

Termodinamik → Enerji bilimidir.

Enerji nedir? → Değişikliklere neden olma yeteneğidir.  
(Bir örnek veriniz?)

Termodinamiğin yasaları vardır: (Aşağıda en önemli 2 yasa verilmiştir).

Birinci Yasa → Enerjinin korunumu, enerji dengesi, Enerji eşitliği

Toplam enerji sabittir. Enerji bir biçimden diğere dönüşür ve sonuçta toplam miktar sabittir.

(Örnekler?)

İkinci Yasa → Doğadaki değişimler (kendiliğinden olan değişimler) enerjinin niteliğinin (kalitesinin) azaldığı yönde olur.

(Örnekler?) Entropi dengesi, entropi eşitliği

("Ordu'nun dereleri akşa yukarı akşa" → mümkün mü?)

Birimler → Her bilim dalı için önemli bir konudur.

Biz "SI" birim sistemini kullanacağız.

Temel birimler  $\left\{ \begin{array}{l} \text{metre (m), kilogram (kg)} \\ \text{saniye (s), derece santigrad ( $^{\circ}\text{C}$ )} \\ \text{kelvin (K)} \end{array} \right.$

Ön ekler → kilo (k), mega (M), giga (G), tera (T)

$F = ma$  ( $N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ) (Newton'un hareket yasası)

$N = \text{newton} \rightarrow 100 N \rightarrow 100 \text{ newton}$

$W = mg$  ( $N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ )  
 $\rightarrow 9,81 \text{ m/s}^2$

