

Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı
Yunus A. Çengel, Michael A. Boles
Çeviri Editörü: Ali PINARBAŞI
McGraw-Hill, 2008

Bölüm 13

GAZ KARIŞIMLARI

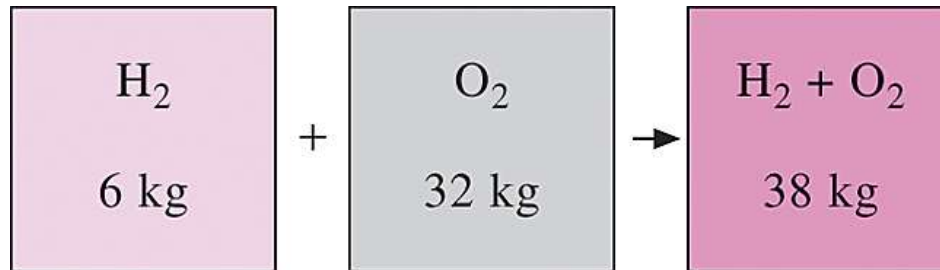
Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Amaçlar

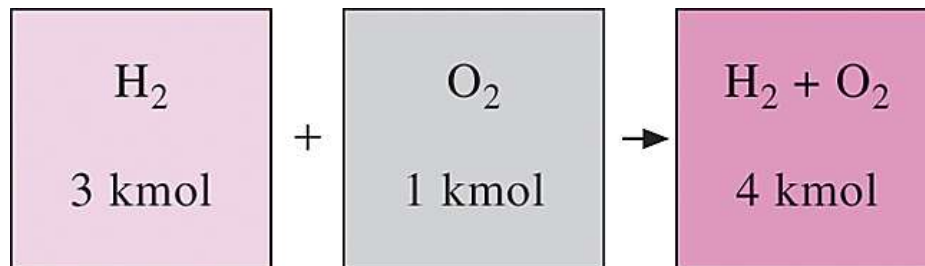
- Kimyasal reaksiyona girmeyen gaz karışımlarının incelenmesi.
- Bir karışımın karışanlarını tanımlamak için kullanılan kütle oranı, mol oranı ve hacim oranını tanımlamak.
- İdeal-gaz karışımları ve gerçek-gaz karışımlarının karışım özelliklerini belirlemek için gerekli kuralları incelemek.
- Gaz karışımlarının *P-v-T davranışını* Dalton'un toplanan basınçlar ve Amagat'ın toplanan basınçlar yasalarına dayanarak belirlenmesi.
- Karışım işlemlerinin enerji ve ekserji analizinin yapılması

BİR GAZ KARIŞIMIN MOL VE KÜTLE ORANLARI

Karışımın özelliklerini belirlemek için, karışımı oluşturan karışanların miktarlarını ve ayrı ayrı özelliklerini bilmek gerekir. Bir karışımın karışanların miktarları mol olarak veya kütle olarak belirtilebilir. Bu yöntemlerden birincisi **mol analizi**, ikincisi de **kütle analizi** diye adlandırılır.



Karışımın kütlesi karışanların kütlelerinin toplamına eşittir.



Kimyasal reaksiyona girmeyen bir karışımın mol miktarı, karışanların mol miktarlarının toplamına eşittir.

Mol analizi: her bir karışanın mol miktarı belirtilir

Kütle analizi: her bir karışanın kütle miktarı belirlenir

$$m_m = \sum_{i=1}^k m_i \quad \text{ve} \quad N_m = \sum_{i=1}^k N_i$$

$$mf_i = \frac{m_i}{m_m}$$

Kütle oranı

$$y_i = \frac{N_i}{N_m}$$

Mol oranı

Görünür (veya ortalama) mol kütlesi

$$M_m = \frac{m_m}{N_m} = \frac{\sum m_i}{N_m} = \frac{\sum N_i M_i}{N_m} = \sum_{i=1}^k y_i M_i$$

Bir karışımın kütle ve mol oranlarının toplamı 1'e eşittir.

$$\sum_{i=1}^k m f_i = 1 \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^k y_i = 1$$

$$m = NM$$

Gaz sabiti

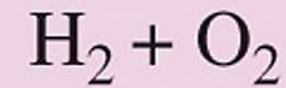
$$R_m = \frac{R_u}{M_m}$$

Karışımın mol kütlesi

$$M_m = \frac{m_m}{N_m} = \frac{m_m}{\sum m_i / M_i} = \frac{1}{\sum m_i / (m_m M_i)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{m f_i}{M_i}}$$

Bir karışımın kütle ve mol oranları aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$m f_i = \frac{m_i}{m_m} = \frac{N_i M_i}{N_m M_m} = y_i \frac{M_i}{M_m}$$



$$y_{\text{H}_2} = 0.75$$

$$y_{\text{O}_2} = \frac{0.25}{1.00}$$

Bir karışımın mol oranlarının toplamı 1'dir.

Örnek 13-1

Gaz karışımında 3 kg O₂, 5 kg N₂ ve 12 kg CH₄ bulunmaktadır.

(a) Her karışanın kütle oranını,

(b) Her karışanın mol oranını,

(c) Karışımın ortalama mol kütlesini ve gaz sabitini hesaplayınız.

