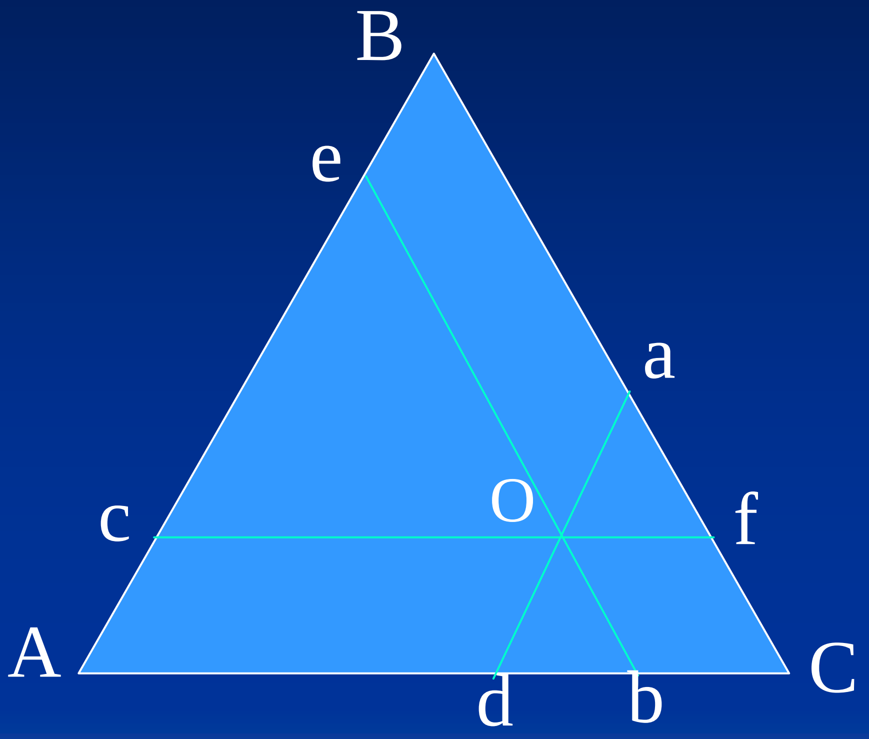
第六节 三元系相图

一.三元相图的表示方法

相图中需要两个坐标轴来表示成分的变化，构成一平面，表示温度的坐标轴必须垂直于该平面，即形成一三维的立体图形。三元相图中分隔每一相区的是一系列空间曲面而不再是平面曲线。

1.成分三角形

三元相图中代表成分的点都位于由两个成分坐标轴所决定的三角形平面内。此三角形称为成分三角形或浓度三角形。



等边三角形的几何特性

特点：

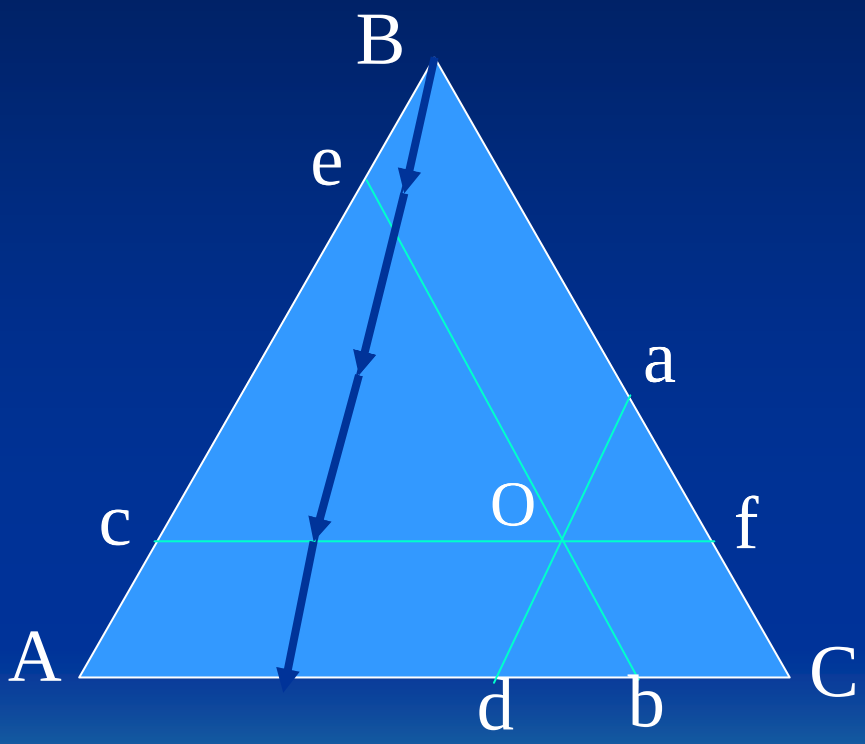
1）顶点——纯物质，对边——无该物质；

2）边——二元系统；

3）平行线———等含量；

4）射线———定比；

5）背向性规则———析晶；



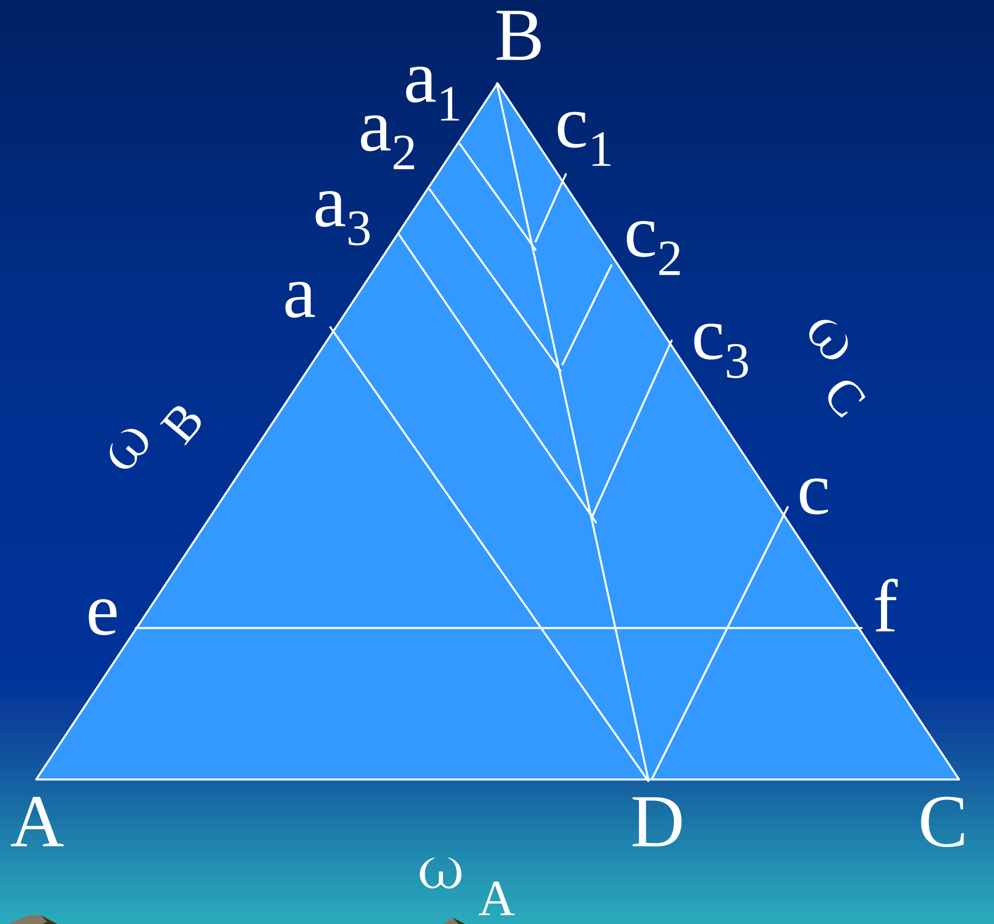
等边三角形的几何特性

2.成分三角形内具有特定意义的直线

在成分三角形中具有特定意义的直线有以下两种：

(1).平行于三角形某一边的直线

(2).过三角形顶点的直线

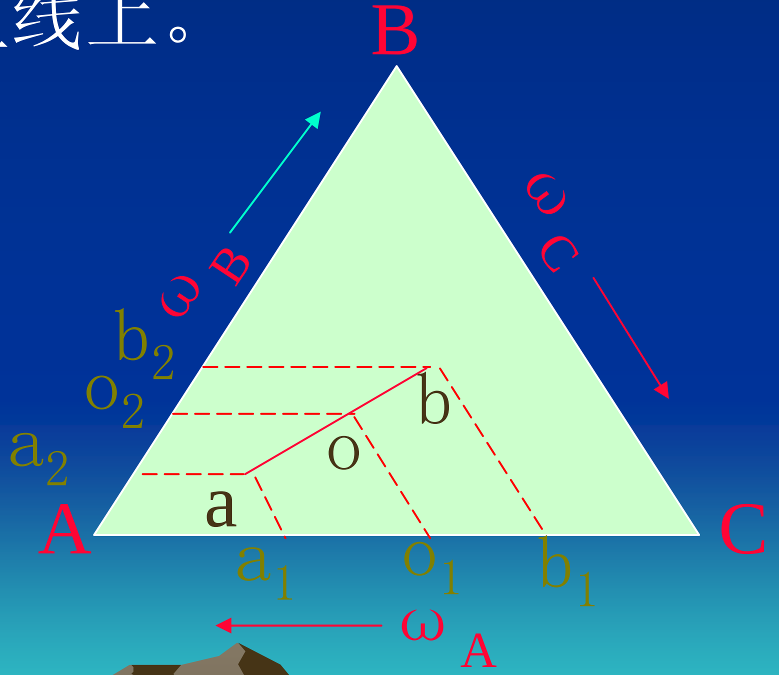


二.三元系平衡相的定量法则

1.直线法则和杠杆定律

直线法则或共线法则

三元合金两相平衡时，合金的成分点和两个平衡相的成分点必然位于同一直线上。



设：某温度下的三元合金o处于α＋β 两相平衡状态，o，α，β 质量分别为ω_o，ω_α，ω_β，由成分的表示方法及相应的关系，得

三元系中的直线法则

$$\omega_{\alpha} C_{\alpha_1} + \omega_{\beta} C_{b_1} = \omega_{o} C_{o_1}$$

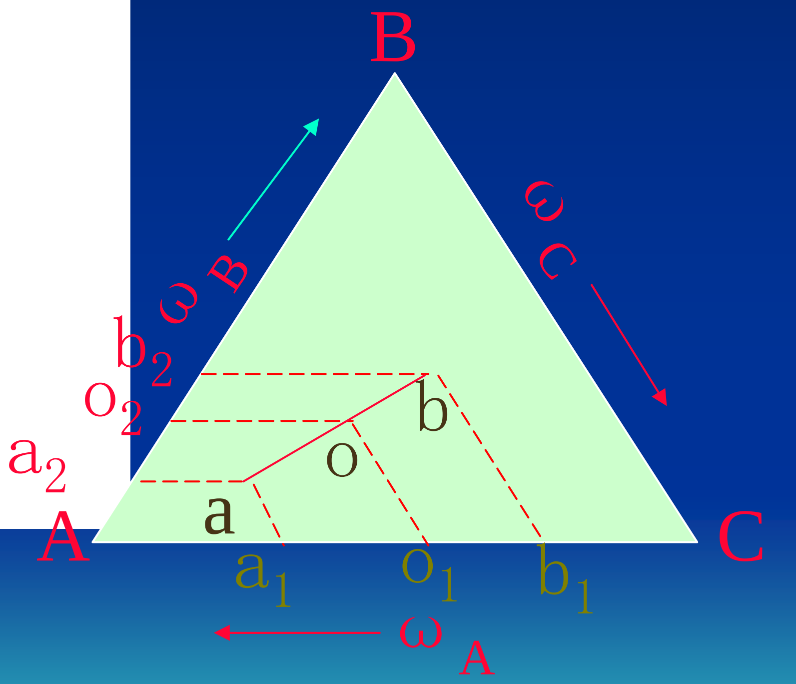
$$\omega_{\alpha} C_{\alpha_1} + \omega_{\beta} C_{b_1} = \left(\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}\right) C_{o_1}$$

$$\omega_{\alpha}\left(C_{a_1} - C_{o_1}\right) = \omega_{\beta}\left(C_{o_1} - C_{b_1}\right)$$

$$\frac{\omega_{\alpha}}{\omega_{\beta}} = \frac{C_{o_1} - C_{b_1}}{C_{\alpha_1} - C_{o_1}} = \frac{o_1 b_1}{a_1 o_1} = \frac{ob}{oa}$$

同理： $\dfrac{\omega_{\alpha}}{\omega_{\beta}} = \dfrac{o_2 b_2}{a_2 o_2} = \dfrac{ob}{oa}$

故： $\dfrac{o_1 b_1}{a_1 o_1} = \dfrac{o_2 b_2}{a_2 o_2} = \dfrac{ob}{oa}$



三元系中的直线法则

因平衡状态下，$\frac{\omega_\alpha}{\omega_\beta}$ 为恒定量，即a，o，b三点必共线，$\frac{\omega_\alpha}{\omega_\beta}=\frac{ob}{oa}$ 即为三元系中杠杆定律。

