

Bölüm 3

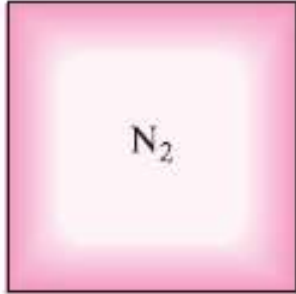
SAF MADDENİN ÖZELLİKLERİ

Amaçlar

- Saf madde kavramının tanıtılması
- Faz değişimi işleminin fizik ilkelerinin incelenmesi
- Saf maddenin P-v-T yüzeylerinin ve P-v, T-v ve P-T özellik diyagramlarının gösterimi
- Özellik veri tablolarından saf maddenin termodinamik özelliklerin belirlenmesi için izlenecek yolun gösterimi.
- Sanal bir madde olarak mükemmel gaz ve mükemmel gaz hal denkleminin tanımını yapmak
- Özgün problemlerin mükemmel gaz hal denklemi ile çözümünün uygulanması
- Gerçek gazların mükemmel gaz davranışından farklılığının bir ölçüsü olan sıkıştırılabilirlik çarpanı tanımlanması
- Yaygın olarak bilinen diğer hal denklemlerinin verilmesi.

SAF MADDE

- **Saf madde:** Her noktasında aynı ve değişmeyen bir kimyasal bileşime sahip olan maddeye denir.
- Hava değişik gazlardan oluşan bir karışımdır, kimyasal bileşiminin her noktada aynı ve değişmez olmasından dolayı saf maddedir.



Azot ve gaz halindeki hava saf maddelerdir



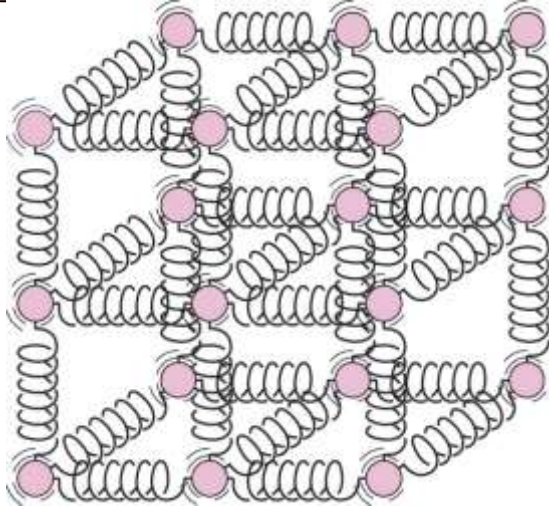
(a) H₂O



b) HAVA

Sıvı-buhar karışımı su saf bir maddedir, ama sıvı ve gaz havanın karışımı saf bir madde değildir

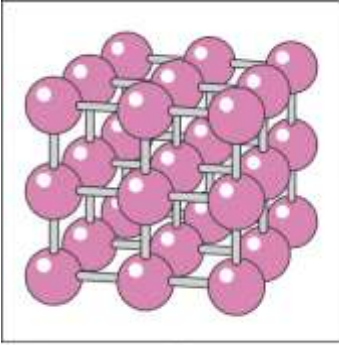
SAF MADDENİN FAZLARI



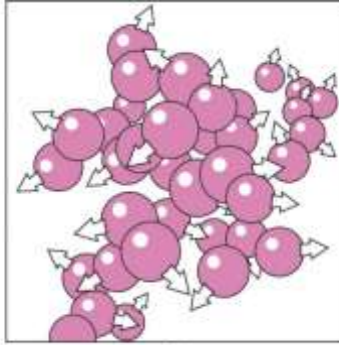
Katı bir cismi oluşturan moleküller, yay benzeri moleküller arası kuvvetlerle yerlerinde tutulurlar



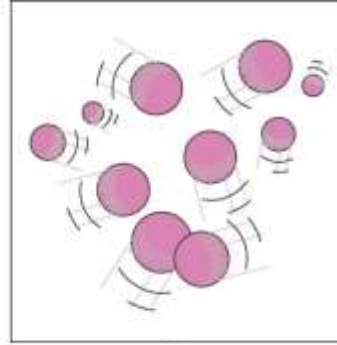
Bir katıda, moleküller arasındaki itici ve çekici güçler, molekülleri nispeten birbirinden aynı uzaklıklarda tutma eğilimindedirler .



(a)



(b)

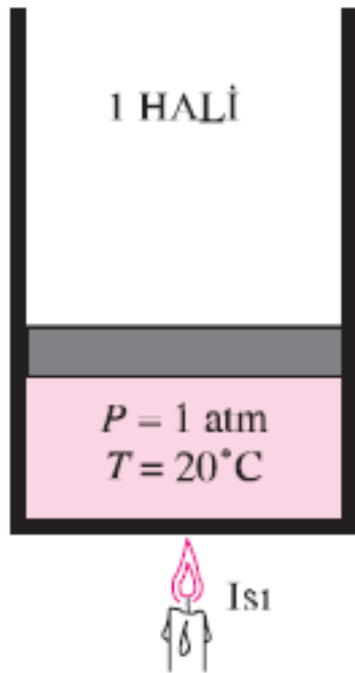


(c)

Atomların farklı fazlardaki düzenleri: (a) bir katıdaki moleküller nispeten sabittir, (b) sıvı fazda molekül grupları birbirleri etrafında hareket ederler ve (c) gaz fazında moleküller rastgele hareket ederler.

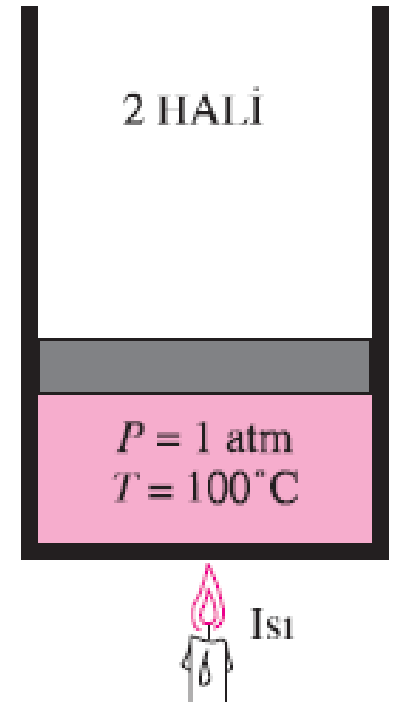
SAF MADDELERİN FAZ DEĞİŞİM İŞLEMLERİ

- **Sıkıştırılmış sıvı (soğutulmuş sıvı):** Henüz buharlaşma aşamasına gelmediği bir durumdur.
- **Doymuş sıvı:** Buharlaşma başlangıcı olan hale denir.

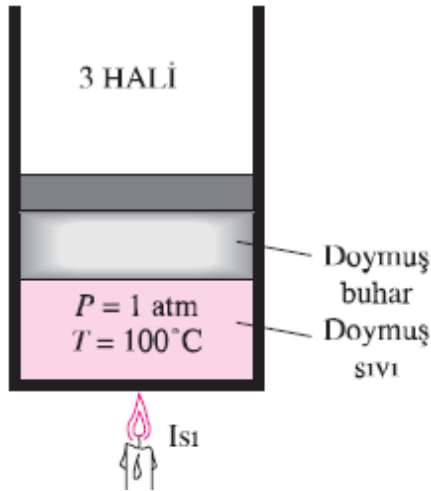


1 atm basınçta ve 20
oC sıcaklıkta su
sıvı fazındadır
(sıkıştırılmış sıvı)

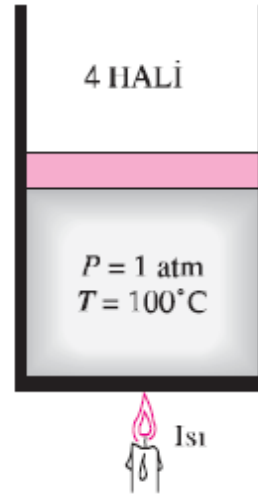
1 atm basınçta ve
100 oC sıcaklıkta
su buharlaşma
başlangıcındadır
(Doymuş sıvı)



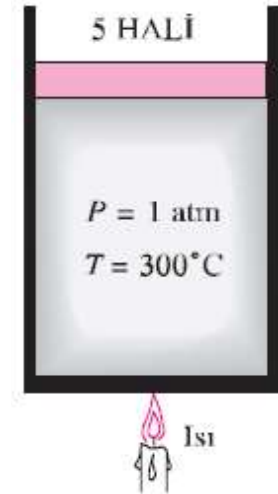
- **Doymuş buhar:** Yoğuşmanın sınırında olan buhara.
- **Doymuş sıvı-buhar karışımı:** Bu durumda sıvı ve buhar fazları bir arada ve dengede bulunur.
- **Kızgın buhar:** Yoğuşma sınırında olmayan (yani doymuş buhar gibi değil) buhara denir.



