

Bölüm 4

KAPALI SİSTEMLERİN

ENERJİ ANALİZİ



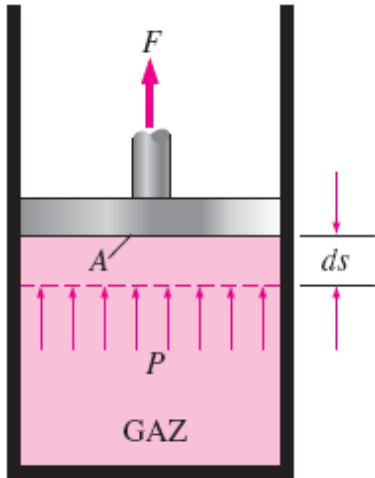
- Özellikle otomobil motoru ve kompresör gibi pistonlu makinelerde yaygın olarak karşılaşılan hareketli sınır işi veya PdV işi olmak üzere değişik iş biçimlerinin incelenmesi,
- **Kapalı sistemler (Sabit kütleli) için Termodinamiğin birinci yasasının enerjinin korunumu ifadesi olduğunun tanıtılması,**
- Kapalı sistemler için genel enerji dengesi bağıntısının geliştirilmesi,
- **Sabit hacimde veya sabit basınçta özgül ısıların tanımlanması,**
- Mükemmel gazların iç enerji ve entalpi değişimlerinin hesaplanmasını özgül ısılar ile ilişkilendirmek,
- **Katı ve sıvı gibi sıkıştırılmayan maddelerin tanımlanması ve bu maddelerin iç enerji ve entalpi değişimlerinin belirlenmesi,**
- Saf maddeler, mükemmel gazlar ve sıkıştırılmayan maddeler için iş ve ısı etkileşimleri içeren kapalı sistemlerin (sabit kütleli) enerji dengesi problemlerinin çözülmesi

HAREKETLİ SINIR İŞİ

Hareketli sınır işi ($P dV$ işi): Bir gazın piston-silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir

$$\delta W_s = F ds = PA ds = P dV$$

$$W_s = \int_1^2 P dV \quad (\text{kJ})$$

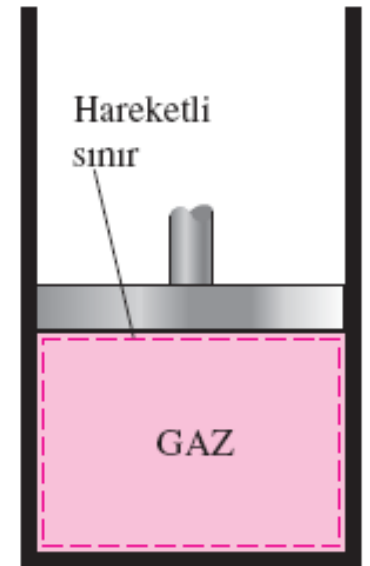


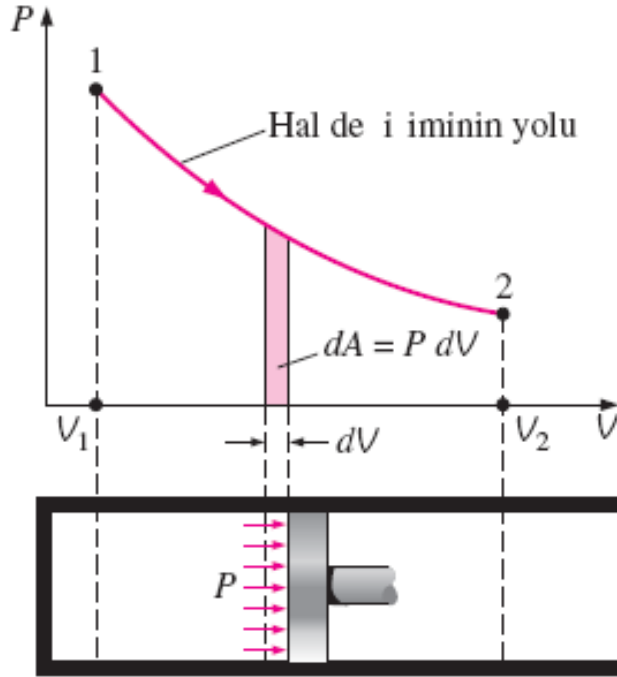
Gaz pistonu iterek ds diferansiyel miktarında hareket ettirirken δW_s miktarında iş yapar.