推论：

(1).当给定合金在一定温度下处于两相平衡时，若其中一相成分给定，另一相的成分点必在已知相成分点与合金成分点连线延长线上；

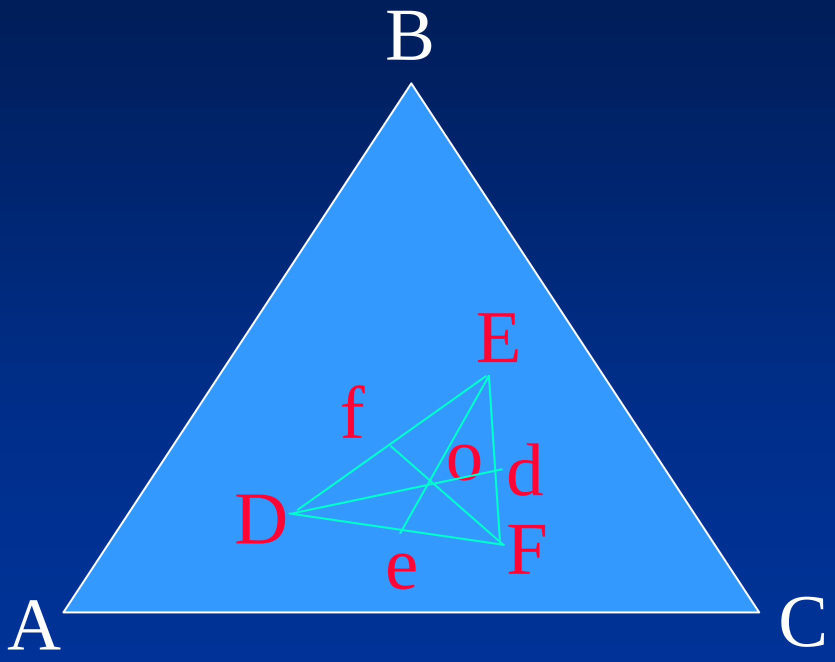
(2).若两平衡相的成分点已知，合金的成分点必位于两个已知成分点的连线上。

2.重心法则

$$\omega_{\gamma} = \frac{of}{Ff} \times 100\ \%$$

$$\omega_{\alpha} = \frac{od}{Dd} \times 100\ \%$$

$$\omega_{\beta} = \frac{oe}{Ee} \times 100\ \%$$

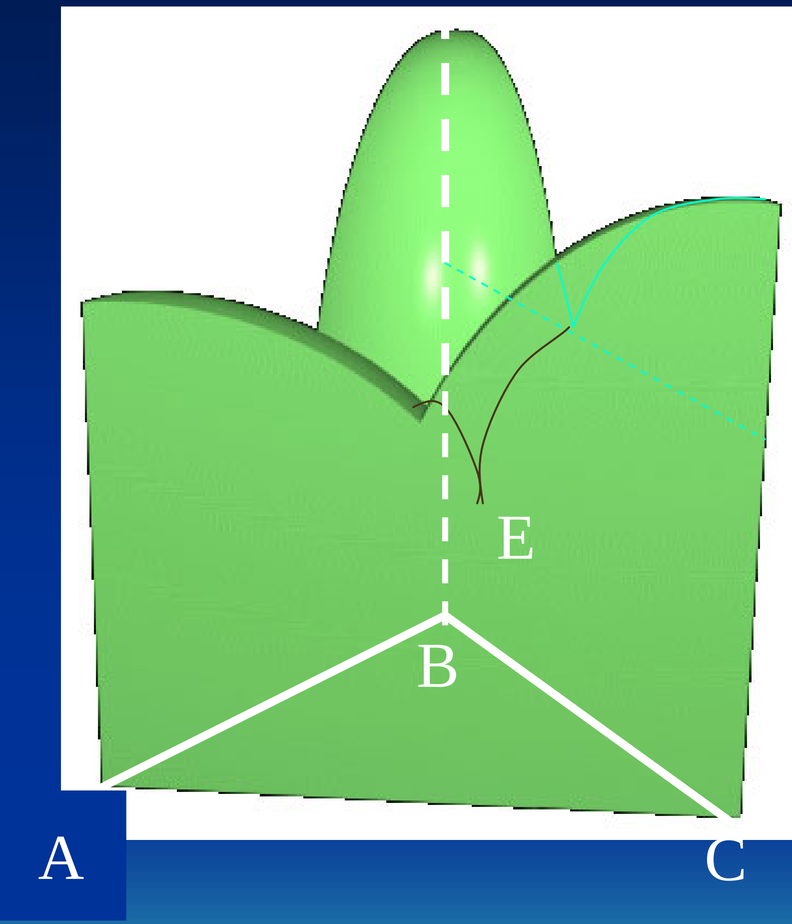


三元系中的重心法则

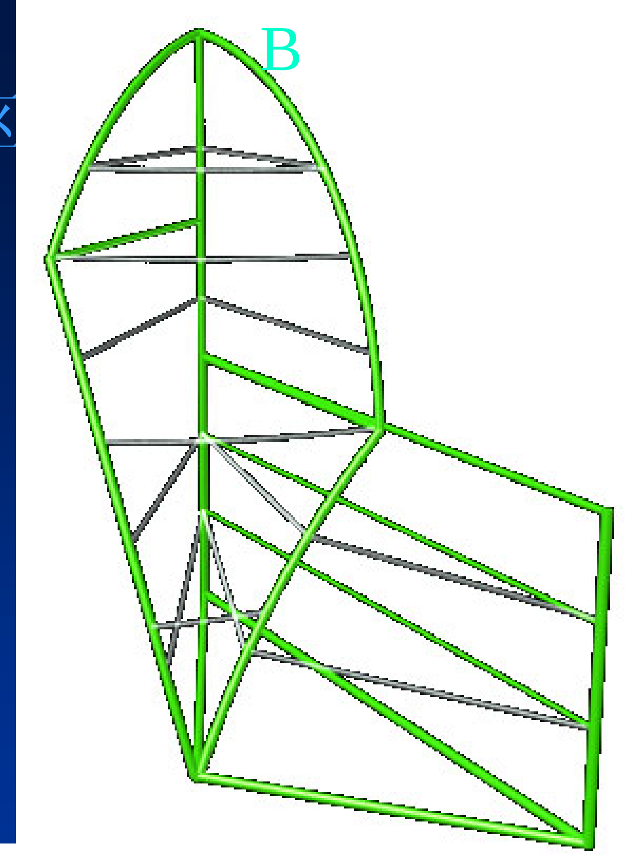
o点正好位于ΔDEF的质量重心，故称上面三个式子表达的规律为三元系的重心法则或重心定律。