Daha fazla ısı transfer edildiğinde doymuş sıvının bir bölümü buharlaşır. (*doymuş sıvı-buhar karışımı*)

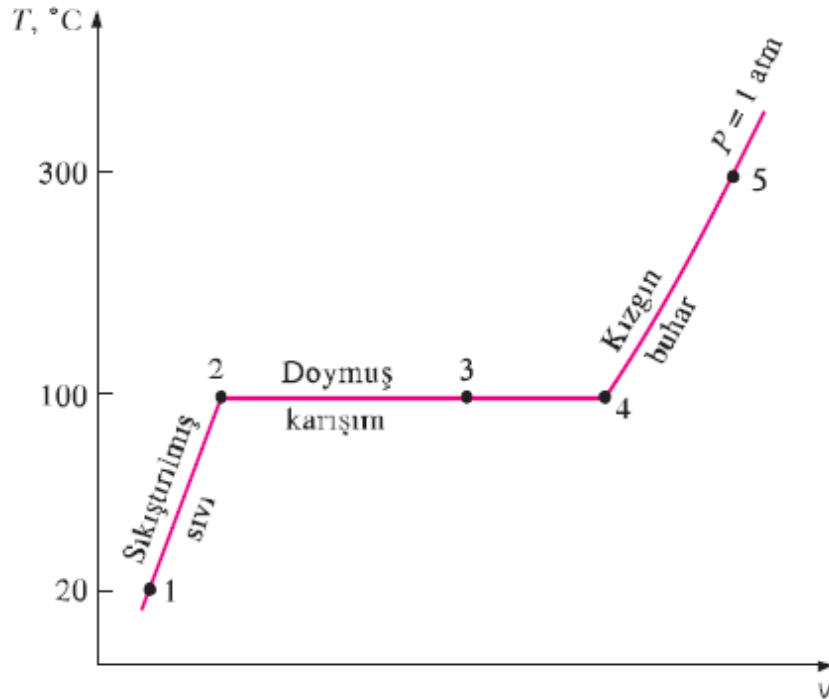


1 atm basınçta sıvının son damlası da buharlaşıncaya kadar sıcaklık 100°C'de sabit kalır. (*doymuş buhar*)



Daha fazla ısı transfer edildiğinde buharın sıcaklığı artmaya başlar. (*kızgın buhar*)

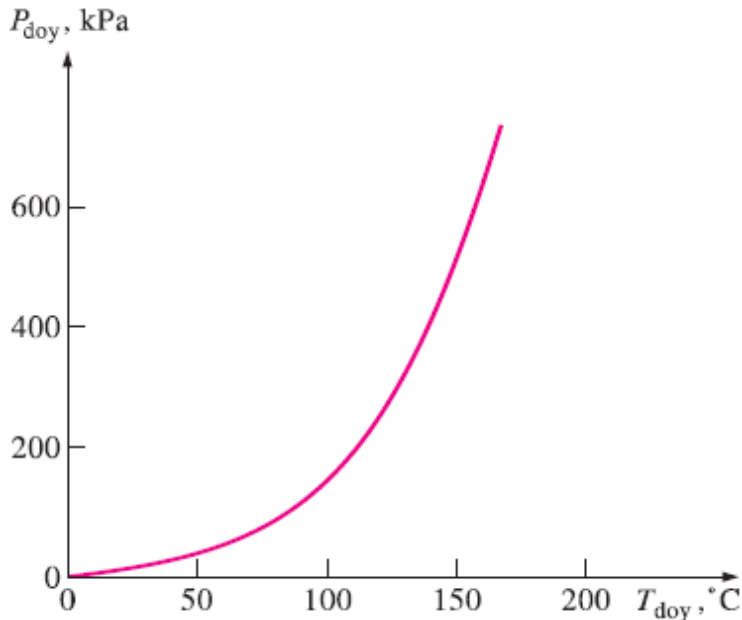
Burada izah edilen hal değişiminin tamamı bu kez su sabit basınçta soğutulularak tersine çevrilirse, su benzer bir yol izleyerek, başka bir deyişle aynı hallerden geçerek, yeniden 1 haline dönecektir. Bu hal değişimi sırasında açığa çıkan ısınnın miktarı, ısıtma işlemi sırasında eklenen ısınnın miktarına tamamen eşit olacaktır.



Sabit basınçta
suyun ısıtılmasının
T-v diyagramında
gösterimi

Doyma Sıcaklığı ve Doyma Basıncı

- Suyun kaynamaya başladığı sıcaklık basınca bağlıdır, bu nedenle sabitlenmiş bir basınçta kaynama sıcaklığı da belirli bir değere sahiptir.
- Su 1 atm basınçta 100 °C de kaynar
- **Doyma sıcaklığı T_{doyma}** : Verilen bir basınçta saf maddenin faz değişimlerine başladığı sıcaklıktır.
- **Doyma basıncı P_{doyma}** : Verilen bir sıcaklıkta, saf maddenin faz değişimlerine başladığı basınçtır



Saf bir maddenin sıvı-buhar doyma eğrisi (sayısal değerler su için verilmiştir).

TABLO 3-1

Farklı sıcaklıklarda suyun donma (kaynama) basıncı

Sıcaklık, T , °C	Doyma basıncı, P_{sat} , kPa
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

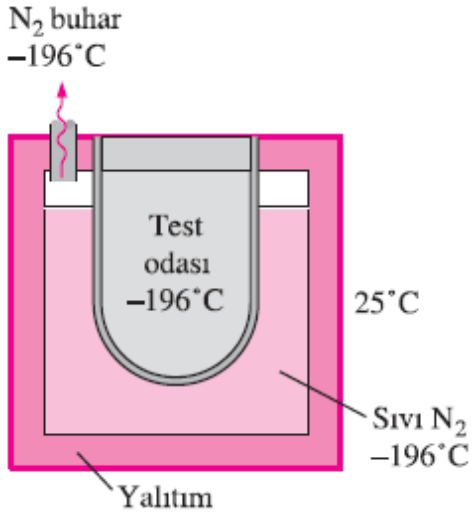
- **Gizli ısı:** Faz değişimi süreci boyunca alınan veya verilen enerjinin miktarı.
- **Gizli füzyon ısısı:** erime süresince emilen enerjinin miktarına denir ve donma süresince ortama verilen enerjiye eşittir.
- **Gizli buharlaşma ısısı:** Buharlaşma süresince çekilen enerjiye gizli buharlaşma ısısı denir ve yoğunlaşma sırasında açığa çıkan enerjiye eşittir.
- Gizli ısıнын büyüklüğü faz değişimlerinin olduğu sıcaklığa veya basınca bağlıdır.
- 1 atm basınçta suyun gizli füzyon ısısı 333.7 kJ/kg ve gizli buharlaşmanın ısısı 2256.5 kJ/kg dır.
- Atmosfer basıncı ve dolayısıyla suyun kaynama sıcaklığı yükseklikle azalır.

TABLO 3–2

Standart atmosfer basıncının ve suyun kaynama (doyma) sıcaklığının yükseklikle değişimi

Yükseklik, m	Atmosfer basıncı, kPa	Kaynama sıcaklığı °C
0	101.33	100.0
1,000	89.55	96.5
2,000	79.50	93.3
5,000	54.05	83.3
10,000	26.50	66.3
20,000	5.53	34.7

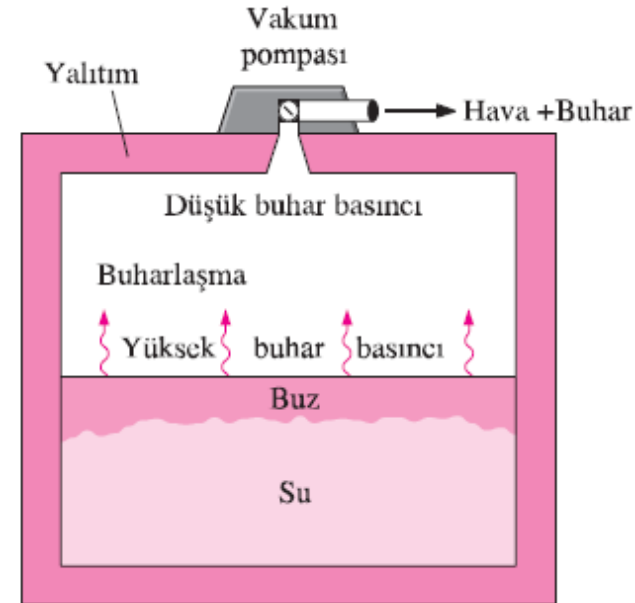
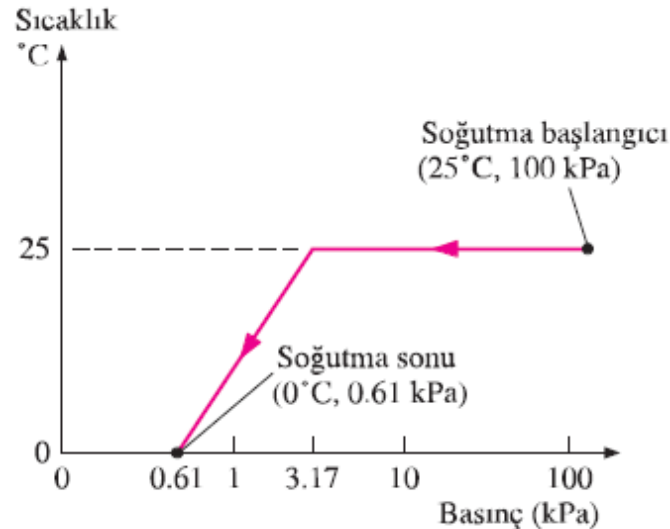
T_{doyma} ve P_{doyma} Bağımlılığının Bazı Sonuçları



25 oC'den 0 oC'ye vakumlu soğutma süresince sebze ve meyvelerin basınçla sıcaklık değişimleri

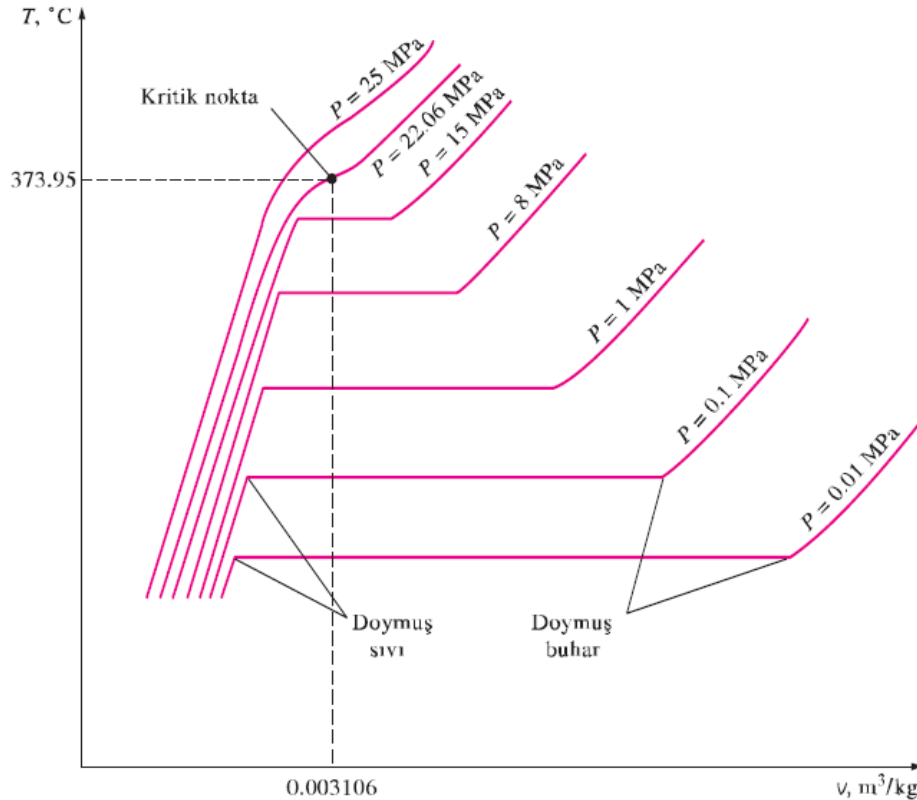
1775 yılında Sun tankındaki hava boşluğu boşaltılarak buz elde edildi.