Sanki dengede durumu sistemin her an dengede olduğu.

W_s pozitif \rightarrow Genişleme için
 W_s negatif \rightarrow Sıkıştırma için

Hareketli sınırla ilişkili iş *sınır işi* diye adlandırılır.

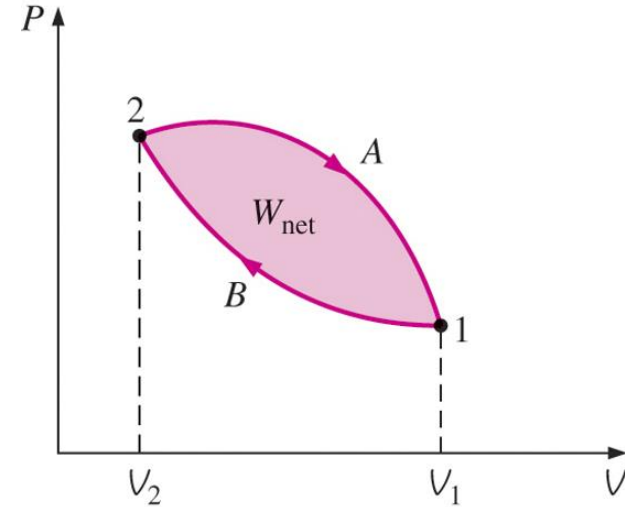




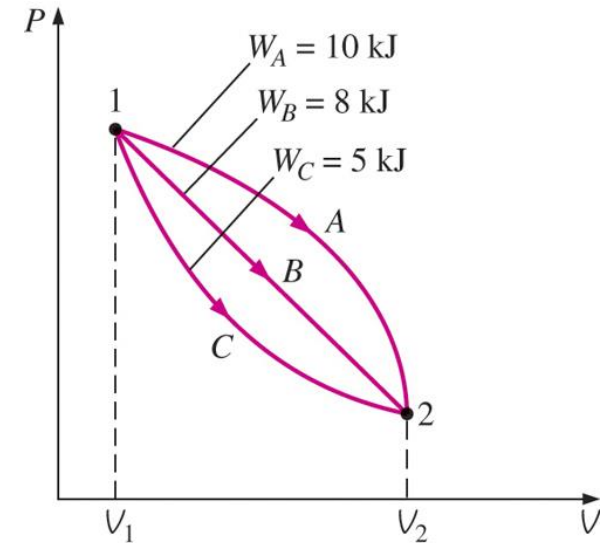
P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

$$\text{Alan} = A = \int_1^2 dA = \int_1^2 P dV$$

Bir çevrim sırasında yapılan net iş, sistem tarafından yapılan işle sistem üzerinde yapılan iş arasındaki farktır.



Bir hal değişimi sırasında yapılan sınır işi, ilk ve son hallerle hal değişiminin yoluna bağlıdır.



Politropik, İzotermal ve İzobarik hal değişimi

$P = CV^{-n}$ Politropik hal değişimi: C , n sabittir.

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-n} dV = C \frac{V_2^{-n+1} - V_1^{-n+1}}{-n+1} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

Politropik hal
değişimi

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-1} dV = PV \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

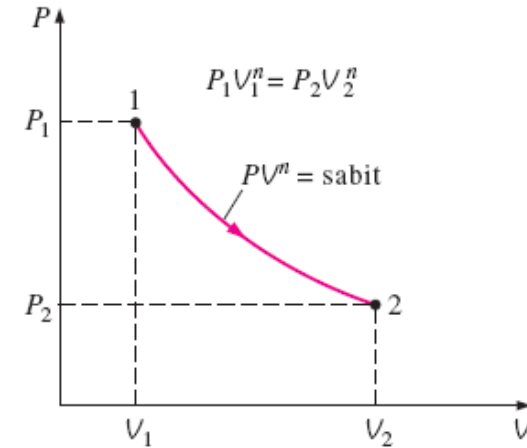
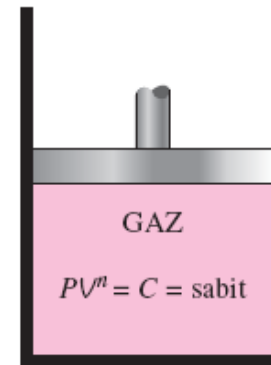
$n = 1$ olduğu zaman
(izotermal durum)

Mükemmel gaz için

$$W_s = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} \quad n \neq 1$$

Sabit basınç durumunda

$$W_s = \int_1^2 P dV = P_0 \int_1^2 dV = P_0(V_2 - V_1)$$



Politropik hal değişiminin P-V diyagramı.

