

Biyoteknoloji

Nanoteknoloji

Tasarım

**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

BMM 205 Malzeme Biliminin Temelleri

Faz Diyagramları

Dr. Ersin Emre Ören

**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

eeoren@etu.edu.tr
<http://eeoren.etu.edu.tr>

Katı



Sıvı



Gaz



Plazma















Modern states

- [Super critical fluid](#)
- [Excitation](#)
- [Degenerate matter](#): matter under very high pressure, supported by the [Pauli exclusion principle](#).
 - [Electron-degenerate matter](#): found inside [white dwarf](#) stars.
 - [Neutron-degenerate matter](#): found in [neutron stars](#).
 - [Strange matter](#): A type of [quark matter](#) that may exist inside some neutron stars.
- [Photogenic matter](#): Inside a quantum nonlinear medium, photons can behave as if they had mass, and can interact with each other, forming photogenic "molecules".
- [Quantum](#): A state that gives rise to quantize [Hall voltage](#) measured in the direction perpendicular to the current flow.
 - [Quantum spin Hall state](#): a theoretical phase that may pave the way for the development of electronic devices that dissipate less energy and generate less heat.

- [Bose–Einstein condensate](#)
- [Fermionic condensate](#)
- [Superconductivity](#)
- [Superfluid](#)
- [Supersolid](#)
- [Self induced spin glass](#)
- [Heavy fermion materials](#):
 - [Quantum spin liquid](#), [quasicrystals](#)
 - [2D Fermi liquids](#), [heavy-fermion](#)
 - [heavy-fermion superconductors](#)
- [String-net liquid](#)
- [Dropleton](#)
- [Jahn–Teller metal](#)
- [Time crystals](#)
- [Rydberg polaron](#)

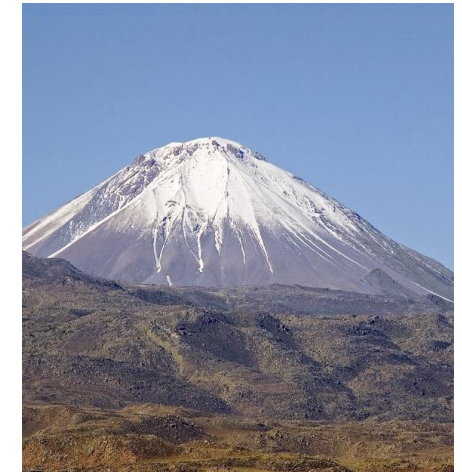


Termodinamiğin 12 Kurucu Okulu

<p>École Polytechnique</p>  <p>Sadi Carnot (1796-1832)</p>	<p>Glasgow school</p>  <p>William Thomson (1824-1907)</p>	<p>Berlin school</p>  <p>Rudolf Clausius (1822-1888)</p>	<p>Edinburgh school</p>  <p>James Maxwell (1831-1879)</p>
<p>Vienna school</p>  <p>Ludwig Boltzmann (1844-1906)</p>	<p>Gibbsian school</p>  <p>Willard Gibbs (1839-1903)</p>	<p>Dresden school</p>  <p>Gustav Zeuner (1828-1907)</p>	<p>Dutch school</p>  <p>Johannes der Waals (1837-1923)</p>
<p>Energetics school</p>  <p>Wilhelm Ostwald (1853-1932)</p>	<p>Lewis school</p>  <p>Gilbert Lewis (1875-1946)</p>	<p>Brussels school</p>  <p>Théophile de Donder (1872-1957)</p>	<p>MIT school</p>  <p>Joseph Keenan (1900-1977)</p>

Exact Differential

dh

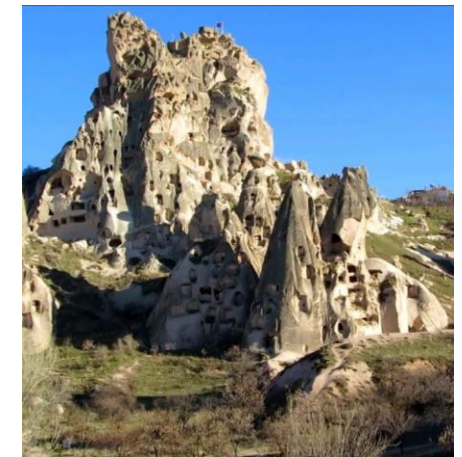


$h(x, y)$

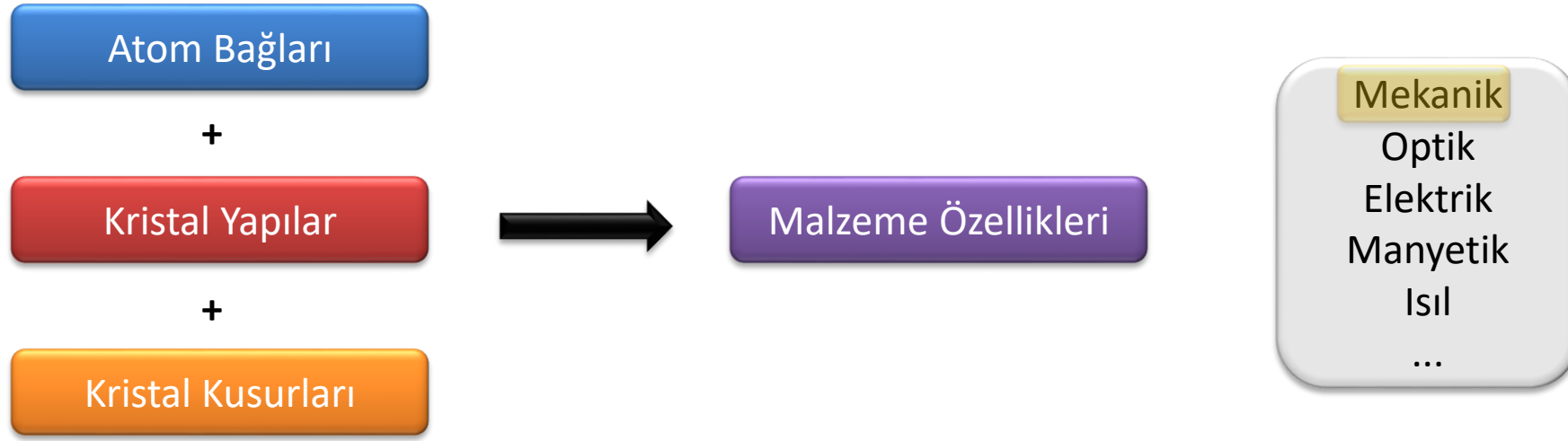
$$dz = xdx + ydy$$

Inexact differential

δh



$$\delta z = ydx - xdy$$



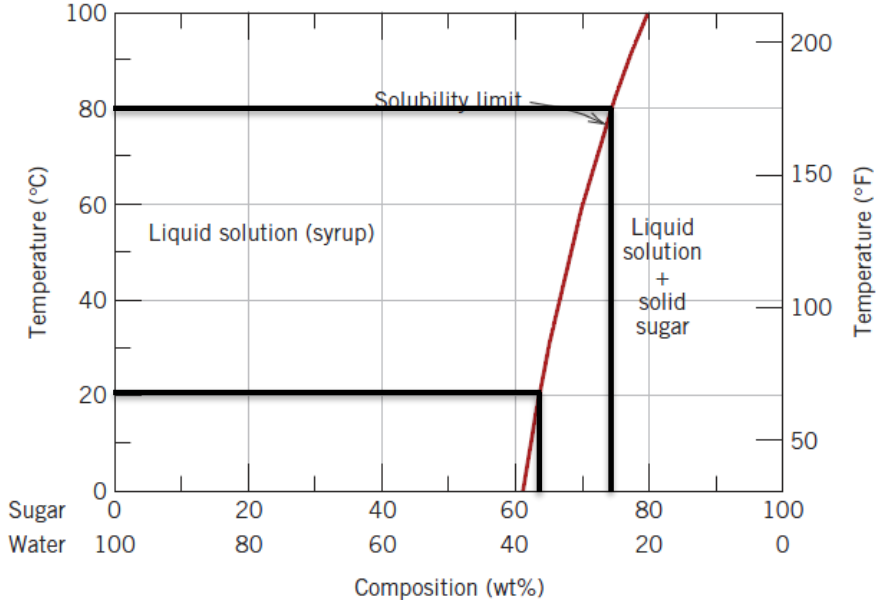
Faz Diyagramları: Tanımlar ve Temel Kavramlar

Bileşen (Component): Saf metal ya da alaşımların bileşiklerine denir. Örneğin bakır-çinko alaşımının bileşenleri bakır ve çinkodur.

Çözünürlük Limiti (Solubility Limit): Birçok alaşım sisteminde belirli bir sıcaklıkta çözücü (solvent) içerisinde çözünebilecek çözünen yoğunluğu için üst bir limit vardır bu limite çözünürlük limiti denir.