Atmosfere maruz kalan sıvı azotun sıcaklığı -196°C 'de sabit kalır ve böylece test odasının sıcaklığı da -196°C olarak kalır.



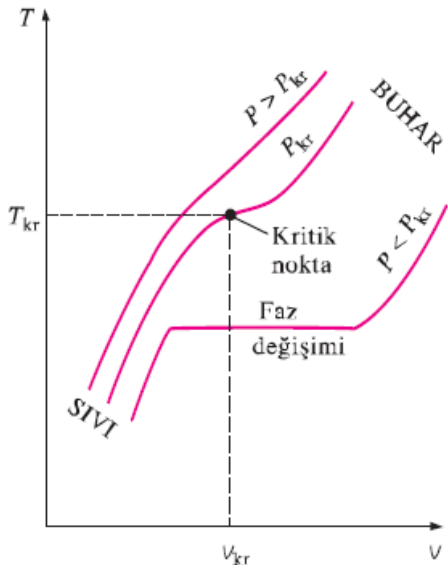
FAZ DEĞİŞİMİ İŞLEMLERİ İÇİN ÖZELİK DİYAGRAMLARI

- Özelik diyagramlarının kullanılması faz değişiminin gerçekleştiği hal değişimleri sırasında, özelliklerin nasıl değiştiğini anlamak ve izlemek bakımından çok yararlıdır. Bir sonraki kısımda saf madde için T-v, P-v, ve P-T diyagramları geliştirilmiş ve açıklanmıştır

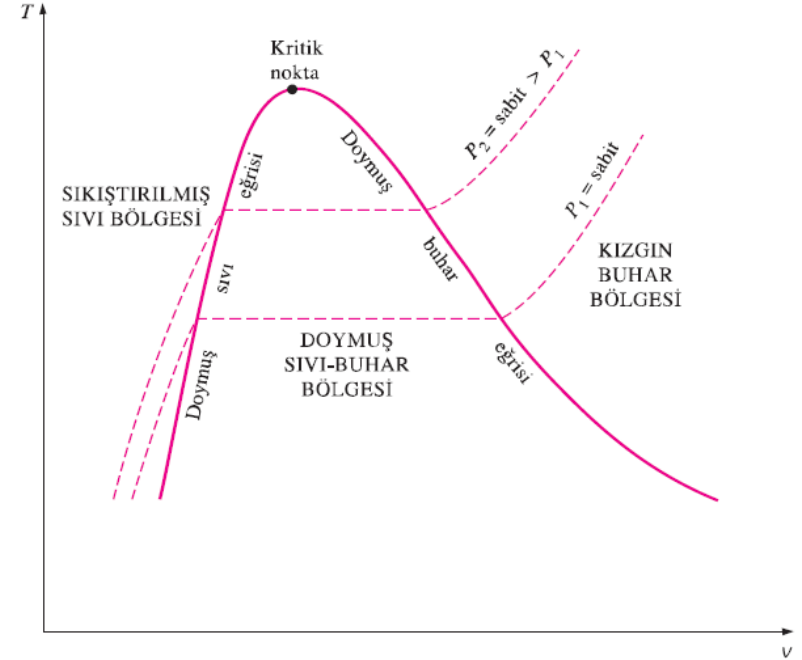


Değişik basınçlarda, saf bir maddenin sabit basınçta faz değişim eğrilerinin T-v diyagramında gösterimi (*Sayısal değerler su içindir.*)

- Doymuş sıvı çizgisi
- Doymuş buhar çizgisi
- Sıkıştırılmış sıvı çizgisi
- Kızgın buhar bölgesi
- Sıkıştırılmış sıvı-buhar karşım bölgesi (ıslak buhar)

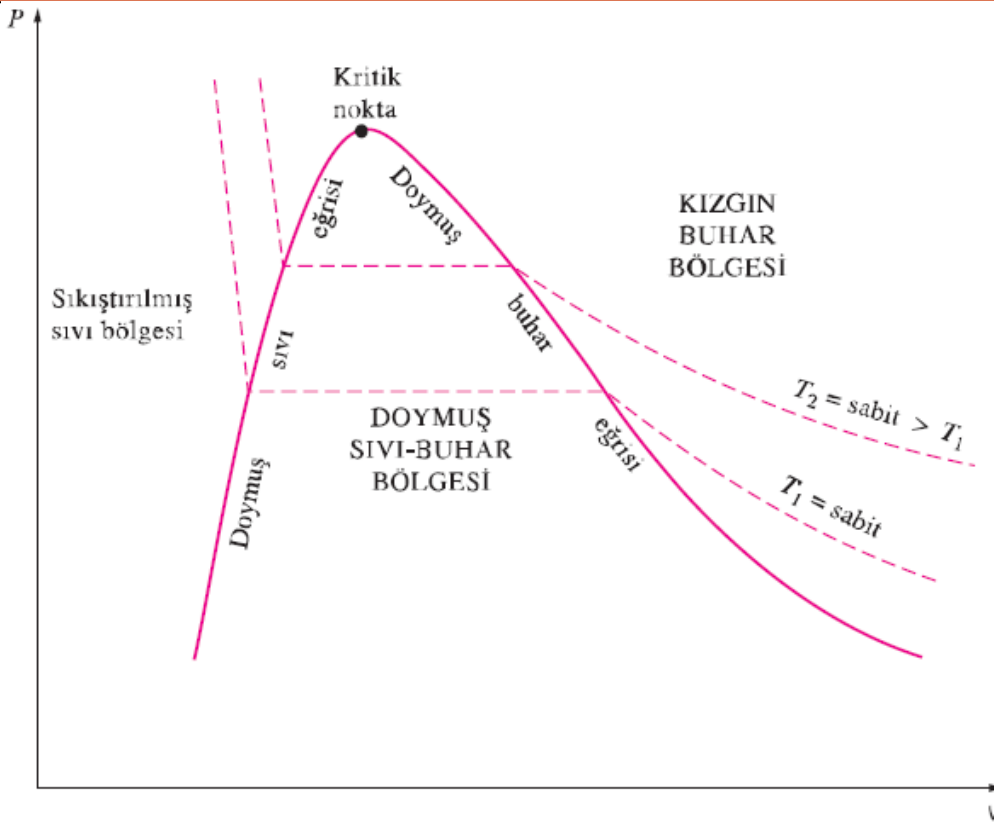


Kritik noktanın üzerindeki basınçlarda ($P > P_{cr}$), farklı bir faz değişim (kaynama) süreci yoktur.

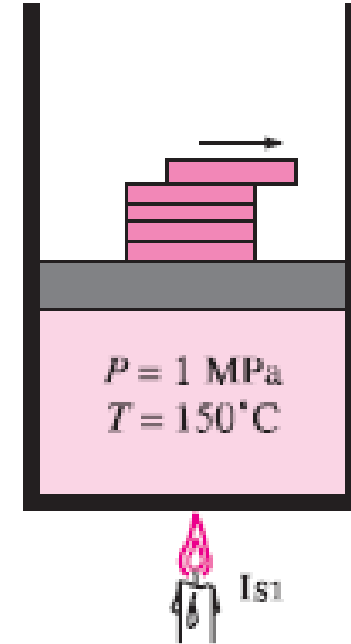


Saf bir maddenin T-v *diyagramı*

Kritik nokta: Doymuş sıvıyla doymuş buhar hallerinin aynı olduğu hal.



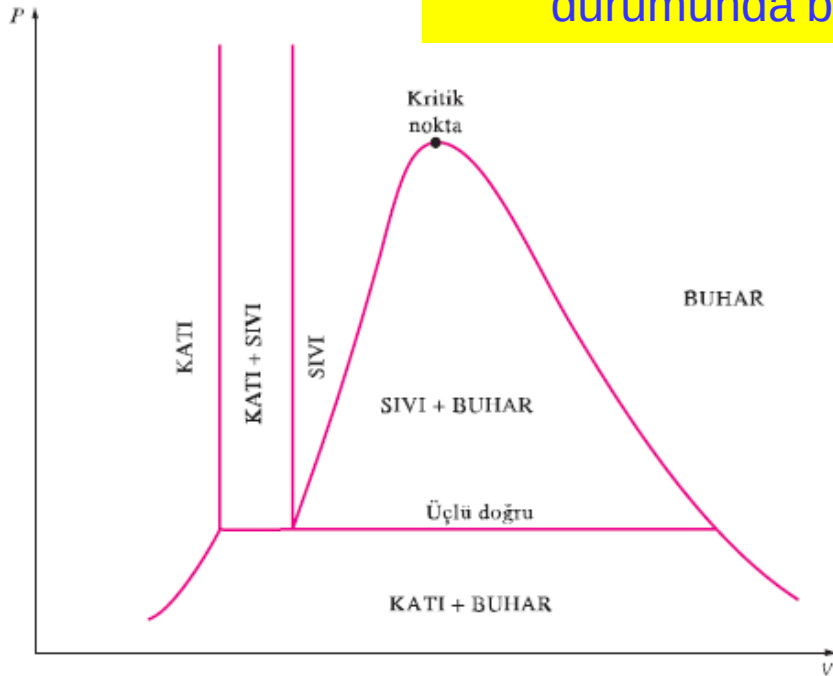
Saf bir maddenin $P-v$ diyagramı



Bir piston silindir düzeneğindeki basınç, pistonun ağırlığı azaltılarak düşürülebilir.