3 kg O₂
5 kg N₂
12 kg CH₄

(a) Karışımın toplam kütlesi,

$$m_m = m_{O_2} + m_{N_2} + m_{CH_4} = 3 + 5 + 12 = 20 \text{ kg}$$

$$mf_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_m} = \frac{3 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = \mathbf{0.15}$$

$$mf_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m_m} = \frac{5 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = \mathbf{0.25}$$

$$mf_{CH_4} = \frac{m_{CH_4}}{m_m} = \frac{12 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = \mathbf{0.60}$$

(b) Mol oranlarını hesaplayabilmek için, önce her karışanın mol miktarlarını belirlemek gerekir.

$$N_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} = \frac{3 \text{ kg}}{32 \text{ kg/kmol}} = 0.094 \text{ kmol}$$

$$N_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{M_{N_2}} = \frac{5 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} = 0.179 \text{ kmol}$$

$$N_{CH_4} = \frac{m_{CH_4}}{M_{CH_4}} = \frac{12 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}} = 0.750 \text{ kmol}$$

$$N_m = N_{O_2} + N_{N_2} + N_{CH_4} = 0.094 + 0.179 + 0.750 = 1.023 \text{ kmol}$$

$$y_{O_2} = \frac{N_{O_2}}{N_m} = \frac{0.094 \text{ kmol}}{1.023 \text{ kmol}} = \mathbf{0.092}$$

$$y_{N_2} = \frac{N_{N_2}}{N_m} = \frac{0.179 \text{ kmol}}{1.023 \text{ kmol}} = \mathbf{0.175}$$

$$y_{CH_4} = \frac{N_{CH_4}}{N_m} = \frac{0.750 \text{ kmol}}{1.023 \text{ kmol}} = \mathbf{0.733}$$

(c) Karışımın ortalama mol kütlesi ve gaz sabiti, tanımlarından hesaplanır.

$$M_m = \frac{m_m}{N_m} = \frac{20 \text{ kg}}{1.023 \text{ kmol}} = \mathbf{19.6 \text{ kg/kmol}}$$

$$\begin{aligned} M_m &= \sum y_i M_i = y_{O_2} M_{O_2} + y_{N_2} M_{N_2} + y_{CH_4} M_{CH_4} \\ &= (0.092)(32) + (0.175)(28) + (0.733)(16) \\ &= 19.6 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

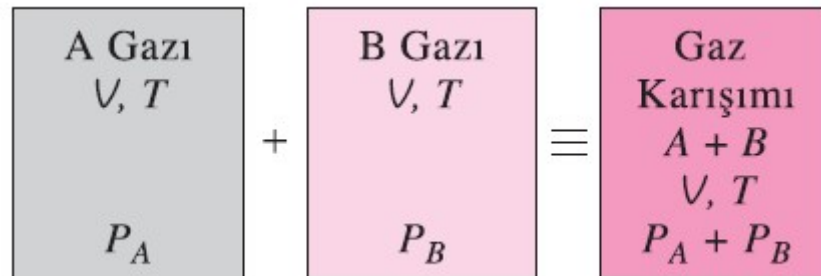
$$R_m = \frac{R_u}{M_m} = \frac{8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})}{19.6 \text{ kg/kmol}} = \mathbf{0.424 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

BİR GAZ KARIŞIMIN P-v-T DAVRANIŞI: Mükemmel ve Gerçek Gazlar

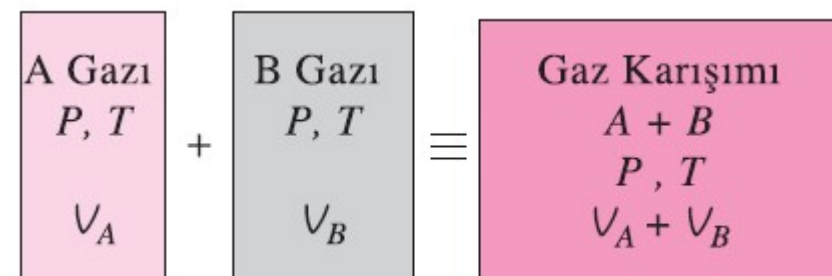
Gaz karışımlarının P-v-T davranışlarını açıklamak için iki model ortaya Konmuştur:

Dalton'un toplanan basınçlar yasası : Bir gaz karışımının basıncı, karışanların karışım sıcaklığında olmaları ve ayrı ayrı toplam hacmi kaplamaları durumunda sahip olacakları basınçların toplamıdır

Amagat'ın toplanan hacimler yasası : Bir gaz karışımının hacmi, karışanların karışım sıcaklığı ve basıncında olmaları durumunda ayrı ayrı kaplayacakları hacimlerin toplamıdır



İki mükemmel gazdan oluşan bir karışım için
Dalton'un toplanan basınçlar yasası



İki mükemmel gazdan oluşan bir karışım için
Amagat'ın toplanan hacimler yasası

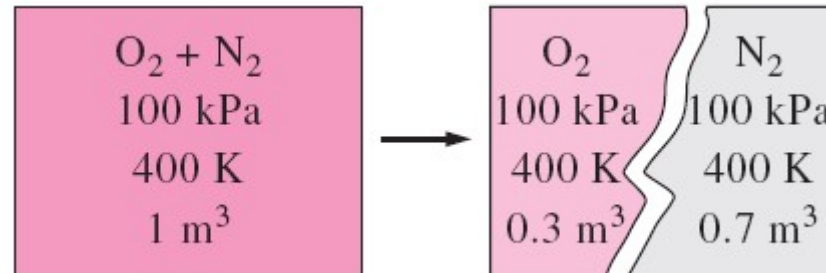
Dalton Yasası:

Amagat Yasası

$$\left. \begin{aligned} P_m &= \sum_{i=1}^k P_i(T_m, V_m) \\ V_m &= \sum_{i=1}^k V_i(T_m, P_m) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Mükemmel gazlar} \\ \text{için tam, gerçek} \\ \text{gazlar için yaklaşık} \end{array}$$

P_i karışan basıncı V_i karışan hacmi
 P_i/P_m basınç oranı V_i/V_m hacim oranı

İdeal gazlar için, Dalton'un ve Amagat'ın kuralları aynıdır ve aynı sonuçları verirler



Karışım sıcaklığı T ve karışım basıncı P 'de bir karışanın tek başına kapladığı hacim karışan hacmi diye bilinir. Mükemmel gazlar için bu değer $y_i V_m$ veya kısmi basınca eşittir.