Soru

1000 gram su içerisinde 20°C'de çözülebilecek en yüksek miktarda şeker çözdürülmüştür. Bu çözeltiye 2 kg şeker eklenir ve 80°C'ye ısıtılarak dengeye ulaşabileceği kadar uzun süre bekletilirse çözelti tabanında kaç gram şeker kalır.



$$C_{\text{şeker}} (\text{wt}\%) = \frac{m_{\text{şeker}}}{m_{\text{şeker}} + m_{\text{su}}} \times 100 = 64\%$$

$$\Rightarrow 64 = \frac{m_{\text{şeker}}}{m_{\text{şeker}} + 1000} \times 100$$

$$\Rightarrow m_{\text{şeker}}^{20^\circ \text{C}} = 1778 \text{ g}$$

$$\Rightarrow 74 = \frac{m_{\text{şeker}}}{m_{\text{şeker}} + 1000} \times 100$$

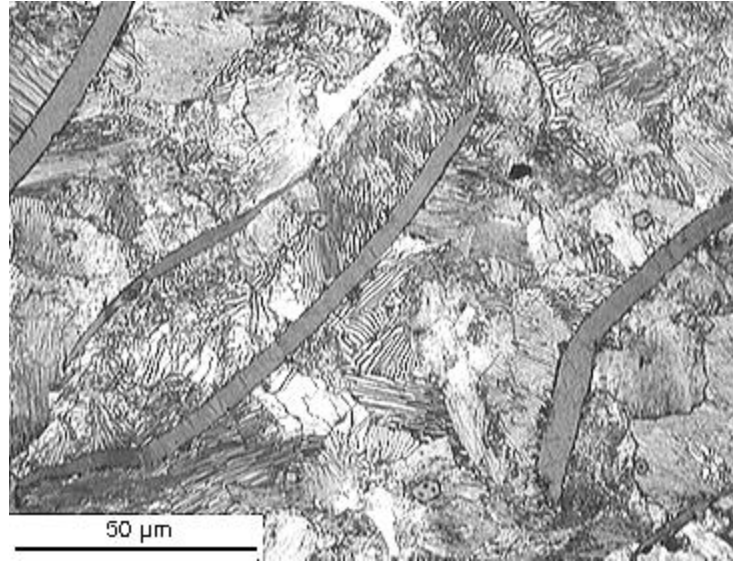
$$\Rightarrow m_{\text{şeker}}^{80^\circ \text{C}} = 2846 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow m_{\text{şeker}} &= 1778 \text{ g} + 2000 \text{ g} - 2846 \text{ g} \\ &= 932 \text{ g} \end{aligned}$$

FAZ DİYAGRAMLARI

Faz (phase): Bir sistem içerisinde kimyasal ve fiziksel özellikleri aynı olan ve diğer bölgelerden belirli bir sınır (faz sınırı) ile ayrılan homojen parçaya denir.

Mikroyapı (microstructure): Bir alaşımın özellikleri sadece içerisinde bulunan fazların oranına değil aynı zamanda bu fazların yapı içerisindeki dağılım, yerleşim ve doğrultularına da bağlıdır.



Dökme Demir Mikroyapısı: Grafit, BCC Fe ve Fe₃C bileşiği.

Faz diyagramları mikroyapıları anlamamıza ve hangi koşullar altında hangi tür mikroyapıların oluşacağını tahmin etmemize yarar.

Faz Dengeleri (Phase Equilibria)

Serbest enerji (free energy) bir sistemdeki iş yapabilme kapasitesine sahip enerjidir. İç enerjisi (internal energy) ile sistem içerisindeki atom veya moleküllerin düzensizliğinin (entropi) bir fonksiyonudur.

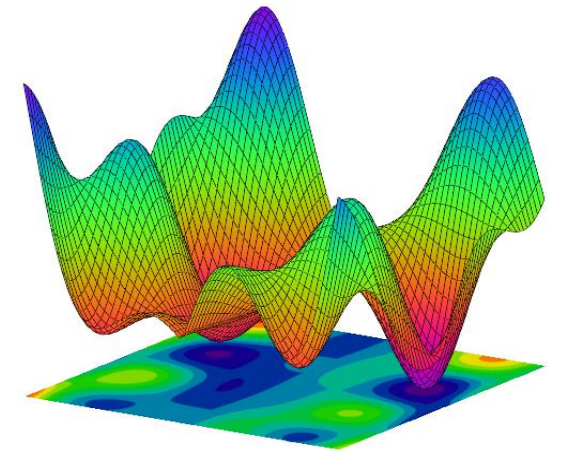
$$A(T, V) = U - TS \quad \text{Helmholtz free energy}$$

$$G(T, P) = H - TS \quad \text{Gibbs free energy}$$

Bir sistemin serbest enerjisi belirlenen bir sıcaklık, basınç ve kompozisyon altında en küçük değerine ulaştığı ana **denge (equilibrium)** denir.

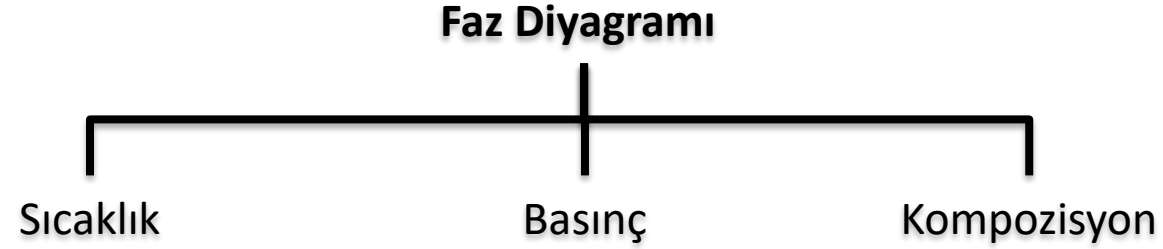
Makroskopik anlamda, sistemin özelliği zamanla değişmez yani sistem denge (kararlı) haline gelmiştir.

Denge halindeki bir sistemin sıcaklık, basınç ve/veya kompozisyonundaki herhangi bir değişiklik sistemin serbest enerjisini arttırır ve sistem bu yeni koşullar altında yeni bir denge noktasına doğru hemen hareket eder.



FAZ DİYAGRAMLARI

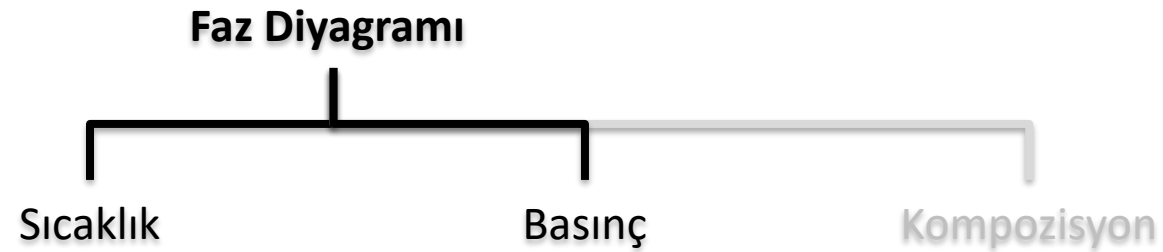
Faz Diyagramı (Phase diagram): sıcaklık, basınç ve kompozisyona göre bir sistemin denge fazlarını gösteren grafik çizimlere denir.



Faz diyagramları bazen de **denge diyagramı** olarak adlandırılır.

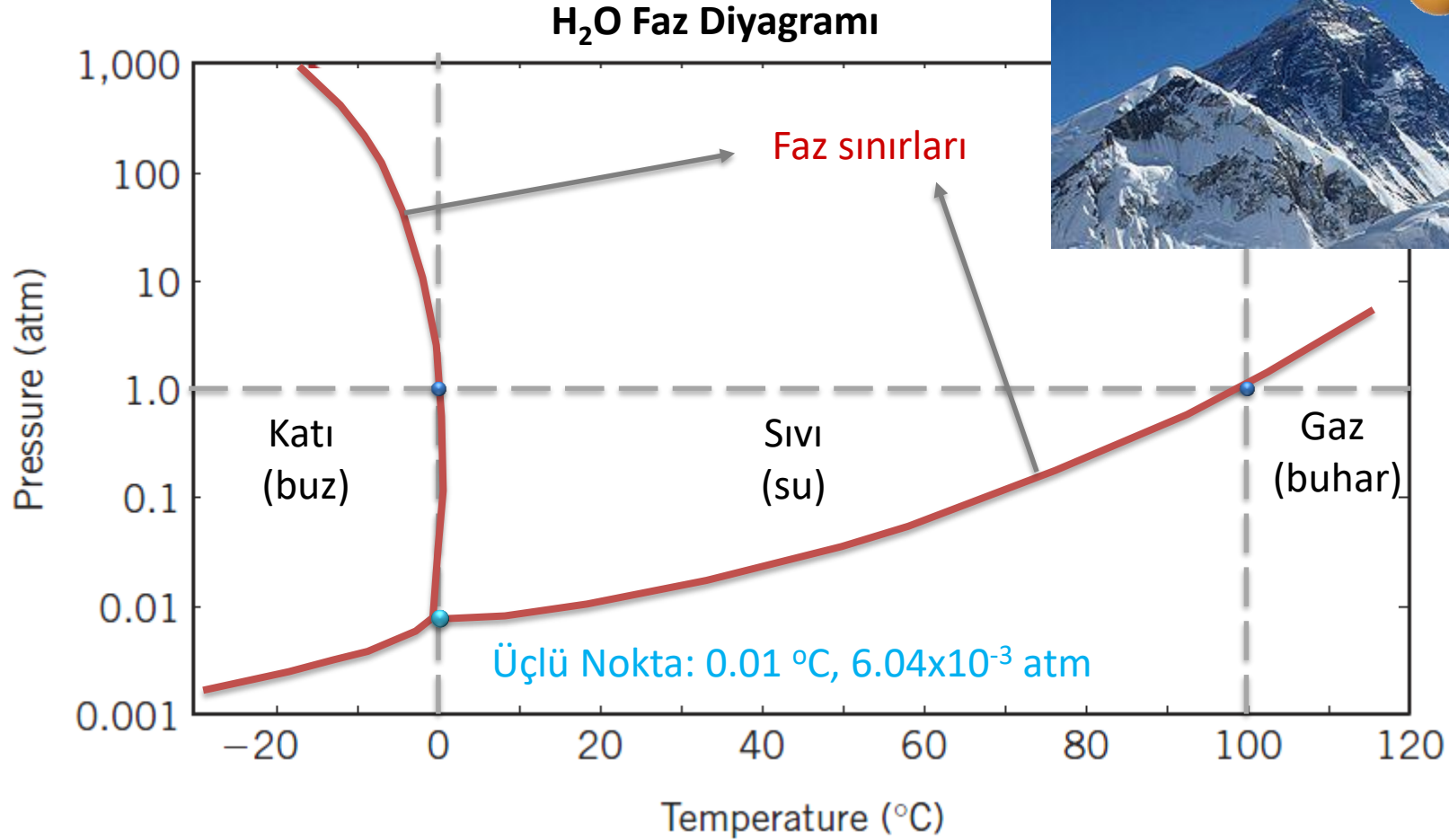
Faz diyagramları sadece denge durumlarını gösterir, denge durumuna ne kadar bir sürede ulaşılacağını belirtmez.