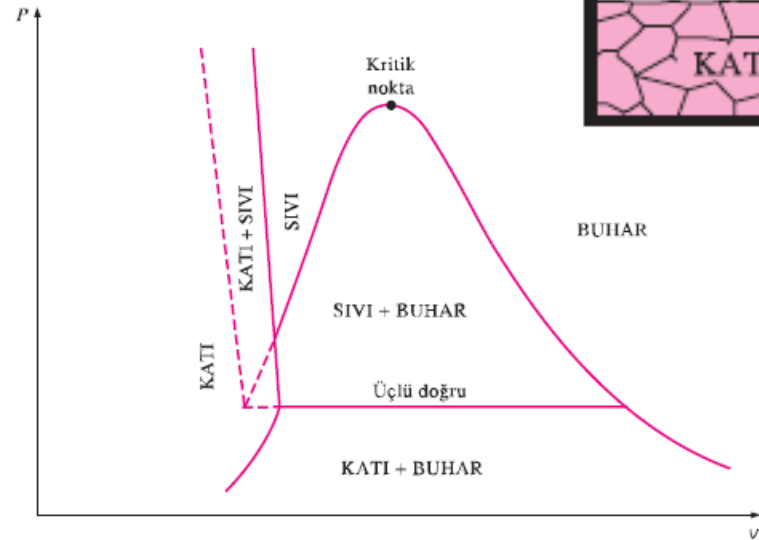
Diyagramların Katı Fazıyla Beraber Genişletilmesi

Bir madde üçlü nokta
basınç ve sıcaklığında
üç fazı denge
durumunda bulunur.



Donarken hacmi küçülen bir
madenin P-v *diyagramı*

Su için,
 $T_{tp} = 0.01^{\circ}\text{C}$
 $P_{tp} = 0.6117 \text{ kPa}$



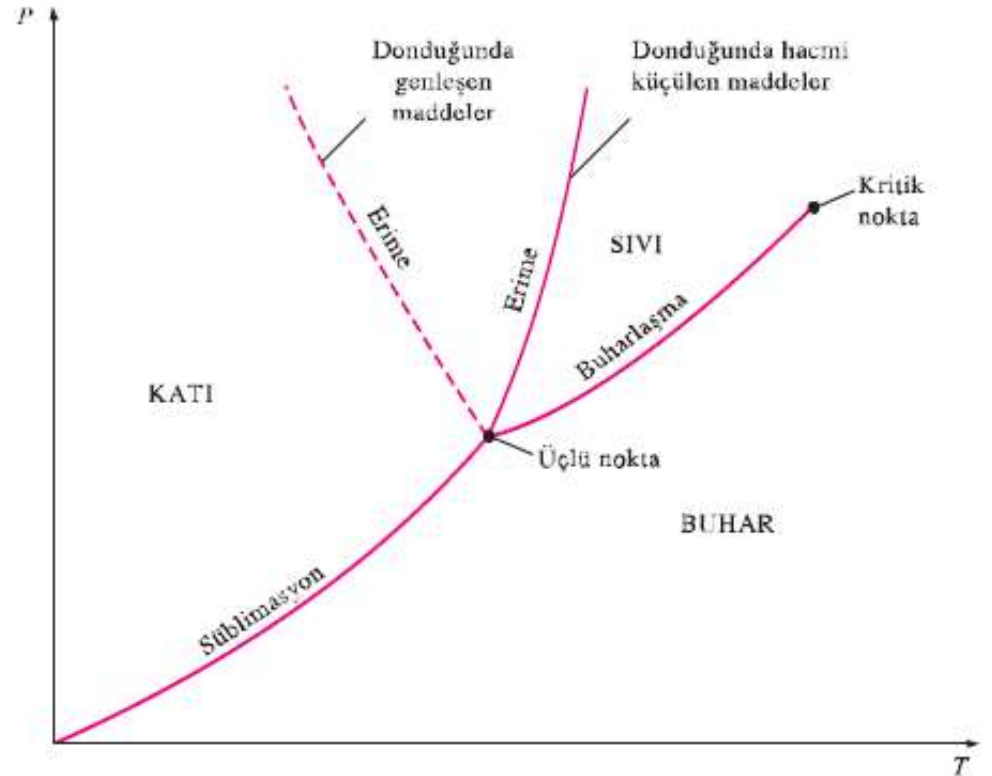
Donarken genişleyen (su gibi) bir
maddenin P-v *diyagramı*

Süblimasyon: Katı fazından doğrudan buhar fazına geçiş



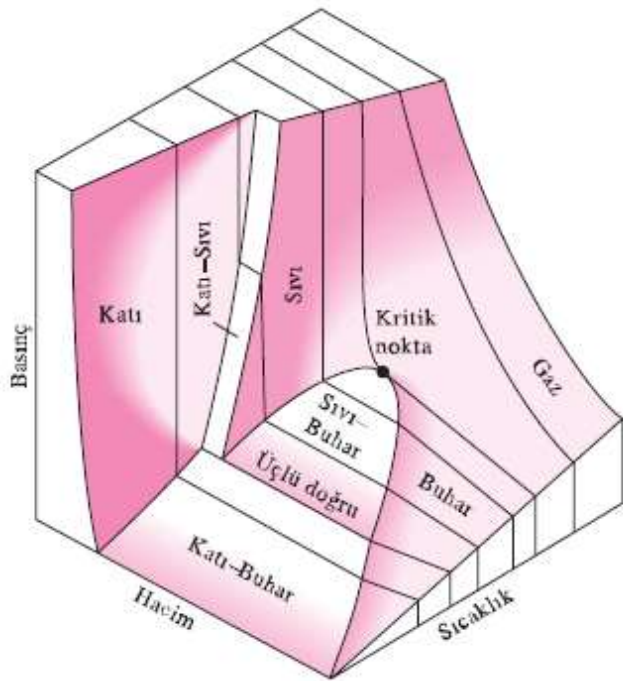
Düşük basınçlarda (*üçlü nokta basıncının altında*) katılar sıvı fazından geçmeden buharlaşır (*süblimasyon*)

Faz Diyagramı

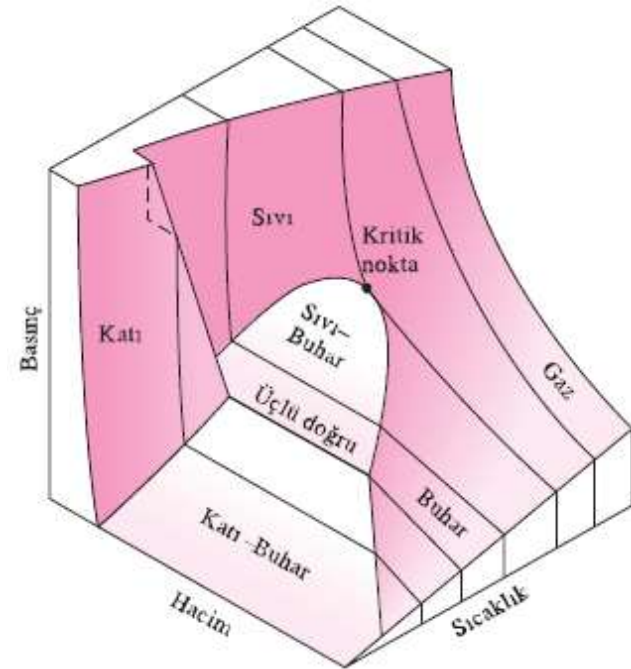


Saf maddelerin P - T diyagramı

P-v-T yüzeyleri bir bakışta büyük miktarda bilgi sağlar, fakat termodinamik analizlerde P-v ve T-v diyagramlarıyla çalışmak çok daha uygundur.



Donarken hacmi küçülen bir maddenin P-v-T yüzeyi



Donarken genişleyen (su gibi) bir maddenin P-v-T yüzeyi

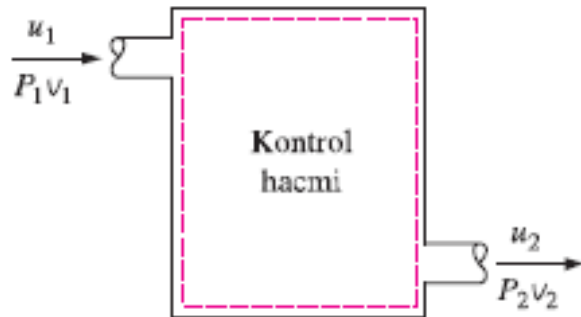
ÖZELİK TABLOLARI

- Birçok madde için termodinamik özellikler arasındaki ilişkiler basit denklemlerle ifade edilemeyecek kadar karmaşıktır.
- Bu nedenle özellikler genellikle tablolar aracılığıyla verilir.
- Bazı termodinamik özellikler kolaylıkla ölçülebilir, fakat bazıları da doğrudan ölçülemez. Bu özellikler, ölçülebilen özelliklerle aralarındaki ilişkiyi veren bağıntılardan hesaplanır.
- Ölçümler ve daha sonra bunlara dayanarak yapılan hesaplar kolaylıkla kullanılabilecek tablolarla sunulur.

Entalpi- Bir Karma Özellik

$$H = U + PV \quad (\text{kJ})$$

$$h = u + Pv \quad (\text{kJ/kg})$$



*$u + Pv$ 'nin
kombinasyonuna
kontrol hacimlerinin
çözümlemesinde
sıklıkla karşılaşılr.*

$\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \equiv \text{kJ}$
$\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \equiv \text{kJ/kg}$
$\text{bar} \cdot \text{m}^3 \equiv 100 \text{ kJ}$
$\text{MPa} \cdot \text{m}^3 \equiv 1000 \text{ kJ}$
$\text{psi} \cdot \text{ft}^3 \equiv 0.18505 \text{ Btu}$

*Basınç x Hacim çarpımı
enerji birimini verir.*

Doymuş Sıvı ve Doymuş Buhar Halleri

- **Tablo A-4:** Suyun doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma sıcaklığına göre.
- **Tablo A-5:** Suyun doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma basıncına göre.

