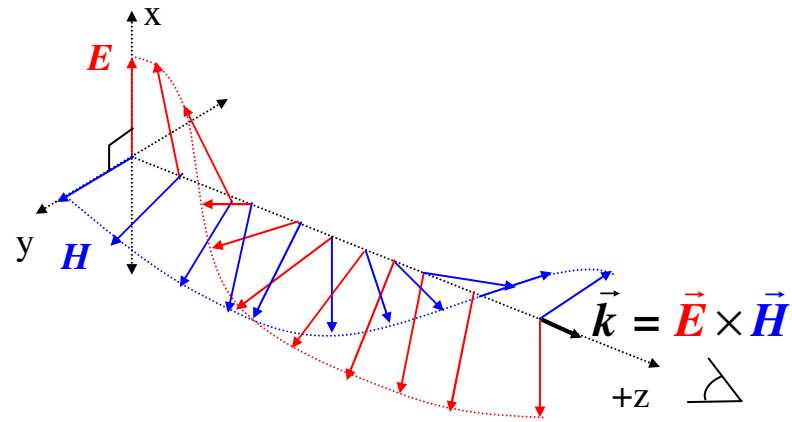


# 5. Ders

## Işığın Kutuplanması



Bu bölümü bitirdiğinizde,

- Işığın kutuplanma özelliği,
- Doğrusal, dairesel, eliptik kutuplu ışığın özellikleri,
- Kutuplayıcılar,
- Jones vektör ve matris gösterimi

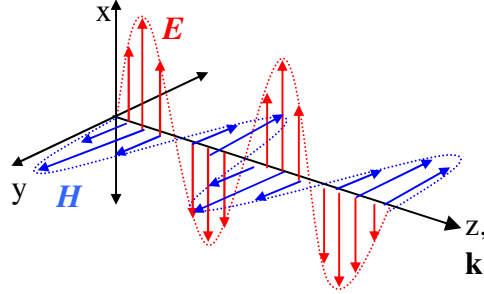
konularında bilgi sahibi olacaksınız.

# Beşinci Ders: İçerik

- Kutuplanma
- Doğrusal Kutuplu Işık
- Dairesel Kutuplu Işık
  - Sağ El Yönlü Dairesel Işık
  - Sol El Yönlü Dairesel Işık
- Eliptik Kutuplu Işık
  - Sağ El Yönlü Eliptik Işık
  - Sol El Yönlü Eliptik Işık
- Kutupluluğun Genel Gösterimi
- Jones Gösterimi
  - Jones Vektörleri
  - Jones Matrisleri
- Kutuplayıcılar
  - Doğrusal Kutuplayıcılar
  - Eliptik Kutuplayıcılar

# Işığın Kutuplanması

z-yönünde ilerleyen ışık için elektrik ve manyetik alan bileşenleri:

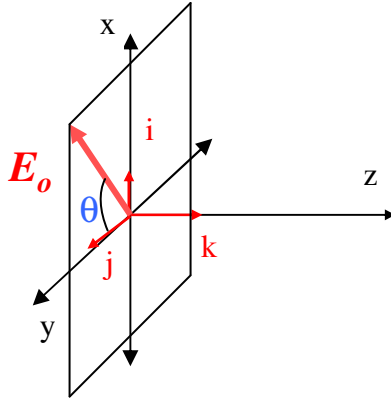


$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\cdot\vec{z} - \omega t + \phi)}$$

$$\vec{H}(z, t) = \vec{H}_0 e^{i(\vec{k}\cdot\vec{z} - \omega t + \phi)}$$

Alan genliklerinin ( $\vec{E}_0$  ve  $\vec{H}_0$ ) her ikisi de vektörel nicelikler olup doğrultuları dalganın ilerleyişi ile ne zaman içinde ne de uzayda değişmez!

Işığın *kutuplanma doğrultusu* elektrik alanın doğrultusu olarak kabul edilir.  
(Manyetik alan doğrultusunu değil de elektrik alanı seçmek optikte gelenektir)



$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0 e^{-i(kz - \omega t + \phi)} = (E_{ox} \hat{i} + E_{oy} \hat{j}) e^{-i(kz - \omega t + \phi)}$$

$\vec{E}_0$  alanının yönü, ışığın kutuplanma doğrultusu olarak kabul edilir  
(Bu örnekte xy düzleminde,  $\tan\theta = E_{ox}/E_{oy}$ )

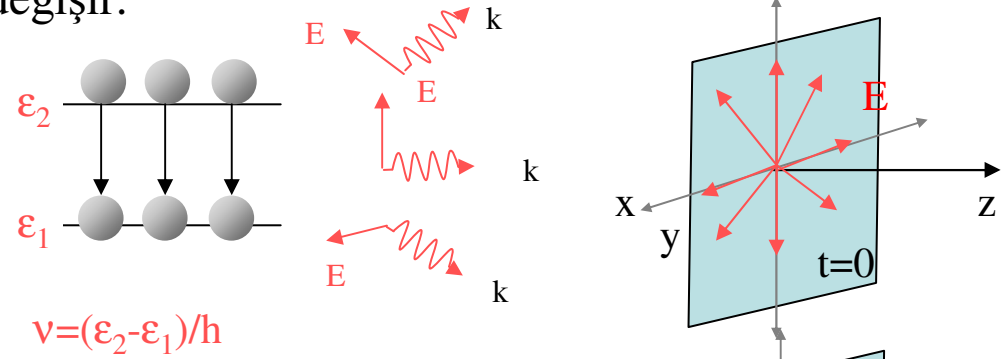
*Burada bahsedilen Kutuplanma (E vektörünün doğrultusu) ışığın özelliği olup, ortamın dış alandan dolayı kutuplanmasını gösteren Kutuplanma Vektörü'nden (P) (Hacim başına düşen dipol momenti) farklıdır ve birbiri ile karıştırılmamalıdır!*

# Kutuplanmamış Işık

Doğal ışık (kutuplanmamış ışık) anlık elektrik alan doğrultusu ( $E_o$ ), ışığın yayılma doğrultusuna dik düzlem içinde (ışık z-doğrultusunda yayılıyor ise, xy düzlemi) kalacak şekilde zaman içinde sürekli değişim göstermektedir. Kutuplanmamış ışığın kutuplanma yönü gelişigüzel değişir.

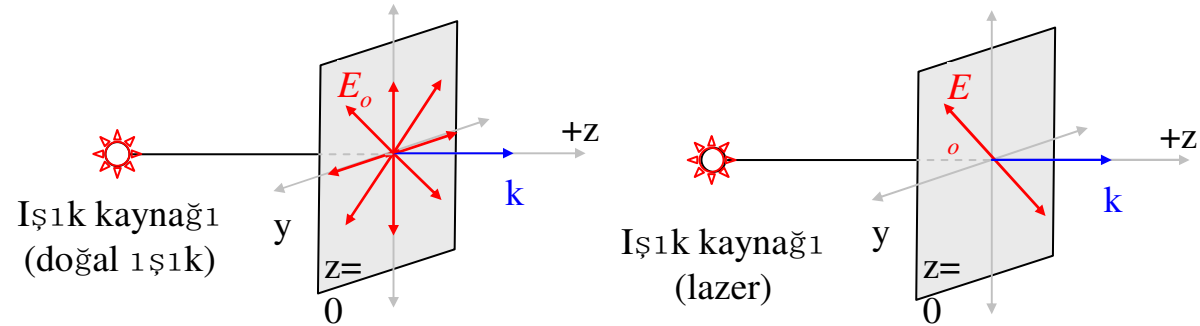
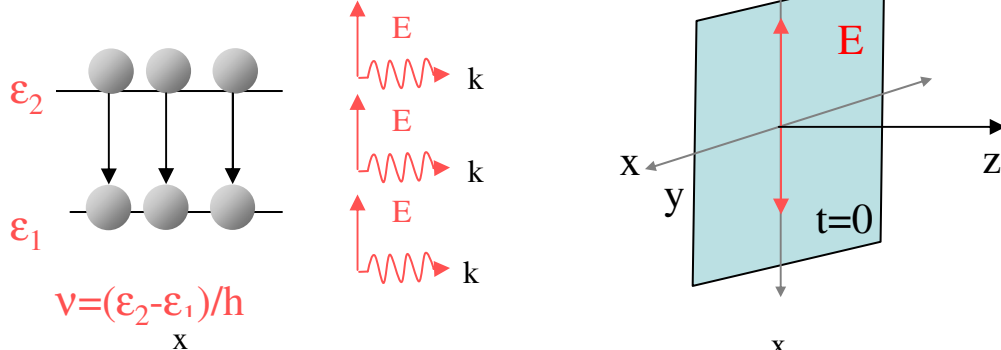
## Kutuplanmamış Işık