İdeal-Gaz Karışımları

$$\frac{P_i(T_m, V_m)}{P_m} = \frac{N_i R_u T_m / V_m}{N_m R_u T_m / V_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i$$
$$\frac{V_i(T_m, P_m)}{V_m} = \frac{N_i R_u T_m / P_m}{N_m R_u T_m / P_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i$$



$$\frac{P_i}{P_m} = \frac{V_i}{V_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i$$

Bu denklem sadece mükemmel gaz karışımları için geçerlidir, çünkü hem karışım hem de karışanlar için mükemmel gaz hal denklemini kullanarak çıkarılmıştır.

$y_i P_m$ karışanın **kısmi basıncı**, $y_i V_m$ karışanın **kısmi hacmi** diye tanımlanır. Mükemmel gazlar için karışan basıncıyla kısmi basınç, karışan hacmiyle kısmi hacim eşanlımlıdır.

Mükemmel gaz karışımındaki bir karışan için, mol oranı, basınç oranı ve hacim oranının birbirine eşit olduğu not edilmelidir.

Bir mükemmel gaz karışımındaki karışanların miktarları, örneğin yanma odasından çıkan gazların miktarları, çoğu kez hacimsel analiz denklemiyle belirlenir.

(Orsat Analysis)

Gerçek Gaz Karışımları

Sıkıştırılabilirlik Çarpanı

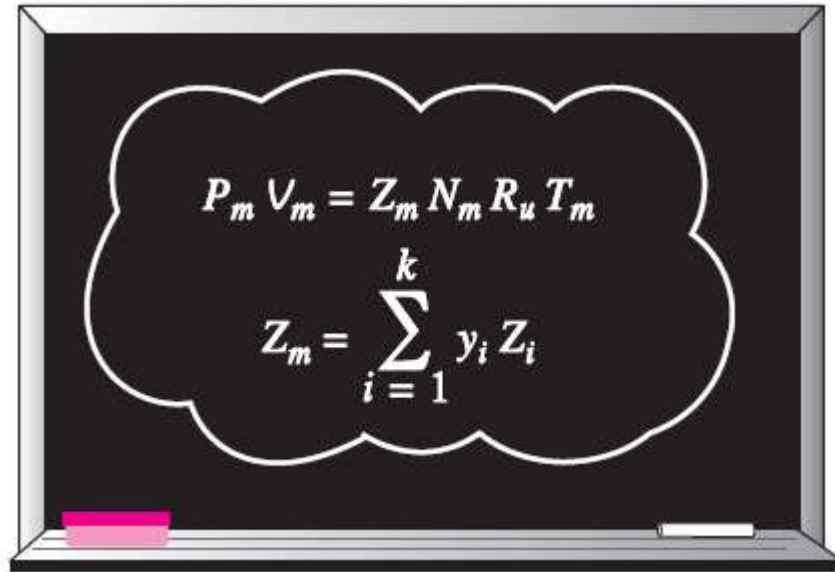
$$P'_{kr,m} = \sum_{i=1}^k y_i P_{kr,i} \quad \text{ve} \quad T'_{kr,m} = \sum_{i=1}^k y_i T_{kr,i}$$

$$PV = ZNR_u T$$

$$Z_m = \sum_{i=1}^k y_i Z_i$$

Kay Kuralı

Z_i , ya T_m ve V_m kullanılarak (Dalton yasası) veya T_m ve P_m kullanılarak (Amagat yasası) belirlenir. **Dalton'un yasasını kullanmak daha doğru sonuçlar verir.**



Gerçek gazlardan oluşan karışımların P-v-T davranışlarını belirlemek için sıkıştırılabilirlik çarpanları kullanılır.

Gerçek gazlardan oluşan bir gaz karışımının P-v-T davranışını belirlemenin bir başka yolu, karışımı kritik özellikleri P_c 'r ve T_c 'r olan sanki-saf madde gibi kabul etmektir.

Karışımın sıkıştırılabilirlik çarpanı Z_m , sanki-kritik özelliklerden yararlanarak kolaylıkla belirlenir.

Kay kuralını kullanarak elde edilen sonuçlar, geniş bir sıcaklık ve basınç aralığında yüzde 10 hata sınırı içinde kalmaktadır, bu da mühendislik uygulamaları için yeterlidir.

Örnek 13-2

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki 300 K sıcaklıkta ve 15 MPa basınçta 2 kmol N₂ ve 6 kmol CO₂ 'den oluşan bir gaz karışımı bulunmaktadır. Kabin hacmini, (a) mükemmel gaz hal denklemini kullanarak, (b) Kay kuralını uygulayarak, (c) sıkıştırılabilirlik çarpanları ve Amagat yasasını uygulayarak, (d) ve Dalton yasasını uygulayarak hesaplayınız.

2 kmol N₂
6 kmol CO₂
300 K
15 MPa
V_m = ?