Tek Bileşenli Faz Diyagramı (One-Component Phase diagram):



Saf maddeler için geçerlidir ve P-T diyagramı olarak da adlandırılır.

Tek Bileşenli Faz Diyagramı (One-Component Phase diagram):

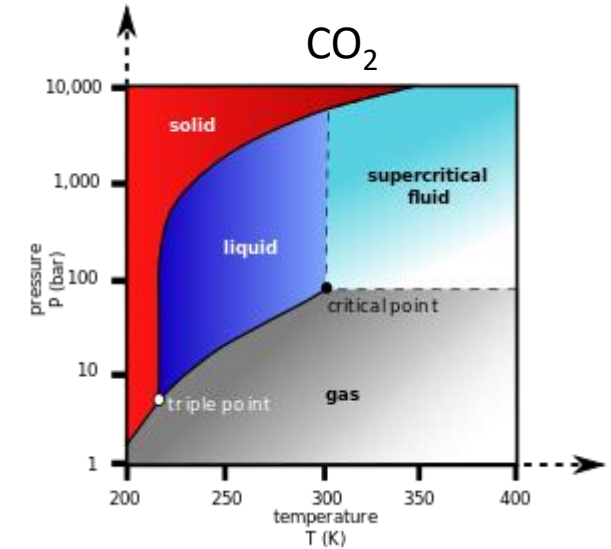
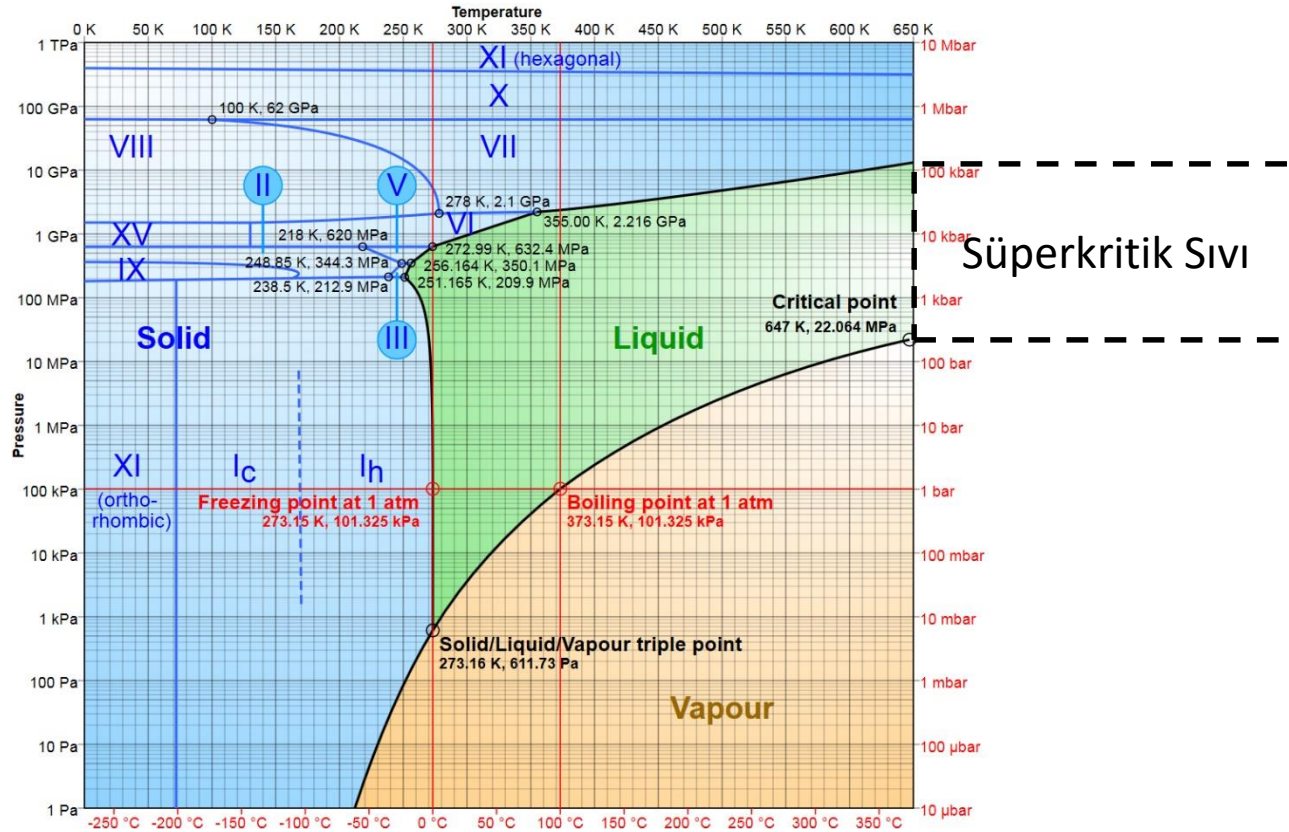


Üçlü noktada her üç fazda dengededir. Sıcaklık veya Basıncıta herhangi bir değişiklik olursa fazlardan birtanesi ortadan kaybolur.

Suyun kaynama sıcaklığı deniz seviyesinden yükseldikçe her **285 metrede 1 °C** düşer.

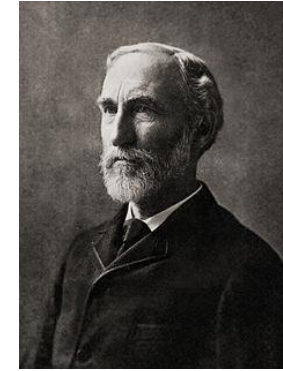
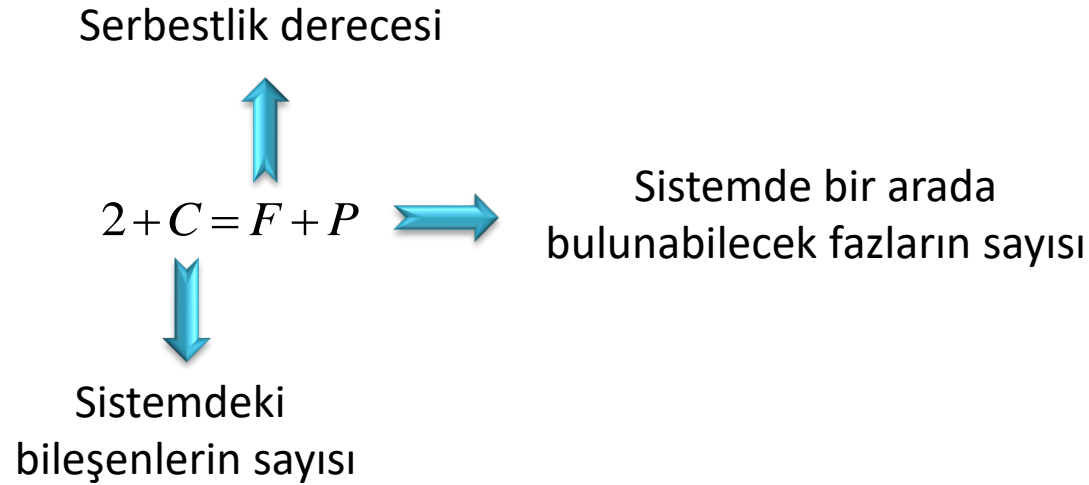
Tek Bileşenli Faz Diyagramı (One-Component Phase diagram):

Gerçekte H₂O Faz Diyagramı çok karmaşıktır ve bazı kısımları halen çözülememiştir.