(örnek: termal ışık kaynakları, LED, güneş ışığı)



## Kutuplanmış Işık

(örnek: lazerler)



# Işığın Kutupluluğunun Önemi

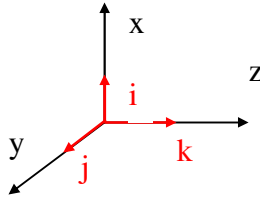
- Kırılma indisleri farklı iki ortamın ara yüzeyinden yansıyan ve ikinci ortama geçen ışığın miktarı, ışığın kutupluluk durumuna bağlıdır.
- Işığın bir ortamda soğrulması ve saçılması kutuplanma doğrultusuna bağlıdır.
- Anizotropik ortamda ışığın hızı kutuplanma doğrultusuna bağlıdır.
- Işığın kutuplanma özelliğine dayanan birçok optoelektronik devre elemanı vardır (sıvı kristaller, genlik modülatörleri, optik yalıtıcılar vs).

# Işığın Kutupluluğu

*Işığın kutupluluk durumlarını nasıl ifade edebiliriz?*

Bunun için +z doğrultusunda ilerleyen, genlikleri  $E_{o1}$  ve  $E_{o2}$  olan birbirlerine dik iki ışık dalgasını düşünelim.

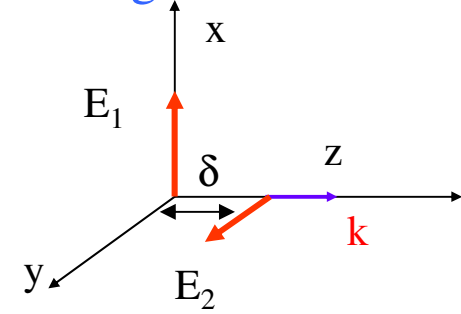
Bu iki dalganın birbirlerine göre faz farkı  $\delta$  ise bu dalgaları:



$$\vec{E}_1 = \hat{i}E_{o1} \cos(kz - \omega t)$$

$$\vec{E}_2 = \hat{j}E_{o2} \cos(kz - \omega t \pm \delta)$$

şeklinde ifade edebiliriz.



Toplam elektrik alan bu iki alanın vektörel toplamı

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \text{ olacağı için}$$

Elektrik alanın açık ifadesi:

$$\vec{E} = \hat{i}E_{o1} \cos(kz - \omega t) + \hat{j}E_{o2} \cos(kz - \omega t \pm \delta)$$

Genlikleri ve faz farkı  $\delta$ 'ye bağlı olarak ışığın, eğer:

$E_{o1} \neq E_{o2}$  ve  $\delta = 0$  ve  $\pi$  Doğrusal Kutuplu

$E_{o1} = E_{o2} = E_o$  ve  $\delta = \pi/2$  Dairesel Kutuplu

$E_{o1} \neq E_{o2}$  ve  $\delta = \pi/2$  Eliptik Kutuplu

olduğu söylenir.

# Doğrusal Kutuplu Işık-1

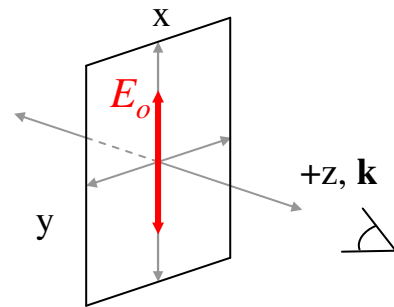
$\delta = 0$  ve  $\pi$ : (veya en genel olarak  $\delta = m2\pi$ ,  $m=0,1, 2, 3..$ )

$$\vec{E} = \hat{i}E_{o1} \cos(kz - \omega t) + \hat{j}E_{o2} \cos(kz - \omega t) = (\hat{i}E_{o1} + \hat{j}E_{o2}) \cos(kz - \omega t)$$

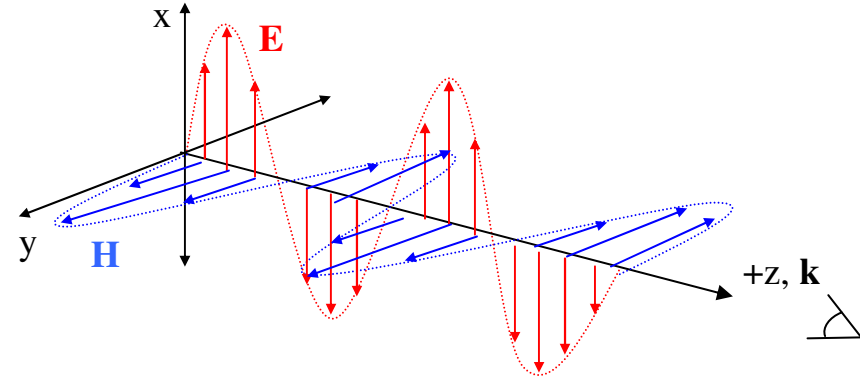
Alan, hem zamana hem de uzaya bağlı olduğu için kutuplanma doğrultusu değişkenlerden biri (uzay veya zaman) sabit tutularak incelenebilir;

- $z=0$ ,  $t=t$ : Bir noktadaki kutuplanma doğrultusunun zamana göre değişimi (a)
- $z=z$ ,  $t=0$ : Bir andaki kutuplanma doğrultusunun uzaysal değişimi (b)

**Doğrusal kutuplanmış** ışığın alan doğrultusu zaman (ve uzay) içinde değişmez (Hem  $z=0$  noktasında, hem de  $t=0$  anında kaynağa karşıdan bakan bir gözlemci ışığın doğrultusunun değişmediğini, elektrik alanının yönünün ise  $\omega$  sıklığı ile değiştiğini görür).



(a)  $z=0$ ,  $E(t)$



(b)  $t=0$ ,  $E(z)$

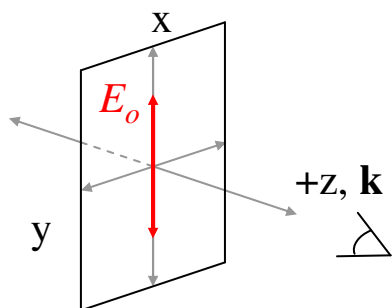
x-doğrusunda *doğrusal kutuplanmış* ışık