(a) Gaz karışımı, mükemmel gaz karışımı gibi davranıyor gibi kabul edilirse, karışımın hacmi mükemmel gaz hal denkleminde kolayca hesaplanabilir.

$$V_m = \frac{N_m R_u T_m}{P_m} = \frac{(8 \text{ kmol})(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{15000 \text{ kPa}} = 1.330 \text{ m}^3$$

$$N_m = N_{\text{N}_2} + N_{\text{CO}_2} = 2 + 6 = 8 \text{ kmol}$$

(b), N₂ ve CO₂ 'nin Tablo A-1 'de verilen kritik özelliklerinden yararlanarak, karışımın sanki-kritik basınç ve sıcaklığını bulmak gerekir. Fakat öncelikle her bir karışımın mol oranları belirlenmelidir.

$$y_{\text{N}_2} = \frac{N_{\text{N}_2}}{N_m} = \frac{2 \text{ kmol}}{8 \text{ kmol}} = 0.25 \quad \text{ve} \quad y_{\text{CO}_2} = \frac{N_{\text{CO}_2}}{N_m} = \frac{6 \text{ kmol}}{8 \text{ kmol}} = 0.75$$
$$T'_{\text{kr},m} = \sum y_i T_{\text{kr},i} = y_{\text{N}_2} T_{\text{kr},\text{N}_2} + y_{\text{CO}_2} T_{\text{kr},\text{CO}_2}$$
$$= (0.25)(126.2 \text{ K}) + (0.75)(304.2 \text{ K}) = 259.7 \text{ K}$$
$$P'_{\text{kr},m} = \sum y_i P_{\text{kr},i} = y_{\text{N}_2} P_{\text{kr},\text{N}_2} + y_{\text{CO}_2} P_{\text{kr},\text{CO}_2}$$
$$= (0.25)(3.39 \text{ MPa}) + (0.75)(7.39 \text{ MPa}) = 6.39 \text{ MPa}$$

$$\left. \begin{aligned} T_R &= \frac{T_m}{T'_{kr,m}} = \frac{300 \text{ K}}{259.7 \text{ K}} = 1.16 \\ P_R &= \frac{P_m}{P'_{kr,m}} = \frac{15 \text{ MPa}}{6.39 \text{ MPa}} = 2.35 \end{aligned} \right\} Z_m = 0.49$$

$$V_m = \frac{Z_m N_m R_u T_m}{P_m} = Z_m V_{m\text{mükemmel}} = (0.49)(1.330 \text{ m}^3) = \mathbf{0.652 \text{ m}^3}$$

(c) Amagat yasası sıkıştırılabilirlik çarpanıyla kullanıldığı zaman,

$$N_2: \left. \begin{aligned} T_{R,N_2} &= \frac{T_m}{T_{kr,N_2}} = \frac{300 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 2.38 \\ P_{R,N_2} &= \frac{P_m}{P_{kr,N_2}} = \frac{15 \text{ MPa}}{3.39 \text{ MPa}} = 4.42 \end{aligned} \right\} Z_{N_2} = 1.02$$

$$CO_2: \left. \begin{aligned} T_{R,CO_2} &= \frac{T_m}{T_{kr,CO_2}} = \frac{300 \text{ K}}{304.2 \text{ K}} = 0.99 \\ P_{R,CO_2} &= \frac{P_m}{P_{kr,CO_2}} = \frac{15 \text{ MPa}}{7.39 \text{ MPa}} = 2.03 \end{aligned} \right\} Z_{CO_2} = 0.30$$

karışımın sıkıştırılabilirlik çarpanı

$$\begin{aligned} Z_m &= \sum y_i Z_i = y_{N_2} Z_{N_2} + y_{CO_2} Z_{CO_2} \\ &= (0.25)(1.02) + (0.75)(0.30) = 0.48 \end{aligned}$$

$$V_m = \frac{Z_m N_m R_u T_m}{P_m} = Z_m V_{m\text{mükemmel}} = (0.48)(1.330 \text{ m}^3) = \mathbf{0.638 \text{ m}^3}$$

(d) Dalton yasası sıkıştırılabilirlik çarpanıyla birlikte kullanıldığı zaman

$$\begin{aligned} V_{R,N_2} &= \frac{\bar{V}_{N_2}}{R_u T_{kr,N_2} / P_{cr,N_2}} = \frac{V_m / N_{N_2}}{R_u T_{kr,N_2} / P_{kr,N_2}} \\ &= \frac{(1.33 \text{ m}^3) / (2 \text{ kmol})}{(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{K}) (126.2 \text{ K}) / (3390 \text{ kPa})} = 2.15 \end{aligned}$$

$$V_{R,CO_2} = \frac{(1.33 \text{ m}^3) / (6 \text{ kmol})}{(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{K}) (304.2 \text{ K}) / (7390 \text{ kPa})} = 0.648$$

Şekil A-15b' den $Z_{N_2} = 0.99$ ve $Z_{CO_2} = 0.56$

$$Z_m = y_{N_2} Z_{N_2} + y_{CO_2} Z_{CO_2} = (0.25)(0.99) + (0.75)(0.56) = 0.67$$

$$V_m = \frac{Z_m N_m R T_m}{P_m} = Z_m V_{m, \text{mükemmel}} = (0.67)(1.330 \text{ m}^3) = 0.891 \text{ m}^3$$

$$V_m = \mathbf{0.648 \text{ m}^3}$$

Bu değer, başlangıçta alınan değerden %33 daha küçüktür. Bu nedenle deneme-yanılma işlemi, yeni bulunan V_m değerini kullanarak sürdürülmelidir. Birinci tekrardan sonra 0.738 m^3 , ikinci tekrardan sonra 0.678 m^3 , üçüncü tekrardan sonra 0.648 m^3 bulunur.

GAZ KARIŞIMLARININ ÖZELİKLERİ Mükemmel ve Gerçek Gazlar

Gaz karışımının yaygın özellikleri

$$\begin{aligned}U_m &= \sum_{i=1}^k U_i = \sum_{i=1}^k m_i u_i = \sum_{i=1}^k N_i \bar{u}_i & (\text{kJ}) \\H_m &= \sum_{i=1}^k H_i = \sum_{i=1}^k m_i h_i = \sum_{i=1}^k N_i \bar{h}_i & (\text{kJ}) \\S_m &= \sum_{i=1}^k S_i = \sum_{i=1}^k m_i s_i = \sum_{i=1}^k N_i \bar{s}_i & (\text{kJ/K})\end{aligned}$$