Tablo A-4'ün bir bölümü

Sıcak. °C T	Doy. basıncı kPa P_{doy}	Özgül hacim m^3/kg	
		doy. sıvı v_f	doy. buhar v_g
85	57.868	0.001032	2.8261
90	70.183	0.001036	2.3593
95	84.609	0.001040	1.9808

Özgül
sıcaklık

Karşı gelen
doyma basıncı

Doymuş
sıvının
ölgül
hacmi

Doymuş
buharın
ölgül hacmi

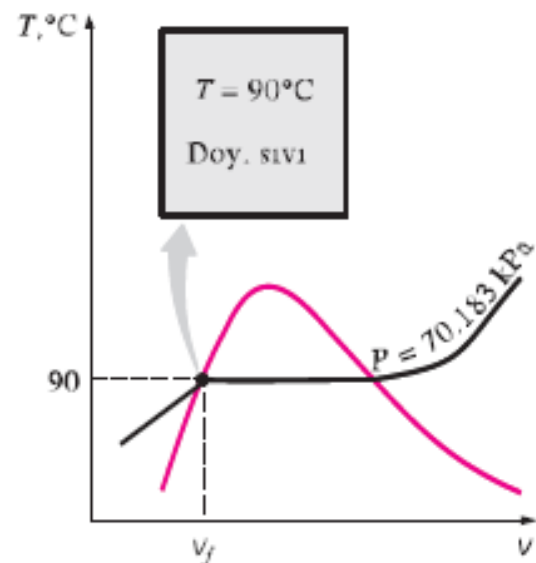
v_f = doymuş sıvının ölgül hacmi

v_g = doymuş buharın ölgül hacmi

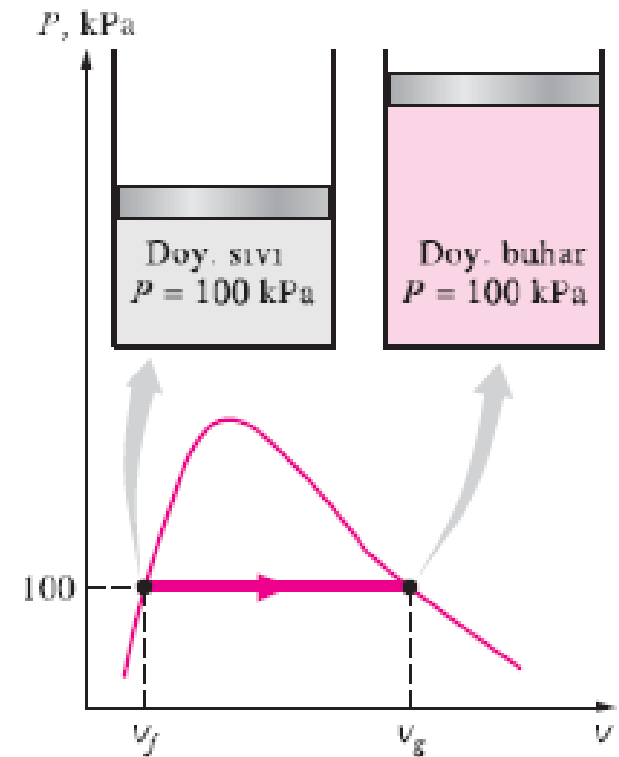
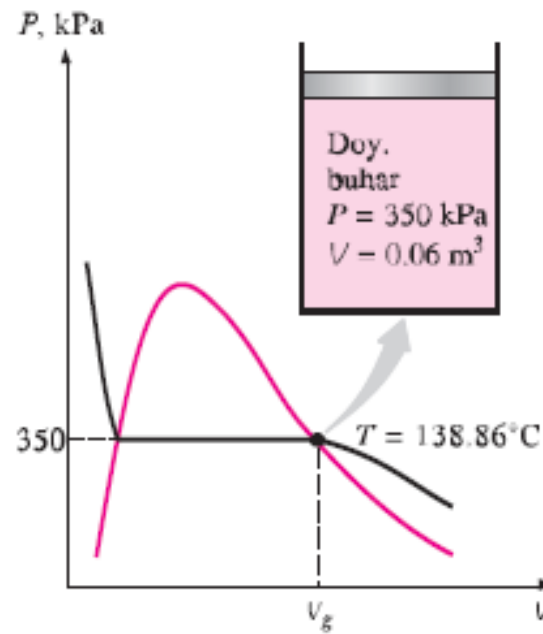
v_{fg} = v_g ile v_f 'nin farkı ($v_{fg} = v_g - v_f$)

Buharlaşma entalpisi, h_{fg}

(Buharlaşma gizli ısı): verilen bir basınç veya sıcaklıkta doymuş sıvının birim kütlesini buharlaştırmak için gereken enerjidir.



Örnekler:
Genel çizimler ve
 T - v ve P - v
diyagramları



Doymuş Sıvı-Buhar Karışımı

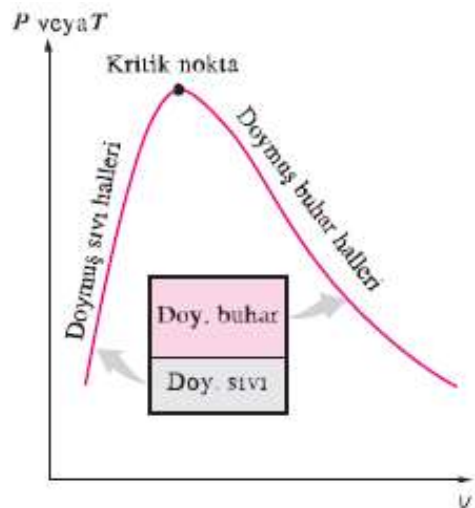
Kuruluk derecesi, x : karışımdaki sıvı ve buhar fazlarının oranı.

Değeri her zaman 0 ile 1 arasındadır. Doymuş sıvı halinde 0. Doymuş buhar halinde 1' dir.

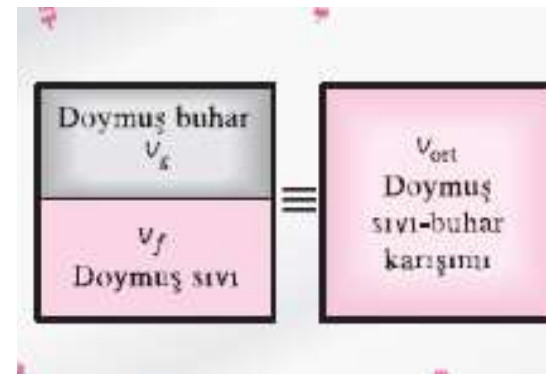
Doymuş sıvının özelliklerinin, tek başına da olsa, doymuş buharla bir karışım içinde de olsa değişmediği vurgulanmalıdır.

$$x = \frac{m_{\text{buhar}}}{m_{\text{toplam}}} \quad m_{\text{toplam}} = m_{\text{sıvı}} + m_{\text{buhar}} = m_f + m_g$$

Sıcaklık ve Basınç, karışımın özelliğine bağlıdır.



Doymuş bir karışımdaki sıvı ve buhar miktarları, kuruluk derecesiyle, x , gösterilir



İki fazlı bir sistem uygunluk için homojen bir karışım gibi davranabilir

$$v_{\text{ort}} = v_f + x v_{fg} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$x = m_g/m_t$$

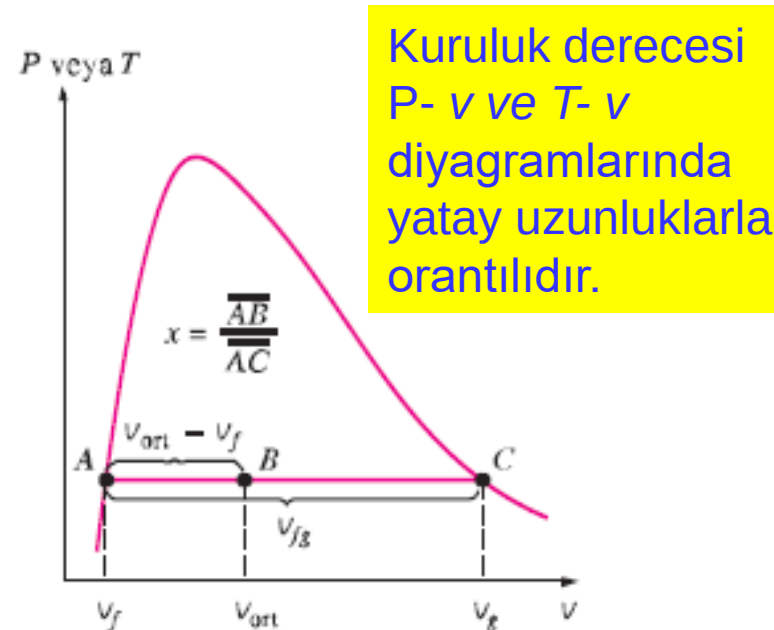
$$x = \frac{v_{\text{ort}} - v_f}{v_{fg}} \quad u_{\text{ort}} = u_f + x u_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$h_{\text{ort}} = h_f + x h_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$