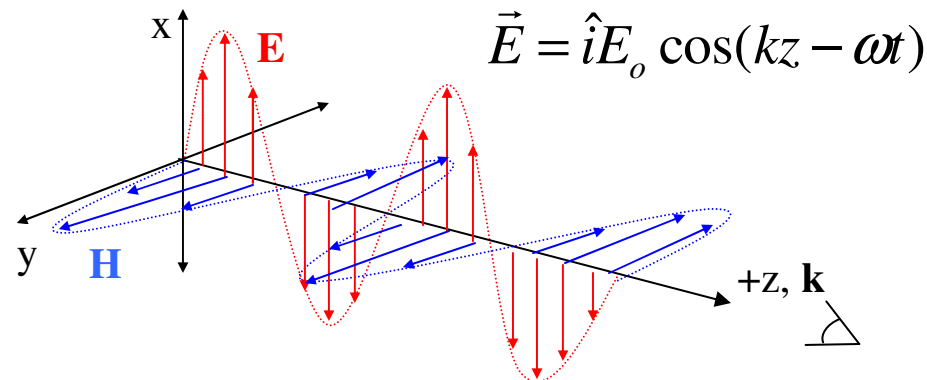
# Doğrusal Kutuplu Işık-2

$E_{o1} \neq 0 ; E_{o2}=0$  ve  $\delta = 0$  ve  $\pi$

x-doğrultusunda Doğrusal Kutuplu Işık



$z=0, E(t)$

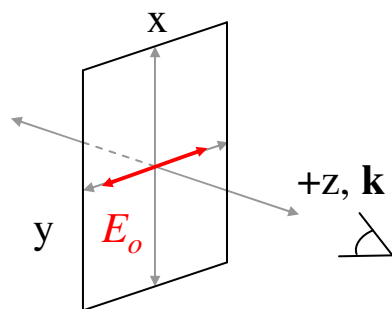


$t=0, E(z)$

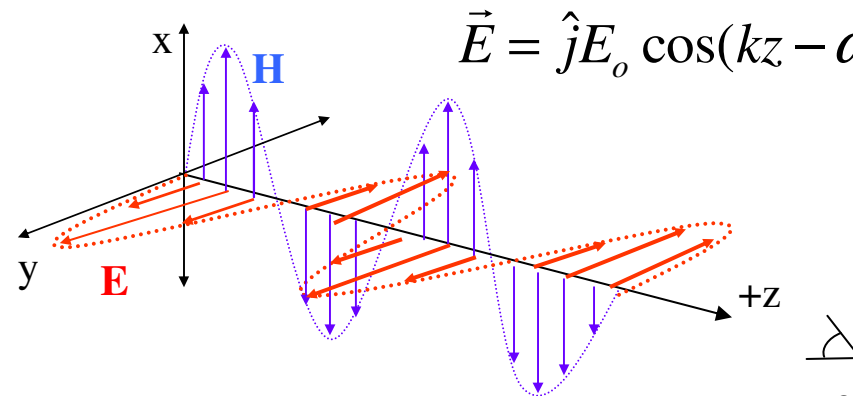
$$\vec{E} = \hat{i}E_o \cos(kz - \omega t)$$

$E_{o1} = 0 ; E_{o2} \neq 0$  ve  $\delta = 0$  ve  $\pi$

y-doğrultusunda Doğrusal Kutuplu Işık



$z=0, E(t)$



$t=0, E(z)$

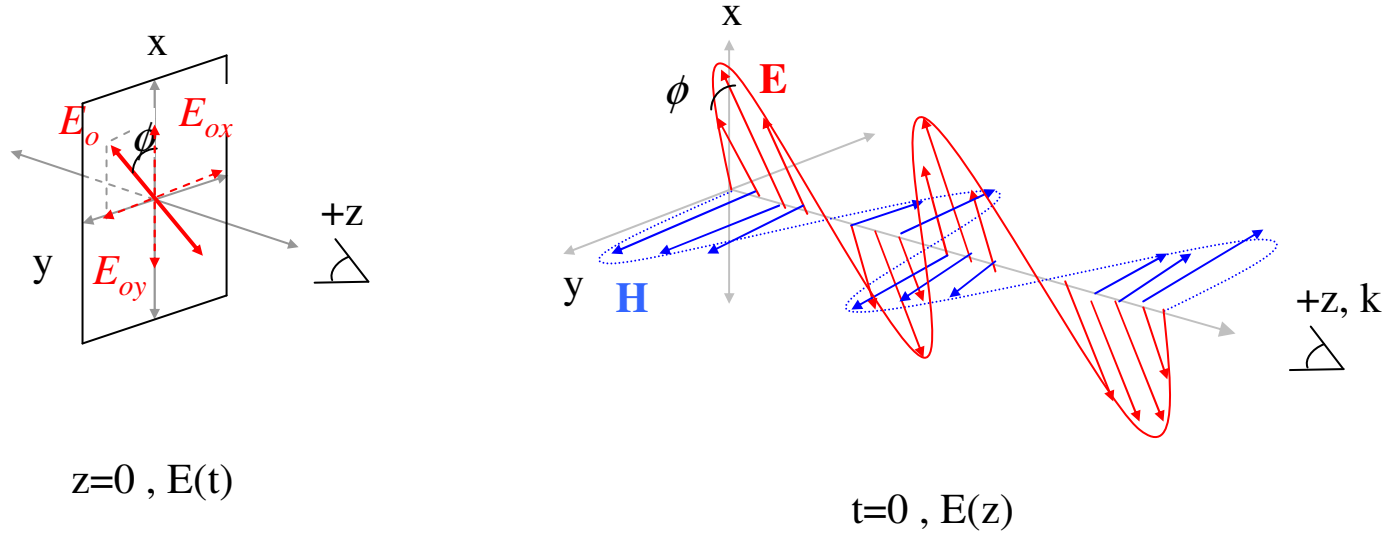
$$\vec{E} = \hat{j}E_o \cos(kz - \omega t)$$

# Doğrusal Kutuplu Işık-3

Genlikler farklı ise kutuplanma doğrultusu xy düzleminde herhangi bir doğrultuda olacaktır.

Kutuplanma doğrultusu  $\tan \phi = \frac{E_{oy}}{E_{ox}}$

$E_{o1}=E_{o2}$  ise  $\tan\phi=45^\circ$



$$\vec{E} = \hat{i}E_{o1} \cos(kz - \omega t) + \hat{j}E_{o2} \cos(kz - \omega t)$$

# Dairesel Kutuplu Işık

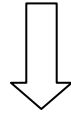
Genlikleri aynı ( $E_o$ ), doğrusal olarak birbirlerine dik iki kutuplanmış ışık dalgasını düşünelim. Bu iki dalganın aralarındaki faz farkı  $\delta = \pm\pi/2$  ise (veya en genel olarak  $\delta = \pi/2 + 2m\pi$ ,  $m=0, \pm 1, \pm 2..$ ) ışığın dairesel kutuplu olduğu söylenir.

$E_{o1} = E_{o2} = E_o$  ve  $\delta = \pm\pi/2$  Dairesel Kutuplu

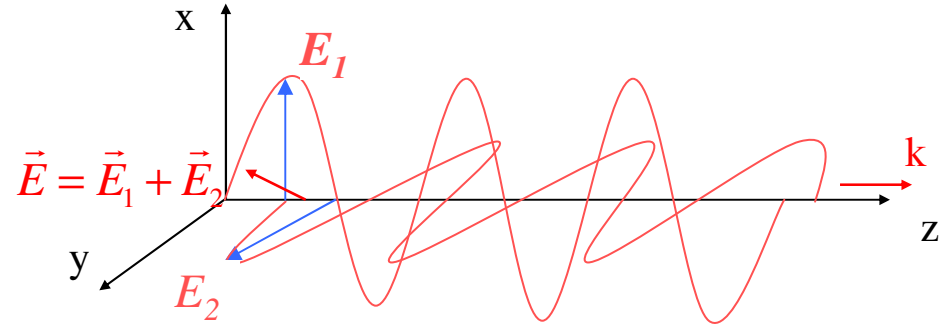
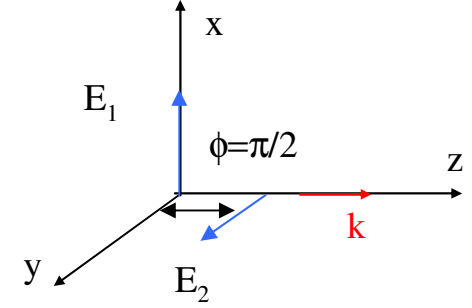
$$\vec{E}_1 = \hat{i}E_o \cos(kz - \omega t)$$

$$\vec{E}_2 = \hat{j}E_o \cos(kz - \omega t \pm \frac{\pi}{2}) = \mp \hat{j}E_o \sin(kz - \omega t)$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$\vec{E} = E_o \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) \mp \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$



Bu eşitlik, elektrik alan vektörü ( $E_o$ ) bir noktada sabit genliği olan fakat  $\omega$  açısal hızı ile dönen bir dalga denkleminin çözümü olarak yorumlanabilir.

*Bu tür bir dalgaya dairesel kutuplu denir*

$E_{o1} = E_{o2} = E_o$  ve  $\delta = -\pi/2$  Dairesel Sağ El Kutuplu

$E_{o1} = E_{o2} = E_o$  ve  $\delta = +\pi/2$  Dairesel Sol El Kutuplu

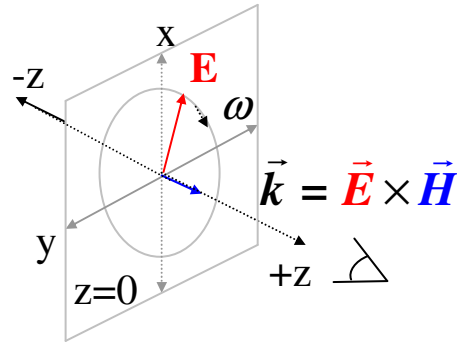
# Sağ El Yönünde Dairesel Kutuplanmış Işık

$E_{o1}=E_{o2}=E_o$  ve  $\delta = -\pi/2$  Dairesel (Sağ El) Kutupluluk

Faz farkının  $\phi = -\pi/2$  olduğu duruma ( veya  $-m\pi/2$ ,  $m$ :tamsayı) bakalım.