KAPALI SİSTEMLER İÇİN ENERJİ DENGESİ

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}} \quad (\text{kJ})$$

Hal değişimi gerçekleştiren herhangi bir sistem için enerji dengesi.

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi oranı}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oranı}} \quad (\text{kW})$$

birim zaman için.

Zamana göre değişim oranı sabit olduğu durumlarda.

$$Q = \dot{Q} \Delta t, \quad W = \dot{W} \Delta t, \quad \text{and} \quad \Delta E = (dE/dt) \Delta t \quad (\text{kJ})$$

$$e_{\text{giren}} - e_{\text{çıkan}} = \Delta e_{\text{sistem}} \quad (\text{kJ/kg})$$

Birim kütle için enerji dengesi

$$\delta E_{\text{giren}} - \delta E_{\text{çıkan}} = dE_{\text{sistem}} \quad \text{veya} \quad \delta e_{\text{giren}} - \delta e_{\text{çıkan}} = de_{\text{sistem}}$$

Enerji dengesinin diferansiyel formu

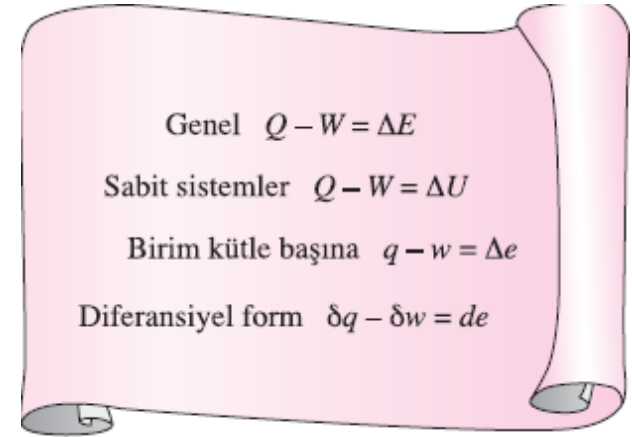
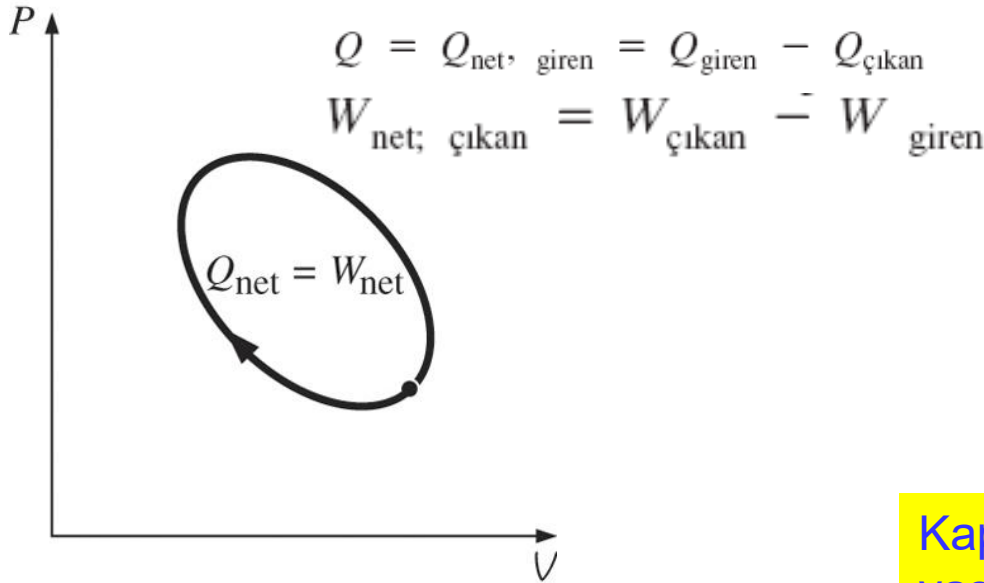
$$W_{\text{net,çıkan}} = Q_{\text{net,giren}} \quad \text{veya} \quad \dot{W}_{\text{net,çıkan}} = \dot{Q}_{\text{net,giren}}$$

Çevrim için enerji denklemi



$$Q_{\text{net,giren}} - W_{\text{net,çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad \text{veya} \quad Q - W = \Delta E$$

bu etkileşimlerin yönü için bir kabul yapılması gerekmektedir .