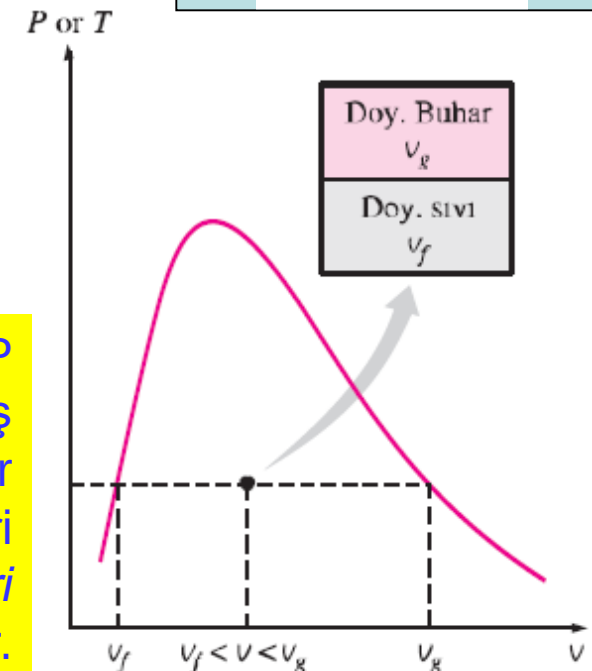
$y \rightarrow v, u, \text{ or } h.$

$$y_{\text{ort}} = y_f + x y_{fg}$$

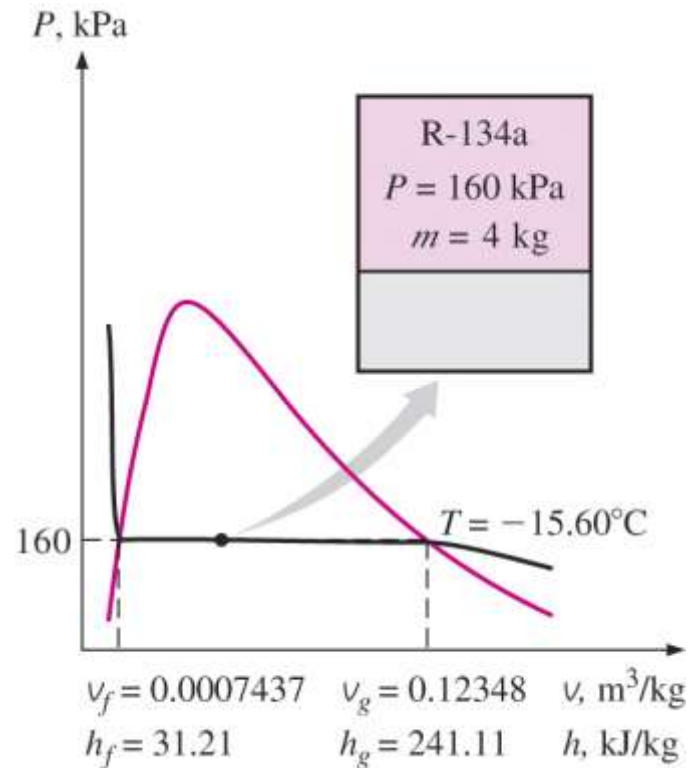
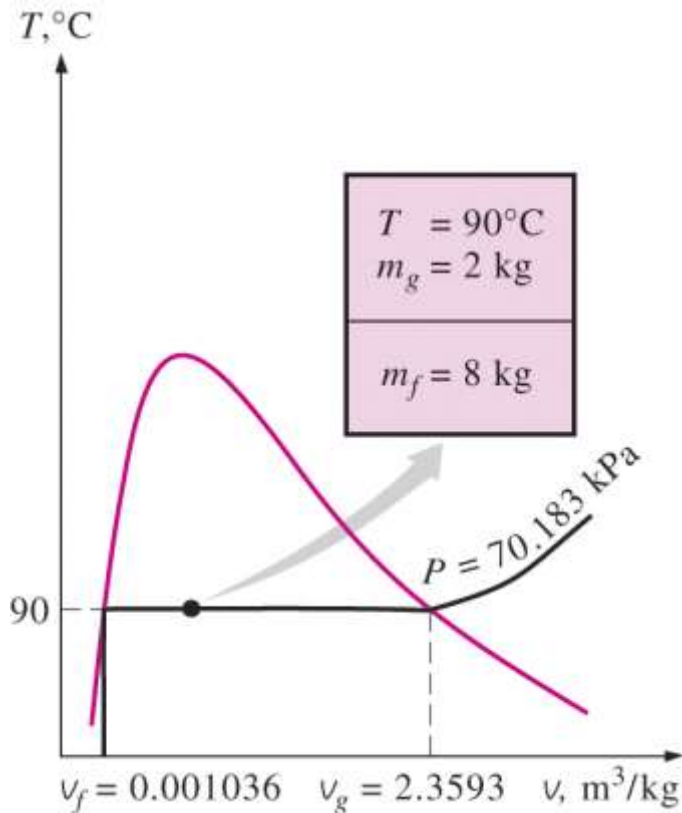
$$y_f \leq y_{\text{ort}} \leq y_g$$



Belirli bir T veya P
noktası için doymuş
sıvı-buhar
karışımının v değeri
 v_f ve v_g değerleri
arasında bulunur.



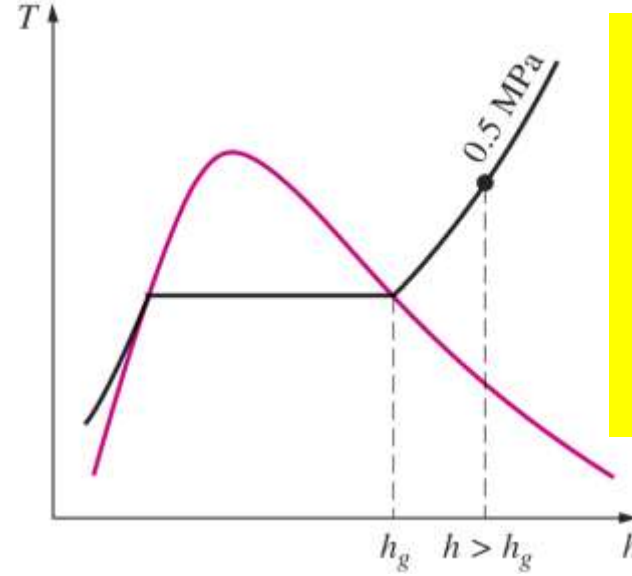
Örnekler: Doymuş sıvı-buhar karışımları genel çizimler ve T - v ve P - v diyagramları.



Kızgın Buhar

Doymuş buhar eğrisinin sağındaki bölgede ve kritik noktasal sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkta madde kızgın buhardır.

Kızgın buhar bölgesi tek fazlı (sadece buhar fazı) bir bölge olduğundan sıcaklık ve basınç artık birbirlerine bağlı değildir.



Belirli bir P noktası için kızgın buharın entalpisi, doymuş buharından daha yüksektir

$T, ^\circ\text{C}$	v m^3/kg	u kJ/kg	h kJ/kg
$P = 0.1 \text{ MPa} (99.61^\circ\text{C})$			
Sat.	1.6941	2505.6	2675.0
100	1.6959	2506.2	2675.8
150	1.9367	2582.9	2776.6
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
1300	7.2605	4687.2	5413.3
$P = 0.5 \text{ MPa} (151.83^\circ\text{C})$			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1
200	0.42503	2643.3	2855.8
250	0.47443	2723.8	2961.0

Tablo A-6'nın bir bölümü

Kızgın buhar ile doymuş buharın karşılaştırılması

Düşük basınçlar (verilen bir sıcaklık T 'de $P < P_{\text{doyma}}$)

Yüksek sıcaklıklar (verilen bir basınç P 'de $T > T_{\text{doyma}}$)

Yüksek özgül hacimler (verilen bir sıcaklık T 'veya basınç P 'de $v > v_g$)

Yüksek iç enerjiler (verilen bir sıcaklık T 'veya basınç P 'de $u > u_g$)

Yüksek entalpiler (verilen bir sıcaklık T 'veya basınç P 'de $h > h_g$)

Sıkıştırılmış Sıvı

Sıkıştırılmış sıvıya ilişkin bilgilerin yokluğunda, *sıkıştırılmış sıvı özelliklerini doymuş sıvı özelliklerine eşit almak, genellikle benimsenen bir uygulamadır*

$$y \cong y_f @ T \quad y \rightarrow v, u, \text{ or } h$$

Hassas olarak “h” ilişkisini hesaplamak için;

$$h \cong h_f @ T + v_f @ T (P - P_{\text{doyma}} @ T)$$

Verilen bir sıcaklıkta sıkıştırılmış sıvının özellikleri doymuş sıvı özelliklerine yaklaşık olarak eşit alınabilir.

Verilen bir basınç ve sıcaklıkta, saf bir madde, $T < T_{\text{sat}}$ @ P olduğu zaman sıkıştırılmış sıvı olacaktır.

Sıkıştırılmış sıvı bölgesinde özellikler

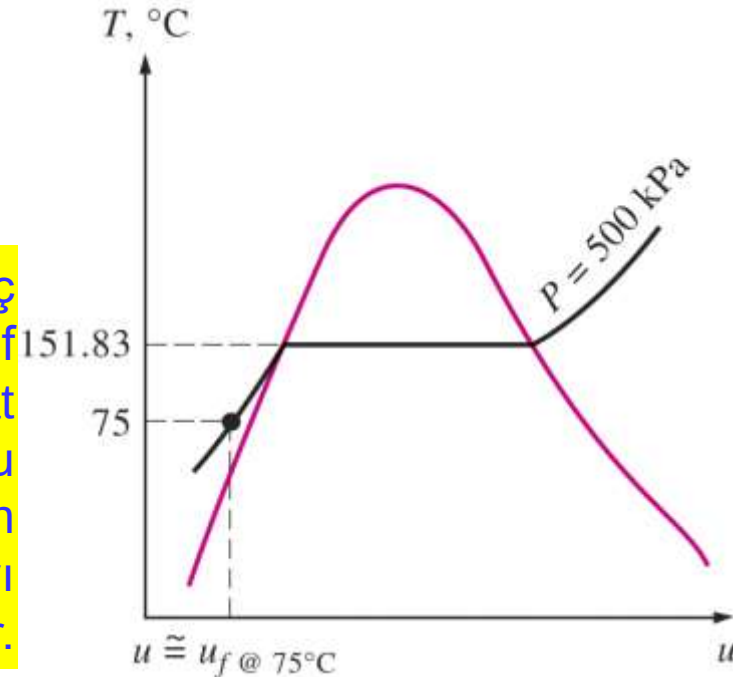
Yüksek basınçlar (verilen bir sıcaklık T 'de $P > P_{\text{doyma}}$)

Düşük sıcaklıklar (verilen bir basınç P 'de $T < T_{\text{doyma}}$)

Düşük özgül hacimler (verilen bir sıcaklık T veya basınç P 'de $v < v_f$)

Düşük iç enerjiler (verilen bir sıcaklık T veya basınç P 'de $u < u_f$)

Düşük entalpiler (verilen bir sıcaklık T veya basınç P 'de $h < h_f$)



Verilen: P ve T

$$v \cong v_f @ T$$

$$u \cong u_f @ T$$

$$h \cong h_f @ T$$

Referans Hali ve Referans Değerleri

- u , h ve s 'nin değerleri doğrudan ölçülemez ve bu nedenle bunlar, termodinamik bağıntılar kullanılarak ölçülebilen özelliklerden hesaplanır.
- Söz konusu termodinamik bağıntılar özelliklerin bir haldeki değerlerini değil, özelliklerin değişimlerini verir.
- Bu nedenle, uygun bir **referans** halinin seçilmesi ve uygun özellik veya özelliklere bu noktada **sıfır** değerinin atanması gerekir.
- Su için referans hali $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve soğutucu akışkan-134a için referans hali $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Bazı özelliklerin seçilen referans halinden dolayı eksi değerler alacağı not edilmelidir.
- Tabloların hazırlanması sırasında bazen aynı madde ve hal için değişik tablolarda farklı değerler bulmanız olasıdır.
- Fakat termodinamik hesaplarında özelliklerin mutlak değerlerinden çok, özelliklerde olan *değişimler önem taşır.*

Saturated water—Temperature table

Temp., $T\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249

Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., $T\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866

MÜKEMMEL GAZ HAL DENKLEMİ

- **Hal denklemi:** Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve özgül hacmi arasındaki ilişkiyi veren herhangi bir bağıntıya denir.
- Bu denklemlerin en basit ve en çok bilineni mükemmel gaz hal denklemidir. Bu denklem belirli sınırlar içinde gazların P - v - T ilişkisini oldukça hassas bir biçimde verir.