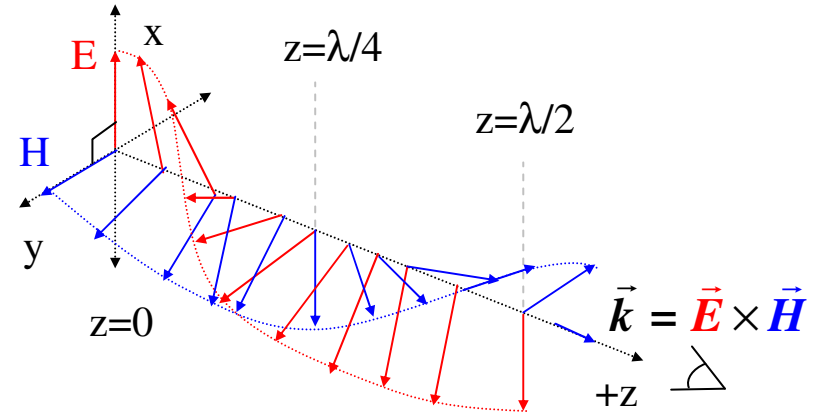
$$\vec{E} = E_o \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

Sağ El tanımlaması, alanın uzaydaki dönüş yönünden gelmektedir.



$z=0, E(t)$

(a)  $z=0$  noktasında alanın yönü zaman içinde saat yönünde dönmektedir. Karşıdan bakan bir gözlemci ışığın elektrik alanının bir daire çizdiğini görecektir.



$t=0, E(z)$

(b)  $t=0$  anında alanın yönü uzayda saat yönünün tersi yönde dönmektedir.

(Akılda kalması için; eğer yayılma yönünü sağ elin baş parmağı ile gösterirsek diğer parmakların yönü elektrik alanın uzay içinde yönünün değişme yönünü gösterecektir)

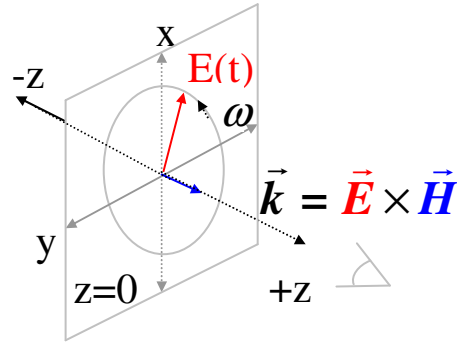
# Sol El Yönünde Dairesel Kutuplanmış Işık

$E_{o1}=E_{o2}=E_o$  ve  $\delta = +\pi/2$  Dairesel (Sol El) Kutupluluk

Faz farkının  $\phi = +\pi/2$  olduğu duruma ( veya  $+m\pi/2$ , m:tamsayı) bakalım.

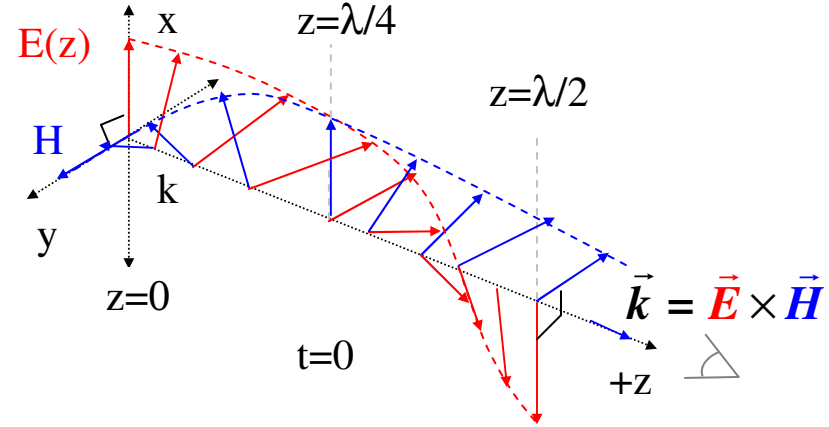
$$\vec{E} = E_o \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

Sol El tanımlaması, alanın uzaydaki dönüş yönünden gelmektedir.



z=0, E(t)

- (a) z=0 noktasında alanın yönü zaman içinde saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Karşıdan bakan bir gözlemci ışığın elektrik alanının bir daire çizdiğini görecektir.



t=0, E(z)

- (b) t=0 anında alanın yönü uzayda saat yönünde dönmektedir.

(Akılda kalması için; eğer yayılma yönünü sol elin baş parmağı ile gösterirsek diğer parmakların yönü elektrik alanın uzay içinde yönünün değişme yönünü gösterecektir)

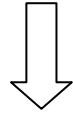
# Eliptik Kutuplu Işık

Genlikleri aynı ( $E_{o1} \neq E_{o2}$ ), doğrusal olarak birbirlerine dik iki kutuplanmış ışık dalgasını düşünelim. Bu iki dalganın aralarındaki faz farkı  $\delta = \pm\pi/2$  ise (veya en genel olarak  $\delta = \pm\pi/2 + 2m\pi$ ,  $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) ışığın eliptik kutuplu olduğu söylenir.

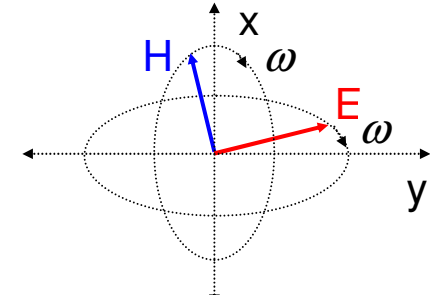
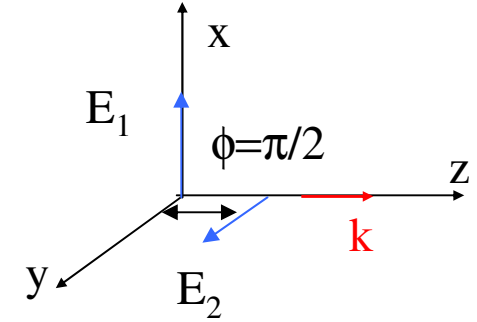
$$\vec{E}_1 = \hat{i}E_{o1} \cos(kz - \omega t)$$

$$\vec{E}_2 = \hat{j}E_{o2} \cos(kz - \omega t \pm \frac{\pi}{2}) = \mp \hat{j}E_{o2} \sin(kz - \omega t)$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$\vec{E} = E_{o1} \hat{i} \cos(kz - \omega t) \mp \hat{j}E_{o2} \sin(kz - \omega t)$$



Eliptik kutuplanmış ışık

- Dairesel kutuplanmada olduğu gibi  $\delta = \pm\pi/2$  işaretlerine bağlı olarak eliptik kutuplanmada da sağ el ve sol el yönlü kutuplanma söz konusu olabilir.
- Dairesel ve Eliptik kutuplanmış ışığın farkı dalganın genliğinin büyüklüğünün uzay ve zamanda değişiyor olmasıdır.

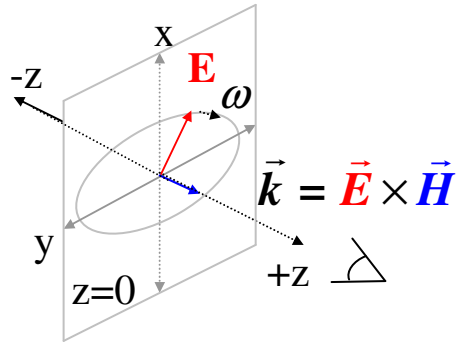
# Sağ El Yönünde Eliptik Kutuplanmış Işık

$E_{o1} \neq E_{o2} = E_o$  ve  $\delta = -\pi/2$  Eliptik (Sağ El) Kutupluluk

Faz farkının  $\delta = -\pi/2$  olduğu duruma ( veya  $-\pi/2 - m\pi/2$ , m:tamsayı) bakalım.