Kapalı sistemler için birinci yasanın değişik yazılış biçimleri.

Bir çevrim için $\Delta E = 0$, böylece $Q = W$

Birinci yasayı matematiksel olarak kanıtlamak olanaksızdır, fakat doğada birinci yasaya aykırı herhangi bir hal değişimi bilinmemektedir, bu da yeterli kanıt sayılmalıdır.

Sabit Basıncı bir genişleme ve sıkıştırma işlemi için Enerji denkliği

Sabit basınçta sanki dengeli hal değişiminden geçen kapalı bir sistem için genel analiz'de Isı geçiş yönü Q sisteme doğru ve W iş ise sistem tarafından yapıldığı kabul edilir.

Sabit basın sıkıştırma ve genişleme işlemi için:

$$\Delta U + W_s = \Delta H$$

Sabit basınçta hal değişim örneği

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} - W_s = \Delta U$$

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$\underbrace{E_{giren} - E_{çıkan}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

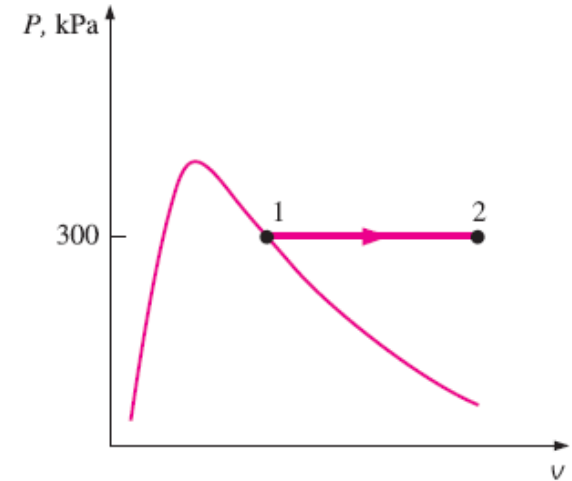
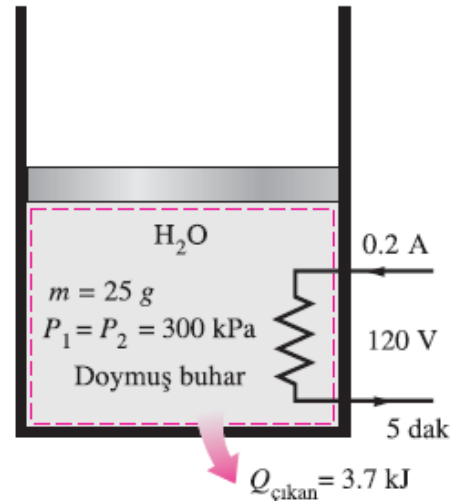
$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$Q - W_{diğer} - W_s = U_2 - U_1$$

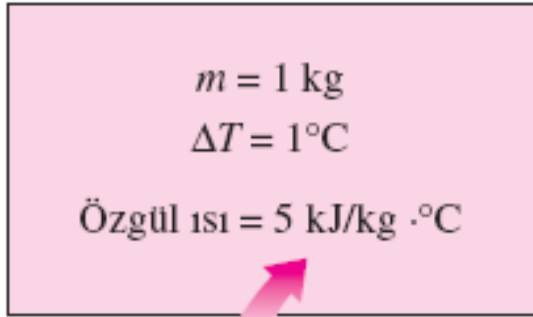
$$Q - W_{diğer} - P_0(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$Q - W_{diğer} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