Mükemmel gaz hal denklemi

$$P = R \left(\frac{T}{v} \right) \quad P v = R T$$

$$R = \frac{R_u}{M} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K} \text{ or } \text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})$$

Madde	$R, \text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
Hava	0.2870
Helyum	2.0769
Argon	0.2081
Azot	0.2968

R : gaz sabiti
 M : mol kütlesi (kg/kmol)
 R_u : üniversal gaz sabiti

$$R_u = \begin{cases} 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \\ 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ 1.98588 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R} \\ 10.7316 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R} \\ 1545.37 \text{ ft} \cdot \text{lbf/lbmol} \cdot \text{R} \end{cases}$$

Değişik maddelerin farklı gaz sabitleri vardır.

Kütle = Mol kütlesi × Mol sayısı

$$m = MN \quad (\text{kg}) \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V = m v \longrightarrow P V = m R T$$

$$m R = (M N) R = N R_u \longrightarrow P V = N R_u T$$

$$V = N \bar{v} \longrightarrow P \bar{v} = R_u T$$

mükemmel gazın iki değişik haldeki özellikleri arasında bir bağ kurabiliriz

Düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda bir gazın yoğunluğu azalır ve mükemmel gaz gibi davranır.

Mükemmel gaz hal denklemi birkaç değişik biçimde yazılabilir

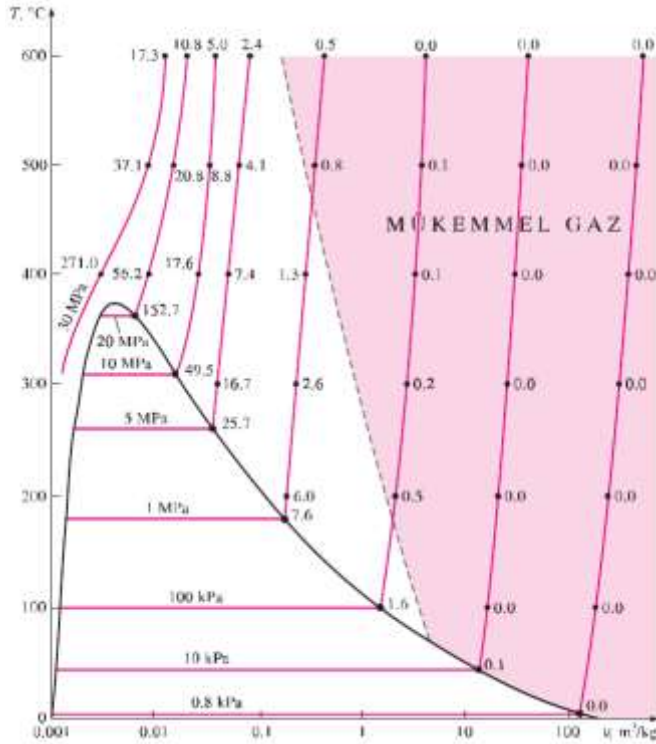
Birim kütle için	Birim mol için
$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$\bar{v}, \text{m}^3/\text{kmol}$
$u, \text{kJ/kg}$	$\bar{u}, \text{kJ/kmol}$
$h, \text{kJ/kg}$	$\bar{h}, \text{kJ/kmol}$

Birim mol için verilen özellikler üstte bir çizgi belirtilir.

Mükemmel gaz bağıntısı çoğu zaman gerçek gazlar için uygulanabilir değildir, bu nedenle bağıntının kullanılacağı durum iyi etüt edilmelidir.



Su Buharı Mükemmel bir Gaz mıdır ?



- 10 kPa basıncın altındaki basınçlar için su buharı sıcaklık ne olursa olsun (yüzde 0.1'den daha az bir hatayla) mükemmel gaz kabul edilebilir.
- Fakat daha yüksek basınçlarda mükemmel gaz varsayımı özellikle kritik nokta ve doymuş buhar eğrisi yakınlarında kabul edilemeyecek hatalara yol açar.
- Isıtma – havalandırma –iklimlendirme uygulamalarında, havadaki su buharının kısmi basıncı çok düşük olduğundan, su buharı neredeyse sıfır hatayla mükemmel gaz sayılabilir.
- Fakat buharlı güç santrallerinde uygulama basınçları çok yüksektir, bu nedenle mükemmel gaz bağıntıları kullanılmamalıdır.

Su buharının mükemmel gaz olarak kabul edilmesinden kaynaklanan hata yüzdesi ($\frac{|v_{tablo} - v_{mükemmel}|}{v_{tablo}} \times 100$) ve su buharının %1'den az hatayla mükemmel gaz olarak davranabileceği bölge

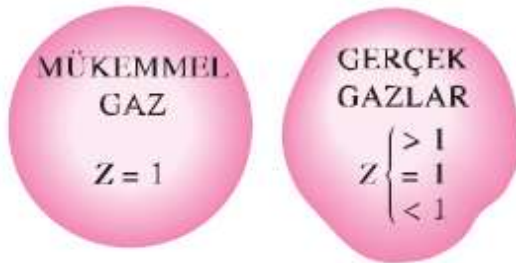
SIKIŞTIRILABİLME ÇARPANI - MÜKEMMEL GAZ DAVRANIŞINDAN SAPMANIN ÖLÇÜSÜ

Sıkıştırılabilirlik çarpanı Z

Verilen bir sıcaklık ve basınçta mükemmel gaz davranışından sapma sıkıştırılabilirlik çarpanı Z adı verilen bir parametre kullanılarak giderilebilir.

$$PV = ZRT$$

$$Z = \frac{PV}{RT} \quad Z = \frac{V_{\text{gerçek}}}{V_{\text{mükemmel}}}$$



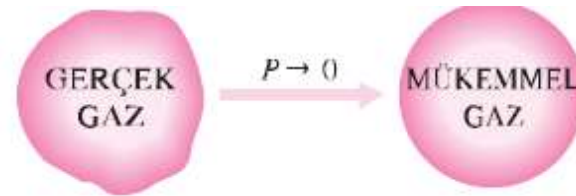
Sıkıştırılabilirlik çarpanı mükemmel gazlar birdir

1 değerinden ne kadar uzaklaşırsa mükemmel gaz davranışından sapma da o kadar büyük olur.

düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda gazların mükemmel gaz gibi davranırlar.

Soru: Düşük basınç ve yüksek sıcaklıkla belirtilmek istenen sınırlar nedir?

Cevap: bir maddenin sıcaklığına veya basıncına yüksek veya düşük diyebilmek için kritik sıcaklığını ve basıncını göz önüne almak gerekir.



Çok düşük basınçlarda, tüm gazlar mükemmel gaz davranışına yaklaşırlar. (Sıcaklığa bağlı olmaksızın)

İndirgenmiş basınç,
Sıcaklık ve Hacim

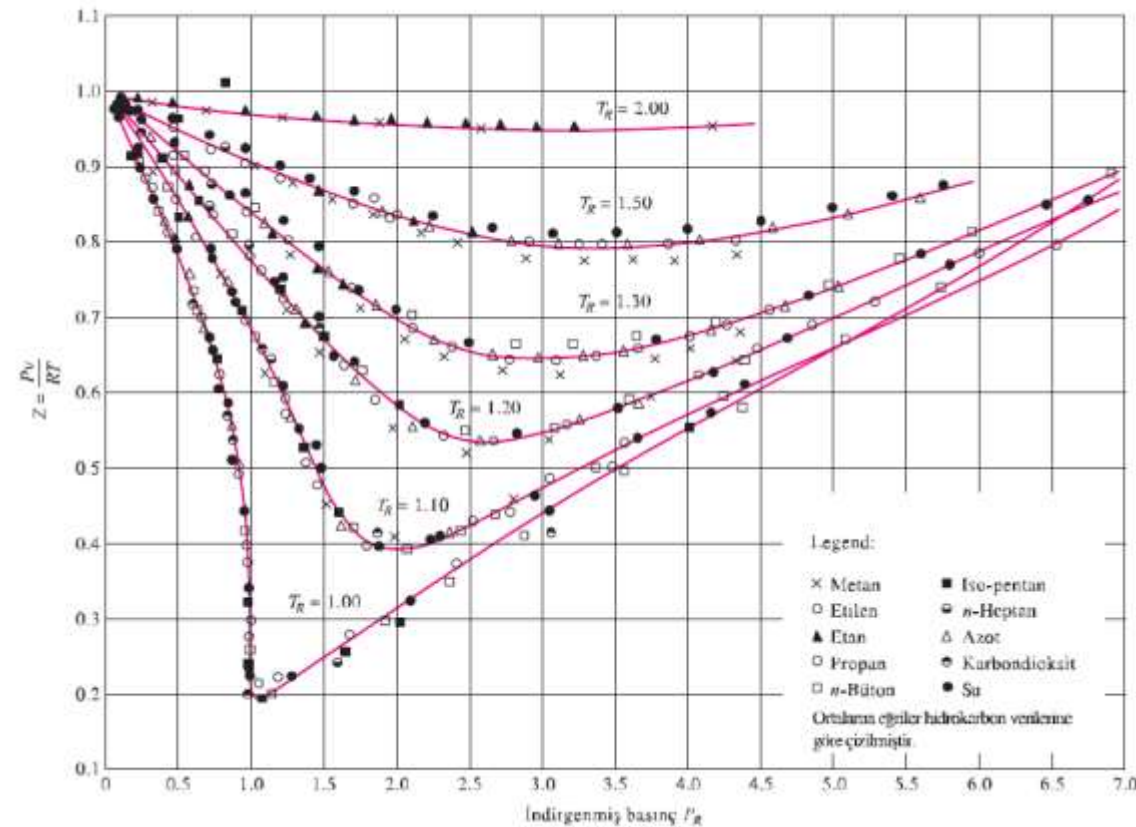
$$P_R = \frac{P}{P_{kr}}$$

ve

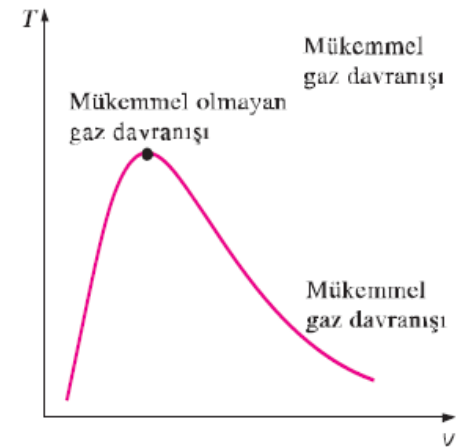
$$T_R = \frac{T}{T_{kr}}$$

$$V_R = \frac{V_{gercek}}{RT_{kr}/P_{kr}}$$

$$\left. \begin{aligned} P_R &= \frac{P}{P_{kr}} \\ V_R &= \frac{V}{RT_{kr}/P_{kr}} \end{aligned} \right\} Z = \dots \quad (\text{Şek. A-15})$$



Sıkıştırılabilirlik çarpanı (Z) P_R ve v_R değerlerindende elde edilebilir.