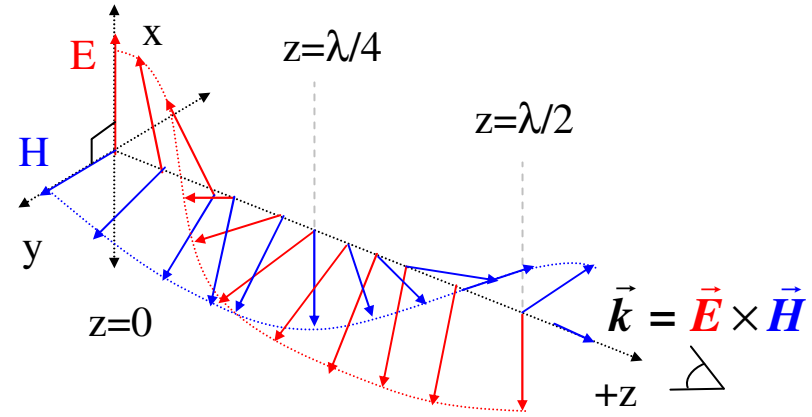
$$\vec{E} = E_o \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

Sağ El tanımlaması, alanın uzaydaki dönüş yönünden gelmektedir.



z=0 E(t)

(a) z=0 noktasında alanın yönü zaman içinde saat yönünde dönmektedir. Karşıdan bakan bir gözlemci ışığın elektrik alanının bir elips çizdiğini görecektir.



t=0, E(z)

(b) t=0 anında alanın yönü uzayda saat yönünün tersi yönde dönmektedir.

(Akılda kalması için; eğer yayılma yönünü sağ elin baş parmağı ile gösterirsek diğer parmakların yönü elektrik alanın uzay içinde yönünün değişme yönünü gösterecektir)

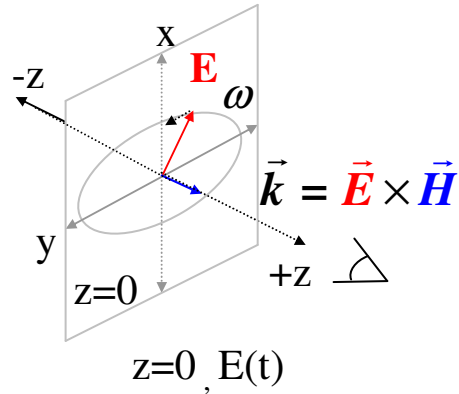
# Sol El Yönünde Eliptik Kutuplanmış Işık

$E_{o1}=E_{o2}=E_o$  ve  $\delta = +\pi/2$  Eliptik (Sol El) Kutupluluk

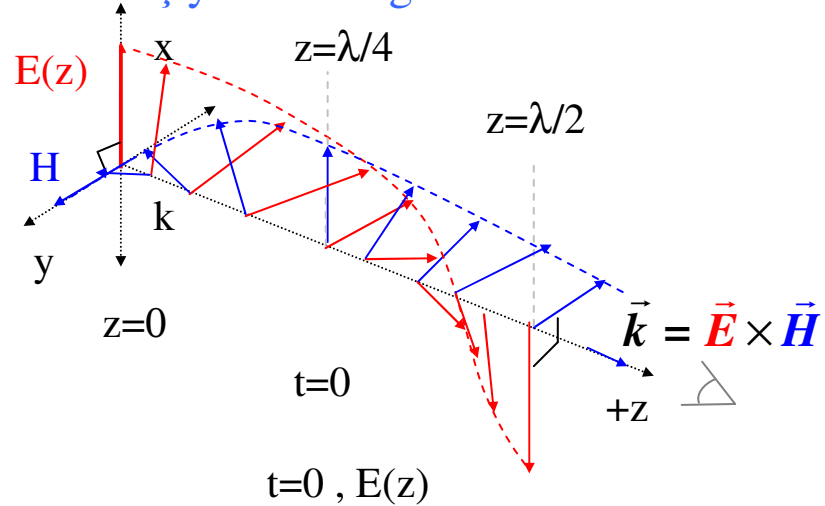
Faz farkının  $\phi = +\pi/2$  olduğu duruma ( veya  $\pi/2+m\pi/2$ , m:tamsayı) bakalım.

$$\vec{E} = E_o \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

Sol El tanımı, alanın uzaydaki dönüş yönünden gelmektedir.



(a)  $z=0$  noktasında alanın yönü zaman içinde saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Karşıdan bakan bir gözlemci ışığın elektrik alanının bir elips çizdiğini görecektir.



(b)  $t=0$  anında alanın yönü uzayda saat yönünde dönmektedir.

(Akılda kalması için; eğer yayılma yönünü sol elin baş parmağı ile gösterirsek diğer parmakların yönü elektrik alanın uzay içinde yönünün değişme yönünü gösterecektir)



# Kutupluluk: Genel Durum

Işığın bütün kutupluluk durumunu genel bir ifade ile ifade edebiliriz. +z doğrultusunda ilerleyen ışık dalgasını düşünelim.

$$\vec{E} = \vec{E}_o e^{i(kz - \omega t)}$$

Burada alan genliği  $E_o$  en genel durumda karmaşık vektördür. Bu ifade açık yazılırsa:

$$\vec{E}_o = \hat{i}E_{o1} \mp \hat{j}(iE_{o2}) = a \mp ib \quad \hat{i} \text{ ve } \hat{j}: \text{birim vektörler}$$

$i$ : karmaşık sayı  $e^{i\pi/2} = i$

işaret (+) ise alan genliği sağ; (-) ise sol el yönünde dönüyor demektir.

Bu ifadede, eğer  $E_o$ ;

• Gerçek ise ( $a \neq 0, b = 0$ ): doğrusal kutuplanmış ışığı,



• Karmaşık ise:

( $a \neq 0, b \neq 0, a = b$ ): dairesel kutuplanmış ışığı



( $a \neq 0, b \neq 0, a \neq b$ ): eliptik kutuplanmış ışığı

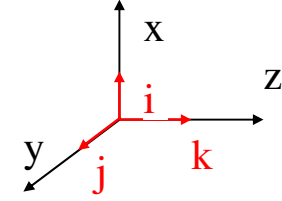


temsil eder.

# Kutupluluk: Jones Vektör Gösterimi

z-doğrultusunda ilerleyen bir ışık dalgasının genliği en genel şekilde

$$\vec{E} = \hat{i}E_{ox} + \hat{j}E_{oy}$$



yazılabilir. Burada  $E_{ox}$  ve  $E_{oy}$  arasında olabilecek bir faz farkını da dikkate alırsak alan vektörünün genliğini karmaşık vektör şeklinde yazabiliriz. Üstel formda ifade edilirse

$$E_{ox} = |E_{ox}|e^{i\phi_x} \quad E_{oy} = |E_{oy}|e^{i\phi_y} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Yukarıdaki karmaşık genlikli denklem çiftini matris gösterimi ile şu şekilde yazabiliriz.

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_{ox} \\ E_{oy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |E_{ox}|e^{i\phi_x} \\ |E_{oy}|e^{i\phi_y} \end{bmatrix}$$

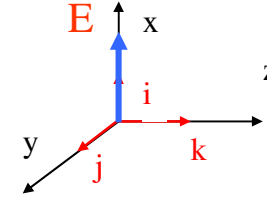
Bu ifade, alanın büyüklüğüne ( $\sqrt{|E_{ox}|^2 + |E_{oy}|^2}$ ) bölünerek normalize edilebilir.

**Işığın kutuplanma doğrultusunu iki boyutta bir karmaşık vektörle, bu karmaşık vektör de bir sütunlu ve iki satırlı bir matris ile ifade edilebilir. Işığın kutupluluk durumunun bu gösterimine *Jones Gösterimi*, matrise de *Jones Vektörü* denir.**

# Kutupluluk: Jones Vektörleri-1

Örneğin

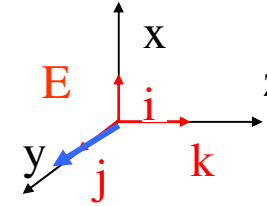
$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_o \\ 0 \end{bmatrix} = E_o \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$



ifadesi, x-doğrultusunda doğrusal olarak kutuplanmış  $E_o$  genlikli bir dalgayı temsil edecektir.