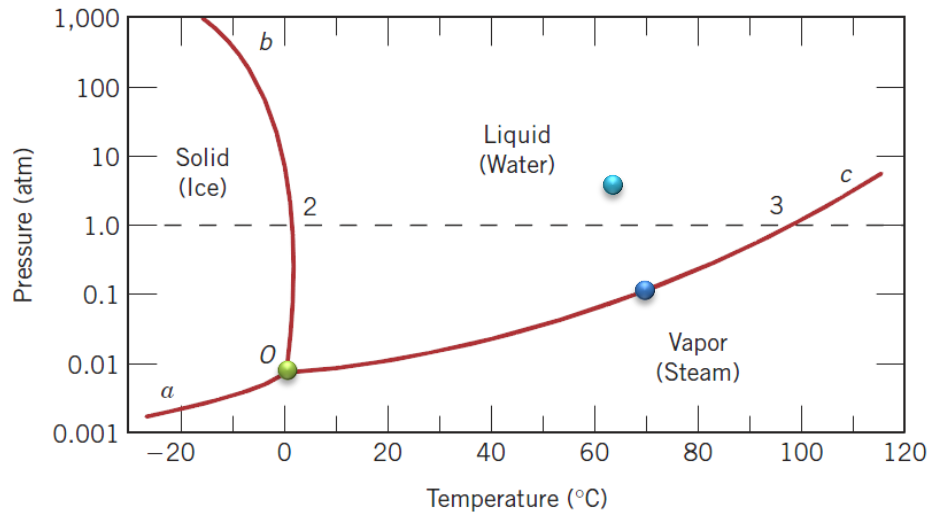


Ice polymorph	Density g/cm ⁻³	Protons	Crystal	Symmetry	Dielectric constant, ϵ_s
Hexagonal ice	0.92	disordered	Hexagonal	one C ₆	97.5
Cubic ice, Ic	0.92	disordered	Cubic	four C ₃	
LDA^b	0.94	disordered	Non-crystalline		
HDA^c	1.17	disordered	Non-crystalline		
VHDA^d	1.25	disordered	Non-crystalline		
II, Ice-two	1.17	ordered	Rhombohedral	one C ₃	3.66
III, Ice-three	1.14	disordered	Tetragonal	one C ₄	117
IV, Ice-four	1.27	disordered	Rhombohedral	one C ₃	
V, Ice-five	1.23	disordered	Monoclinic	one C ₂	144
VI, Ice-six	1.31	disordered	Tetragonal	one C ₄	193
VII, Ice-seven	1.50	disordered	Cubic	four C ₃	150
VIII, Ice-eight	1.46	ordered	Tetragonal	one C ₄	4
IX, Ice-nine	1.16	ordered	Tetragonal	one C ₄	3.74
X, Ice-ten	2.51	symmetric	Cubic	four C ₃	
XI, Ice-eleven	0.92	ordered	Orthorhombic	three C ₂	
XI, Ice-eleven	>2.51	symmetric	Hexagonal	distorted	
XII, Ice-twelve	1.29	disordered	Tetragonal	one C ₄	

Gibbs Faz Kuralı: Gibbs Phase Rule



Josiah Willard Gibbs
1839 – 1903



- $2 + C = F + P \Rightarrow 2 + 1 = F + 1$

$\Rightarrow F = 2$
- $2 + C = F + P \Rightarrow 2 + 1 = F + 2$

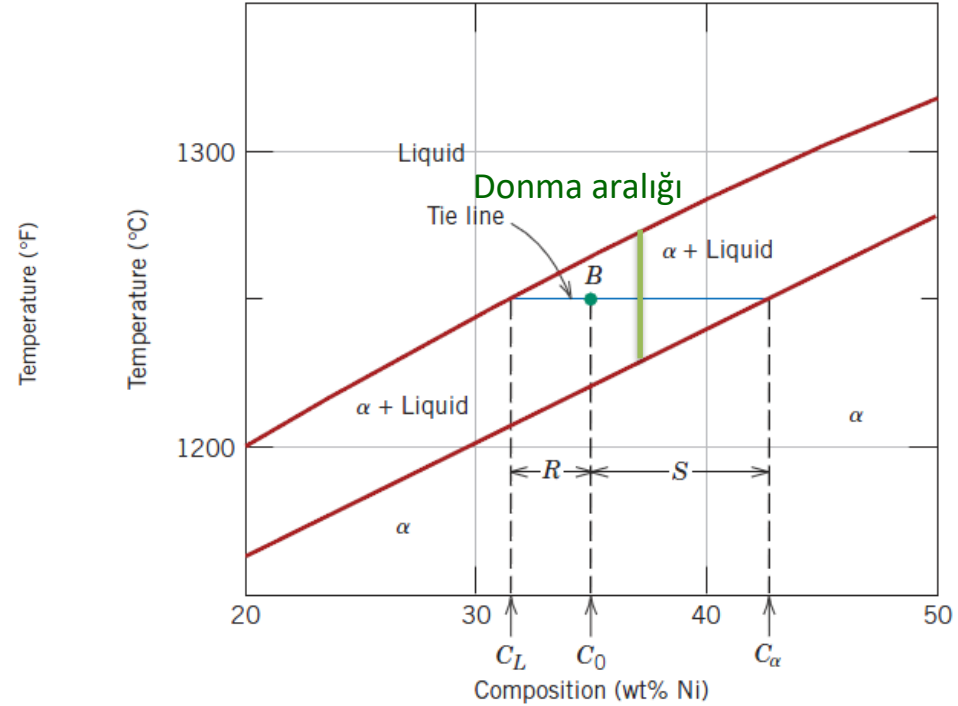
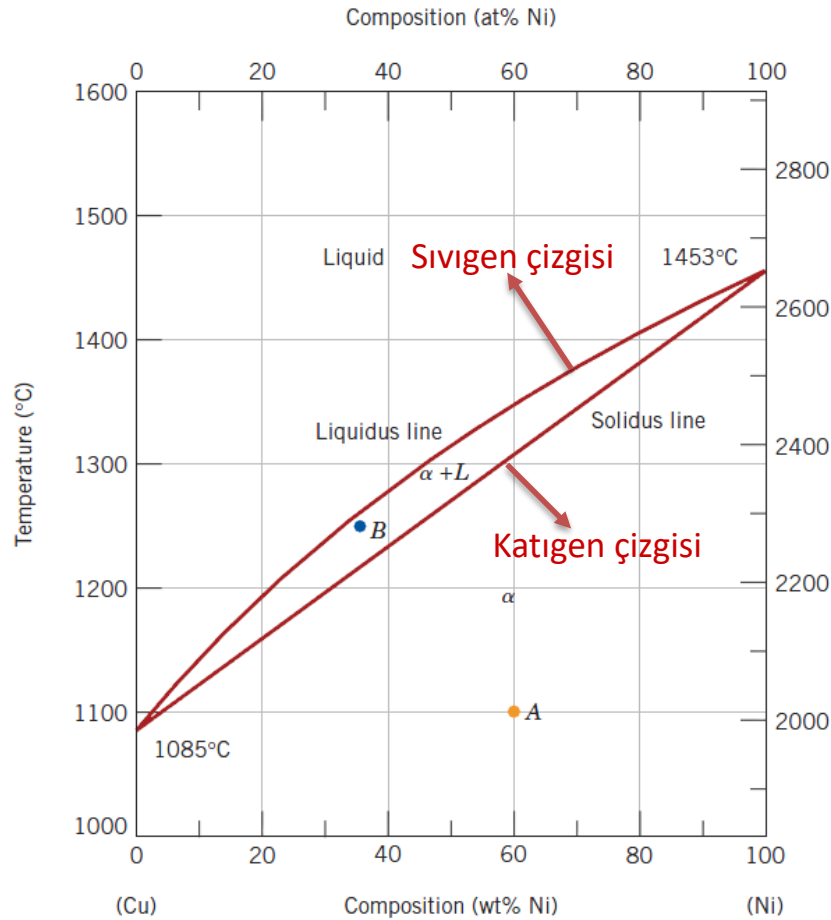
$\Rightarrow F = 1$
- $2 + C = F + P \Rightarrow 2 + 1 = F + 3$

$\Rightarrow F = 0$

İkili Faz Diyagramı (Binary Phase diagram):

İki bileşenin olduğu sistemlerde basınç sabit tutularak (1 atm) sıcaklık ve kompozisyon altında hangi fazların olduğunu gösteren diyagramlar hazırlanır.