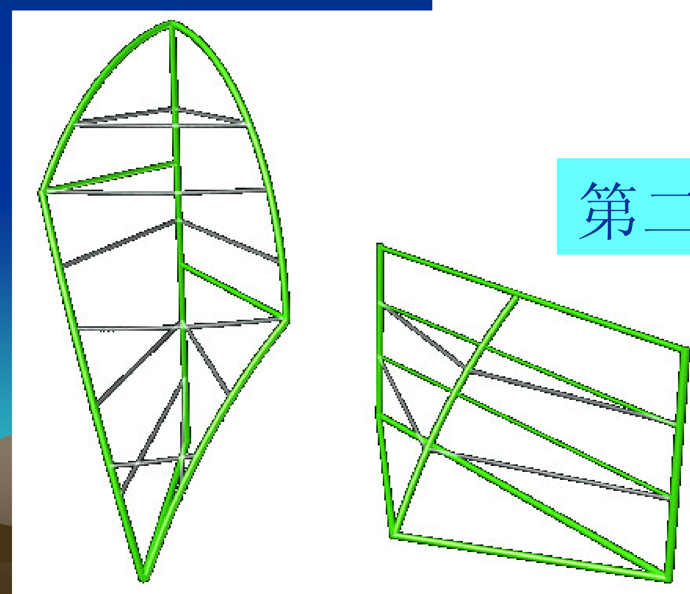
四、三元共晶相图

1）相图的构成

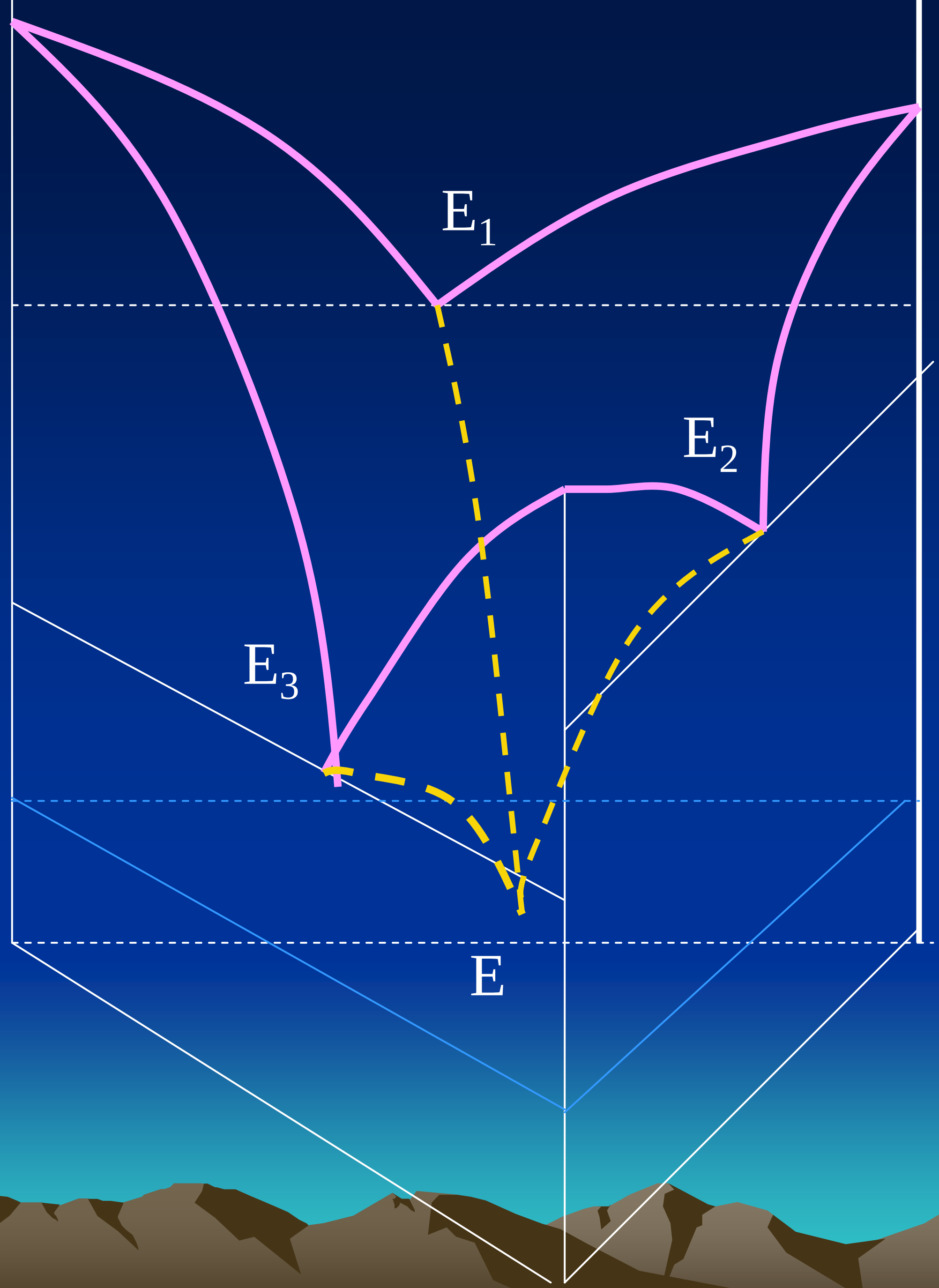


第一结晶区

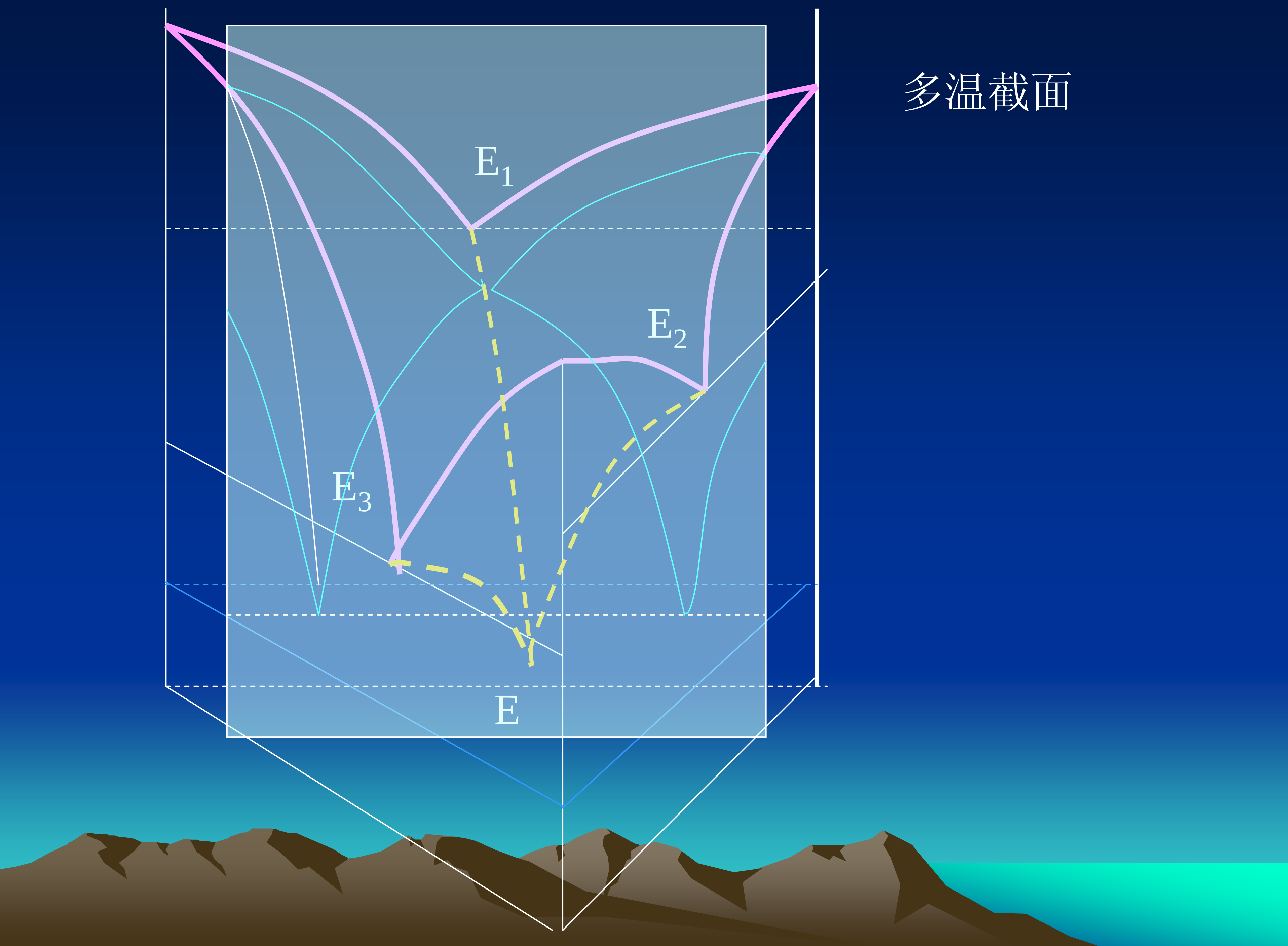


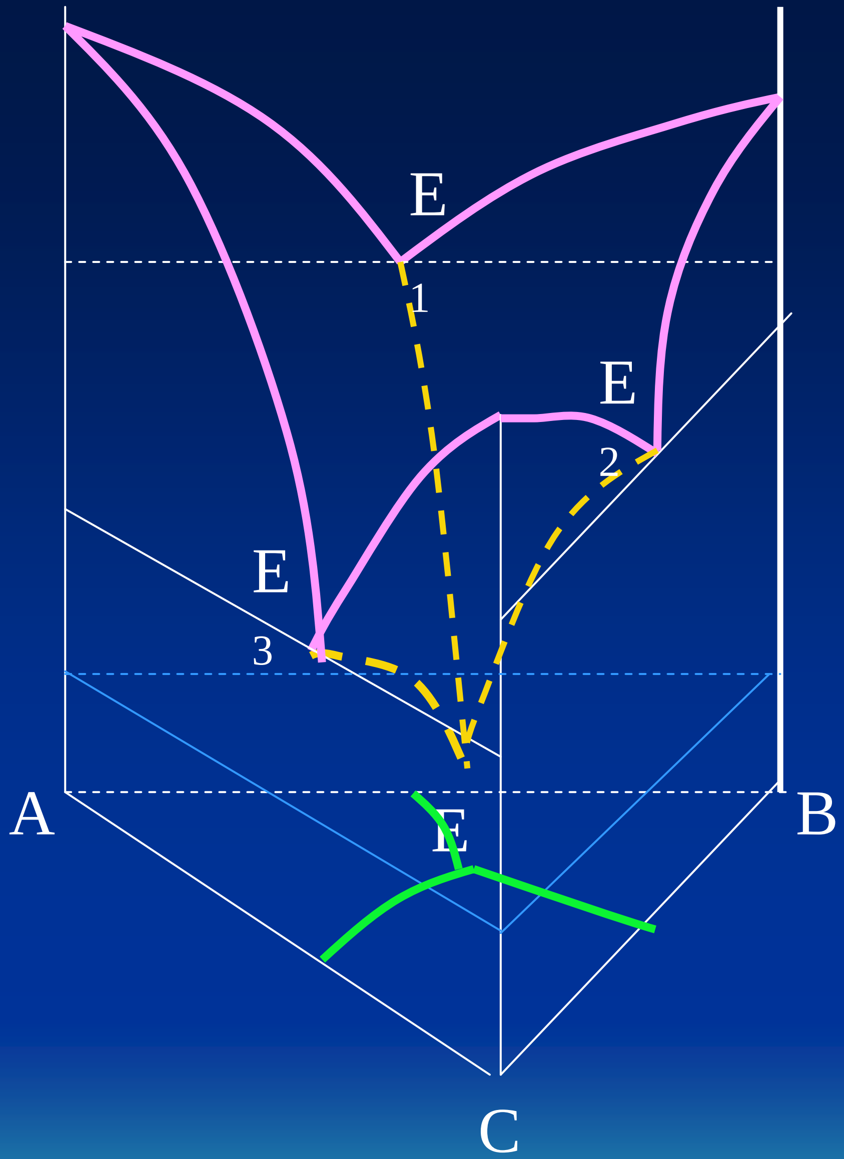


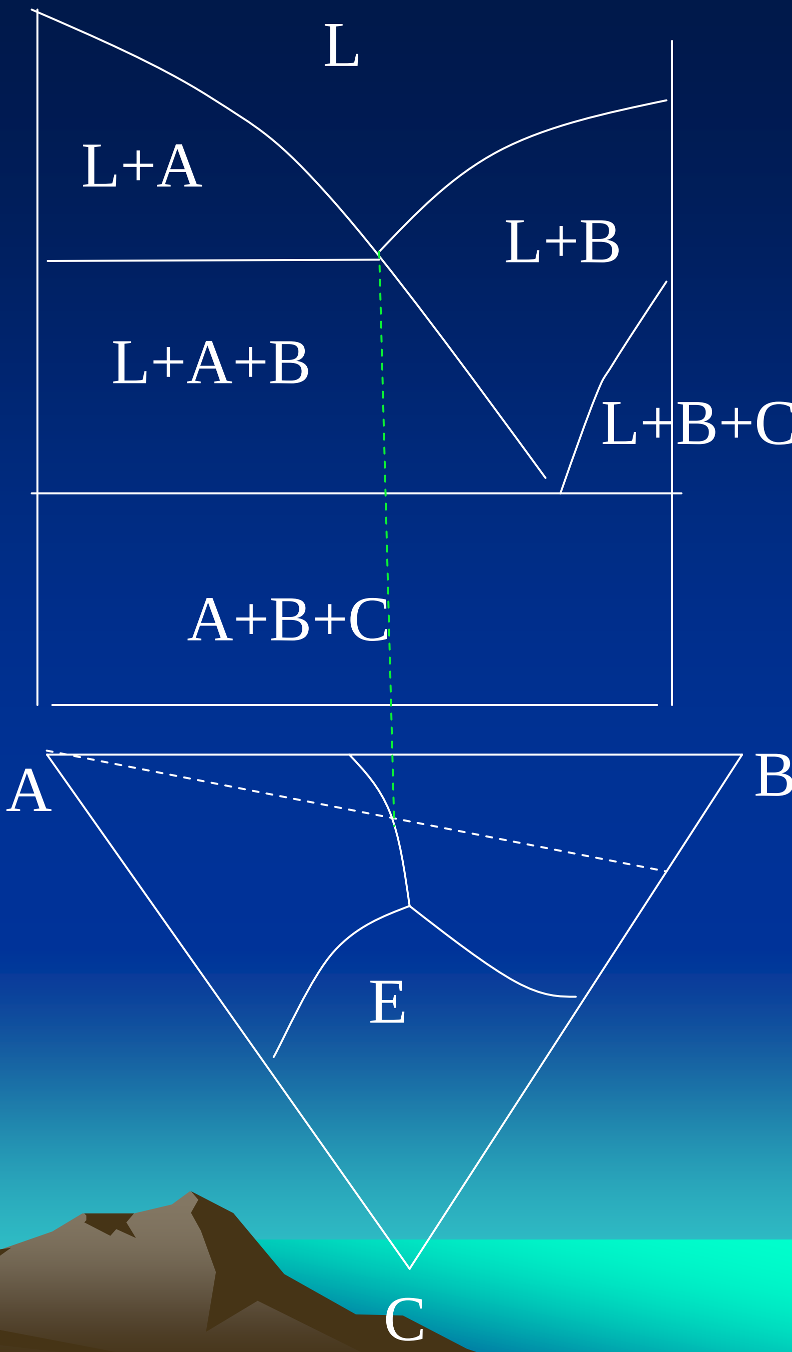
第二结晶区



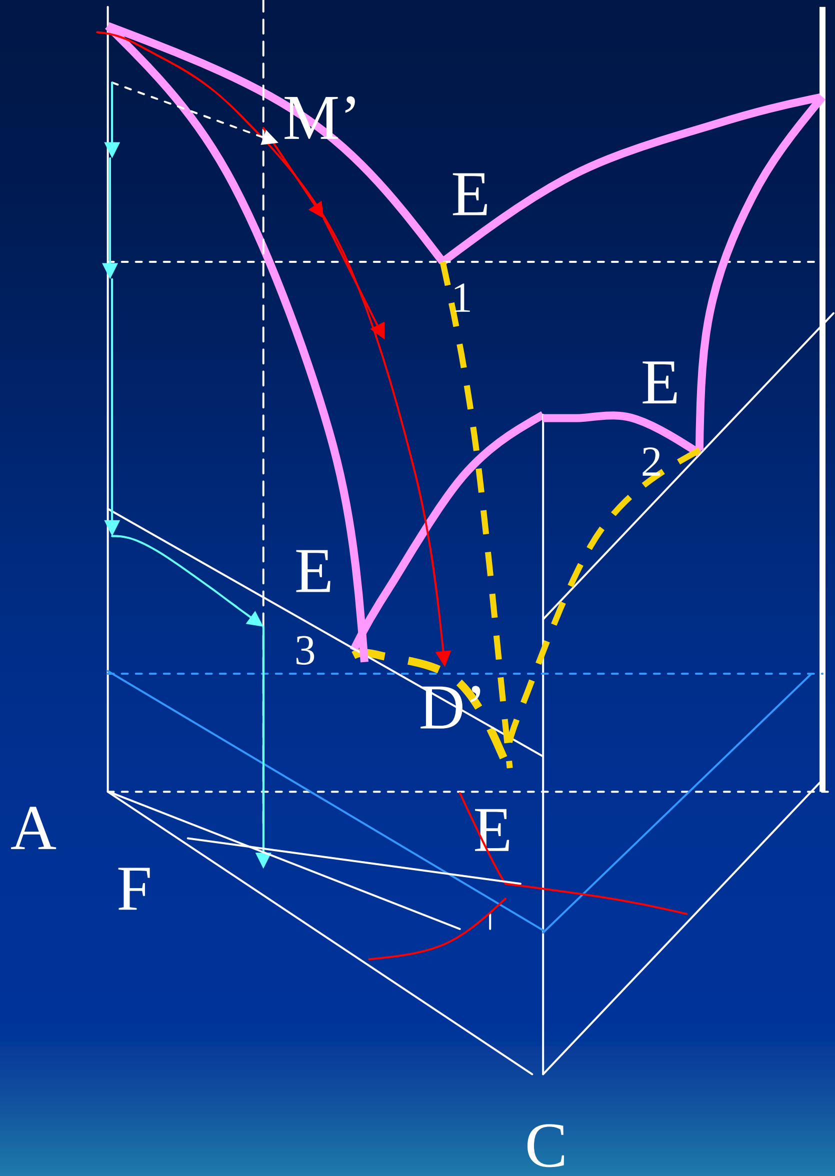
E_1
E_2
E_3
E


多温截面
E_1
E_2
E_3
E

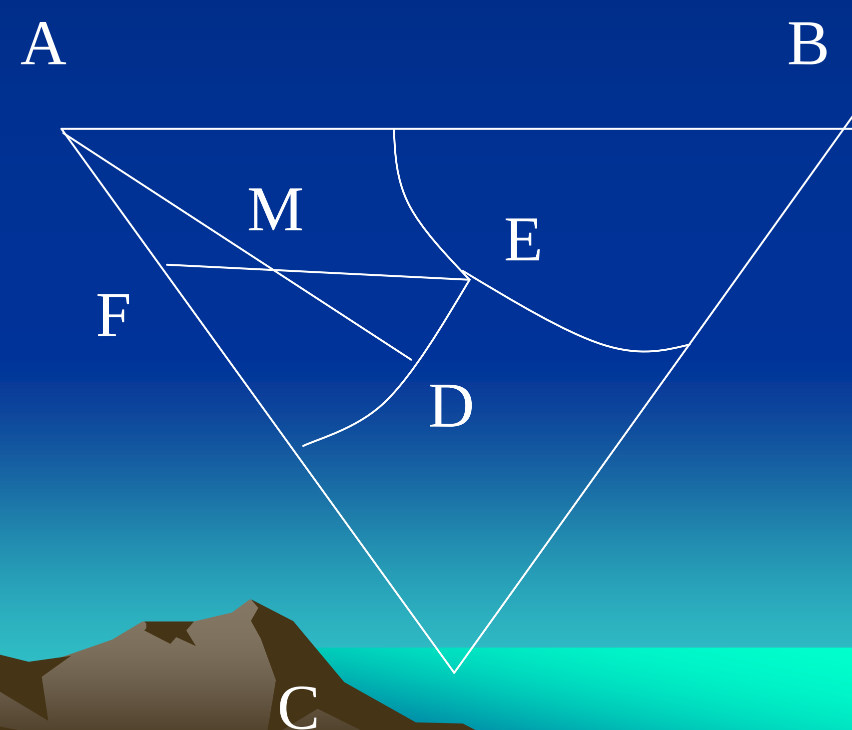

E
1
E
2
E
3
A
B
E
C


L
L+A
L+B
L+A+B
L+B+C
A+B+C
A
B
E
C

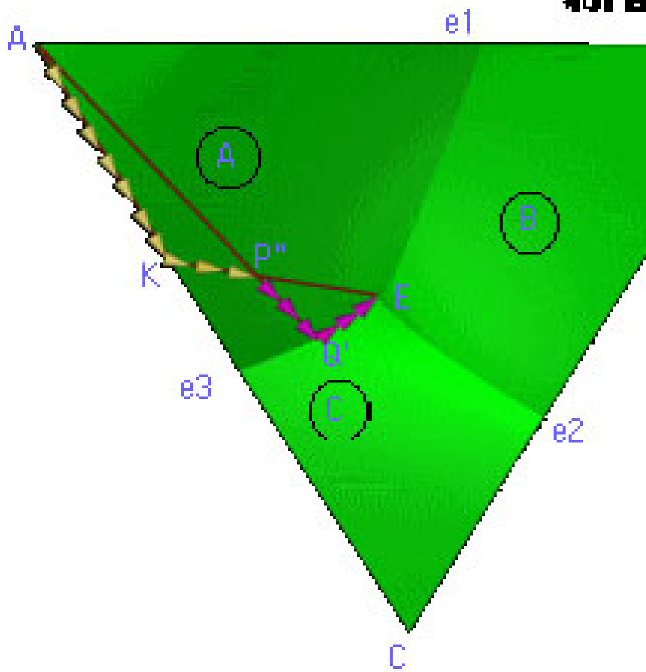
$$L: M' \xrightarrow[L\to A]{f=2} D' \xrightarrow[L\to A+C]{f=1} E \begin{bmatrix} f=0 \\ L\to A+B+C \\ L\to 0 \end{bmatrix}$$

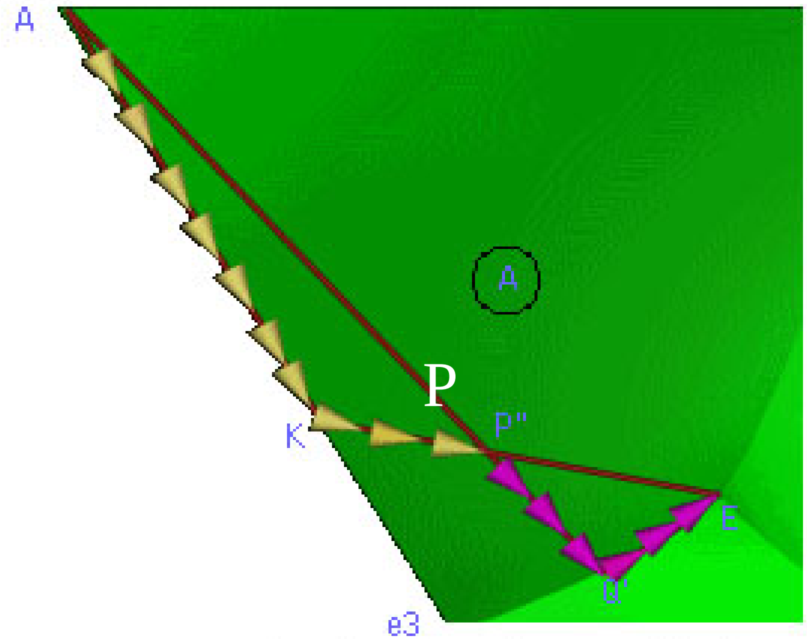


S:A ⟶ A ⟶ F ⟶ M



析晶过程分析





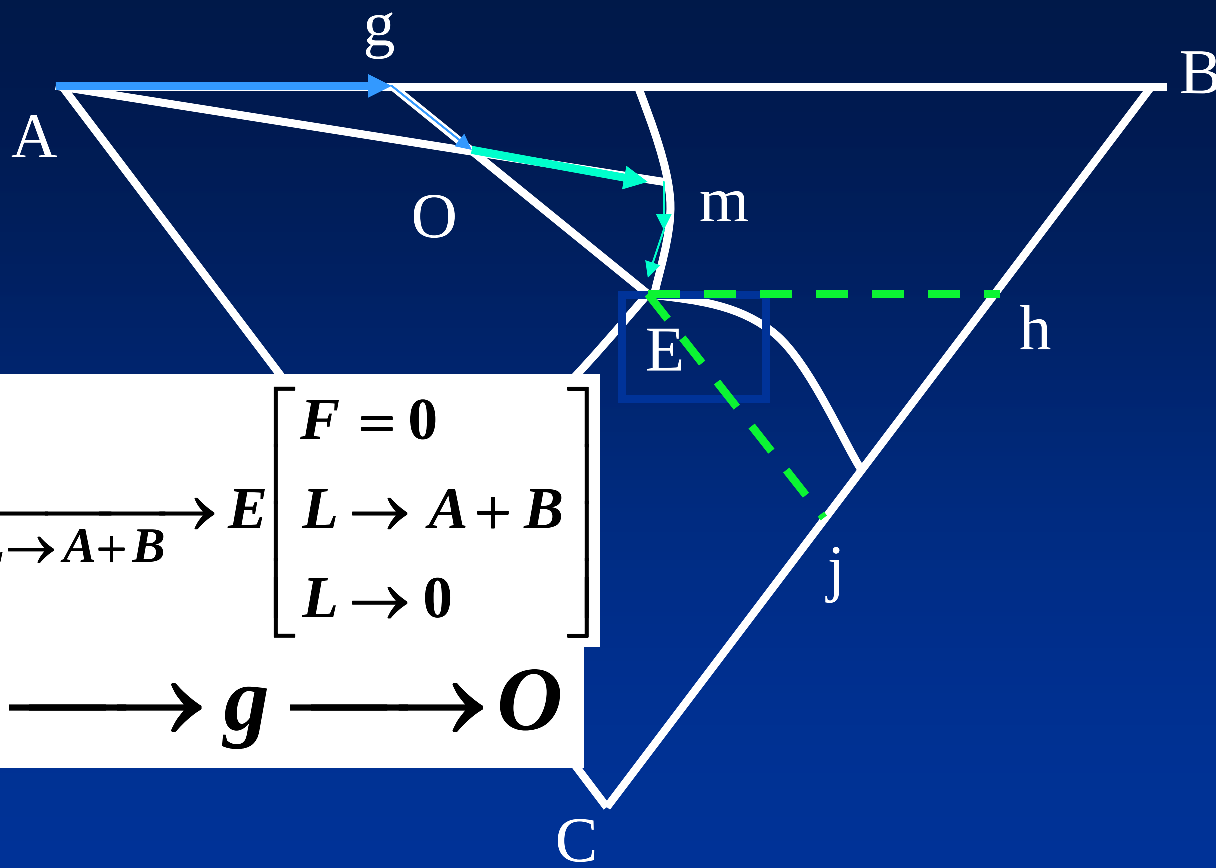
液相路程：

P" ---------- Q' -----E [f=0 L->A+B+C 直到[液相消失]
(L-->A) (L->A+C)

固相路程：

A———— K——P"