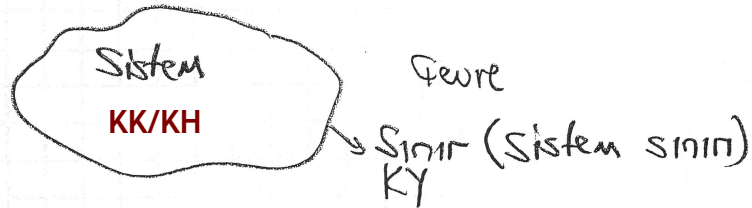
Enerji → J (joule),  $J = N \cdot m$

joule = newton x metre

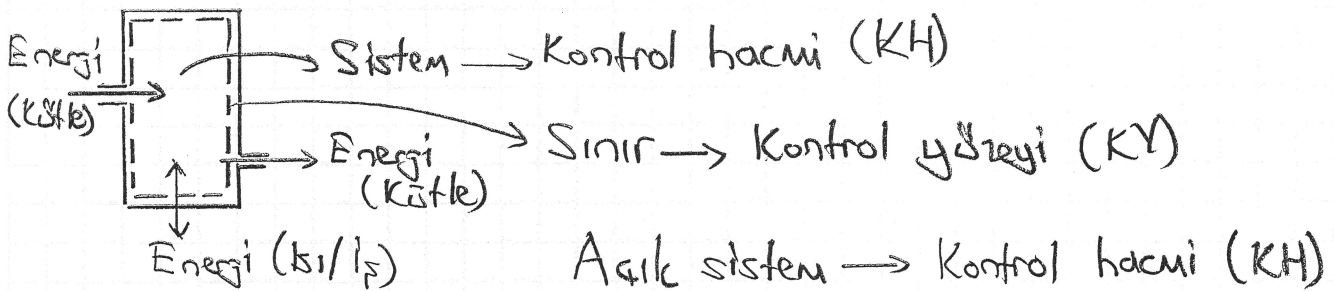
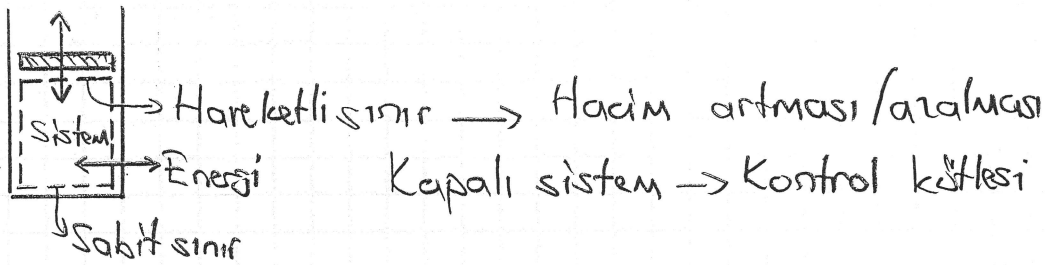
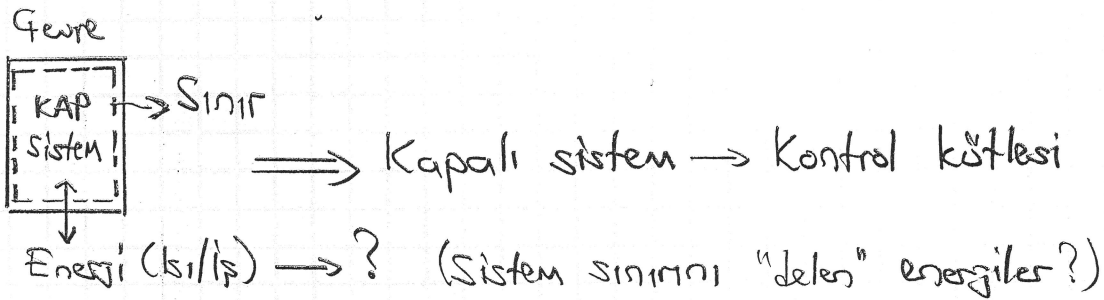
Tanımlar: Sistem  $\rightarrow$  Kontrol kütlesi  $\rightarrow$  Kontrol hacmi  
 $\rightarrow$  İncelenen kütle, ısı, enerji, makine, ...

Sınır  $\rightarrow$  Hareketli sınır  $\rightarrow$  Sabit sınır  $\rightarrow$  Kontrol yüzeyi  
 $\rightarrow$  Sistem ile çevreyi birbirinden ayıran gerçekte veya hayali kütle-sız-hacimsiz ekran

Çevre  $\rightarrow$  Yakın çevre  $\rightarrow$  Uzak çevre  
 $\rightarrow$  Sistemin sınırı dışındaki kütle, ısı, enerji, her şey, ...



Örnekler?



Sistemin özellikleri:  $m / u / V / T / P / \rho / \dots$   
 $\swarrow \quad \searrow \quad \swarrow \quad \downarrow \quad \searrow \quad \swarrow$   
 $\text{kg} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad \text{m}^3 \quad \text{K} \quad \text{Pa} \quad \text{kg/m}^3$   
 $(^\circ\text{C})$

$$\text{Yoğunluk } \rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad u = \frac{V}{m} \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$\boxed{\rho \cdot u = 1}$$

Hal / durum  $\rightarrow$  Hal 1  
Durum 1  $\left\{ m_1, T_1, V_1 \right.$  (Sistemin 1. hali)

$\downarrow$  Sınırı delen enerji geçişi  $\updownarrow$

Hal 2  
Durum 2  $\left\{ m_2, T_2, V_2 \right.$  (Sistemin 2. hali)

Termodinamik DENGEDe olan sistemler ile ilgilenir.

$\rightarrow$  ISIL DENG (Sistemin her noktasında aynı sıcaklık)

$\rightarrow$  MEKANİK DENG (Zamana göre sistemde her noktada basınç değişmiyor)

$\rightarrow$  KİMYASAL DENG (Aynı kimyasal bileşim)

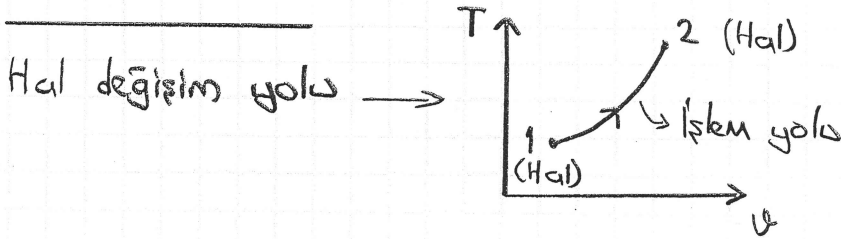
$\rightarrow$  ?