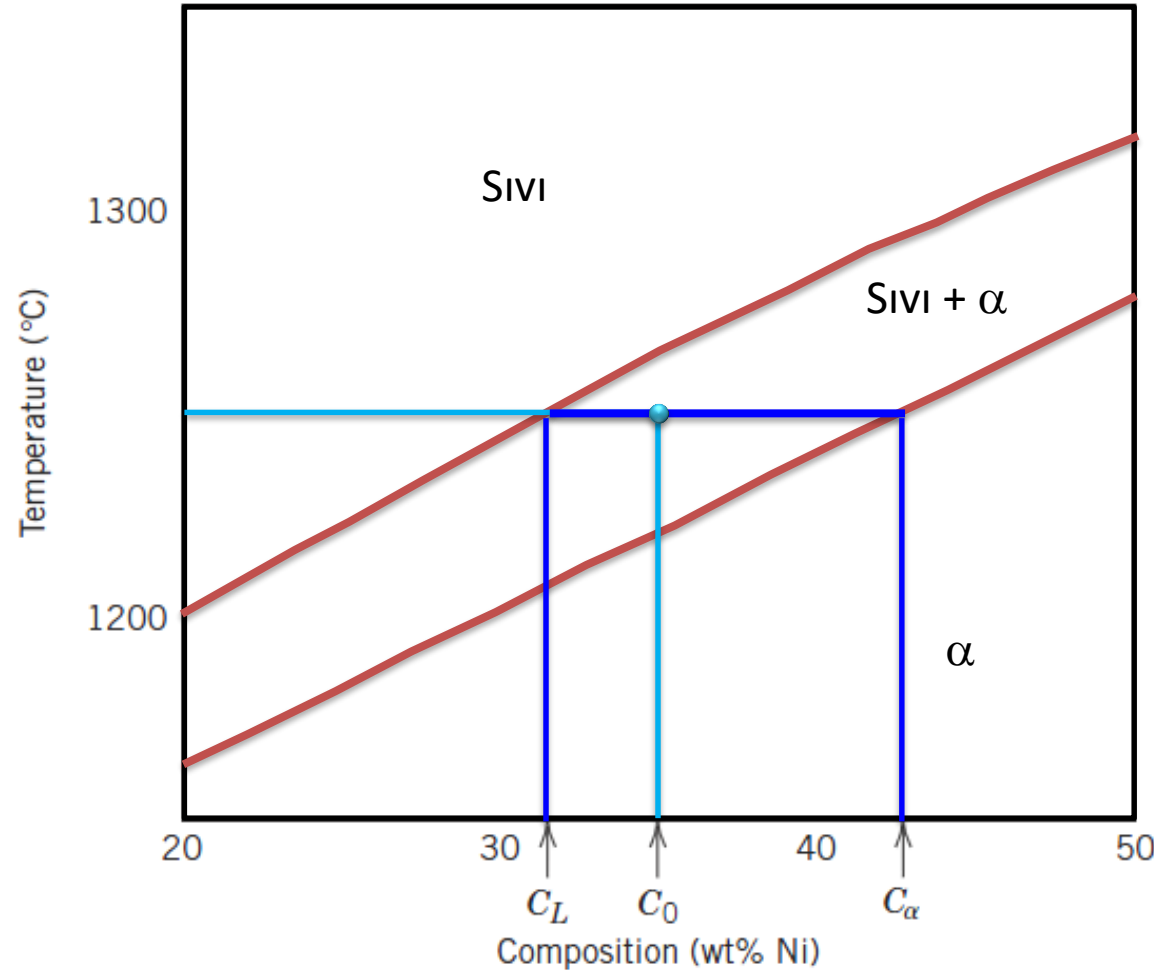
Eğer sistem de üç veya daha fazla komponent varsa faz diyagramları giderek çok karmaşık hale gelirler.



Faz Diyagramlarının Yorumlanması

Soru

Ağırlıkça % 35 Ni ve % 65 Cu içeren bir alaşım 1250°C'ye ısıtılırsa, a) Sistemde bulunan fazlar, b) Bu fazların kompozisyonları, c) Fazların yüzdeleri.



a) Sıvı + α

b) Faz kompozisyonları

α Fazı: % 42.5 Ni + % 57.5 Cu

Sıvı Faz: % 31.5 Ni + % 68.5 Cu

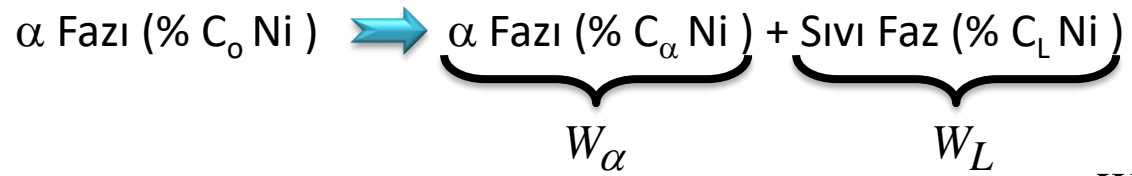
c) Faz yüzdeleri

α Fazı:

Kaldıraç Kuralı

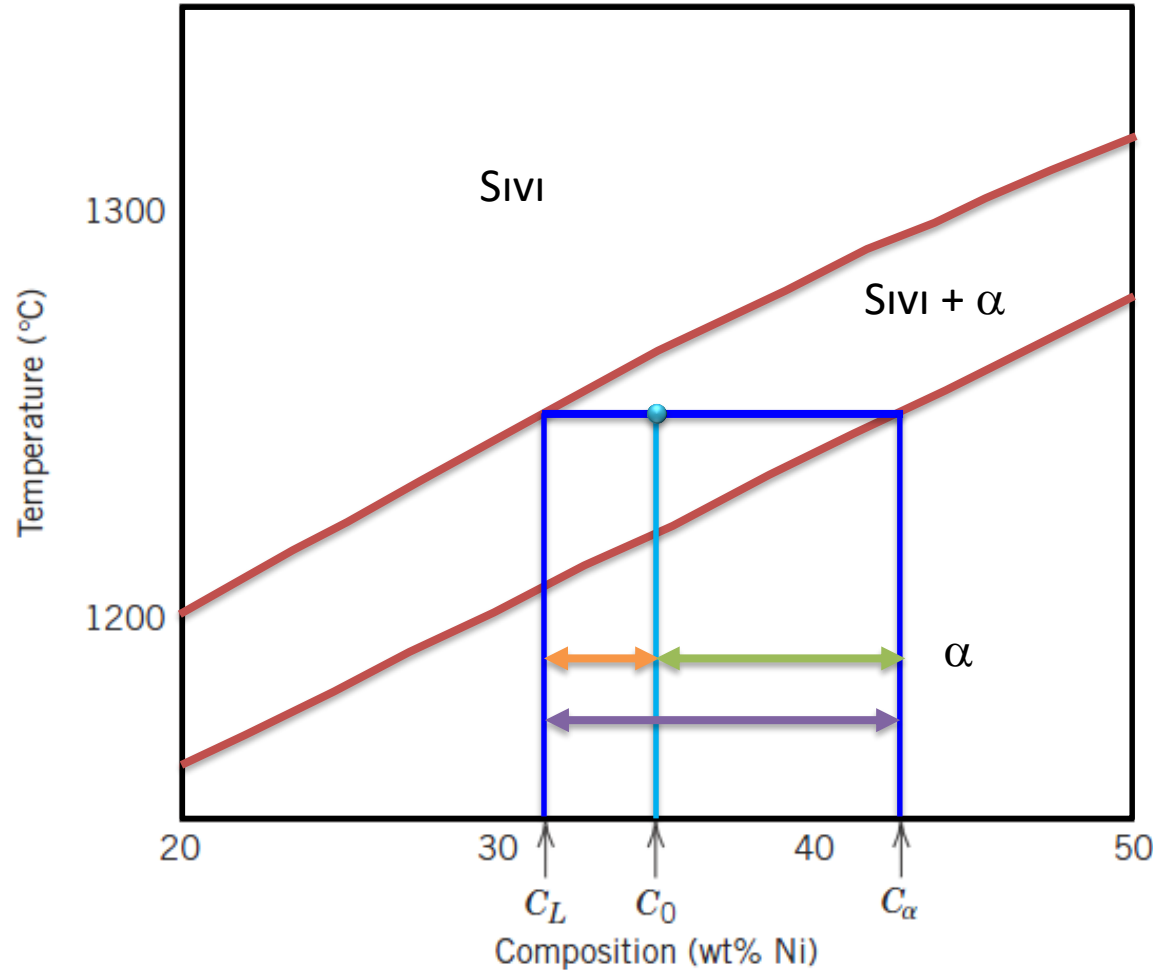
Sıvı Faz:

Kaldıraç Kuralı (Lever Rule):



$$W_\alpha + W_L = 1 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$W_\alpha C_\alpha + W_L C_L = C_o \quad (\text{Eq. 2})$$