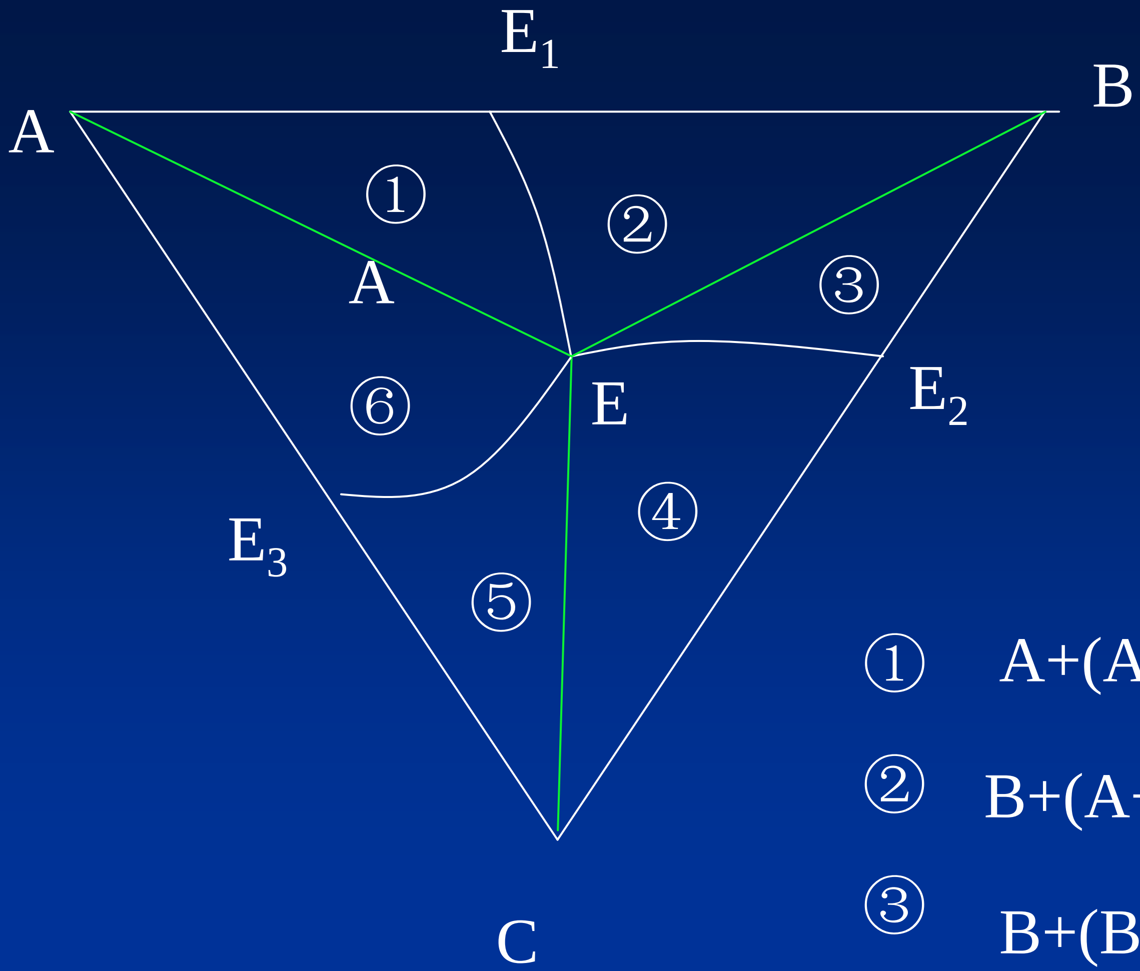
固相线在A点不动时，液相线由P"至Q'。当固相线由A至K时，液相线由Q'至E。当固相线由K至P"时，液相线在E点不动。总之，固相点、液相点、物质组成点三点成一条直线。



$$L: O \xrightarrow[L\to A]{} m \xrightarrow[L\to A+B]{} E \begin{bmatrix} F=0 \\ L\to A+B \\ L\to 0 \end{bmatrix}$$

$$S: A \longrightarrow A \longrightarrow g \longrightarrow O$$

	A	B	C	L
刚到E	(OE/gE)·Bg	(OE/gE)·Ag	微量	gO/gE
离开E	hj	Cj	Bh	微量



① A+(A+B)+(A+B+C)

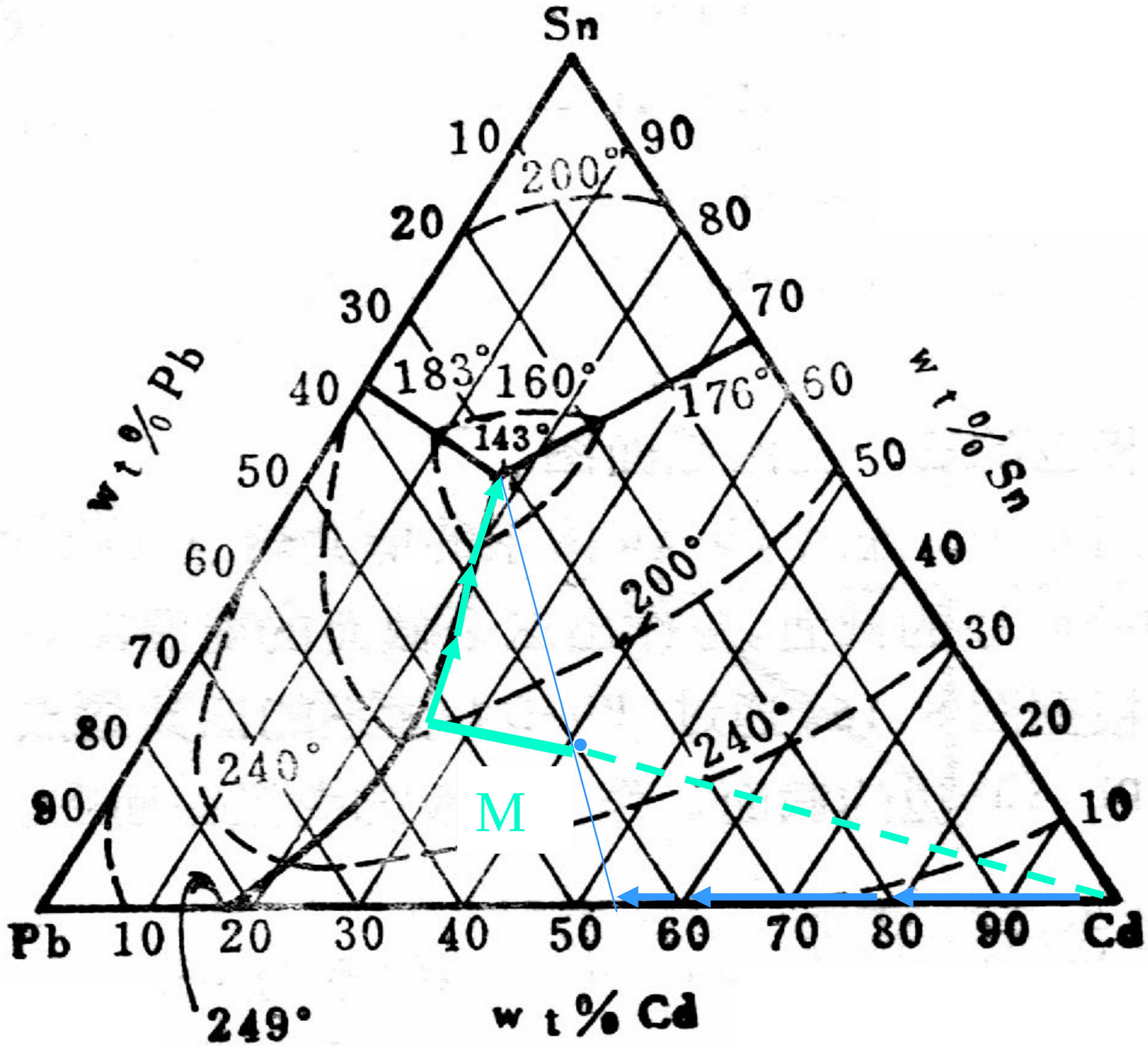
② B+(A+B)+(A+B+C)

③ B+(B+C)

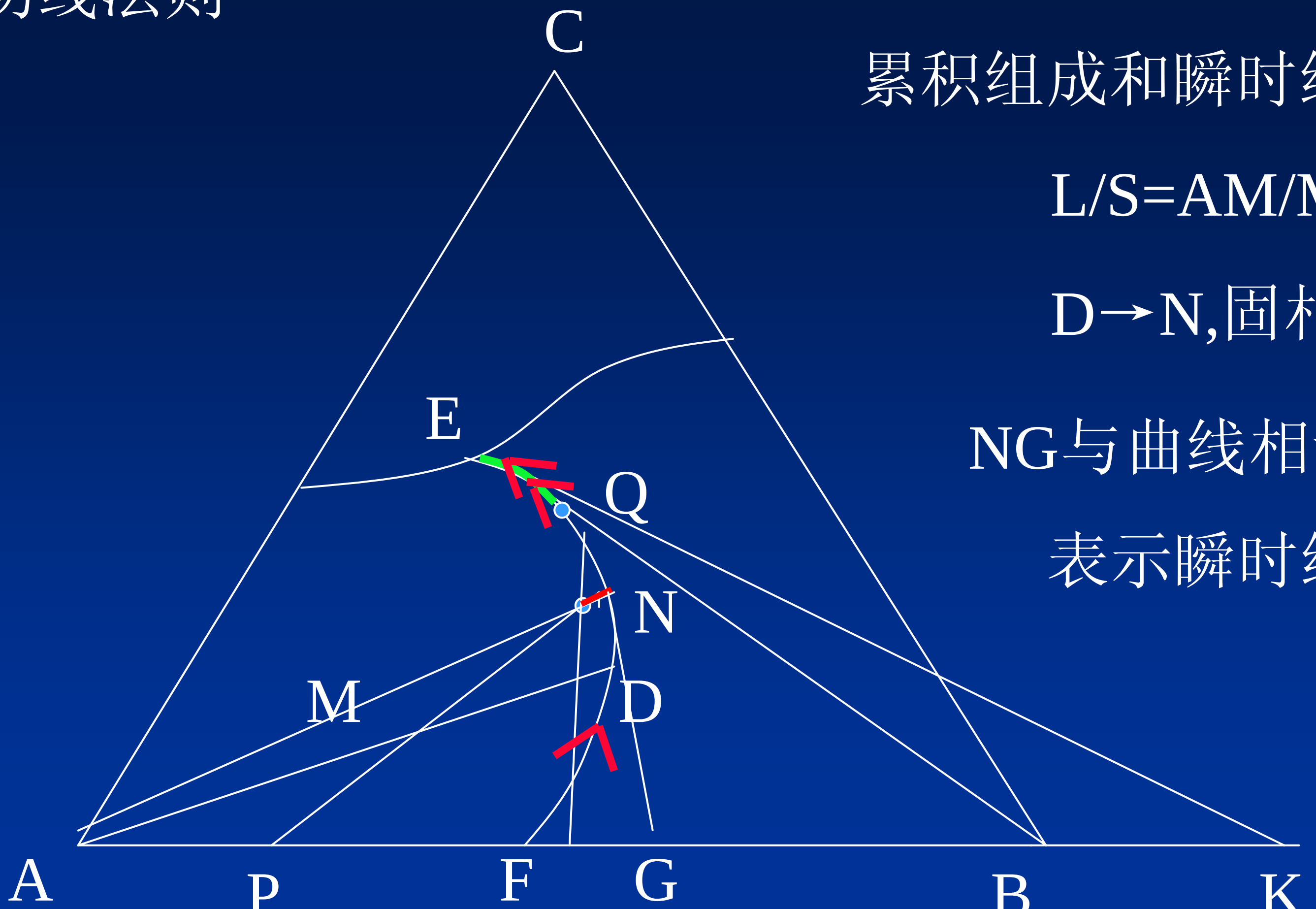
④

⑤

⑥


Sn
Pb
Cd
w t % Pb
w t % Sn
w t % Cd
10
20
30
40
50
60
70
80
90
200°
183°
160°
143°
176°
240°
249°
M