Gaz karışımının özelliklerindeki değişimler

$$\begin{aligned}\Delta U_m &= \sum_{i=1}^k \Delta U_i = \sum_{i=1}^k m_i \Delta u_i = \sum_{i=1}^k N_i \Delta \bar{u}_i & (\text{kJ}) \\\Delta H_m &= \sum_{i=1}^k \Delta H_i = \sum_{i=1}^k m_i \Delta h_i = \sum_{i=1}^k N_i \Delta \bar{h}_i & (\text{kJ}) \\\Delta S_m &= \sum_{i=1}^k \Delta S_i = \sum_{i=1}^k m_i \Delta s_i = \sum_{i=1}^k N_i \Delta \bar{s}_i & (\text{kJ/K})\end{aligned}$$

$$\begin{array}{l}2 \text{ kmol } A \\6 \text{ kmol } B \\U_A = 1000 \text{ kJ} \\U_B = 1800 \text{ kJ} \\\downarrow \\U_m = 2800 \text{ kJ}\end{array}$$

Bir karışımın yaygın özellikleri, karışanların özelliklerini toplayarak bulunur.

Gaz karışımının yeğin özellikleri

$$\begin{aligned} u_m &= \sum_{i=1}^k m f_i u_i \quad (\text{kJ/kg}) & \text{ve} & \quad \bar{u}_m = \sum_{i=1}^k y_i \bar{u}_i \quad (\text{kJ/kmol}) \\ h_m &= \sum_{i=1}^k m f_i h_i \quad (\text{kJ/kg}) & \text{ve} & \quad \bar{h}_m = \sum_{i=1}^k y_i \bar{h}_i \quad (\text{kJ/kmol}) \\ s_m &= \sum_{i=1}^k m f_i s_i \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) & \text{ve} & \quad \bar{s}_m = \sum_{i=1}^k y_i \bar{s}_i \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &2 \text{ kmol } A \\ &3 \text{ kmol } B \\ &\bar{u}_A = 500 \text{ kJ/kmol} \\ &\bar{u}_B = 600 \text{ kJ/kmol} \\ &\quad \downarrow \\ &\bar{u}_m = 560 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{v,m} &= \sum_{i=1}^k m f_i c_{v,i} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) & \text{ve} & \quad \bar{c}_{v,m} = \sum_{i=1}^k y_i \bar{c}_{v,i} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K}) \\ c_{p,m} &= \sum_{i=1}^k m f_i c_{p,i} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) & \text{ve} & \quad \bar{c}_{p,m} = \sum_{i=1}^k y_i \bar{c}_{p,i} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

Karışımın yeğin özellikleri, karışanların özelliklerinin ağırlıklı ortalamasından bulunur

Birim kütle için özellikler kütle oranı ($m f_i$) ile birim mol için özellikler ise mol oranı (y_i) ile ifade edilmiştir.

Yukarıda verilen bağıntılar genellikle hem mükemmel hem de gerçek gaz karışımları için geçerlidir.

İdeal-Gaz Karışımları

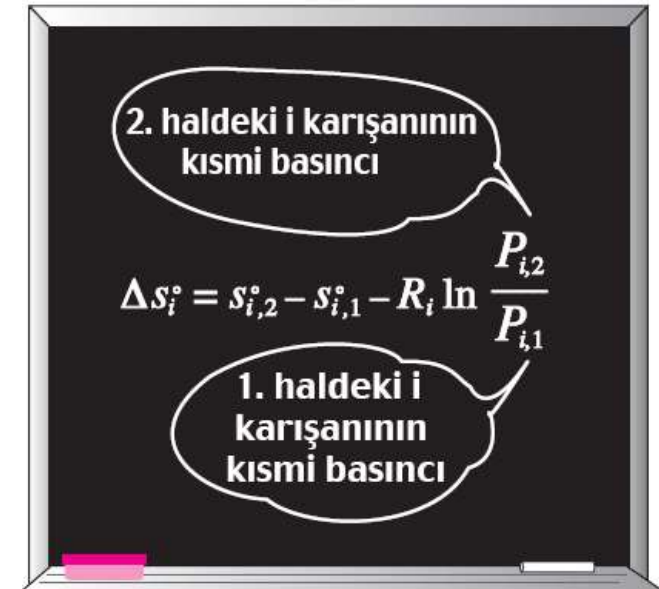
Gibbs–Dalton Yasası: Mükemmel gaz kabulü yapıldığı zaman, bir gazın özellikleri diğer gazların varlığından etkilenmez. Her gaz karışan, karışım sıcaklığında (T_m) ve karışım hacminde (V_m) tek başına bulunuyormuş gibi davranır.

Mükemmel bir gazın h , u , C_v ve C_p özellikleri sadece sıcaklığa bağlıdır, mükemmel gaz karışımının basınç ve hacminden bağımsızdır.

$$\Delta s_i = s_{i,2}^\circ - s_{i,1}^\circ - R_i \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}} \cong c_{p,i} \ln \frac{T_{i,2}}{T_{i,1}} - R_i \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}}$$

$$\Delta \bar{s}_i = \bar{s}_{i,2}^\circ - \bar{s}_{i,1}^\circ - R_u \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}} \cong \bar{c}_{p,i} \ln \frac{T_{i,2}}{T_{i,1}} - R_u \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}}$$

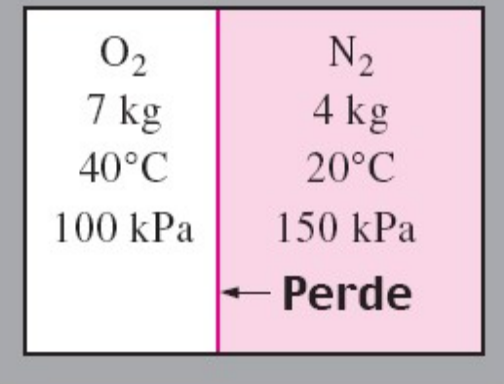
$$P_{i,2} = y_{i,2} P_{m,2} \text{ ve } P_{i,1} = y_{i,1} P_{m,1}$$



Mükemmel gaz karışımlarının entropi değişimlerini hesaplarken, karışım basıncı değil, karışanların kısmi basınçları kullanılır.