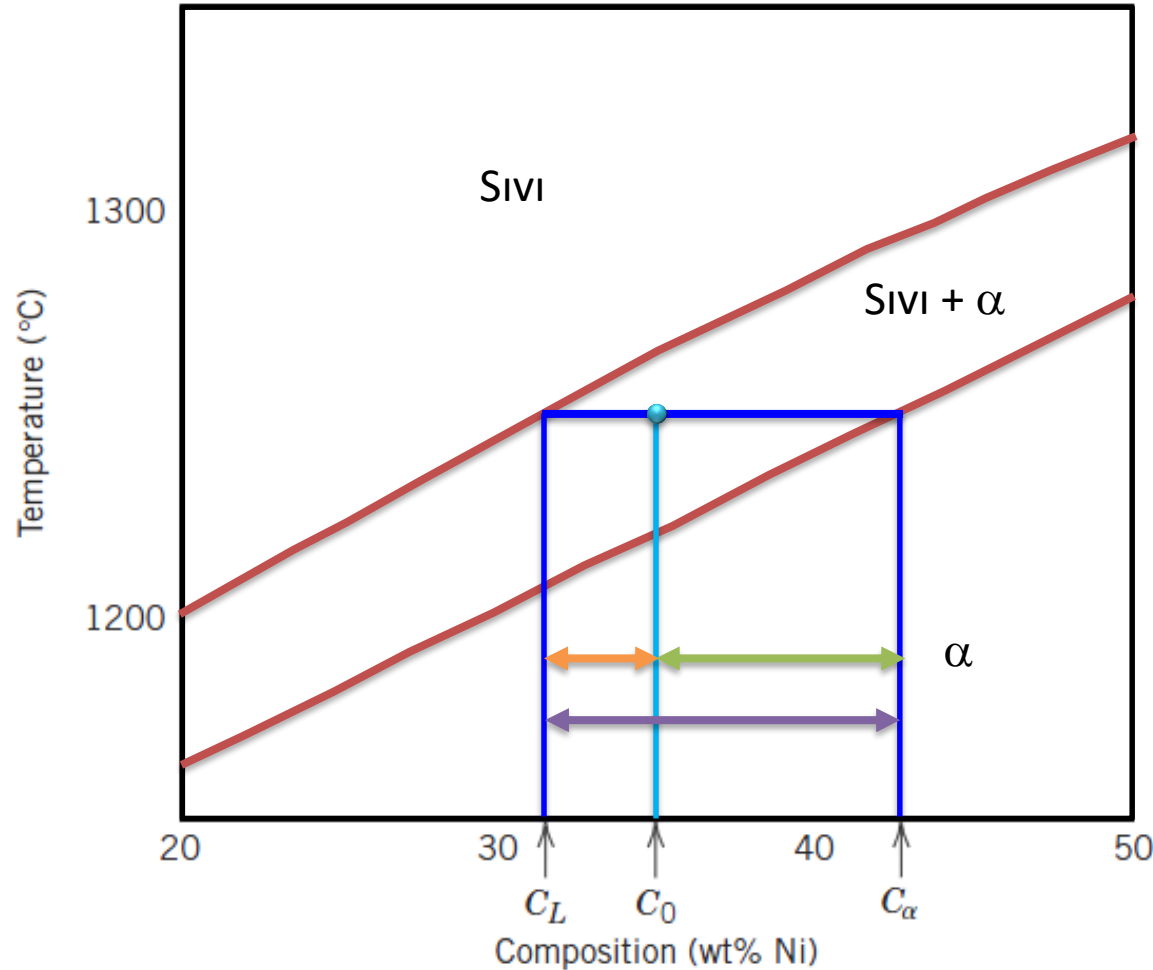
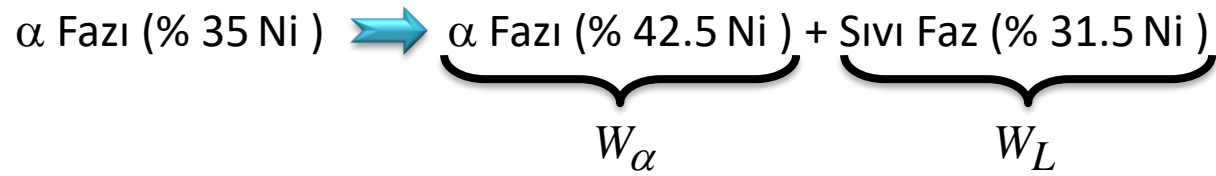


$$\Rightarrow W_\alpha C_\alpha + (1 - W_\alpha) C_L = C_o$$

$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{\text{orange arrow}}{\text{purple arrow}}$$

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L} = \frac{\text{green arrow}}{\text{purple arrow}}$$

Kaldıraç Kuralı (Lever Rule):

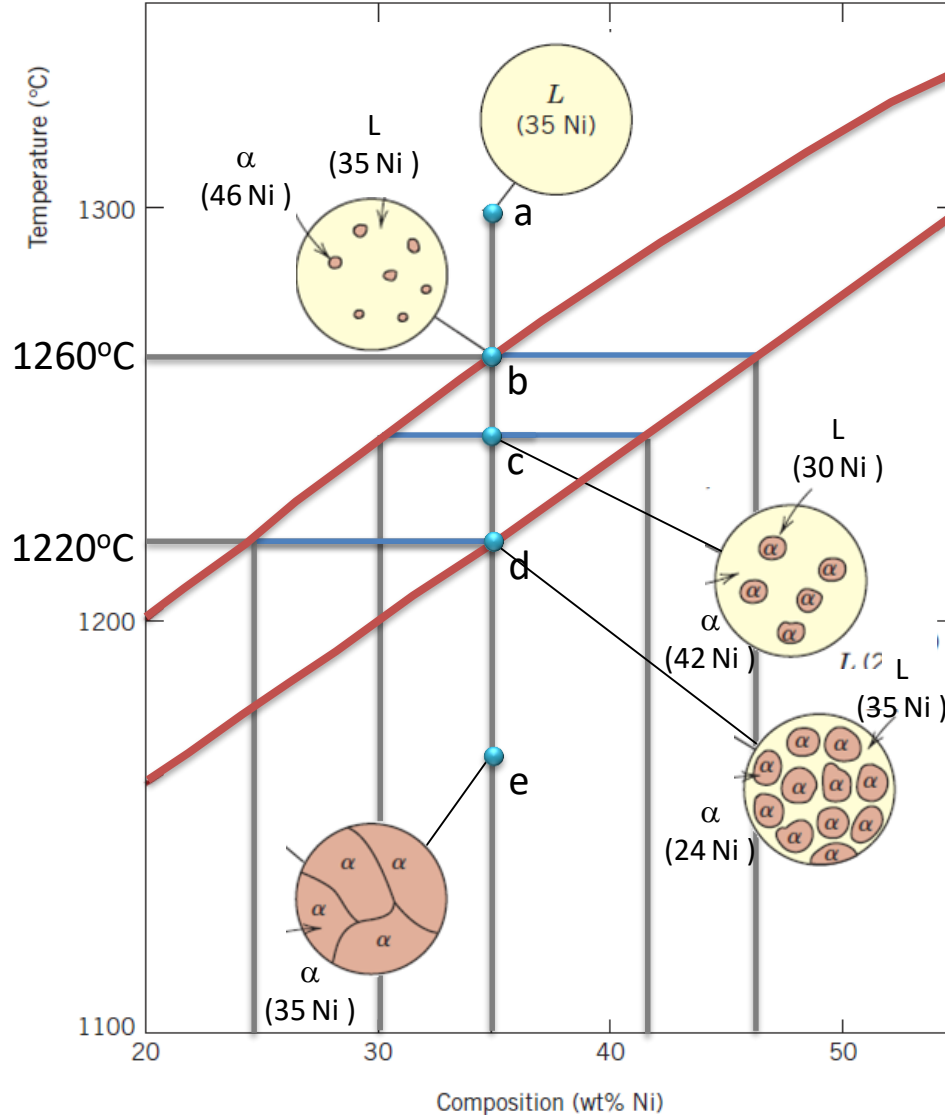


$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{\text{orange arrow}}{\text{purple arrow}}$$

$$\Rightarrow W_\alpha = \frac{35 - 31.5}{42.5 - 31.5} = 0.32$$

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L} = \frac{\text{green arrow}}{\text{purple arrow}}$$

$$\Rightarrow W_L = \frac{42.5 - 35}{42.5 - 31.5} = 0.68$$



a) Sıvı (35 % Ni)

b) Sıvı (35 % Ni) + α (46 % Ni)c) Sıvı (30 % Ni) + α (42 % Ni)d) Sıvı (24 % Ni) + α (35 % Ni)e) α (35 % Ni)

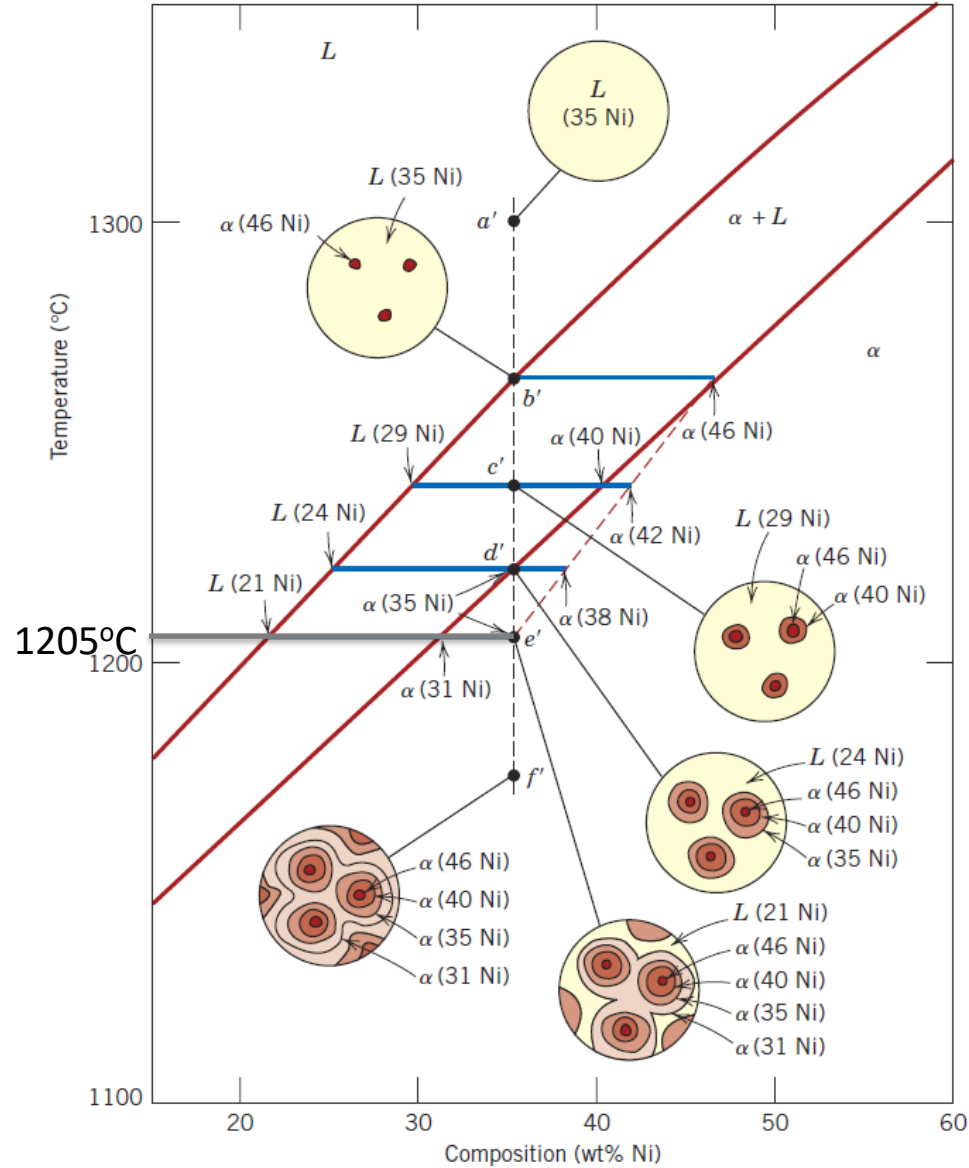
Denge soğuması son derece yavaş soğutmalar için geçerlidir!