$T, P, u, \rho \rightarrow$  Sistemin önemli özellikleri

BASİT sıkıştırılabilir sistemde birbirinden BAGIMSIZ 2 Yeggin özellik HAL ÖNERMESİNİ oluşturur.

$\rightarrow$  Basit  $\rightarrow$  Yerçekimi / manyetik etki / yüzey gerilmesi / ... Yok

$\rightarrow$  Yeggin  $\rightarrow$  Yoğun özellikler  $\rightarrow$  Küttleden bağımsızdır.  
 $T, P, \rho$



Sistem hal 1'den hal 2'ye giderken belli bir işlem yolunu izler.

Sistemi hal 1'den hal 2'ye götüren etki sistem sınırını "değer" enerji geçişleri ile olur.

Hal 1 ve hal 2'de → Sistem DENGEDİR!

Sistem sınırından enerji (iş/ısı/kütle) geçişi → Dengenin bozulduğu süreç

Denge; ısı geçişi ile, sürtünme etkileri ile bozulur.

Sanki-dengeli işlem (İdeal yaklaşım)

→ Sürtünme YOK (Gerçekte var)

HAL Değişimi → İzotermal ( $T \rightarrow \text{sabit}$ )

İzobarik ( $P \rightarrow \text{sabit}$ )

İzokorik (İzometrik) ( $V \rightarrow \text{sabit}$ )

Sürekli akış hal değişimi: Açık sistem  
Zamanla kütle değişmiyor. (Değer sabit)

Sıcaklık →  $T$

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$\underbrace{30^{\circ}C}_{T_1} \text{ ve } \underbrace{45^{\circ}C}_{T_2} \rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = 45 - 30 = 15^{\circ}C$$

$$\downarrow \quad \quad \quad \downarrow$$
$$30 + 273,15 = 303,15K \quad \quad \quad 45 + 273,15 = 318,15K$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 318,15 - 303,15 = 15K$$

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



Basınç  $\rightarrow P$

$$P_a = N/m^2$$
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$
$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \approx 100 \text{ kPa}$$

Etkin basınç  $\rightarrow$  Gösterge basıncı  $\rightarrow P = \rho \cdot g \cdot h$  (Pa)

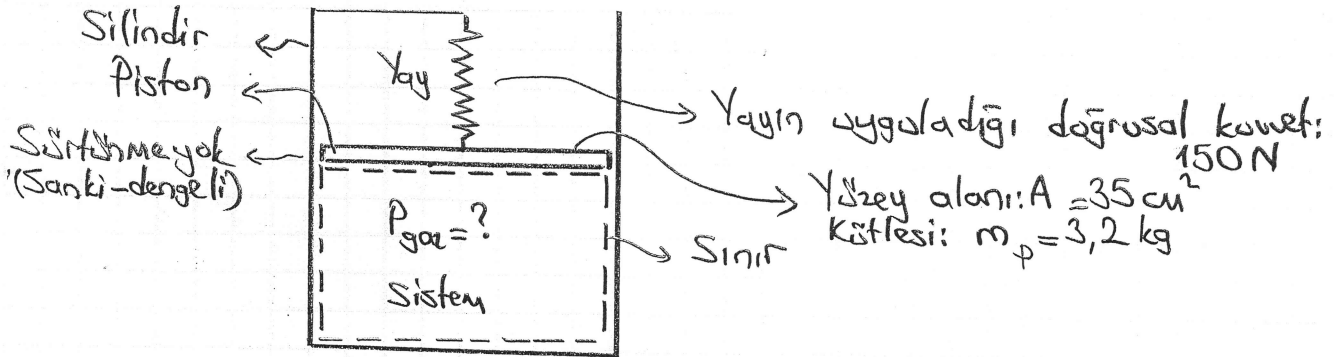
Vakum basıncı?  
Toplam basınç?

