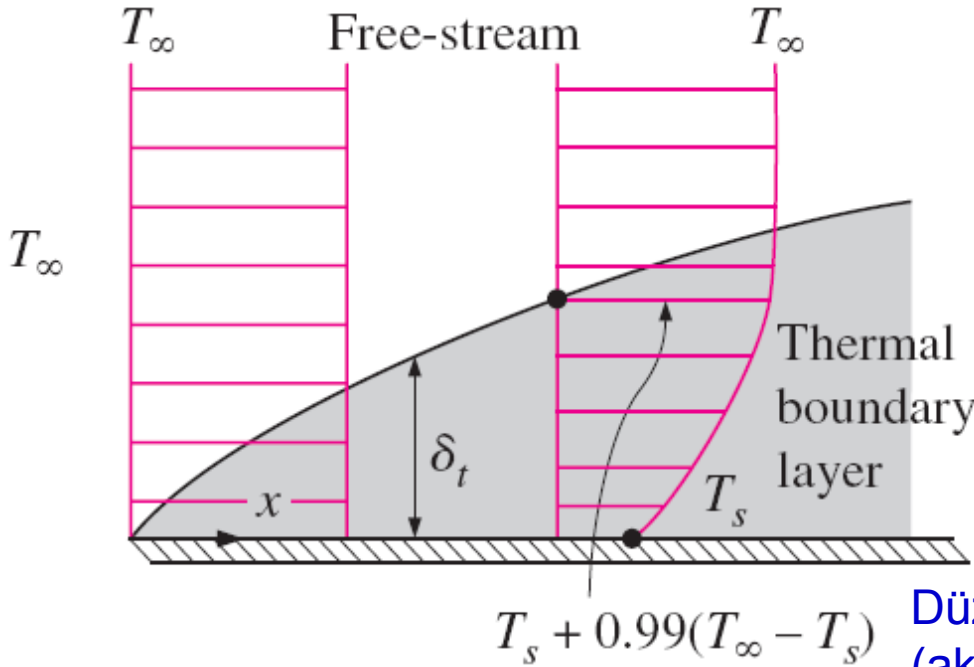
Sürtünme katsayısı, ısı transfer katsayısı ve pompa veya fanlar için gerekli güç ile doğrudan ilişkili olduğu için, ısı transferi çalışmalarında önemli bir parametredir.

# ISIL SINIR TABAKA

Belirli sıcaklıktaki bir akışkan farklı sıcaklıktaki bir yüzey üzerinde aktığı zaman ısı sınır tabaka gelişir

Yüzey üzerinde, içinde yüzeye dik doğrultuda sıcaklık değişiminin önemli olduğu bu akış bölgesi ısı sınır tabakadır.

Bir yüzey boyunca herhangi bir yerde ısı sınır tabaka kalınlığı  $\delta$ , yüzeyden itibaren  $T-T_s$  sıcaklık farkının  $0.99(T_\infty-T_s)$ ' ye eşit olduğu uzaklık olarak tanımlanır.



Akış yönünde ilerledikçe, ısı transferinin etkileri yüzeyin daha uzağında duyulduğu için, ısı sınır tabaka kalınlığı akış yönünde artar.

Katı yüzeyle onun üzerinde akan akışkan arasındaki taşınım ısı transferini, ısı sınır tabakadaki sıcaklık profilinin biçimi belirler.

Düz bir plakadaki termal sınır tabakası (akışkan plaka yüzeyinden daha sıcaktır).

# Prandtl Sayısı

Hız ve ısıl tabakaların birbirine göre kalınlıklarını en iyi olarak şekilde tanımlanan boyutsuz parametre Prandtl sayısı anlatır.

$$Pr = \frac{\text{Molecular diffusivity of momentum}}{\text{Molecular diffusivity of heat}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k}$$

**TABLO 6-2**

Genel akışkanlar için özgün Prandtl sayısı aralıkları

Akışkan	Pr
Sıvı metaller	0.004–0.030
Gazlar	0.7–1.0
Su	1.7–13.7
Hafif organik akışkanlar	5–50
Yağlar	50–100,000
Gliserin	2000–100,000

Gazların Prandtl sayıları 1 civarındadır ki bu, akışkan içinde momentum ve ısı yayılımının aynı hızda olduğunu gösterir.

**Isı, momentuma göre sıvı metallerde ( $Pr \ll 1$ ) çok hızlı, ağır yağlarda ( $Pr \gg 1$ ) çok yavaş yayılır.**

Sonuç olarak ısıl sınır tabaka hız sınır tabakasına göre sıvı metallerde çok daha kalın, yağlarda çok daha incedir.