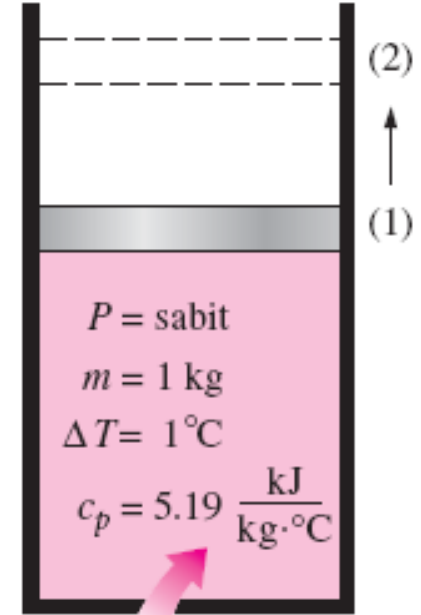
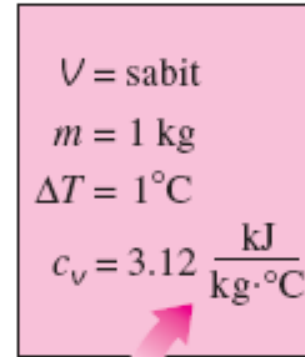
$$Q - W_{diğer} = H_2 - H_1 \quad (\text{kJ})$$



- **Sabit hacimde özgül ısı, c_v** : Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit hacimde bir derece yükseltmek için gerekli enerji.
- **Sabit basınçta özgül ısı, c_p** : Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit basınçta bir derece yükseltmek için gerekli enerji.

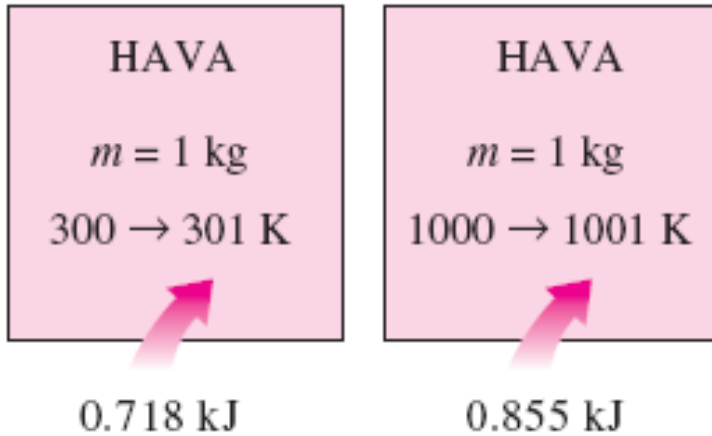


Sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısılar c_v ve c_p (verilen değerler helyum gazı içindir)



Özgül ısı, maddenin birim kütesinin sıcaklığını bir derece artırmak için gerekli enerjidir.

- c_v ve c_p 'nin özellikleri
- c_v 'nin iç enerji değişimleriyle, c_p 'nin ise entalpi değişimleriyle ilişkisi vardır.
- Özgül ısı için yaygın olarak kullanılan birimler $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ veya $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 'dir. Bu iki birimin aynı mıdır?



Bir maddenin özgül ısısı sıcaklıkla değişir.

Doğru mu yanlış mı?
 c_p daima c_v den büyüktür.

c_v ve
 c_p 'nin
tanımı.

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

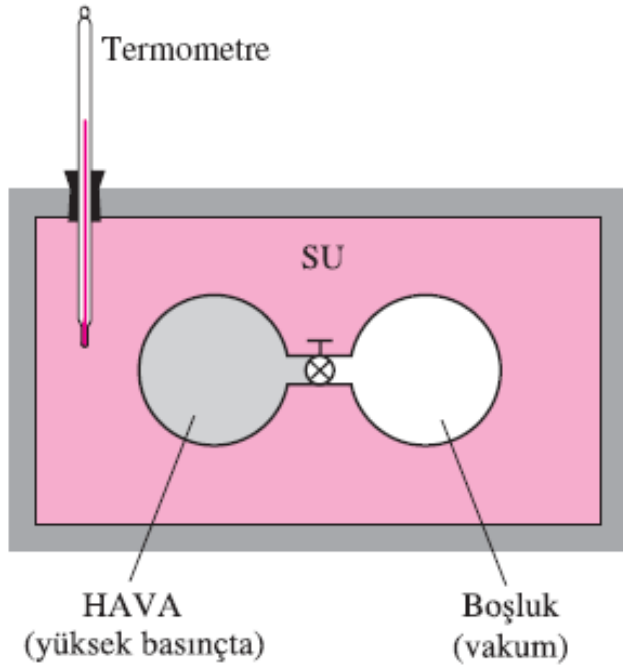
= sabit hacimde, iç enerjinin sıcaklıkla değişimi

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

= sabit basınçta entalpinin sıcaklıkla değişimi

MÜKEMMEL GAZLARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

Joule'ün deney düzeneğinin genel çizimi.