$kg/m^3$   $\rightarrow$  Yoğunluk  
 $9,81 \text{ m/s}^2$   $\rightarrow$  Yerçekimi ivmesi  
Dikey yükseklik (m)



Örnek:

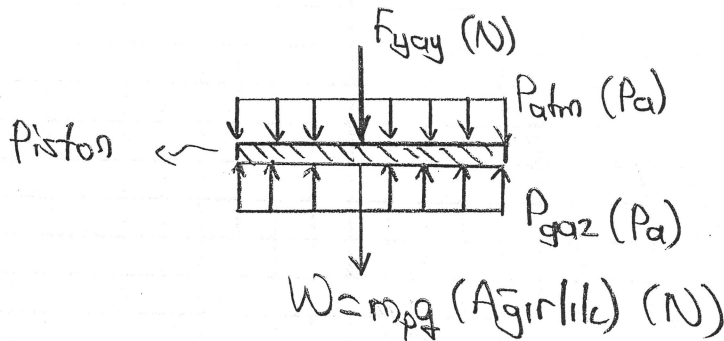
$$P_{atm} = 95 \text{ kPa}$$



Veriler: Atmosfer basıncı,  $P_{atm} = 95 \text{ kPa}$   
Doğrusal yay kuvveti,  $F_{yay} = 150 \text{ N}$   
Pistonun yüzey alanı,  $A = 35 \text{ cm}^2$   
Pistonun kütlesi,  $m_p = 3,2 \text{ kg}$

Görün: Önce serbest cisim diyagramı (SCD):

Piston-silindir düzenğinde olaylar piston üzerinde gerçekleşiyor.



Piston üzerindeki kuvvetler dikkate alınarak, DENGGE durumu için aşağıda verilen eşitlik yazılır:

$$\underbrace{P_{\text{gaz}} \cdot A}_{\text{Yukarı yönlü kuvvet}} = \underbrace{P_{\text{atm}} \cdot A + W + F_{\text{yay}}}_{\text{Aşağıya doğru olan kuvvetler}}$$

$$P_{\text{gaz}} \cdot A = P_{\text{gaz}} \cdot (35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \rightarrow P_{\text{g}} \cdot \text{m}^2 = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 = \text{N}$$

$$P_{\text{atm}} \cdot A = (95 \text{ kPa}) (35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) = 0,3325 \text{ kN} \rightarrow 332,5 \text{ N}$$

$$W = m_p \cdot g = (3,2 \text{ kg}) (9,81 \text{ m/s}^2) = 31,392 \text{ N}$$

$$F_{\text{yay}} = 150 \text{ N}$$

$$P_{\text{gaz}} (35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) = (332,5 \text{ N}) + (31,392 \text{ N}) + (150 \text{ N})$$

$$P_{\text{gaz}} = 146826,2857 \text{ Pa} = \underline{\underline{146,83 \text{ kPa}}}$$

Not:  $F_{\text{yay}} = kx$  (N) (Döğrusal yay)

→ yerdeğıştirme (m)

→ yay sabiti (N/m)

Yorum: İncelenen durum, sistemin dengede olduğu durumdur. Sistem dengeye gelmeden önce gara (yani sisteme) sistem sınırından ısı girişı olmuş, sıcaklığı artan garın basıncı da artmış ve piston üzerindeki yayı sıkıştırmıştır. Dengenin bulunduğu bu olaylardan sonra piston bir noktada durmuş ve denge sağlanmıştır. Dengenin sağlandığı duruma ait SCD çizilmiştir.