Kritik nokta yakınlarında gazlar mükemmel gaz davranışından uzaklaşırlar

Değişik gazlar için Z çarpanlarının karşılaştırılması

DİĞER HAL DENKLEMLERİ

Maddelerin P-v-T ilişkilerini daha geniş sınırlar içinde herhangi bir kısıtlama olmadan ifade eden hal denklemlerine gerek duyulur.

Saf maddenin kritik noktadan geçen sabit sıcaklık eğrisinin birinci ve ikinci türevleri sıfırdır

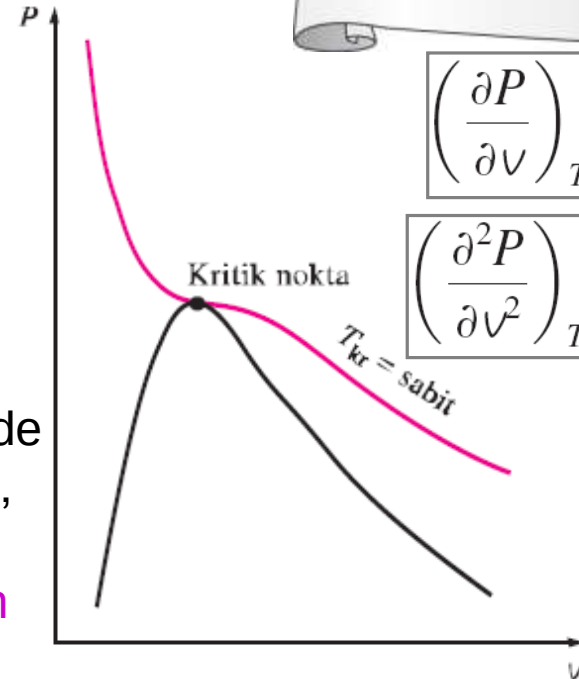


Van der Waals Hal Denklemi

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$

$$a = \frac{27R^2T_{kr}^2}{64P_{kr}} \quad \text{ve} \quad b = \frac{RT_{kr}}{8P_{kr}}$$

Van der Waals, mükemmel gaz hal denkleminde göz önüne alınmayan iki etkiyi hesaba katarak, mükemmel gaz hal denklemini iyileştirmeyi amaçlamıştı. Bunlar **molekülleri birbirine çeken kuvvetler** ve **moleküllerin kapladığı hacim**di.



$$\left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_{T=T_{cr}=\text{const}} = 0$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2} \right)_{T=T_{cr}=\text{const}} = 0$$

Beattie-Bridgeman Hal Denklemi

$$P = \frac{R_u T}{\bar{v}^2} \left(1 - \frac{c}{\bar{v} T^3} \right) (\bar{v} + B) - \frac{A}{\bar{v}^2}$$
$$A = A_0 \left(1 - \frac{a}{\bar{v}} \right) \quad B = B_0 \left(1 - \frac{b}{\bar{v}} \right)$$

sabitlerin değişik maddeler için değerleri Tablo 3-4 de verilmiştir. Beattie-Bridgeman denklemi 0.8 pcr 'ye kadar olan yoğunluklar için oldukça hassas sonuçlar verir.

Benedict-Webb-Rubin Hal Denklemi

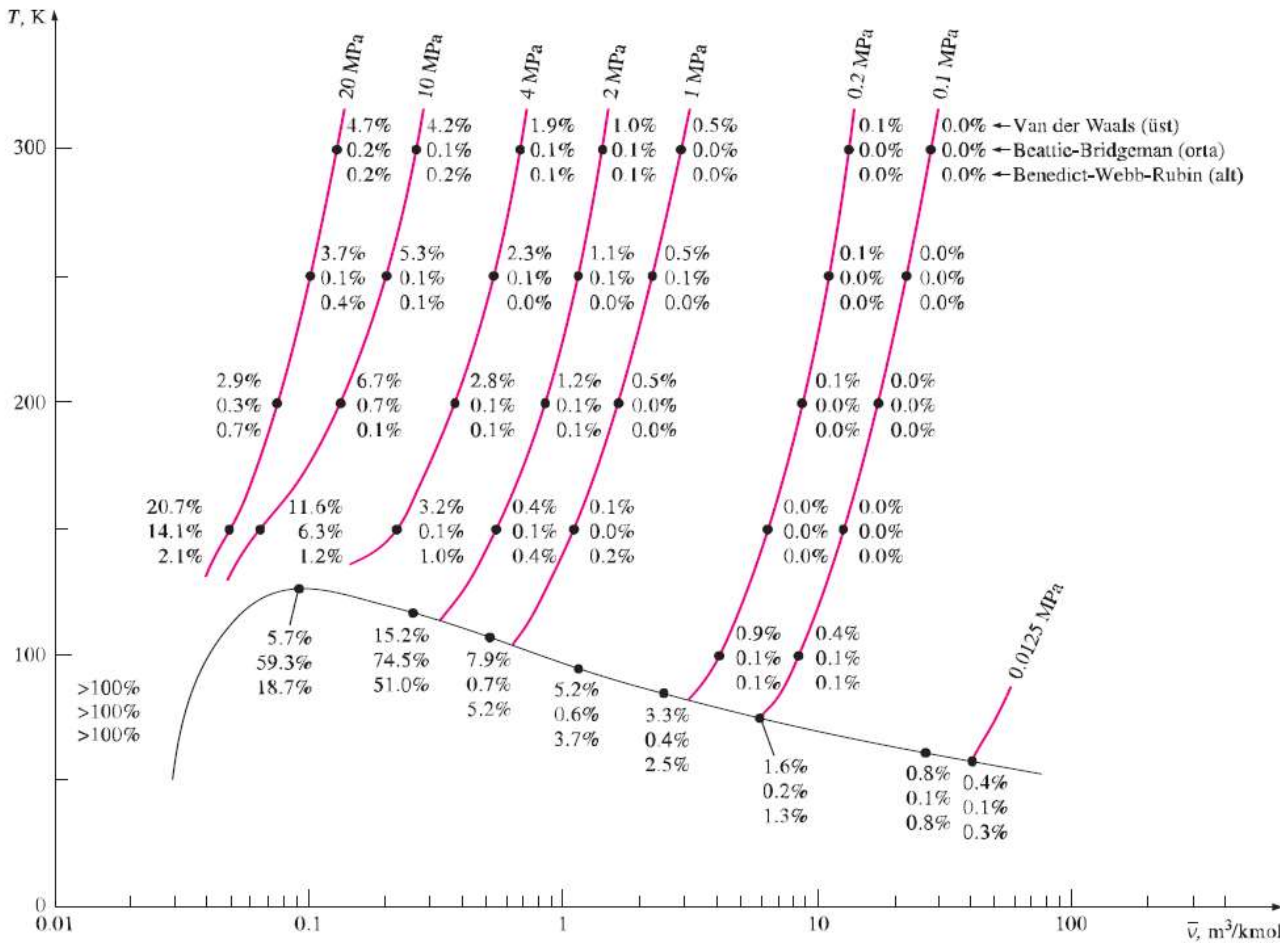
$$P = \frac{R_u T}{\bar{v}} + \left(B_0 R_u T - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) \frac{1}{\bar{v}^2} + \frac{b R_u T - a}{\bar{v}^3} + \frac{a \alpha}{\bar{v}^6} + \frac{c}{\bar{v}^3 T^2} \left(1 + \frac{\gamma}{\bar{v}^2} \right) e^{-\gamma/\bar{v}^2}$$

sabitlerin değerleri Tablo 3-4'de verilmiştir. Bu denklem yoğunluğu 2.5 pcr 'ye kadar olan maddelere uygulanabilir.

Etki Katsayılı Hal Denklemi

$$P = \frac{RT}{v} + \frac{a(T)}{v^2} + \frac{b(T)}{v^3} + \frac{c(T)}{v^4} + \frac{d(T)}{v^5} + \dots$$

sıcaklığın fonksiyonu olan $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$, ve benzeri katsayılar da *etki katsayıları* diye adlandırılır.



van der Waals: 2 sabit,
sınırlı aralıkta hassas sonuç verir.

Beattie-Bridgeman: 5 sabit,
 $\rho \leq 0.8 \rho_{kr}$ için hassastır.

Benedict-Webb-Rubin: 8 sabit,
 $\rho \leq 2.5 \rho_{kr}$ için hassastır.

Strobridge: 16 sabit,
Bilgisayar hesaplamaları
için daha uygundur.

Virial: Değişkendir,
hassasiyet kullanılan
terim sayısına bağlıdır.

Karmaşık hal
denklemleri gazların
P-v-T davranışlarını
geniş bir aralıkta hassas
bir biçimde belirler.

Değişik hal denklemlerinin azot için verdikleri sonuçlardaki
yüzde hata (% hata = $[(|V_{tablo} - V_{denklem}|) / V_{tablo}] \times 100$

Özet

- Saf madde
- Saf maddenin fazları
- Saf maddelerin faz değişim işlemleri
 - Sıkıştırılmış sıvı, Doymuş sıvı, Doymuş buhar, Kızgın buhar
 - Doyma sıcaklığı ve Doyma basıncı
- Faz değişimi işlemleri için özellik diyagramları
 - T - v diyagramı, P - v diyagramı, P - T diyagramı, P - v - T yüzeyi
- Özellik tabloları
 - Entalpi
 - Doymuş sıvı, doymuş buhar, Doymuş sıvı buhar karışımı, Kızgın buhar, sıkıştırılmış sıvı
 - Referans hali ve referans değerleri
- Mükemmel gaz hal denklemi
 - Su buharı mükemmel gaz mıdır?
- Sıkıştırılabilirlik çarpanı
- Diğer hal denklemleri