1. 切线法则



累积组成和瞬时组成

L/S=AM/MD

D→N,固相中A/B=PB/AP

NG与曲线相切

表示瞬时组成A/B=GB/AG

QB表示瞬时只析出B

切线法则用于判断界线性质

QE为转熔线：转熔远离的一相，即L+A→B

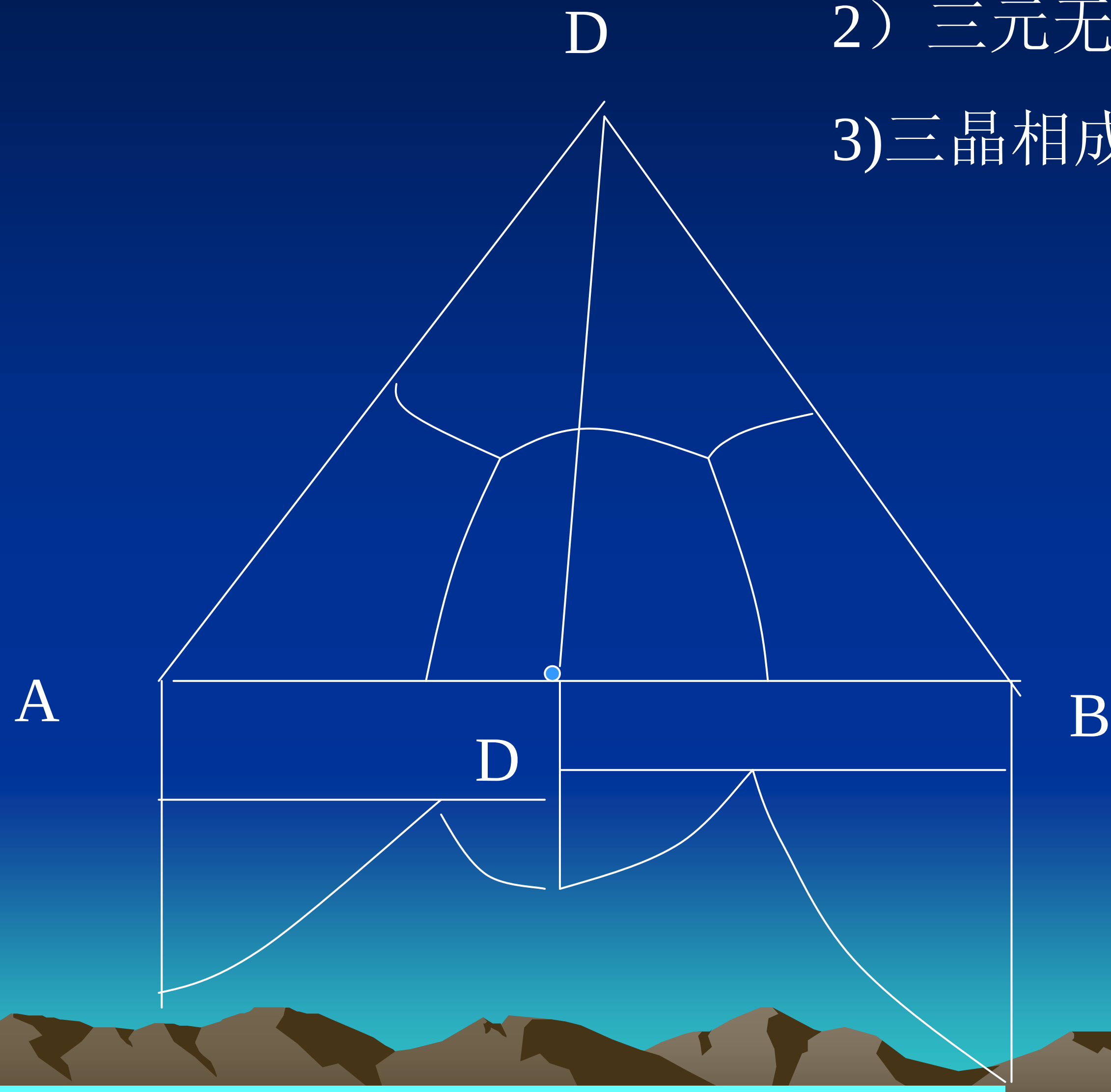
QD为共晶线：L→A+B

2.划分付Δ

1）找出三元无变量点；

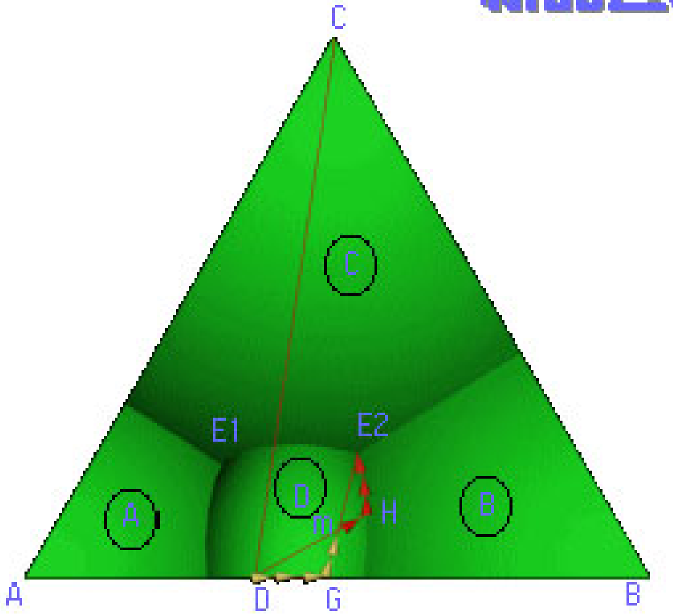
2）三元无变量点周围的三个相；

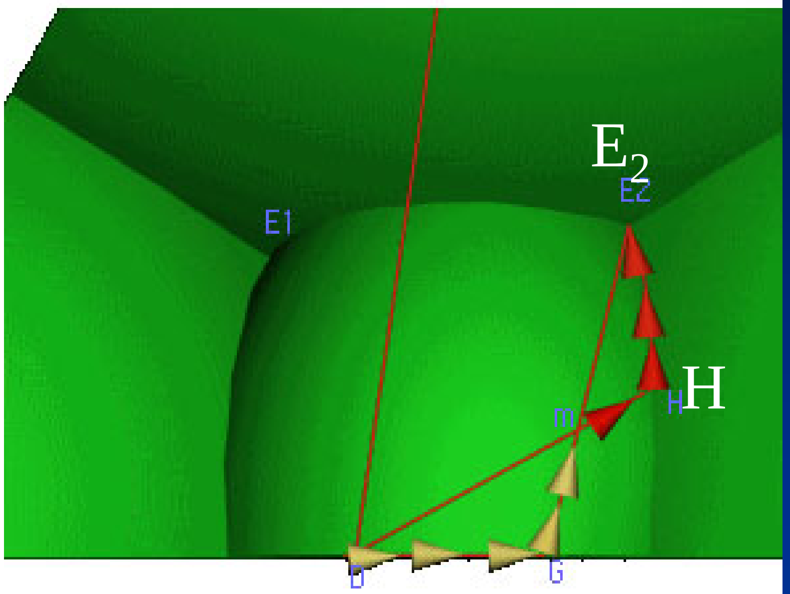
3)三晶相成分点构成Δ



有共同界线的两相其组成点可以相连

析晶过程





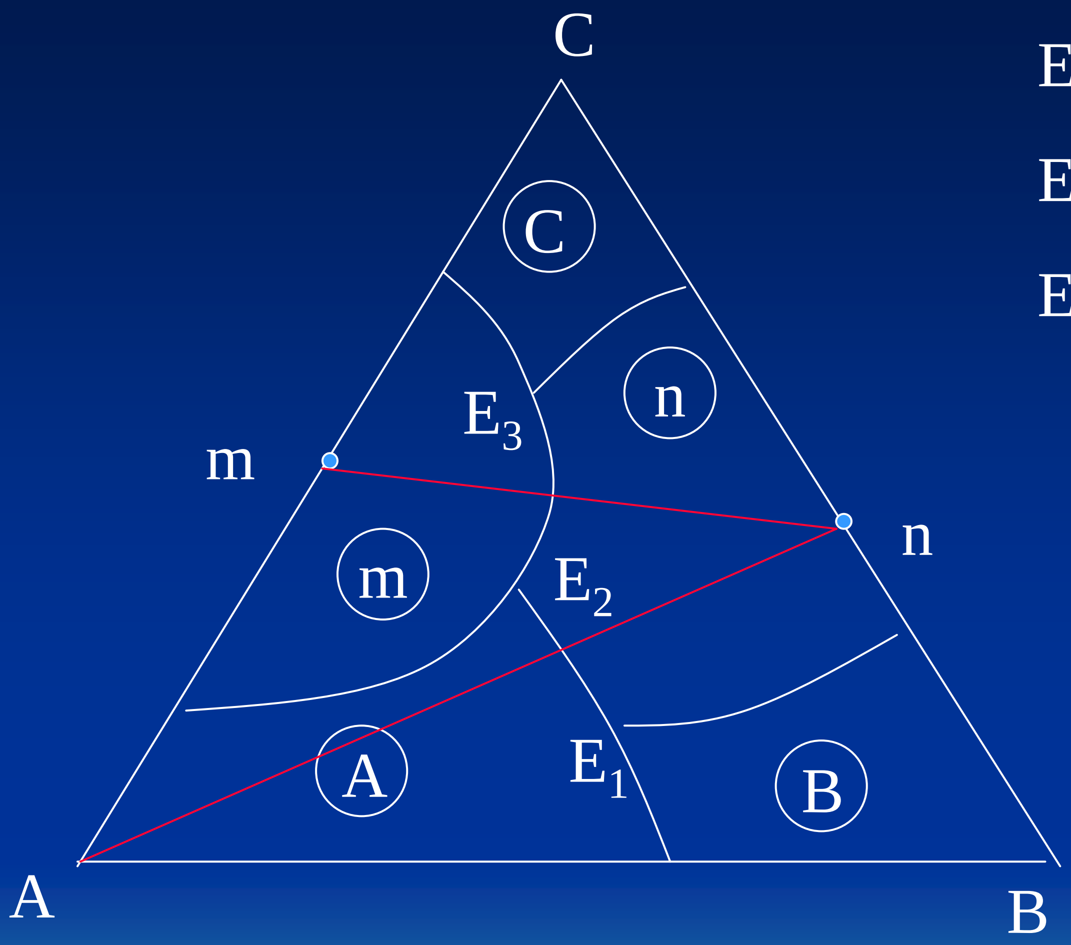
液相路程：

$$m \xrightarrow{L \to D} K \xrightarrow{L \to B+D} E2 \left[\begin{matrix} f=0 \\ L \to B+D+C \end{matrix} \right]$$

固相路程：

D — — — — ——— G — —m

固相线在D点不动时，液相线由m至H。当固相线由D至G时，液相线由A至E2。当固相线由G至m时，液相线在E2点不动。总之，固相点、液相点、物质组成点三点成一条直线。