Termodinamik dengedeki sistemleri inceler

Örnek: Kütlesi 2 kg olan çelik silindir içinde 4 L (litre),  
25°C'de 200 kPa'da su vardır. Sistemin toplam  
kütlesini, toplam hacmini ve suyun 3 yegün/3 yaygın  
özelliklerini belirleyiniz.

Sistem: "Çelik silindir + Su"

$$\text{Sistemin toplam kütlesi: } m_t = m_{\text{çelik}} + m_{\text{su}} \quad \begin{matrix} \text{kg/m}^3 \\ \uparrow \\ m_{\text{su}} = \rho_{\text{su}} \cdot V_{\text{su}} \quad \text{(kg)} \end{matrix}$$

$$25^\circ\text{C için } \rho_{\text{su}} = 997 \text{ kg/m}^3 \text{ (tablodan okunur)}$$

$$m_{\text{su}} = (997 \text{ kg/m}^3) (4/1000) \text{ m}^3 = 3,988 \text{ kg}$$

$$m_t = (2 \text{ kg}) + (3,988 \text{ kg}) = 5,988 \text{ kg} \approx 6 \text{ kg}$$

$$\text{Sistemin toplam hacmi: } V_t = V_{\text{çelik}} + V_{\text{su}} \quad \begin{matrix} \searrow \quad \searrow \\ 4/1000 = 0,004 \text{ m}^3 \end{matrix}$$
$$V_{\text{çelik}} = \frac{m_{\text{çelik}}}{\rho_{\text{çelik}}} = \frac{2 \text{ kg}}{7820 \text{ kg/m}^3} = 0,000256 \text{ m}^3$$

Tablodan okunur

$$V_t = 0,000256 \text{ m}^3 + 0,004 \text{ m}^3$$
$$= 0,004256 \text{ m}^3 = 4,26 \text{ L}$$

3 yegün  $\rightarrow$  Kütle ile değişmeyen özellikler  
SU için  $\rightarrow T$  (sıcaklık),  $P$  (basınç),  $\rho$  (yoğunluk)

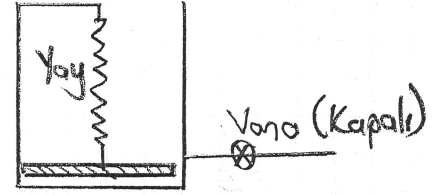
3 yaygın  $\rightarrow$  Kütle ile değişen özellikler

SU için  $\rightarrow m$  (kütle),  $V$  (hacim), ?

Örnek: Bir vana ile boru bağlantılı, yaylı bir piston-silindir dize-  
nini ele alalım.

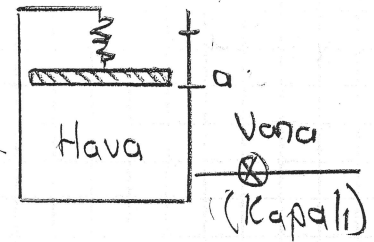
- ✓ İlk halde piston, silindirin dibinde  
olsun ve yayda kuvvet olmasın →

1. hal: İçeride hava yok



- ✓ Kapalı olan vana açılıp, içeride hava  
girişi sağlanıyor ve belli bir süre  
sonra vana kapanıyor.

2. hal: İçeride 0,4 L hava girişi  
var ve hava basıncı  
400 kPa olarak ölçülüyor →



- ✓ 2. hale ait veriler alındıktan sonra  
vana tekrar açılıyor ve piston 2 cm  
kadar yükseldikten sonra kapanıyor.

3. hal: a noktasından itibaren  
piston 2 cm yükseliyor. Sistemin son basıncını  
hesaplayınız.

- ✓ Piston silindirik tir ve çapı,  $D=100 \text{ mm}$  olarak, kütlesi ise  $m_p=$   
5 kg olarak verilmiştir.