Neden?

Difüzyon → Difüzyon zamana bağlıdır.

Alaşımarda Mikroyapı Gelişimi

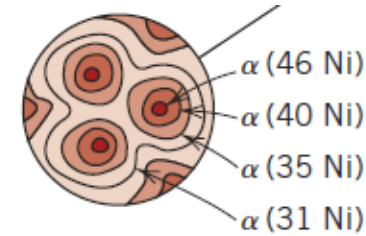
A) Denge Dışı Soğuması (Nonequilibrium cooling)



Gerçek hayatta tüm katılaşmalar denge dışı durumlardır. Bunun nedeni soğutma işlemi özellikle katı faz içerisindeki difüzyon işleminin tamamlanması için çok hızlıdır.

Bu durumda, bir önceki konuda gördüğümüz mikroyapılar hipotetiktir.

← Gerçek



Katlı mikroyapı
(cored structure)

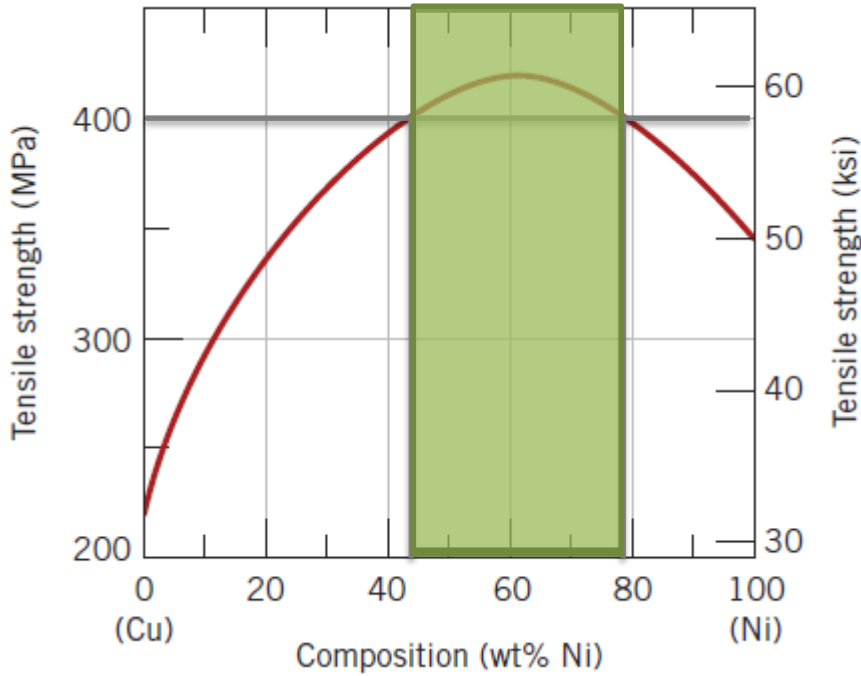
Sıcaklık artışı ile malzemenin mekanik bütünlüğü aniden kaybedilebilir.

Benzeştirme Isıl İşlemi (Homogenization)

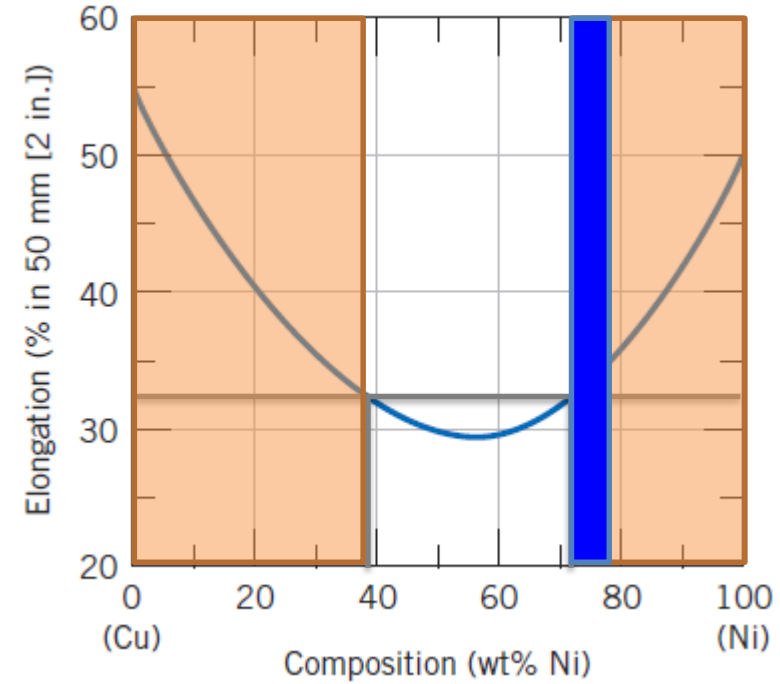
Katı alaşımların mekanik özellikleri

Soru

Aşağıda verilen bilgileri kullanarak Çekme dayanımı en az 400 MPa ve sünekliliği en az % 32.5 EL olan bir Ni-Cu alaşımı tasarlayınız.