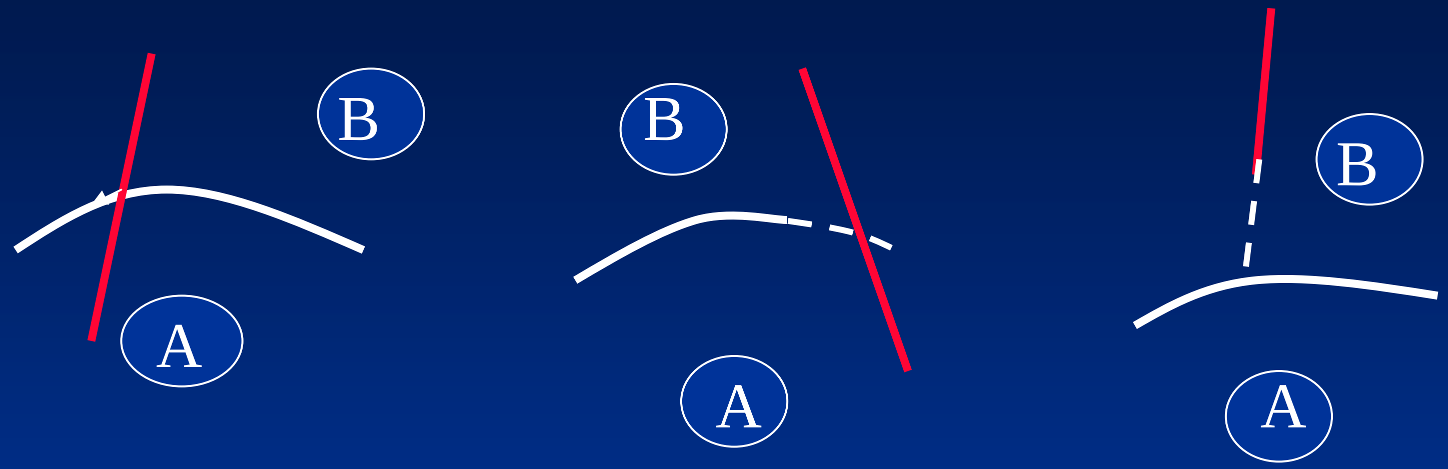


E_1: A、n、B

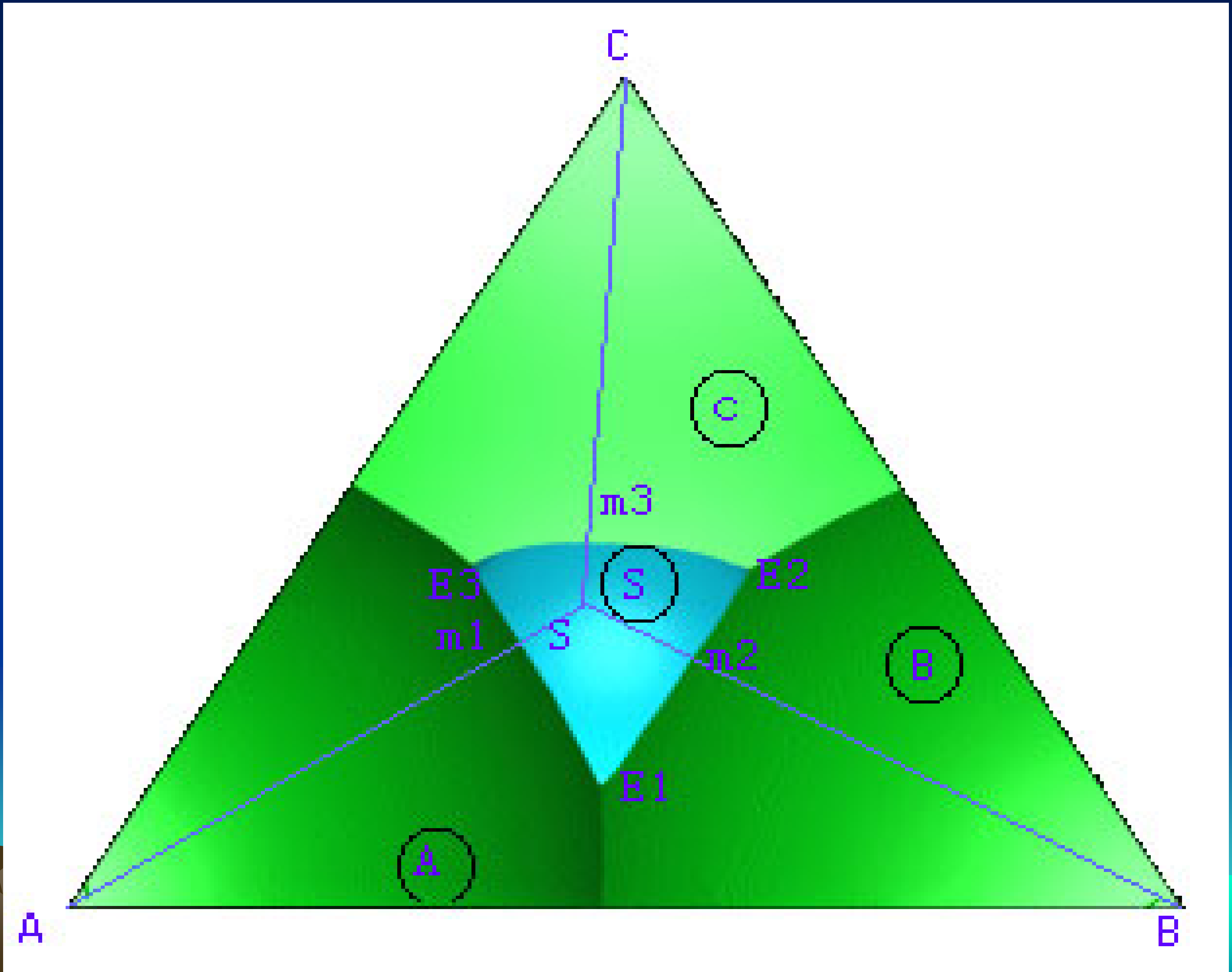
E_2: A、m、n

E_3: m、n、C

3. 连接线规则



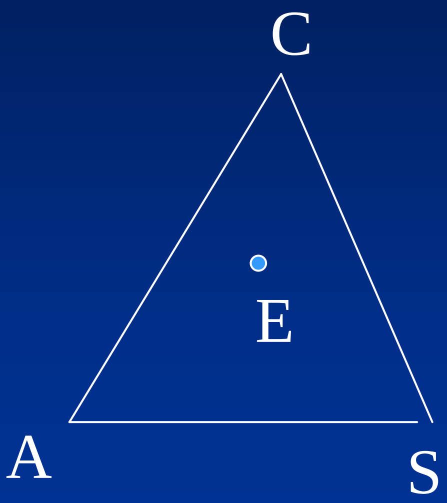
判断界线上温度最高点



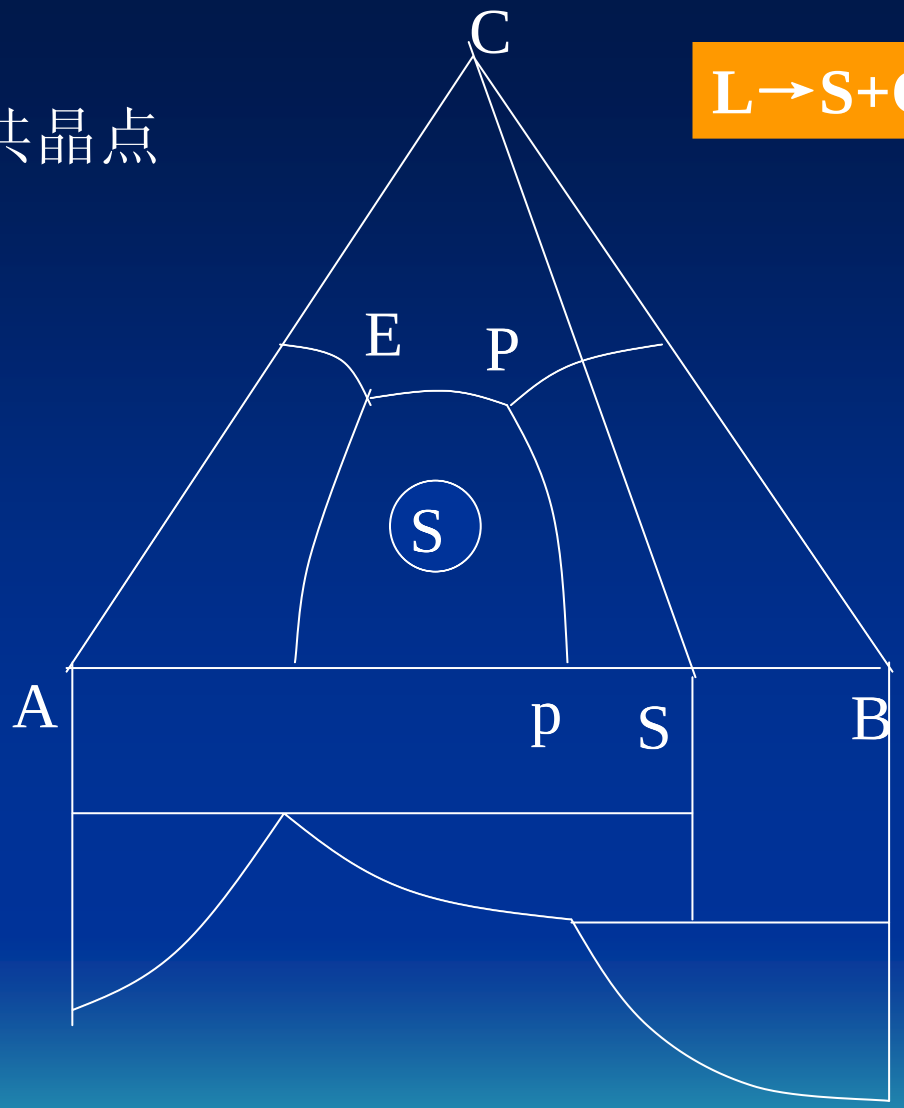
C
A
B
c
m3
S
E3
E2
m1
S
m2
B
E1
A

包共晶相图 E共晶点

L→S+C+A



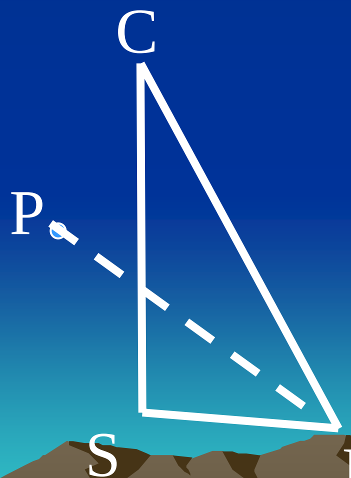
重心位置

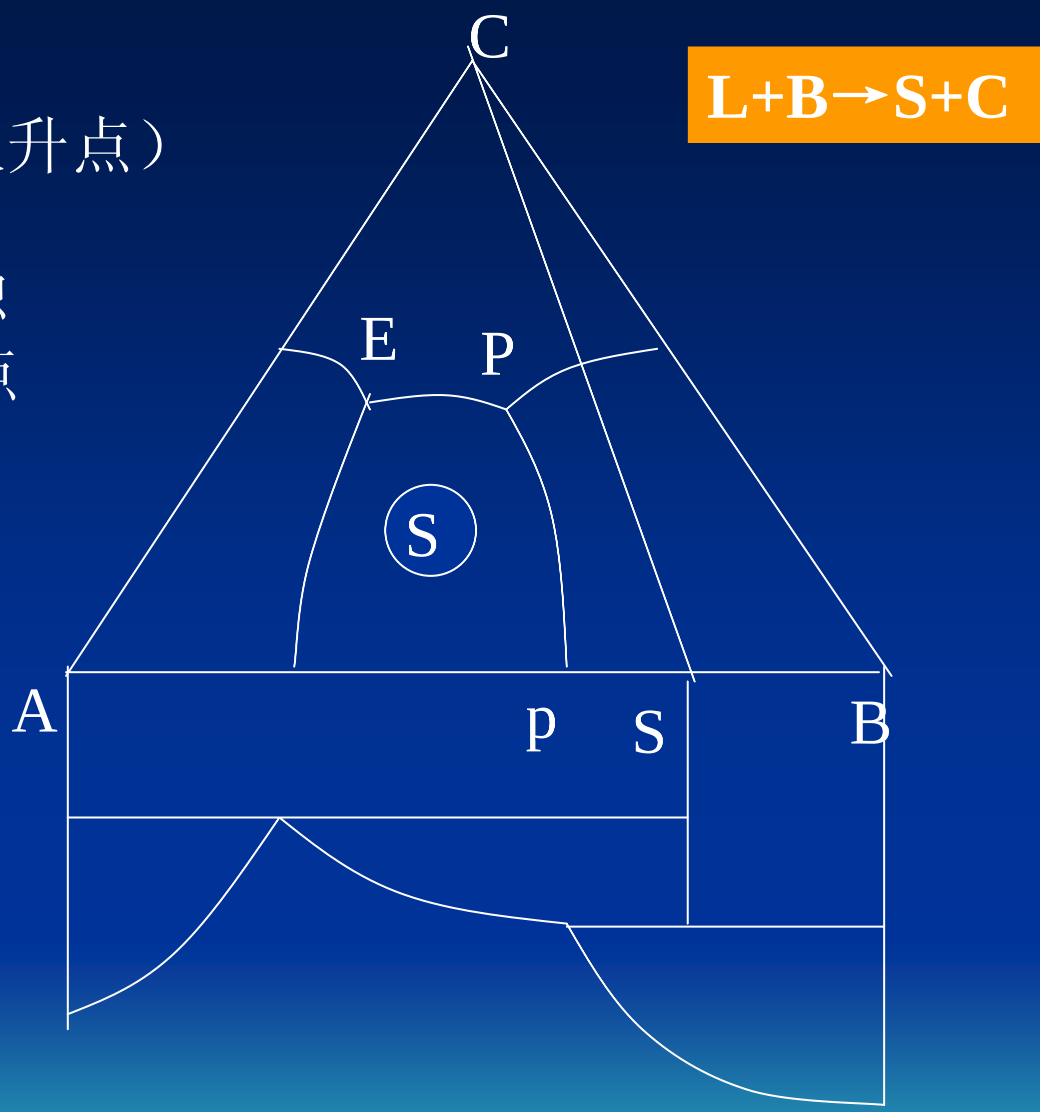


包共晶相图（双升点）

S 为不一致熔融化合物，组成点在其初晶区外

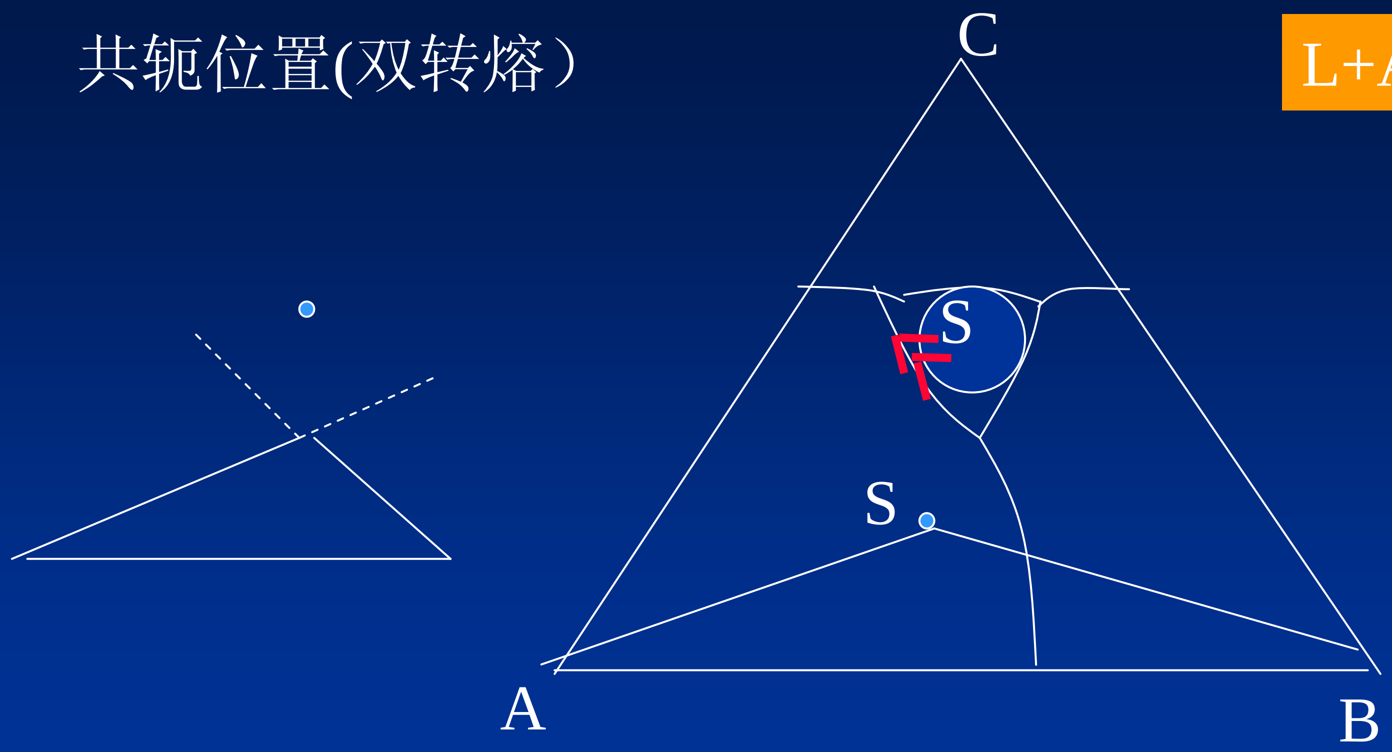
交叉位置

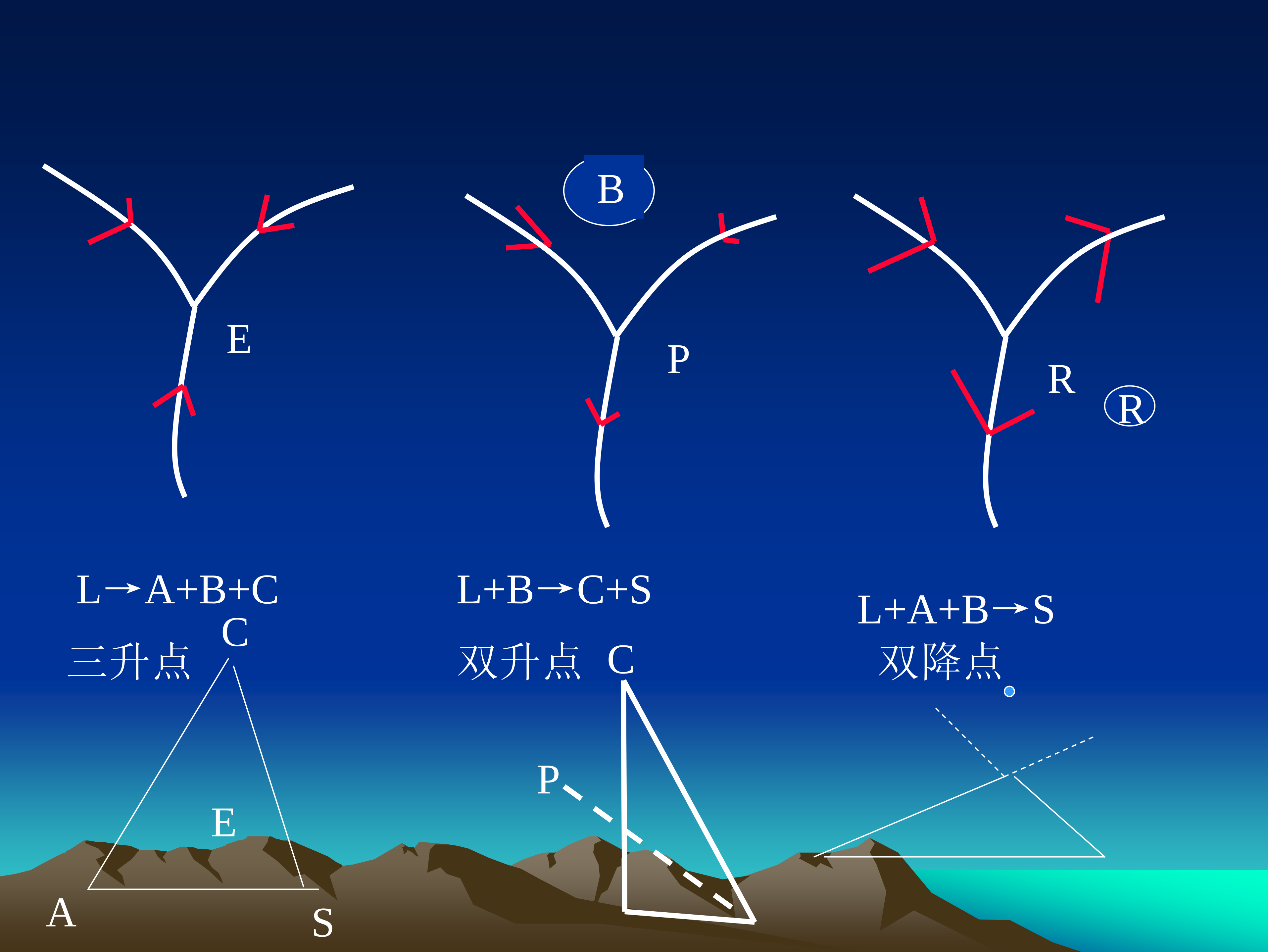




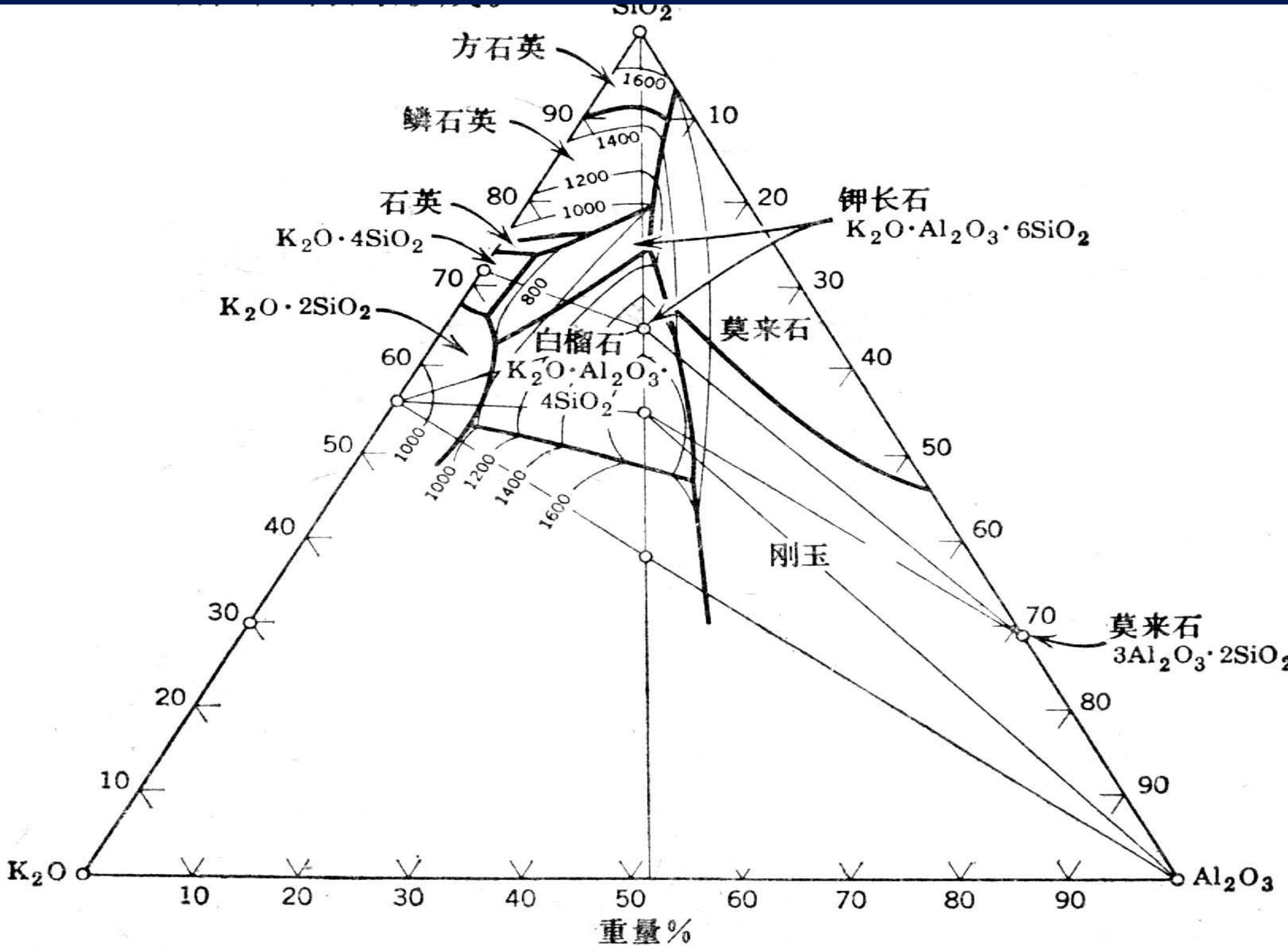
共轭位置(双转熔）

L+A+B→R




B
E
P
R
R
L→A+B+C
三升点
C
L+B→C+S
双升点
C
L+A+B→S
双降点
E
A
S
P

K-Al-Si


SiO2
方石英
1600
鳞石英
1400
1200
1000
石英
K2O·4SiO2
K2O·2SiO2
800
钾长石
K2O·Al2O3·6SiO2
莫来石
白榴石
K2O·Al2O3·4SiO2
1000
1200
1400
1600
刚玉
莫来石
3Al2O3·2SiO2
K2O
Al2O3
10
20
30
40
50
60
70
80
90
重量%