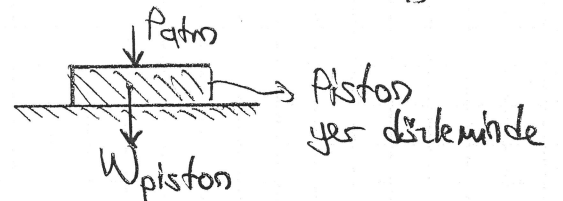
- ✓ 3 hal noktası da denge noktalarıdır. Vana açıldığında denge  
bozulmuş, sistem dengeye gelince halleri ait bilgiler kayde-  
dirmiştir.

Çözüm: Her denge noktasını dikkate alarak gerekli bilgiler  
hesaplanabilir.

1. Hal → Hacim,  $V_1=0 \text{ m}^3$  → Piston üzerindeki basınç,

$$P_1 = P_{\text{atm}} + P_{\text{piston}} \rightarrow$$

$$P_{\text{atm}} = 100 \text{ kPa (verilmemişse } 100 \text{ kPa alınır)}$$



$$P_{\text{piston}} = \frac{W_{\text{piston}}}{A_{\text{piston}}} \text{ (N/m}^2\text{)} \rightarrow W_{\text{piston}} = m_p \cdot g = (5 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2) = 49,05 \text{ N}$$

$$A_{\text{piston}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,1 \text{ m})^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dikkat: Silindir içindeki pistonun yüzey alanı, dairenin yüzey alanıdır.

$$P_1 = P_{\text{atm}} + P_{\text{piston}}$$

$$= (100 \text{ kPa}) + \frac{(49,05 \text{ N})}{7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \cdot 10^{-3} = 106,25 \text{ kPa}$$

$$D \rightarrow \text{çap} \Rightarrow A_{\text{piston}} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$\rightarrow \text{N/m}^2 \equiv \text{Pa} \Rightarrow$  "kPa" için  $10^{-3}$  ile çarpılmalıdır.

İlk durumda piston zemin üzerinde olduğu için,  $106,25 \text{ kPa}$  basıncı zemin karşılamaktadır.

$$2. \text{ Hal} \rightarrow \text{Hacim, } V_2 = 0,4 \text{ L} \rightarrow 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad \left. \vphantom{V_2 = 0,4 \text{ L}} \right\} \text{ Verilmiş değerler.}$$

$$\text{Basıncı, } P_2 = 400 \text{ kPa}$$

$$3. \text{ Hal} \rightarrow \text{Hacim, } V_3 = V_2 + (2 \text{ cm yükselme}) \times (\text{yüzey alanı})$$

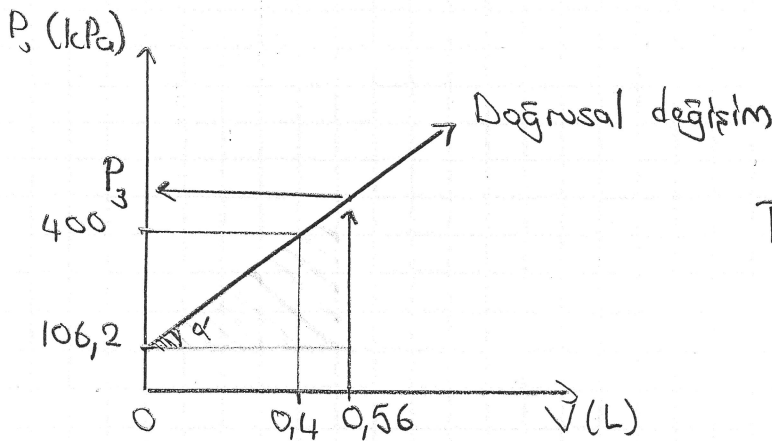
$$4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 + (0,002 \text{ m}) \cdot \frac{\pi (0,1)^2}{4} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_3 = 5,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,56 \text{ L}$$

Basıncı,  $P_3 \Rightarrow$  Son basıncın hesaplanması için; ilk hal ve ikinci halde belirlenen değerlerden yararlanılması gerekmektedir.