Örnek 13-3

Sabit hacimli, yalıtılmış, kapalı bir kap bir perde ile iki bölmeye ayrılmıştır. Bölmelerden birinde 40 °C sıcaklık ve 100 kPa basınçta 7 kg oksijen, diğerinde ise 20 °C sıcaklık ve 150 kPa basınçta 4 kg azot bulunmaktadır. Daha sonra bölmeleri ayıran perde kaldırılmakta ve gazların karışması sağlanmaktadır. Denge hali sağlandıktan sonra (a) karışımın sıcaklığını, (b) karışımın basıncını hesaplayınız..



(a) Kapalı sistem için enerjinin korunumu denklemi yazılırsa,

$$E_g - E_{\check{c}} = \Delta E_{\text{sistem}}$$

$$0 = \Delta U = \Delta U_{\text{N}_2} + \Delta U_{\text{O}_2}$$

$$[mc_v(T_m - T_1)]_{\text{N}_2} + [mc_v(T_m - T_1)]_{\text{O}_2} = 0$$

$$(4 \text{ kg})(0.743 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(T_m - 20^\circ\text{C}) + (7 \text{ kg})(0.658 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(T_m - 40^\circ\text{C}) = 0$$

$$T_m = 32.2^\circ\text{C}$$

$$P_m V_m = N_m R_u T_m$$

$$N_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} = \frac{7 \text{ kg}}{32 \text{ kg/kmol}} = 0.219 \text{ kmol}$$

$$N_{\text{N}_2} = \frac{m_{\text{N}_2}}{M_{\text{N}_2}} = \frac{4 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} = 0.143 \text{ kmol}$$

$$N_m = N_{\text{O}_2} + N_{\text{N}_2} = 0.219 + 0.143 = 0.362 \text{ kmol}$$

$$V_{O_2} = \left(\frac{NR_u T_1}{P_1} \right)_{O_2} = \frac{(0.219 \text{ kmol})(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K})(313 \text{ K})}{100 \text{ kPa}} = 5.70 \text{ m}^3$$

$$V_{N_2} = \left(\frac{NR_u T_1}{P_1} \right)_{N_2} = \frac{(0.143 \text{ kmol})(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K})(293 \text{ K})}{150 \text{ kPa}} = 2.32 \text{ m}^3$$

$$V_m = V_{O_2} + V_{N_2} = 5.70 + 2.32 = 8.02 \text{ m}^3$$

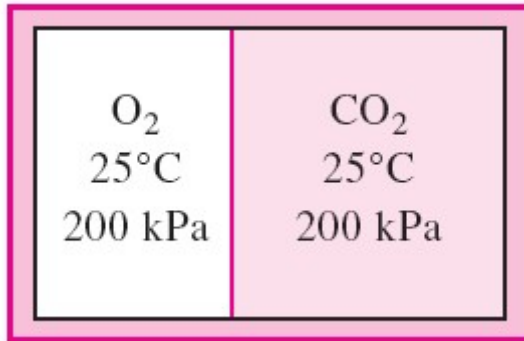
$$P_m = \frac{N_m R_u T_m}{V_m} = \frac{(0.362 \text{ kmol})(8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K})(305.2 \text{ K})}{8.02 \text{ m}^3} = \mathbf{114.5 \text{ kPa}}$$

$P_m V_m = m_m R_m T_m$ eşitliği kullanılarak da karışımın basıncı bulunabilir. Burada R_m karışımın görünür gaz sabitidir. R_m 'nin bulunabilmesi için karışımın kütle yada mol oranlarının bilinmesi gerekmektedir.

Örnek 13-4

Sabit hacimli, yalıtılmış kapalı bir perde ile iki bölmeye ayrılmıştır. Bölmelerden birinde 3 kmol O₂, diğesinde ise 5 kmol CO₂ vardır. Başlangıçta her iki gaz da 25 °C sıcaklık ve 200 kPa basınçtır. Daha sonra bölmeleri ayıran perde kaldırılmakta ve gazların karışması sağlanmaktadır. Çevre sıcaklığının 25 °C olduğunu ve gazların mükemmel gaz gibi davrandıklarını kabul ederek, hal değişimi sırasındaki entropi değişimini ve ekserji yok oluşunu hesaplayın.

$P_{m,2}=P_{i,1}=200$ kPa olduğundan



$$\begin{aligned}\Delta S_m &= \sum \Delta S_i = \sum N_i \Delta \bar{s}_i = \sum N_i \left(\bar{c}_{p,i} \ln \frac{T_{i,2}}{T_{i,1}} - R_u \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}} \right) \\ &= -R_u \sum N_i \ln \frac{y_{i,2} P_{m,2}}{P_{i,1}} = -R_u \sum N_i \ln y_{i,2}\end{aligned}$$

$$N_m = N_{O_2} + N_{CO_2} = (3 + 5) \text{ kmol} = 8 \text{ kmol}$$

$$y_{O_2} = \frac{N_{O_2}}{N_m} = \frac{3 \text{ kmol}}{8 \text{ kmol}} = 0.375$$

$$y_{CO_2} = \frac{N_{CO_2}}{N_m} = \frac{5 \text{ kmol}}{8 \text{ kmol}} = 0.625$$

$$\Delta S_m = -R_u (N_{O_2} \ln y_{O_2} + N_{CO_2} \ln y_{CO_2})$$

$$= -(8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}) [(3 \text{ kmol})(\ln 0.375) + (5 \text{ kmol})(\ln 0.625)] = \mathbf{44.0 \text{ kJ/K}}$$