Mükemmel gazlar için u , h , c_v ve c_p sadece sıcaklıkla değişir.

$$\begin{aligned}u &= u(T) \\h &= h(T) \\c_v &= c_v(T) \\c_p &= c_p(T)\end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}h &= u + Pv \\Pv &= RT\end{aligned} \right\} h = u + RT$$

$$u = u(T) \quad h = h(T)$$

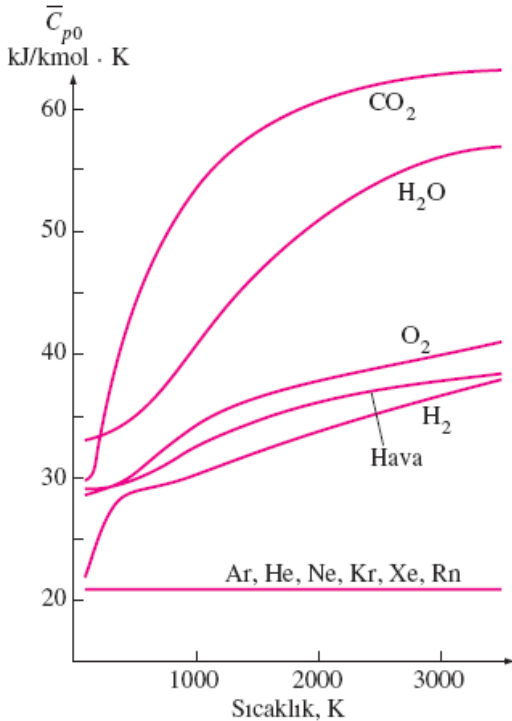
$$du = c_v(T) dT \quad dh = c_p(T) dT$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T) dT$$

mükemmel gazın iç enerji ve entalpi değişimleri

- Düşük basınçlarda, tüm gerçek gazlar mükemmel gaz davranışına yaklaşırlar, bu nedenle özgül ısıları sadece sıcaklığın fonksiyonu olur.
- Gerçek gazların düşük basınçlarda özgül ısıları mükemmel-gaz veya sıfır basınç özgül ısıları diye adlandırılır ve c_{p0} , c_{v0} ile gösterilir.



Bazı gazların mükemmel gaz özgül ısıları (c_{p0} denklemleri için Tablo A-2c'ye bakın).

bazı gazlara ilişkin u ve h değerleri, küçük sıcaklık aralıklarında hesaplanarak tablolarla verilmiştir. Bu tablolar belirli bir referans noktası seçip bunu 1 hali olarak saptadıktan sonra 4-25 ve 4-26 numaralı denklemlerdeki integraller alınarak hazırlanmışlardır.

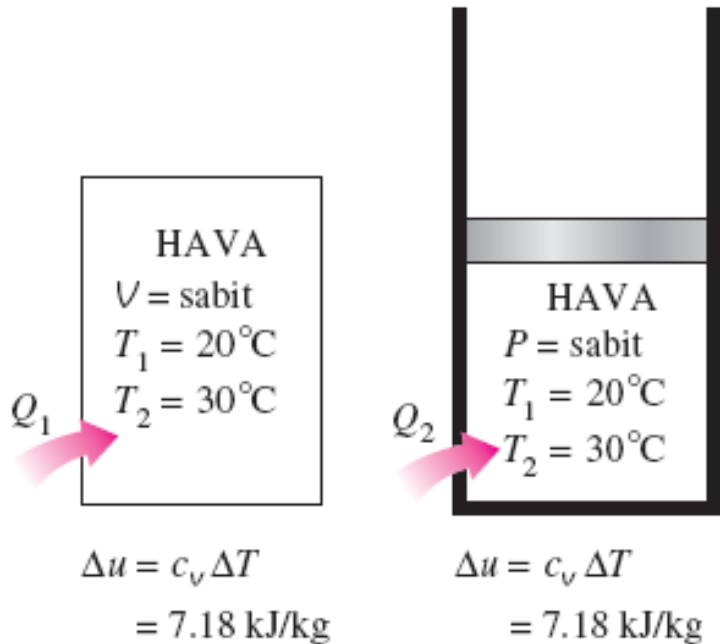
HAVA		
T, K	$u, kJ/kg$	$h, kJ/kg$
0	0	0
.	.	.
300	214.07	300.19
310	221.25	310.24
.	.	.
.	.	.