$$45 \% \text{ Ni} < x < 78 \% \text{ Ni}$$

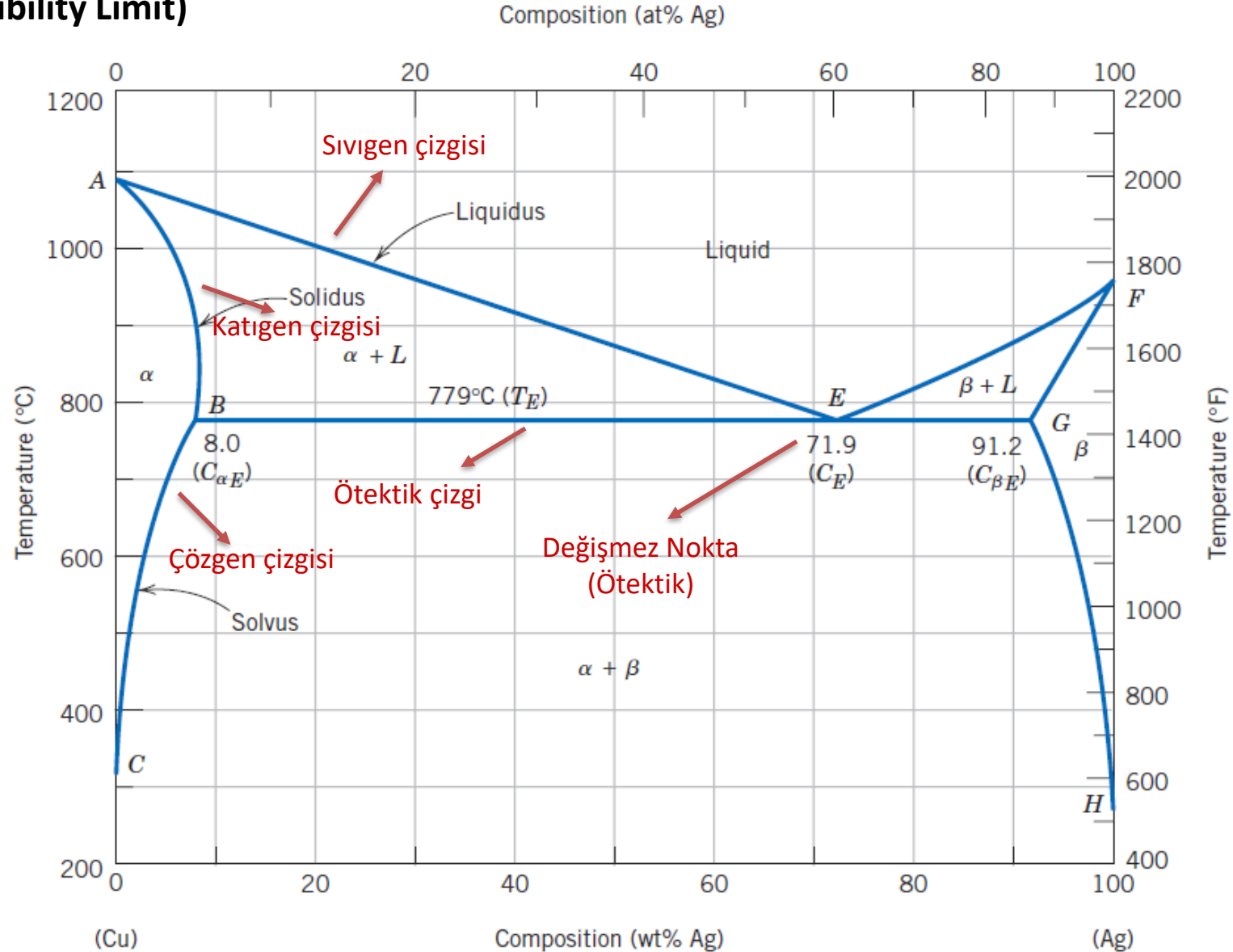


$$x < 39 \% \text{ Ni} \text{ veya } 72 \% \text{ Ni} < x$$

$$72 \% \text{ Ni} < x < 78 \% \text{ Ni}$$

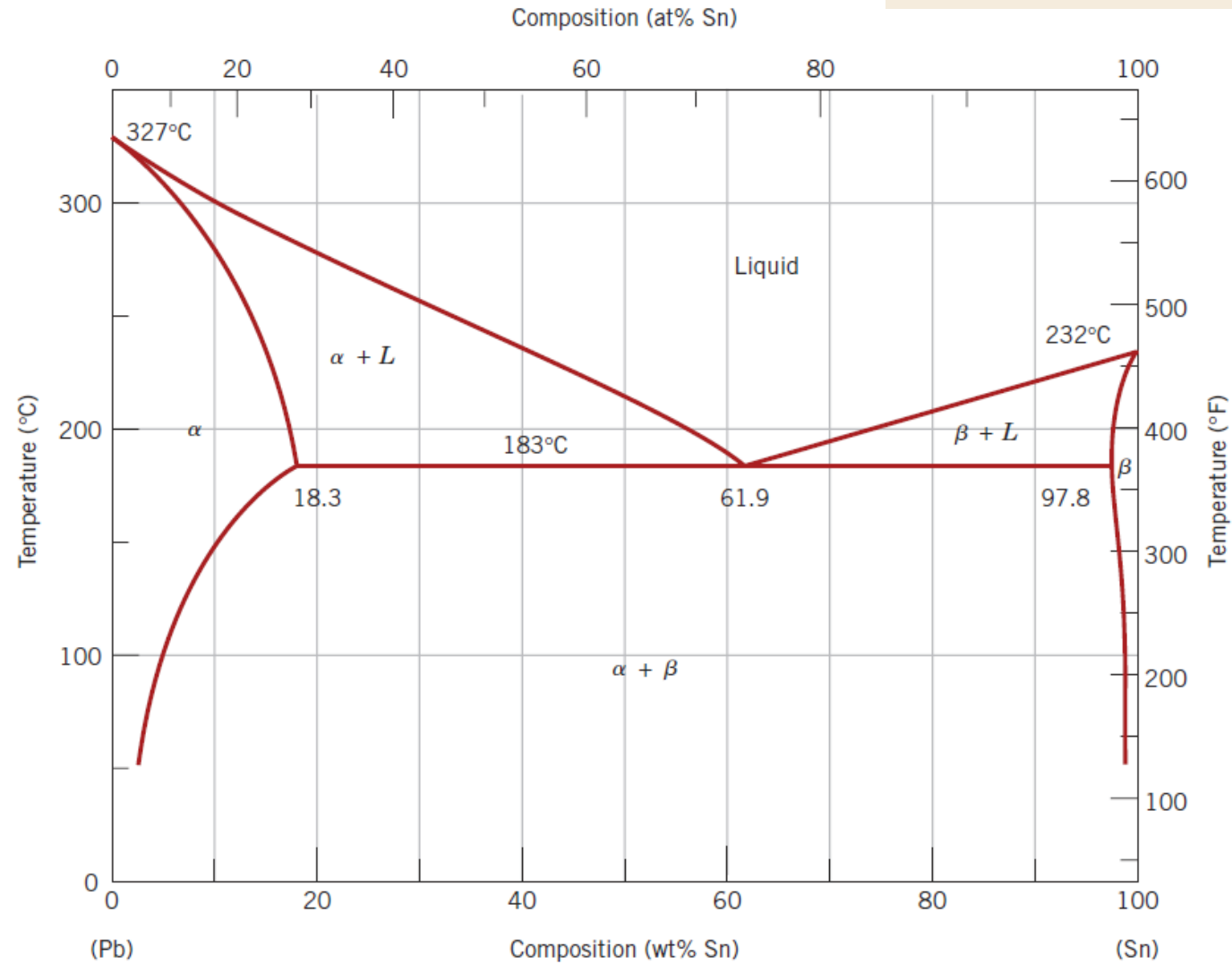
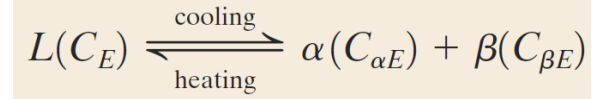
İkili Ötektik Alaşım Sistemleri (Binary Eutectic Systems):

Çözünürlük Limiti (Solubility Limit)



İkili Ötektik Alaşım Sistemleri (Binary Eutectic Systems):

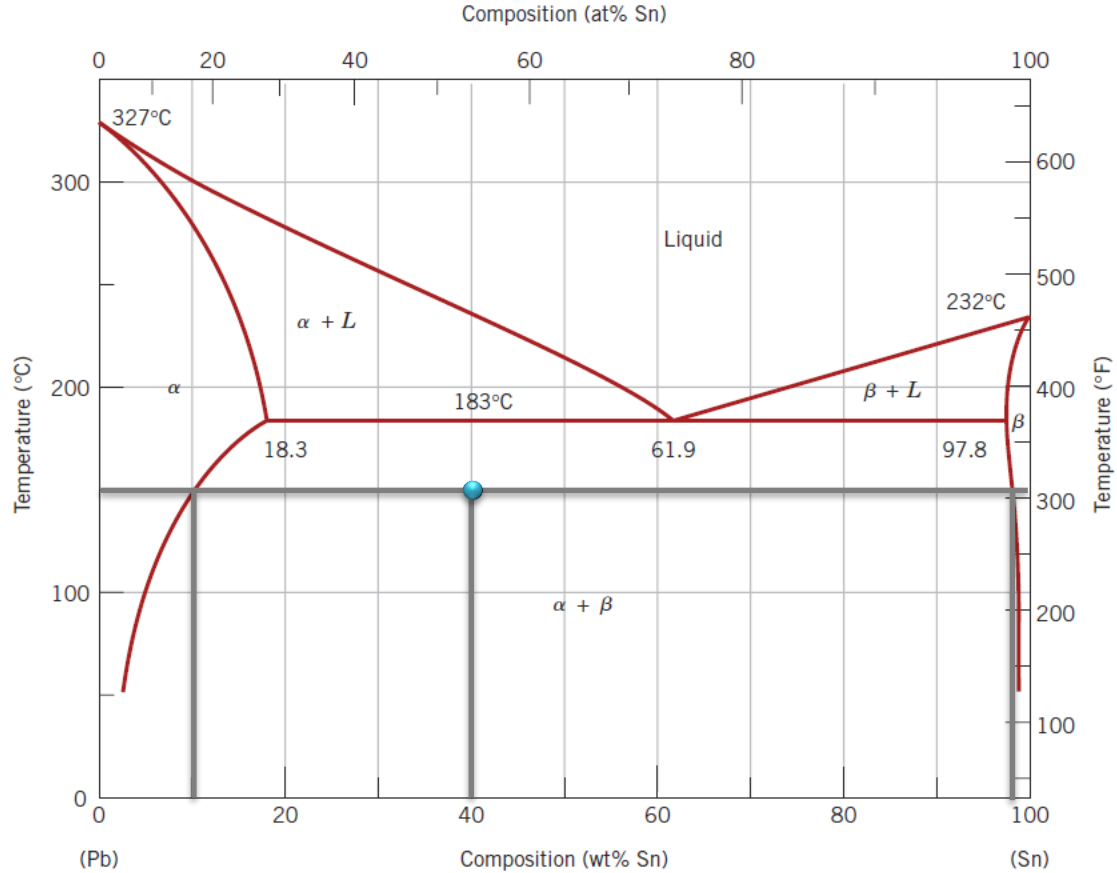
Ötektik: Kolay eriyen demektir.



İkili Ötektik Alaşım Sistemleri (Binary Eutectic Systems):

Soru

Ağırlıkça % 40 Sn ve % 60 Pb içeren bir alaşım 150°C'ye ısıtılırsa,



- Sistemde bulunan fazlar,
- Bu fazların kompozisyonları,
- Fazların yüzdeleri.

a) $\alpha + \beta$ fazları var.

b) Faz kompozisyonları

α Fazı: % 10 Sn + % 90 Pb

β Fazı: % 98 Sn + % 2 Pb

c) Fazların yüzdeleri

$$\Rightarrow W_{\alpha} = \frac{98 - 40}{98 - 10} = 0.66$$

$$\Rightarrow W_{\beta} = \frac{40 - 10}{98 - 10} = 0.34$$

Önümüzdeki Ders Saatinde
Ders Kitabımızın 9. Bölümündeki

FAZ DİYAGRAMLARI

adlı konuya devam edeceğiz!