Bu karışma işlemiyle ilgili ekserji yok oluşu

$$X_{\text{yok olan}} = T_0 S_{\text{üretim}} = T_0 \Delta S_{\text{sistem}}$$

$$= (298 \text{ K})(44.0 \text{ kJ/K}) = \mathbf{13.1 \text{ MJ}}$$

Gerçek Gaz Karışımları

Bir gaz karışımı için $T ds$ bağıntısı

$$dh_m = T_m ds_m + v_m dP_m$$

$$d\left(\sum mf_i h_i\right) = T_m d\left(\sum mf_i s_i\right) + \left(\sum mf_i v_i\right) dP_m$$

$$\sum mf_i (dh_i - T_m ds_i - v_i dP_m) = 0$$

$$dh_i = T_m ds_i + v_i dP_m$$

Gerçek gaz A	Gerçek gaz B
25°C	25°C
0.4 m ³	0.6 m ³
100 kPa	100 kPa



Gerçek gaz karışımı A + B
25°C
1 m ³
102 kPa ?

Gerçek gaz karışımlarının davranışlarını belirlemek zordur, çünkü birbirinden farklı moleküllerin karşılıklı etkilerini göz önüne almak gerekir.

$$dh_i = T_m ds_i + v_i dP_m$$

Denklem entalpi ve entropi için genelleştirilmiş bağıntıları ve diyagramları geliştirmenin başlangıç noktasıdır. Ayrıca gerçek gazlar için geliştirilen genelleştirilmiş özellik bağıntılarının ve diyagramlarının, gerçek gaz karışımını oluşturan gazlar için de kullanılabileceğini belirtmektedir.

Fakat her karışım için indirgenmiş sıcaklık, T_R ve indirgenmiş basınç P_m , karışım sıcaklığı T_m ve karışım basıncı P_m 'de hesaplanmalıdır.

Karışım basıncı ve sıcaklığı yerine karışım hacim ve sıcaklığı verilirse izlenecek olan yol, Dalton'un toplanan basınçlar yasasını kullanarak yaklaşık bir karışım basıncı belirlemektir.

Gerçek bir gaz karışımının özelliklerini belirlemenin bir başka yolu da, karışımı sanki-kritik özellikleri olan, sanki-saf bir madde gibi ele almaktır. Burada sanki-kritik özellikler, karışanların kritik özelliklerinden Kay kuralını kullanarak belirlenir.

Örnek 13-5

Hava genellikle N_2 ve O_2 'den oluşan bir karışım olarak ele alınır. Bu karışımın N_2 ve O_2 'nin mol oranları sırasıyla % 79 ve % 21'dir. Sürekli akışlı bir açık sistemde, hava 10 MPa sabit basınçta, 220 K'den 160 K sıcaklığa soğutulmaktadır. Havadan çevreye olan ısı geçişini, (a) mükemmel gaz yaklaşımıyla, (b) Kay kuralını kullanarak, (c) Amagat yasasını kullanarak hesaplayın..

$$e_g - e_\varphi = \Delta e_{\text{sistem}}^0 = 0 \rightarrow e_g = e_\varphi \rightarrow \bar{h}_1 = \bar{h}_2 + \bar{q}_\varphi$$
$$\bar{q}_\varphi = \bar{h}_1 - \bar{h}_2 = y_{N_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{N_2} + y_{O_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{O_2}$$



$$\bar{h}_1 - \bar{h}_2 = \bar{h}_{1,\text{mük}} - \bar{h}_{2,\text{mük}} - R_u T_{kr}(Z_{h1} - Z_{h2})$$

(a) N_2 , O_2 karışımının mükemmel gaz olduğu kabul edilirse

$$T_1 = 220 \text{ K} \rightarrow \bar{h}_{1,\text{mük},N_2} = 6391 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{1,\text{mük},O_2} = 6404 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_2 = 160 \text{ K} \rightarrow \bar{h}_{2,\text{mük},N_2} = 4648 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{2,\text{mük},O_2} = 4657 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \bar{q}_\varphi &= y_{N_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{N_2} + y_{O_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{O_2} \\ &= (0.79)(6391 - 4648) \text{ kJ/kmol} + (0.21)(6404 - 4657) \text{ kJ/kmol} \\ &= \mathbf{1744 \text{ kJ/kmol}} \end{aligned}$$

(b) Kay kuralına göre, sanki-saf bir madde gibi davranan bir gaz karışımının kritik sıcaklığı ve basıncı;