Yay kuvveti:  $F_{\text{yay}} = k \cdot \Delta x \text{ (N)} \rightarrow$  doğrusal değişim

Yay kuvveti doğrusal olarak değişiyorsa,  $P_3$  basıncı da doğrusal değişim bilgisi kullanılarak bulunabilir.



Turallı Üçgende Tales teoremi:

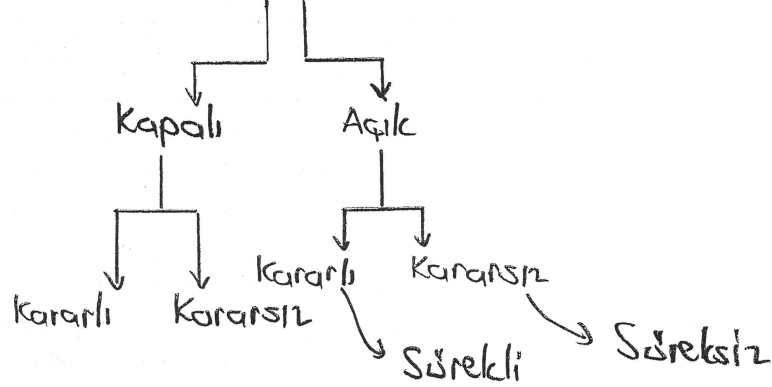
$$\frac{400 - 106,2}{0,4 - 0} = \frac{P_3 - 106,2}{0,56 - 0}$$

$$\underline{\underline{P_3 = 517,52 \text{ kPa}}}$$

$$\text{Doğrunun eğimi} \rightarrow \tan \alpha = \frac{400 - 106,2}{0,4 - 0} = 734,5$$

$$P = \underbrace{(734,5)}_{\text{Pa/L}} \cdot \underbrace{V}_{\text{L}} + \underbrace{106,2}_{\text{Pa}} \quad (\text{Pa}) \quad \text{Doğrusal değişen basıncı}$$

Termodinamik Sistem



Kararlı: Zamandan bağımsız  
Kararsız: Zamana bağımlı

Kütle  $\rightarrow$  En küçük kütleli parçacık:  $m = 5.34 \cdot 10^{-39} \text{ kg}$  (Quark?)  
En büyük kütle:  $m = 3 \cdot 10^{52} \text{ kg}$  (Gözlemlenebilir evren)

Ödev: Sabit basınçlı sürtünmesiz bir piston-silindir düzenğinde, pistonun sınırından sisteme ısı girişi olunca sistemin dengesi bozuluyor ve piston-hacim artışından dolayı- (ısıyan akışkan-daki özgül hacim artışından dolayı) yükseliyor. ısı girişi dönünce piston da belli bir noktada duruyor.

Pistonun yükselme hızını (m/s) olarak hesaplayabilmek için gerekli eşitlikleri belirleyiniz.

Sistem: akışkan

Sistem sınırında: ısı girişi

Hal 1:  $P_1, T_1, V_1, m_1 \rightarrow$  Hal 2:  $P_2, T_2, V_2, m_2$  ( $m_1 = m_2$ )  
( $P_2 = P_1$ )

Pistonun kütlesi,  $m_p$  ve yüzey alanı,  $\frac{\pi D_{\text{piston}}^2}{4}$

Atmosfer basıncı,  $P_{\text{atm}}$  (Gevre)



## **YARARLANILAN KAYNAKLAR:**

**“Thermodynamics: An Engineering Approach”**, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

**“Termodinamiğin Temelleri”**, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

**“Principles of Engineering Thermodynamics”**, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

**“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”**, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

**“Engineering Thermodynamics”**, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

Bu bilgi notunun bazı bölümleri, yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Termodinamik 1” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.*

*(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).*