Benzer şekilde

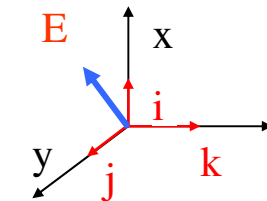
$$\vec{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_o \end{bmatrix} = E_o \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$



ise y-doğrultusunda kutuplanmış dalgayı temsil edecektir.

x-ekseni ile  $45^\circ$  kutuplanmış dalga için ise gösterim:

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_o \\ E_o \end{bmatrix} = \frac{E_o}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



Alanın hem x, hem de y-bileşeni olduğu için genlik ifadesi  $E_o/2^{1/2}$  şeklinde yazıldı.<sup>19</sup>

# Kutupluluk: Jones Vektörleri-2

Sağ El Yönünde Dairesel kutuplanmış ışık  $\begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix}$  

Sol El Yönünde Dairesel kutuplanmış ışık  $\begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}$  

Jones vektör gösteriminin en büyük kolaylığı kutuplanmış birden çok dalga ile uğraştığımızda ortaya çıkar.

**Örnek:** Biri sağ, diğeri sol el yönünde dairesel olarak kutuplanmış iki vektörün toplamının doğrusal kutuplu ışığı vereceğini gösteriniz.

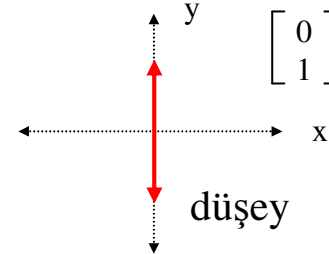
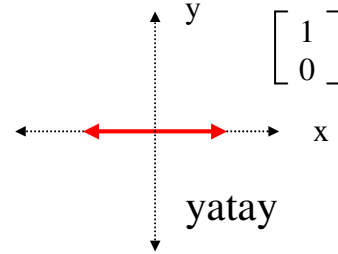
$$\begin{array}{c} \text{Diagram of right-hand circular polarization} \\ \text{Diagram of left-hand circular polarization} \end{array} + = \begin{array}{c} \text{Diagram of linear polarization along the x-axis} \\ \text{Diagram of linear polarization along the x-axis} \end{array} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+1 \\ -i+i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

x-yönünde doğrusal olarak kutuplanmış genliği 2 kat olan dalgayı vermektedir.

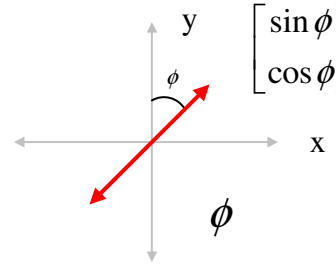
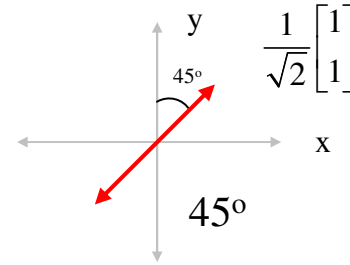
# Kutupluluk: Jones Vektörleri-3

Bazı Jones vektörlerinin gösterimi:

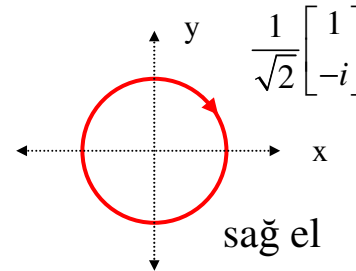
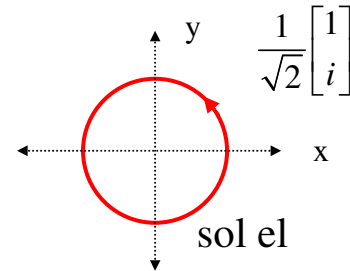
Doğrusal kutuplu ışık



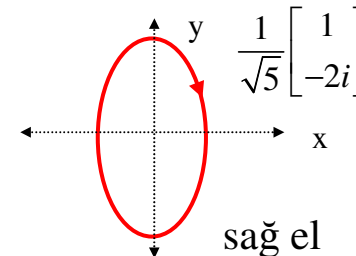
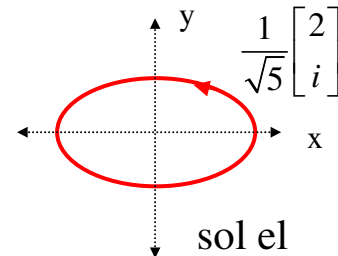
Doğrusal kutuplu ışık



Dairesel kutuplu ışık



Eliptik kutuplu ışık

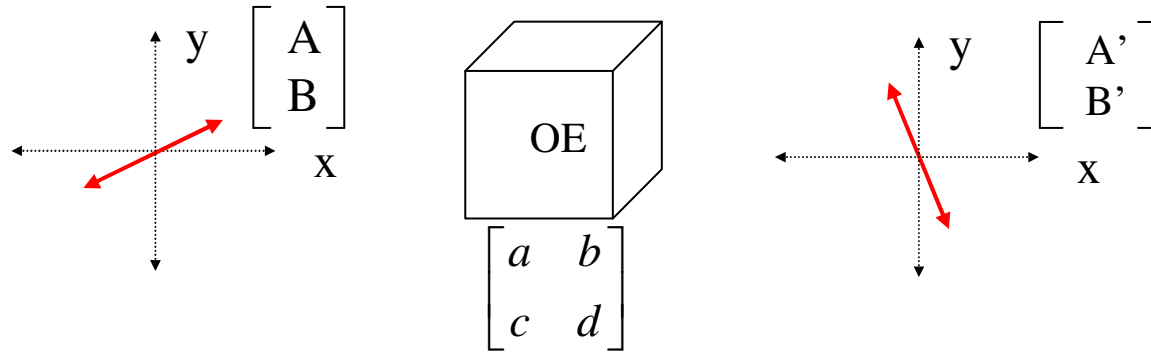


# Kutupluluk: Jones Matrisleri-1

Işığın kutupluluk durumu **Jones Vektörleri** ile temsil edildiği gibi benzer şekilde optik elemanlar da (2x2)'lik **Jones Matrisleri** ile gösterilebilir. Bunun için optik elemana (OE) gelen ve çıkan kutuplanmış ışığı göz önüne alalım.

Optik elemana gelen kutuplanmış ışık  $\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$

Optik elemandan çıkan kutuplanmış ışık  $\begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix}$



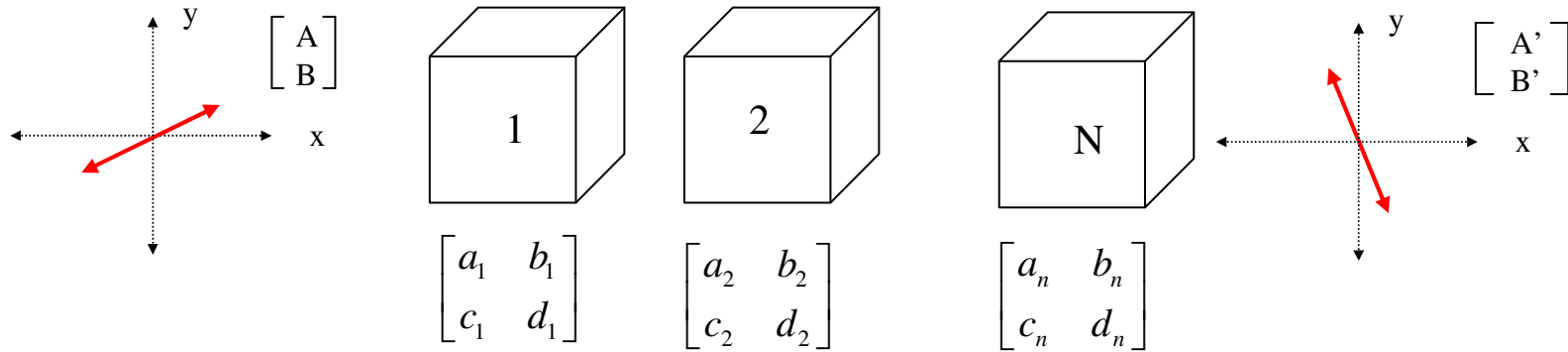
Işığın son kutupluluk durumu  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix}$  şeklinde ifade edilir.

Burada  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  optik elemanın **Jones Matrisi** dir.

# Kutupluluk: Jones Matrisleri-2

Jones gösteriminin kullanılmasını, birden çok optik elemandan geçen ışığın son kutupluluk durumunu bulmak istediğimizde görebiliriz.

Birden fazla optik elemanın olduğu durumda bütün optik elemanların eşdeğer Jones matrisini bularak bütün sistemi sadece bu eşdeğer matris ile ifade edebiliriz.