一、交叉位置

（二）通过P点

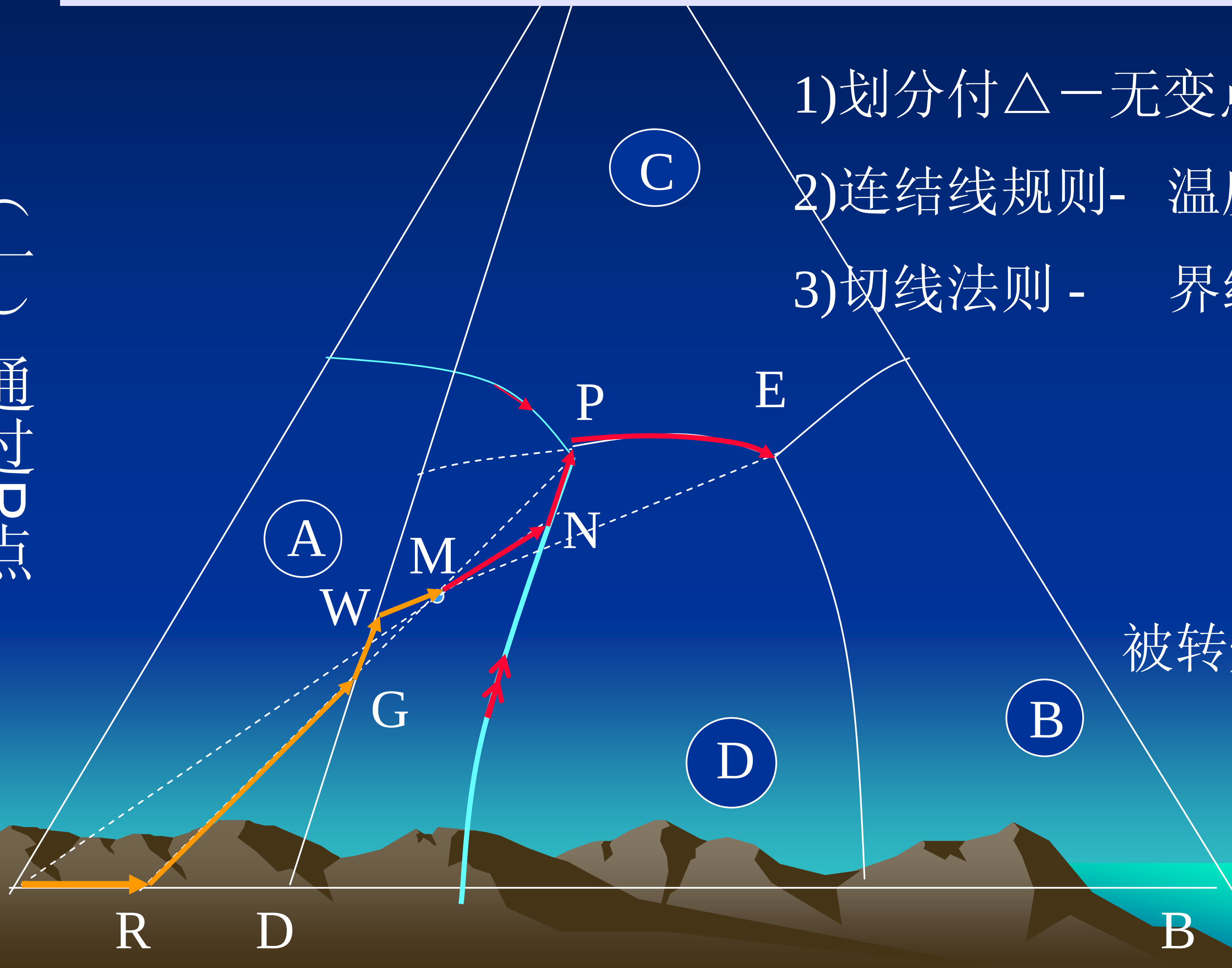
L: $M \xrightarrow[L\to A]{F=2} N \xrightarrow[L+A\to D]{F=1} P\begin{pmatrix} F=0 \\ L+A\to D+C \\ A\to 0 \end{pmatrix} \xrightarrow[L\to D+C]{F=1} E\begin{pmatrix} f=0 \\ L\to B+C+D \\ L\to 0 \end{pmatrix}$

S: A → A → R → G → W → M

1)划分付△一无变点性质P、E

2)连结线规则- 温度下降方向

3)切线法则 - 界线性质

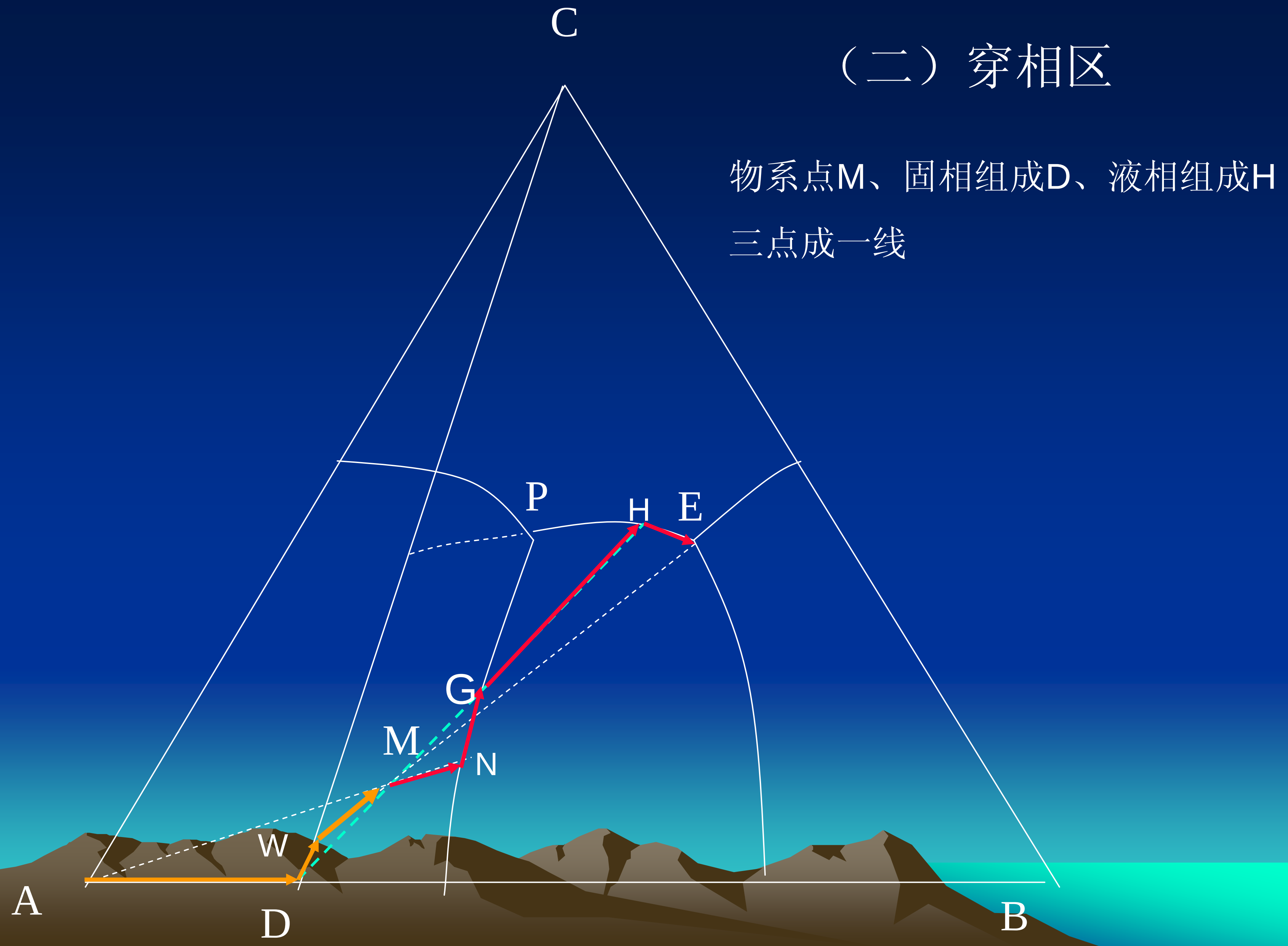


被转熔相先消失

（二）穿相区

物系点M、固相组成D、液相组成H

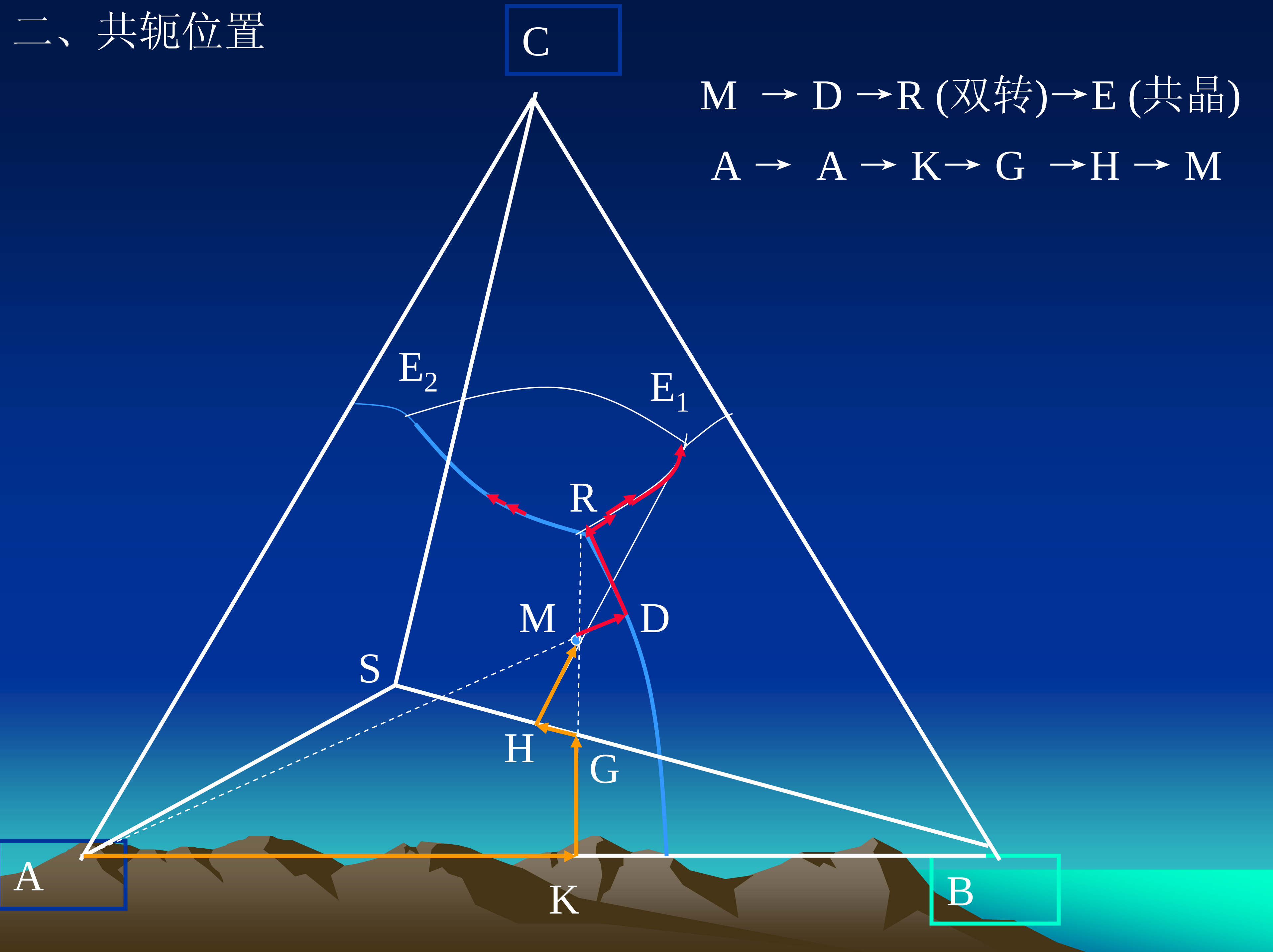
三点成一线



二、共轭位置

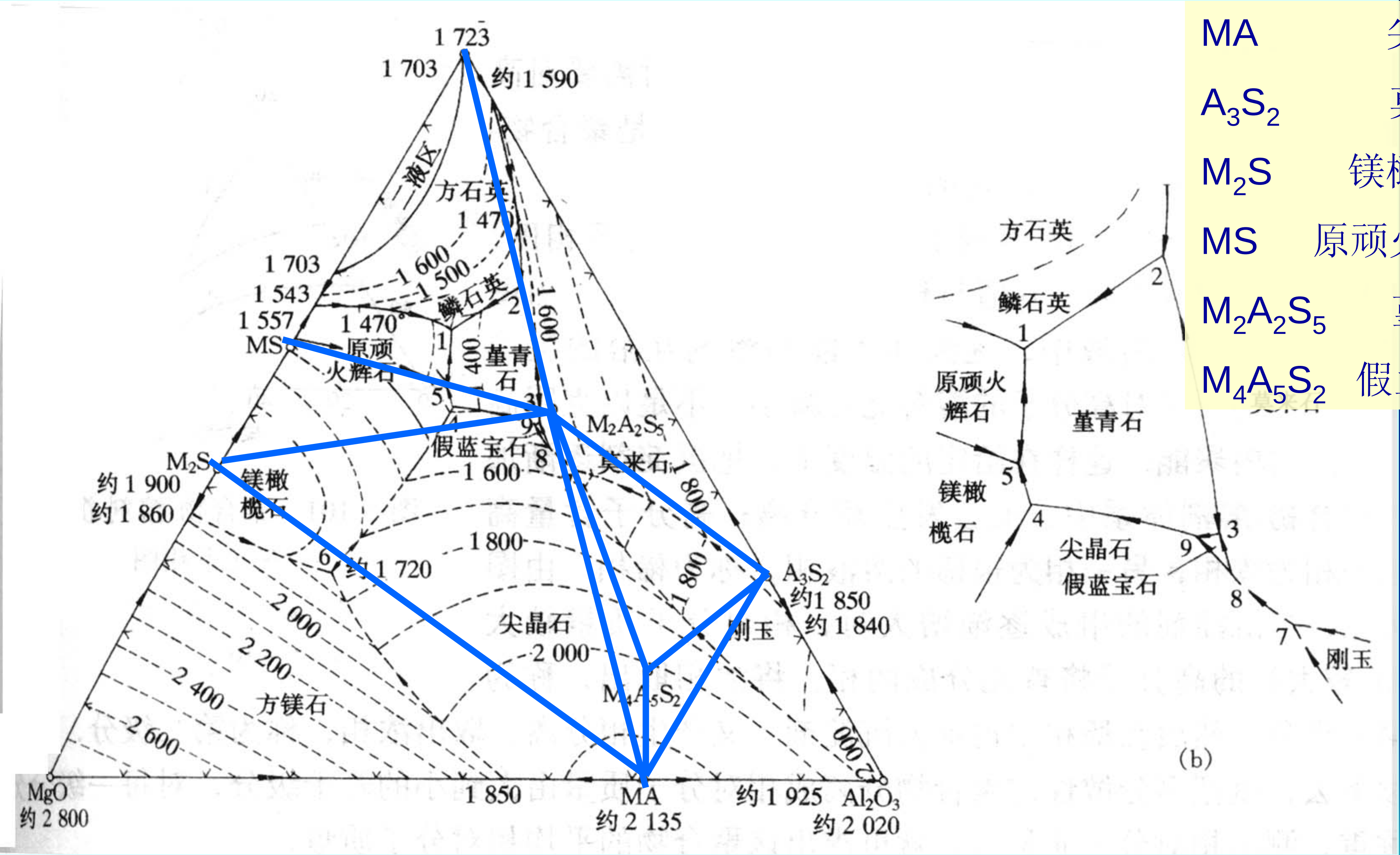
M → D →R (双转)→E (共晶)