Mükemmel gaz tabloları hazırlanırken, 0 K referans sıcaklığı olarak seçilir.

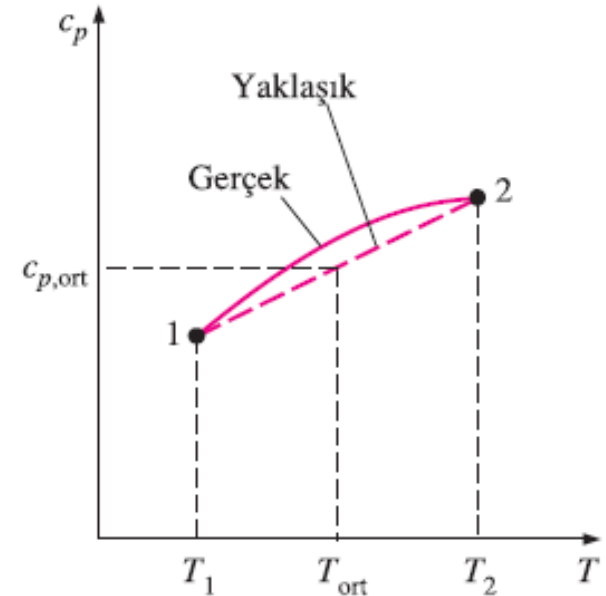
İç enerji ve enthalpy, özgül ısının, ortalama bir değerde sabit alındığı zaman değişir

$$u_2 - u_1 = c_{v,ort} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$h_2 - h_1 = c_{p,ort} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$



$\Delta u = c_v \Delta T$ bağıntısı, sabit hacimde olsun veya olmasın tüm hal değişimleri için geçerlidir.



Küçük sıcaklık aralıklarında özgül ısının sıcaklıkla doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir.

Δu ve Δh 'ı hesaplamak için kullanılan üç yol

1. Tablolarla verilmiş u ve h değerleri kullanılabilir. Tablolar bulunabiliyorsa en hassas ve en kolay yol budur.
2. c_v ve c_p değerlerini sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıları kullanarak integral alınabilir. El hesapları için bu yol zaman alıcıdır, ancak bilgisayarda yapılan hesaplar için çok elverişlidir. Elde edilen sonuçlar çok hassastır.
3. Ortalama özgül ısı değerleri kullanılabilir. Bu yol kolayca uygulanabilir ve özellik tabloları bulunamadığı zaman çok uygundur. Sıcaklık aralığı çok büyük olmadığı sürece sonuçlar oldukça hassastır.

$$\Delta u = u_2 - u_1 \text{ (tablo)}$$

$$\Delta u = \int_1^2 c_v (T) dT$$

$$\Delta u \cong c_{v, \text{ort}} \Delta T$$

Δu 'nun hesaplanmasının üç yolu.

Mükemmel Gazlar İçin Özgül Isı Bağlılıları

$$\left. \begin{aligned} h &= \bar{u} + RT, \\ dh &= du + R dT \end{aligned} \right\} \longrightarrow$$

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

300 K sıcaklıkta hava

$$\left. \begin{aligned} c_v &= 0.718 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ R &= 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned} \right\} c_p = 1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

veya

$$\left. \begin{aligned} \bar{c}_v &= 20.80 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \\ R_u &= 8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \end{aligned} \right\} \bar{c}_p = 29.114 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

Mükemmel bir gazın c_p 'si, c_v ve R biliniyorsa hesaplanabilir. Δu 'nun hesaplanmasının üç yolu.

c_p , c_v ve R arasındaki bağlantı.

$$c_p = c_v + R \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Mol esasına göre

$$\bar{c}_p = \bar{c}_v + R_u \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