Yukarıdaki  $N$  optik elemanı içeren sistemin eşdeğer Jones Matrisi

$$J_{\text{eşdeğer}} \equiv \begin{bmatrix} a' & b' \\ c' & d' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{bmatrix}$$

Işığın son kutupluluk durumu bu durumda kolayca bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a' & b' \\ c' & d' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$$

# Kutupluluk: Jones Matrisleri-3

Bazı optik elemanları da Jones matrisleri ile gösterebiliriz

Doğrusal Kutuplayıcı	{	Geçiş eksenini yatay eksen	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$
		Geçiş eksenini dikey eksen	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
		Geçiş eksenini $\pm 45^\circ$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 1 \end{bmatrix}$
Çeyrek Dalga plakası	{	Hızlı eksen yatay eksen	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$
		Hızlı eksen dikey eksen	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix}$
		Hızlı eksen $\pm 45^\circ$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & \pm i \\ \pm i & 1 \end{bmatrix}$
Yarım Dalga plakası	{	Hızlı eksen yatay veya dikey eksen	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Dairesel kutuplayıcı	{	Sağ el	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix}$
		Sol el	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -i \\ i & 1 \end{bmatrix}$



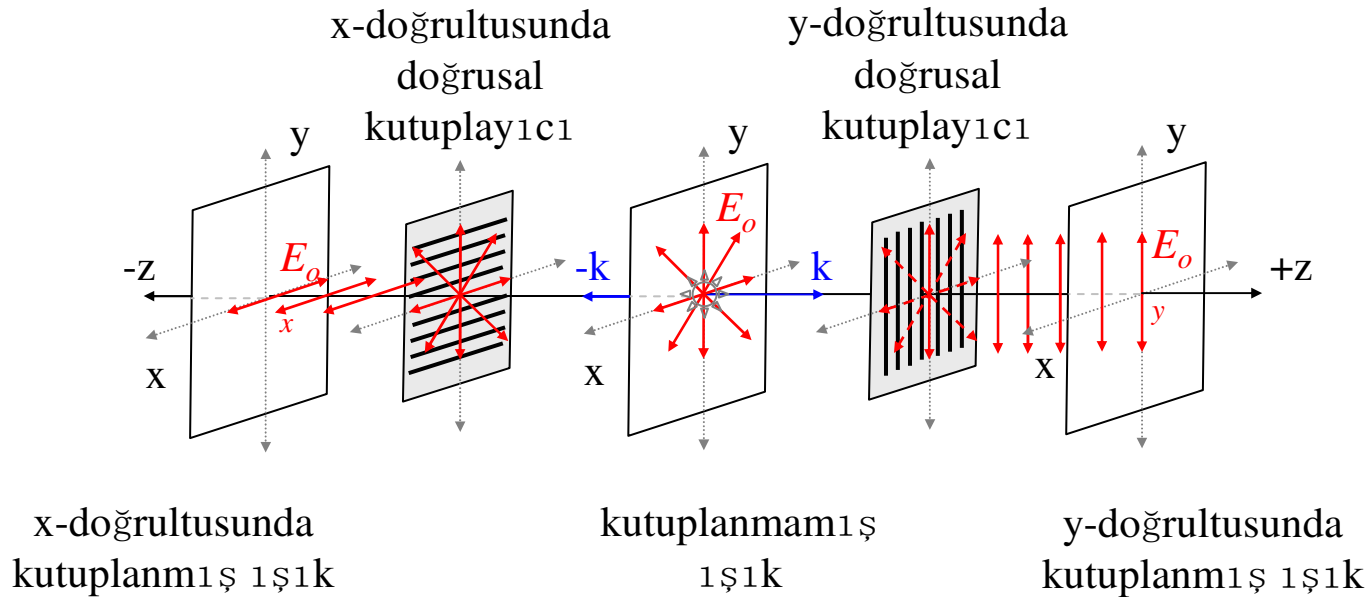
# Kutuplayıcılar

- Kutuplayıcılar kutuplanmamış ışığı kutuplu ışığa çeviren veya kutuplanmış ışığın kutupluluk özelliğini değiştiren optik devre elemanlarıdır.
- Doğrusal kutuplayıcılar, kutuplanmamış ışığı doğrusal kutuplu ışığa çeviren optik devre elemanlarıdır.
- Dairesel kutuplayıcılar, doğrusal ışığı dairesel veya eliptik kutuplayan optik devre elemanlarıdır.
- Kutuplayıcıların verimli ve az kayıplı olması istenir.

# Doğrusal Kutuplayıcılar-1

Doğrusal kutuplayıcı, kutuplanmamış ışığı doğrusal olarak kutuplayan optik elemandır.

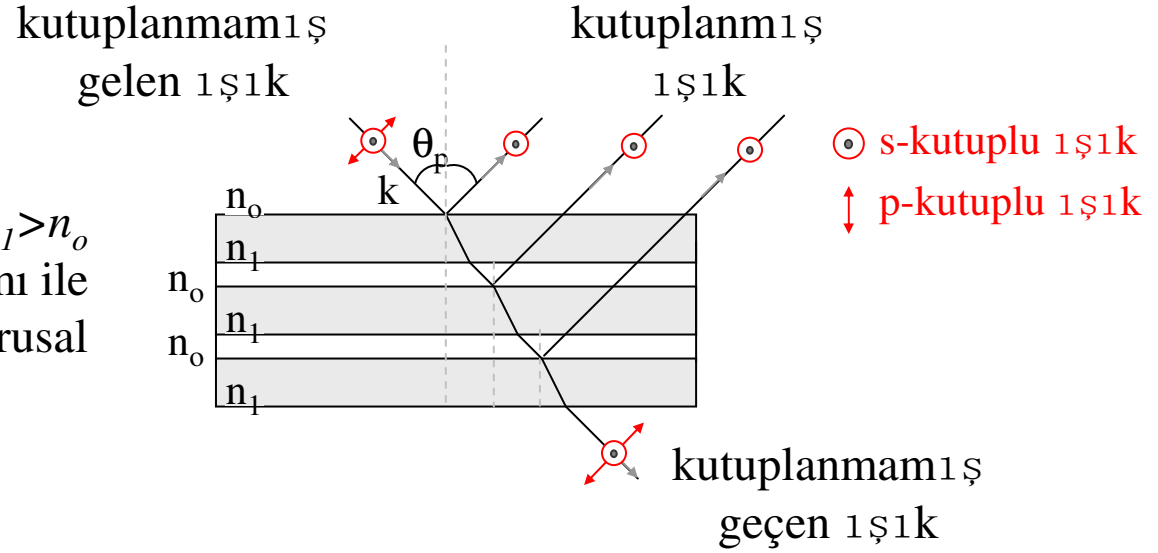
Doğrusal kutuplayıcının bir çok çeşidi vardır. “dichroism” olarak bilinen özellik, doğrusal kutuplayıcılarda ışık soğurması izotropik olmayan maddelerdir. Bu özellikteki maddelerde belli bir doğrultuda kutuplanmış ışığın soğrulması diğer doğrultulara göre daha fazladır dolayısı ile bu maddede ilerleyen ışığın sadece bir doğrultuda alan çizgileri soğrulmadan geçebilir.



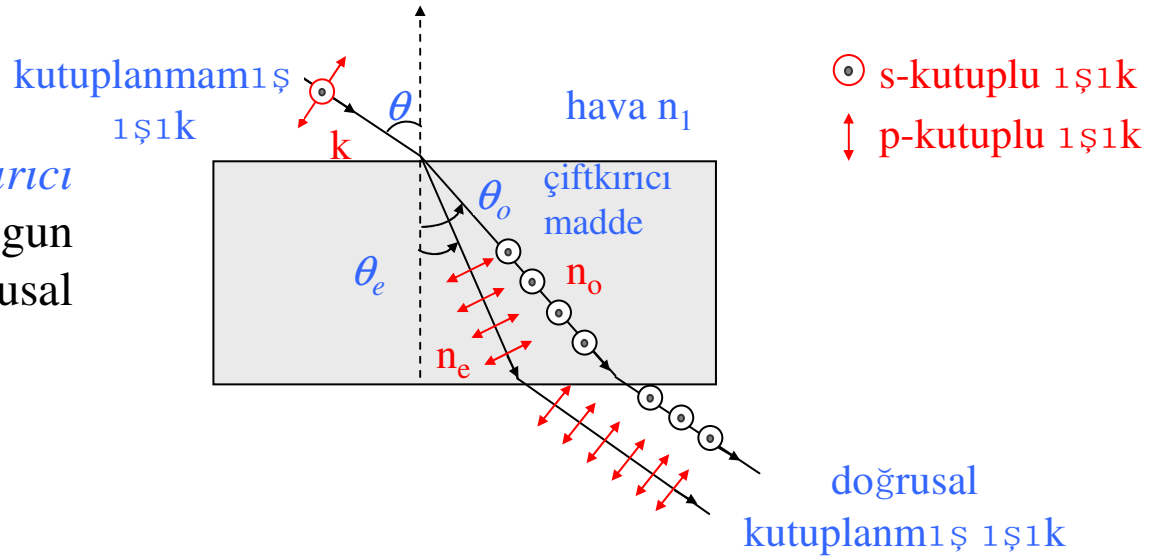
**Geçiş Eksen**, çok az kayıpla veya kayıpsız olarak ışığın geçebildiği eksen.