$$\begin{aligned}T'_{kr,m} &= \sum y_i T_{kr,i} = y_{N_2} T_{kr,N_2} + y_{O_2} T_{kr,O_2} \\&= (0.79)(126.2 \text{ K}) + (0.21)(154.8 \text{ K}) = 132.2 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P'_{kr,m} &= \sum y_i P_{kr,i} = y_{N_2} P_{kr,N_2} + y_{O_2} P_{kr,O_2} \\&= (0.79)(3.39 \text{ MPa}) + (0.21)(5.08 \text{ MPa}) = 3.74 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{R,1} &= \frac{T_{m,1}}{T_{kr,m}} = \frac{220 \text{ K}}{132.2 \text{ K}} = 1.66 \\P_R &= \frac{P_m}{P_{kr,m}} = \frac{10 \text{ MPa}}{3.74 \text{ MPa}} = 2.67 \left. \vphantom{\begin{aligned}T_{R,1} &= \frac{T_{m,1}}{T_{kr,m}} = \frac{220 \text{ K}}{132.2 \text{ K}} = 1.66 \\P_R &= \frac{P_m}{P_{kr,m}} = \frac{10 \text{ MPa}}{3.74 \text{ MPa}} = 2.67\end{aligned}} \right\} Z_{h_1,m} = 1.0 \\T_{R,2} &= \frac{T_{m,2}}{T_{kr,m}} = \frac{160 \text{ K}}{132.2 \text{ K}} = 1.21 \left. \vphantom{\begin{aligned}T_{R,1} &= \frac{T_{m,1}}{T_{kr,m}} = \frac{220 \text{ K}}{132.2 \text{ K}} = 1.66 \\P_R &= \frac{P_m}{P_{kr,m}} = \frac{10 \text{ MPa}}{3.74 \text{ MPa}} = 2.67\end{aligned}} \right\} Z_{h_2,m} = 2.6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{h}_{m_1, \text{mük}} &= y_{\text{N}_2} \bar{h}_{1, \text{mük}, \text{N}_2} + y_{\text{O}_2} \bar{h}_{1, \text{mük}, \text{O}_2} \\
 &= (0.79)(6391 \text{ kJ/kmol}) + (0.21)(6404 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= 6394 \text{ kJ/kmol} \\
 \bar{h}_{m_2, \text{mük}} &= y_{\text{N}_2} \bar{h}_{2, \text{mük}, \text{N}_2} + y_{\text{O}_2} \bar{h}_{2, \text{mük}, \text{O}_2} \\
 &= (0.79)(4648 \text{ kJ/kmol}) + (0.21)(4657 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= 4650 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{q}_\zeta &= (\bar{h}_{m_1, \text{mük}} - \bar{h}_{m_2, \text{mük}}) - R_u T_{\text{kr}} (Z_{h_1} - Z_{h_2})_m \\
 &= [(6394 - 4650) \text{ kJ/kmol}] - (8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K})(132.2 \text{ K})(1.0 - 2.6) \\
 &= \mathbf{3503 \text{ kJ/kmol}}
 \end{aligned}$$

(c) N_2 ve O_2 için, ilk ve son hallerde, entalpi sapma çarpanları

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2: \quad & T_{R_1, \text{N}_2} = \frac{T_{m,1}}{T_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{220 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 1.74 \\
 & P_{R, \text{N}_2} = \frac{P_m}{P_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{10 \text{ MPa}}{3.39 \text{ MPa}} = 2.95 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} T_{R_1, \text{N}_2} = \frac{T_{m,1}}{T_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{220 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 1.74 \\ P_{R, \text{N}_2} = \frac{P_m}{P_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{10 \text{ MPa}}{3.39 \text{ MPa}} = 2.95 \end{aligned}} \right\} Z_{h_1, \text{N}_2} = 0.9 \\
 & T_{R_2, \text{N}_2} = \frac{T_{m,2}}{T_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{160 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 1.27 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} T_{R_1, \text{N}_2} = \frac{T_{m,1}}{T_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{220 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 1.74 \\ T_{R_2, \text{N}_2} = \frac{T_{m,2}}{T_{\text{kr}, \text{N}_2}} = \frac{160 \text{ K}}{126.2 \text{ K}} = 1.27 \end{aligned}} \right\} Z_{h_2, \text{N}_2} = 2.4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2: \quad T_{R_1, \text{O}_2} &= \frac{T_{m,1}}{T_{kr, \text{O}_2}} = \frac{220 \text{ K}}{154.8 \text{ K}} = 1.42 \\
 P_{R, \text{O}_2} &= \frac{P_m}{P_{kr, \text{O}_2}} = \frac{10 \text{ MPa}}{5.08 \text{ MPa}} = 1.97 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} T_{R_1, \text{O}_2} &= \frac{T_{m,1}}{T_{kr, \text{O}_2}} = \frac{220 \text{ K}}{154.8 \text{ K}} = 1.42 \\ P_{R, \text{O}_2} &= \frac{P_m}{P_{kr, \text{O}_2}} = \frac{10 \text{ MPa}}{5.08 \text{ MPa}} = 1.97 \end{aligned}} \right\} Z_{h_1, \text{O}_2} = 1.3 \\
 T_{R_1, \text{O}_2} &= \frac{T_{m,2}}{T_{kr, \text{O}_2}} = \frac{160 \text{ K}}{154.8 \text{ K}} = 1.03 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} T_{R_1, \text{O}_2} &= \frac{T_{m,2}}{T_{kr, \text{O}_2}} = \frac{160 \text{ K}}{154.8 \text{ K}} = 1.03 \end{aligned}} \right\} Z_{h_2, \text{O}_2} = 4.0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{\text{N}_2} &= (\bar{h}_{1, \text{mük}} - \bar{h}_{2, \text{mük}})_{\text{N}_2} - R_u T_{kr} (Z_{h_1} - Z_{h_2})_{\text{N}_2} \\
 &= [(6391 - 4648) \text{ kJ/kmol}] - (8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K})(126.2 \text{ K})(0.9 - 2.4) \\
 &= 3317 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{\text{O}_2} &= (\bar{h}_{1, \text{mük}} - \bar{h}_{2, \text{mük}})_{\text{O}_2} - R_u T_{kr} (Z_{h_1} - Z_{h_2})_{\text{O}_2} \\
 &= [(6404 - 4657) \text{ kJ/kmol}] - (8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K})(154.8 \text{ K})(1.3 - 4.0) \\
 &= 5222 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{q}_\zeta &= y_{\text{N}_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{\text{N}_2} + y_{\text{O}_2}(\bar{h}_1 - \bar{h}_2)_{\text{O}_2} \\
 &= (0.79)(3317 \text{ kJ/kmol}) + (0.21)(5222 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= \mathbf{3717 \text{ kJ/kmol}}
 \end{aligned}$$

ÖZET

- Bir gaz karışımının kütle ve mol oranları
- *Gaz karışımının P - v - T davranışı*
- **İdeal-gaz karışımları**
 - Gerçek-gaz karışımları
- Gaz karışımının özellikleri
- **İdeal-gaz karışımları**
 - Gerçek-gaz karışımları