A → A → K→ G →H → M



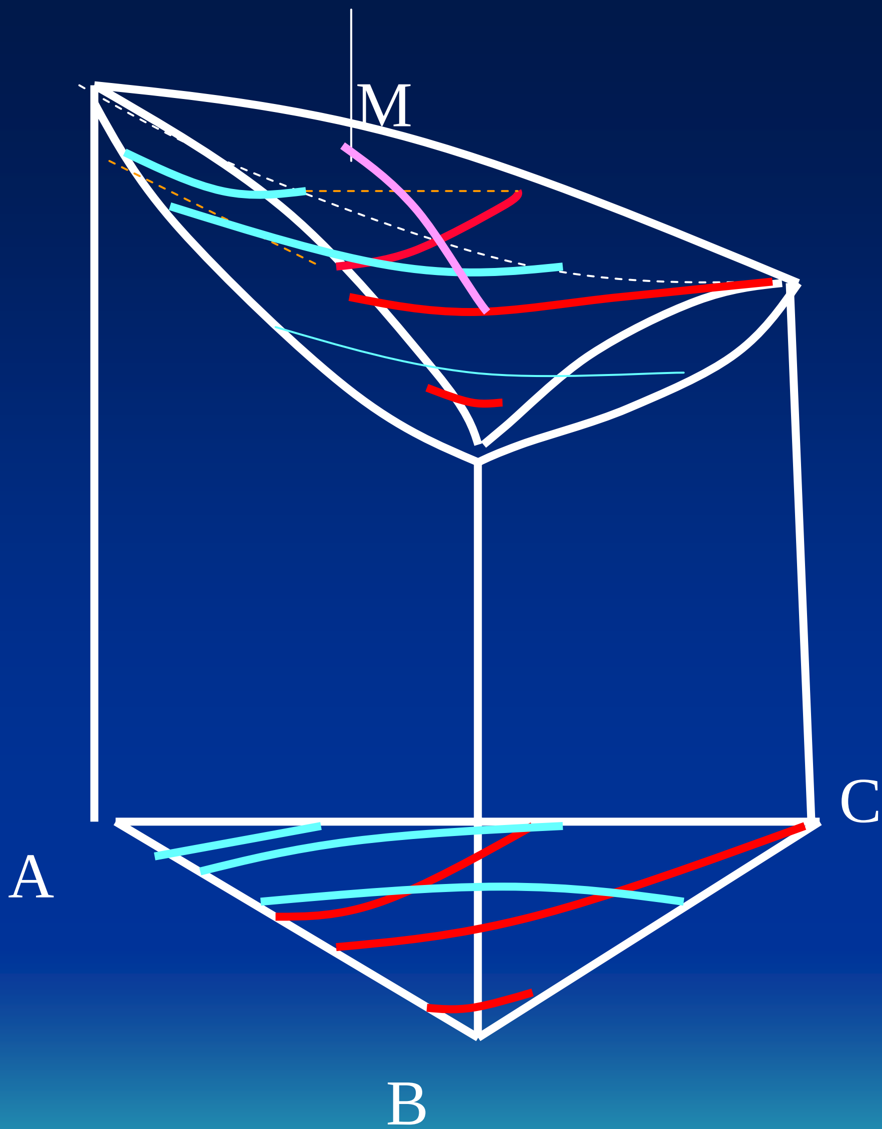
1. 共晶 L→S+MS+M2A2S5 2. 包共晶L+A3S2→S+M2A2S5 3. 包共晶$L+A_3S_2 \rightarrow S+M_2A_2S_5$

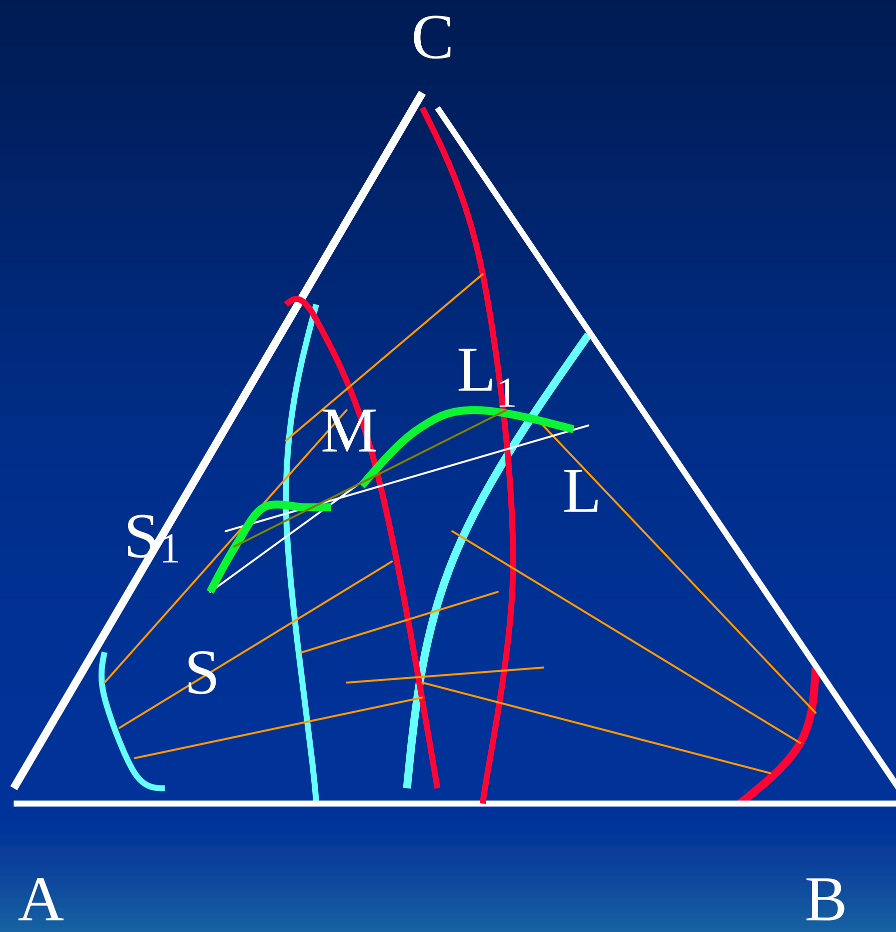
4. 包共晶 5. 共晶 $L \rightarrow M_2S+M_2A_2S_5+MS$ 8. 包晶 $L+MA+A_3S_2 \rightarrow M_4A_5S_2$



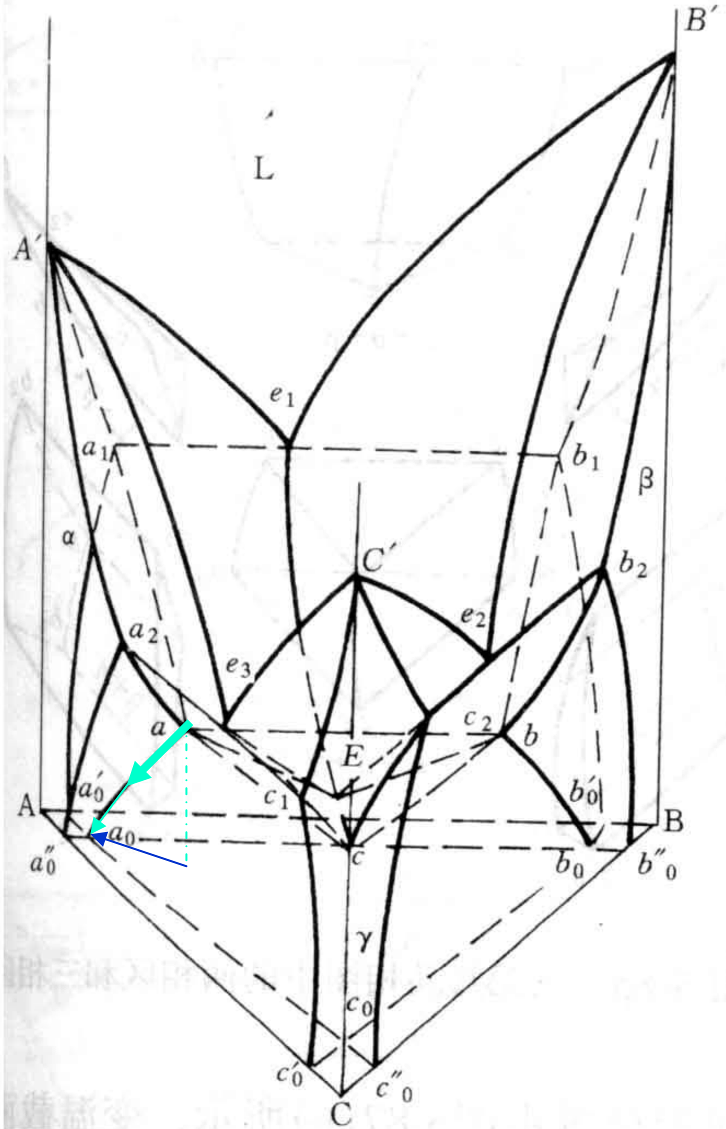
MA	尖晶石
A_3S_2	莫来石
M_2S	镁橄榄石
MS	原顽火辉石
$M_2A_2S_5$	堇青石
$M_4A_5S_2$	假兰宝石

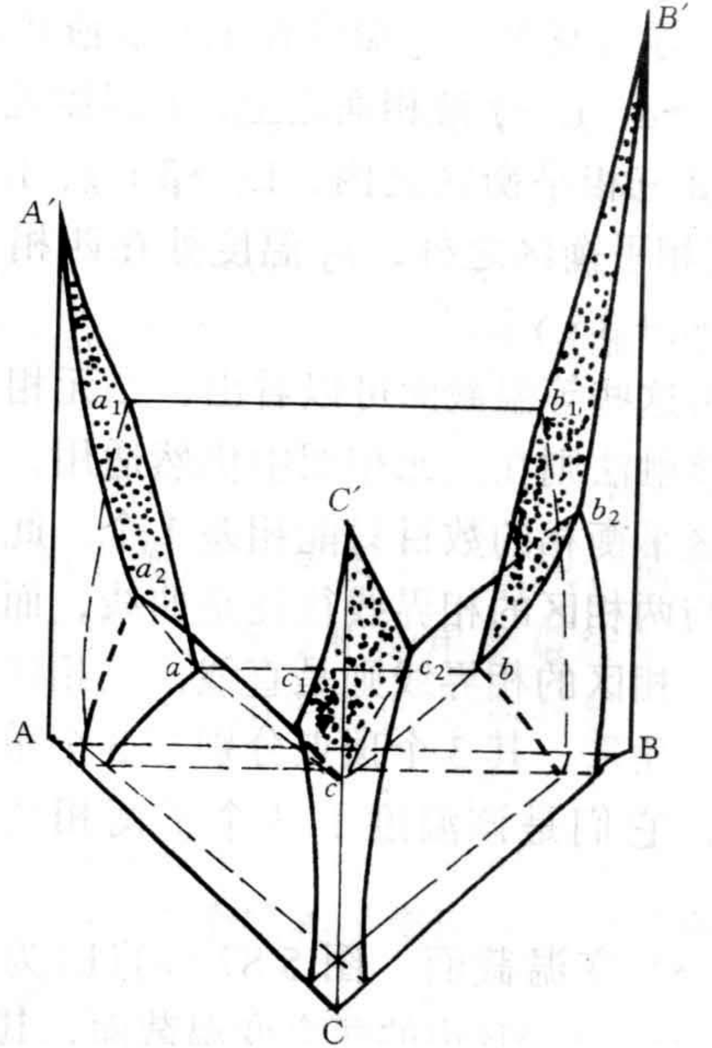
Phase Diagram for Ceramicists

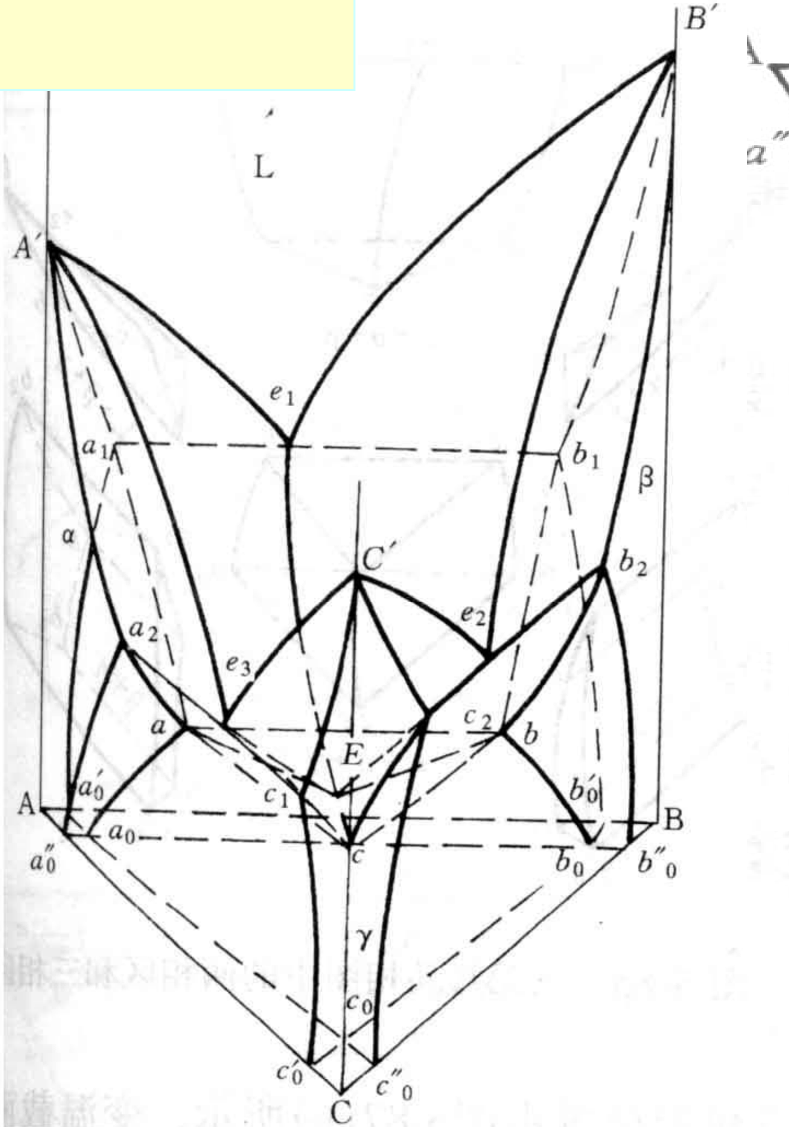


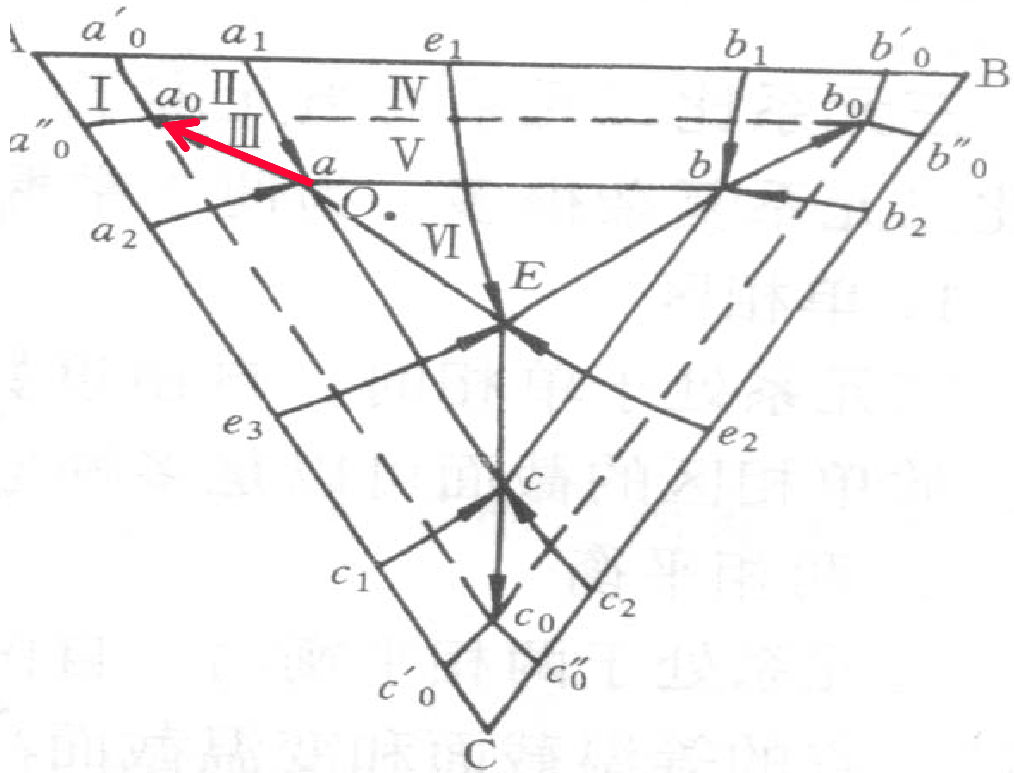


结线向熔点低的相旋转


B′
L
A′
e1
a1
b1
β
α
C′
b2
e2
a2
e3
a
c2
b
E
a′0
c1
b′0
A
B
a0
c
a″0
b0
b″0
γ
c0
c′0
c″0
C


B′
A′
a1
b1
C′
b2
a2
a
c1
c2
b
A
B
c
C





Ⅰ: α

Ⅱ: $\alpha + \beta_{II}$

Ⅲ: $\alpha + \beta_{II} + \gamma_{II}$

Ⅳ: $\alpha + (\alpha + \beta) + \alpha_{II} + \beta_{II}$

Ⅴ: $(\alpha + \beta) + \alpha_{II} + \beta_{II} + \gamma_{II}$