# Doğrusal Kutuplayıcılar-2

Farklı kırılma indisine sahip  $n_1 > n_0$  üst üste dizilmiş plakalar yardımı ile kutuplanmamış ışıktan doğrusal kutuplu ışık elde edilişi.



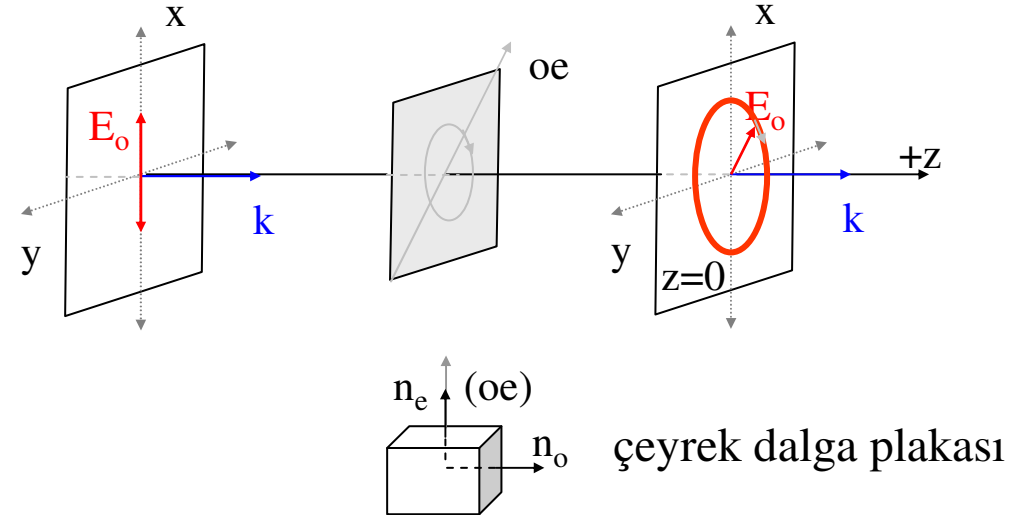
Kutuplanmamış ışıktan *çiftkırıcı* özellik gösteren malzemeler uygun geometrilere kullanılarak doğrusal kutuplanmış ışık elde edilebilir.



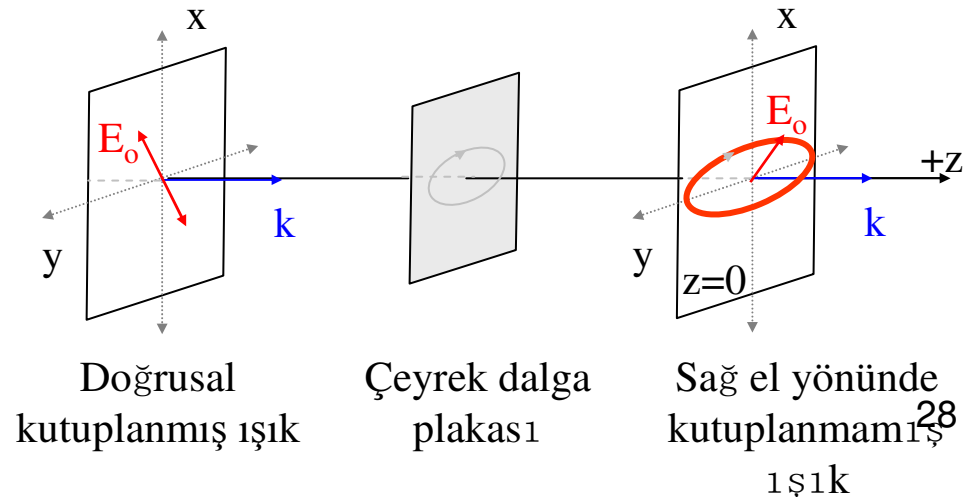
# Dairesel-Eliptik Kutuplayıcılar

Doğal Çiftkırıcı malzemeler, ışığın bu malzemeler içinde yayılış doğrultusuna ve kutuplanma doğrultusuna bağlı olarak iki farklı kırılma indis değeri gösterirler ( $n_o$  ve  $n_e$ ). Uygun açıda kristale gelen ışığın x- ve y-bileşeni arasında kristalin kalınlığına bağlı olarak belli miktarlarda faz farkı oluşur. Bu faz farkı ayarlanarak ışığın kutupluluk özelliği değiştirilebilir.

Çiftkırıcı malzemedan yapılmış çeyrek dalga plakası kullanılarak *dairesel kutuplu* ışık elde edilebilir (gelen ışığın  $n_o$  ve  $n_e$  eksenlerindeki iz düşümü *eşit* ise).



Doğrusal kutuplanmış ışıktan çiftkırıcı malzemedan yapılmış çeyrek dalga plakası kullanılarak *eliptik kutuplu* ışık elde edilebilir (gelen ışığın  $n_o$  ve  $n_e$  eksenlerindeki iz düşümü *eşit değil* ise).



# Özet

- Işığın oluşturan elektrik alan genliğini kutuplanma doğrultusu olarak kabul etmek optikte gelenektir.
- Kutuplanmamış ışığın alan doğrultusu zaman ve uzay içinde gelişigüzel doğrultuda değişmektedir. Kutuplu ışıkta ise alanın doğrultusu değişmez (doğrusal kutuplu ışık) veya sistematik olarak değişir (dairesele ve eliptik kutuplu ışık)

- Işığın en genel kutupluluk durumu alan genliği karmaşık bir vektör

$$\vec{E} = \vec{E}_o e^{i(kz - \omega t)}$$

$$\text{Genlik } \vec{E}_o = \hat{i}a + \hat{j}(ib)$$

Bu ifadede  $b=0$  ise doğrusal kutuplu ışık  
 $a=b \neq 0$  ise dairesele kutuplu ışık  
 $a \neq b \neq 0$  ise eliptik kutuplu ışık

- Kutuplanmamış ışıktan kutuplayıcılar yardımı ile kutuplanmış ışık elde edilebilir, veya ışığın kutupluluk özelliği değiştirilebilir (doğrusal kutuplu ışıktan dairesele kutuplu ışık elde edilebilir).
- Jones gösterimi kutuplu ışığın davranışını incelemede oldukça kolaylık sağlar. Jones Vektörleri ve Matrisleri kutuplu ışığı basit matrislerle ifade etmemizi, kutuplu ışığın kutupluluk durumunun optik devrelerden geçtikten sonra nasıl değişeceğini analiz etmede kolaylık sağlar.

## **UADMK - Açık Lisans Bilgisi**

Bu ders malzemesi öğrenme ve öğretme yapanlar tarafından açık lisans kapsamında ücretsiz olarak kullanılabilir. Açık lisans bilgisi bölümü yani bu bölümdeki, bilgilerde değiştirme ve silme yapılmadan kullanım ve geliştirme gerçekleştirilmelidir. İçerikte geliştirme değiştirme yapıldığı takdirde katkılar bölümüne sadece ekleme yapılabilir. Açık lisans kapsamındaki malzemeler doğrudan ya da türevleri kullanılarak gelir getirici faaliyetlerde bulunulamaz. Belirtilen kapsam dışındaki kullanım açık lisans tanımına aykırı olduğundan kullanım yasadışı olarak kabul edilir, ilgili açık lisans sahiplerinin ve kamunun tazminat hakkı doğması söz konusudur.