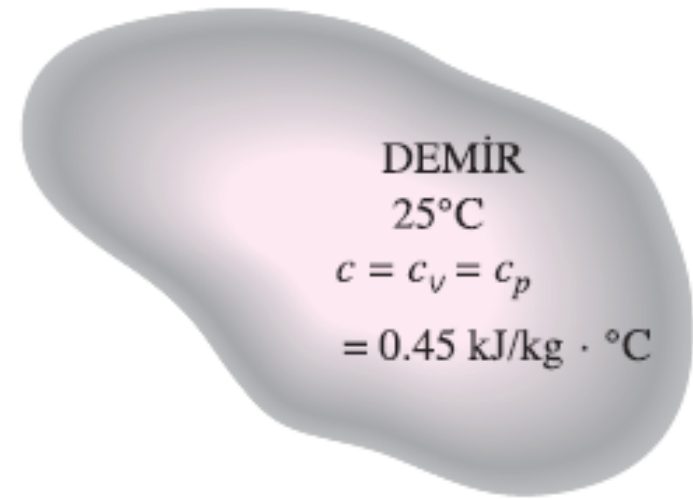
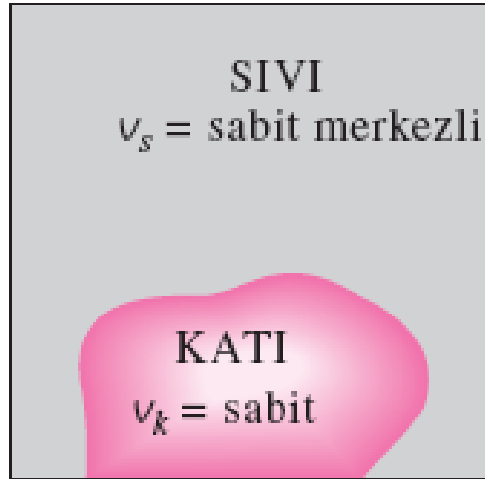
$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

Özgül ısı oranı

- Özgül ısıların oranı da sıcaklığın fonksiyonudur. Fakat özgül ısıların oranının sıcaklıkla değişimi çok belirgin değildir
- Tek atomlu gazlar için k sabit olup 1.667 değerindedir.
- Hava ve iki atomlu gazların birçoğu için oda sıcaklığında özgül ısıların oranı yaklaşık 1.4 değerindedir.

KATI VE SIVILARIN İÇ ENERJİ, ENTALPİ VE ÖZGÜL ISILARI

Sıkıştırılmayan madde: Özgül hacmi veya yoğunluğu sabit olan maddeye. **Katı** ve **sıvıların** özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında hemen hemen sabit kalır



Sıkıştırılmayan maddelerin özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında sabit kalır.

Sıkıştırılmayan c_v ve c_p değerleri eşittir ve c ile gösterilir.

$$du = c_v dT = c(T) dT \quad \Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c(T) dT \quad (\text{kJ/kg})$$
$$\Delta u \cong c_{\text{ort}} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

Entalpi Değişimi

$$h = u + Pv$$

$$dh = du + v dP + P d\overset{0}{v} = du + v dP$$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P \cong c_{\text{avg}} \Delta T + v \Delta P \quad (\text{kJ/kg})$$

Katılar için, $v \Delta P$ terimi ihmal edilebilecek kadar küçüktür, bu nedenle $\Delta h = \Delta u \cong c_{\text{ort}} \Delta T$. Sıvılar için iki özel durumla karşılaşılabilir:

1. Sabit basınçta hal değişimi, ısıtıcılarda ; ($\Delta P = 0$): $\Delta h = \Delta u \cong c_{\text{ort}} \Delta T$
2. Sabit sıcaklıkta hal değişimi, pompalarda ; ($\Delta T = 0$): $\Delta h = v \Delta P$

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{\text{sat}@T})$$

Sıkıştırılmış sıvı entalpisi

son terimin etkisi genellikle çok küçüktür ve ihmal edilebilir.

$$h_{@P,T} \cong h_{f@T}$$

- Hareketli sınır işi
 - W_s izotermal işlem için
 - W_s Sabit basınçlı işlem için
 - W_s Politropik işlem için
- Kapalı sistemlerde enerji dengesi
 - Sabit basınçta sıkıştırma ve genişlem işlemi için enerji dengesi
- Özgül Isı
 - Sabit basınçta özgül ısı, c_p
 - Sabit hacimde özgül ısı, c_v
- Mükemmel gazlarda iç enerji , entalpi, ve özgül ısı
 - Mükemmel gazlar için özgül ısı
- Katı ve sıvıların iç enerji, entalpi ve özgül ısıları