# 7. BÖLÜM

# DÜZLEM ELEKTROMAGNETİK DALGALAR ve DALGA YAYILIMI

## 7.1. iletken olmayan bir ortamda ($\sigma = 0$) düzlem dalgalar (DD)

Maxwell denk.nin temel özelliklerinden biri ilerleyen dalga çözümlerinin varlığını gösteriyor olmasıdır. Kaynakların yokluğunda sonsuz bir ortamda,

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = 0 \qquad \vec{\nabla}\times\vec{E} + \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad \text{(Faraday Y.)}$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0 \qquad \vec{\nabla}\times\vec{B} - \frac{\mu\epsilon}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = 0 \quad \text{(Ampère Y.)}$$

$\mu, \epsilon$ frekans bağımsız. $\vec{D} = \epsilon\vec{E}$ $\quad \vec{B} = \mu\vec{H}$

$$\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) + \frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}\times\vec{B}) = 0$$

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}) - \vec{\nabla}^2\vec{E} + \frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\mu\epsilon}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) = 0$$

$$-\vec{\nabla}^2\vec{E} + \frac{\mu\epsilon}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

Benzer şekilde

$$-\vec{\nabla}^2\vec{B} + \frac{\mu\epsilon}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0 \qquad \vec{\nabla}^2 u - \frac{\mu\epsilon}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$

$$u \equiv (E_i, B_i)$$

BS K

$v = \dfrac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ faz hızı. (sbt. ve ortam tarafından karakterize edilirler)

$$\vec{\nabla}^2 u - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$

## Düzlem Dalga Çözümleri

$$u = e^{i\vec{k}\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

serbest uzaya sahip ilek (vakumda) $\mu_0 = \epsilon_0 = 1$ $v = c$

$$\nabla^2 u = -k^2 u \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u$$

$$k^2 = \frac{\omega^2}{v^2} \qquad k = \omega / v = \frac{\omega}{c/\sqrt{\mu\epsilon}} = \sqrt{\mu\epsilon}\,\frac{\omega}{c}$$

$$u(x,t) = \underbrace{e^{ikx - i\omega t}}_{\text{sağa ilerleyen}} + \underbrace{e^{-ikx - i\omega t}}_{\text{sola ilerleyen}}$$

Genel durum

$$u(x,t) = Ae^{ikx - i\omega t} + Be^{-ikx - i\omega t}$$
$$= Ae^{ik(x - vt)} + Be^{-i(kx + vt)}$$

$v$, k'nın bir fonk. u değil ise, (yani frekanstan bağımsız $\mu\epsilon$'li bir ortamda ) o zaman genel çözümü şu şekilde (non-dispersive) kurarım.

$$u(x,t) = f(x-vt) + g(x+vt) \qquad f \text{ ve } g \text{ keyfi fonk.lar.}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \underbrace{A(k)}_{F(k)} e^{ik(x-vt)} dk + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \underbrace{B(k)}_{G(k)} e^{-ik(x+vt)} dk$$

dalga denk.lemi sağlar.

$$z = x - vt$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial z}\cancel{\frac{\partial z}{\partial x}} = \frac{\partial f}{\partial z} \Rightarrow \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}, \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial z}\cancel{\frac{\partial z}{\partial t}} = -v\frac{\partial f}{\partial z}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0$$

Şimdiye değin ortamın non-dispersive olduğunu varsaydık. dispersive ise o zaman yukarıdaki hesaplamalar değişmeli.

$$\vec{\nabla}\cdot(\vec{\nabla}\vec{E}) - \vec{\nabla}^2\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{\mu\epsilon}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right]$$

dispersiyonu alamalıyım.

BS K

$$\vec{E}(\vec{x},t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int \vec{E}(\vec{x},w)\, e^{iwt}\, dw$$

$$\vec{B}(\vec{x},t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int \vec{B}(\vec{x},w)\, e^{iwt}\, dw$$

$$\mu\epsilon(t)=\frac{1}{2\pi}\int \mu\epsilon(w)\, e^{iwt}\, dw$$

$\vec{\nabla}^2\vec{E}+\frac{\mu\epsilon}{c}w^2\vec{E}=0$ , böylece k halen $k=\frac{w}{v}$ verir

halen OD çözümleri var. Vektörel karakterde dikkate alınırsa,

$$\vec{E}(\vec{x},t)=\vec{\mathcal{E}}\, e^{ik\hat{n}.\vec{x}-iwt}$$

$$\vec{B}(\vec{x},t)=\vec{\mathcal{B}}\, e^{i\vec{k}\hat{n}.\vec{x}-iwt}$$

$\vec{\mathcal{E}}, \vec{\mathcal{B}}, \hat{n}$ kompleks vektörler. $\vec{E}$ ve $\vec{B}$'nin her bir bileşeninin

$$\vec{\nabla}^2 u+\mu\epsilon\frac{w^2}{c^2}u=0$$

denk.ini sağlaması gerektiğini biliyoruz.

$\boxed{k^2\hat{n}.\hat{n}=\mu\epsilon\frac{w^2}{c^2}}$ olması şartı ile

$$\left.\begin{array}{l}\vec{\nabla}.\vec{E}=0\\ \vec{\nabla}.\vec{B}=0\end{array}\right\}\quad \begin{array}{l}\hat{n}.\vec{\mathcal{E}}=0\\ \hat{n}.\vec{\mathcal{B}}=0\end{array}$$ enine dalgalar

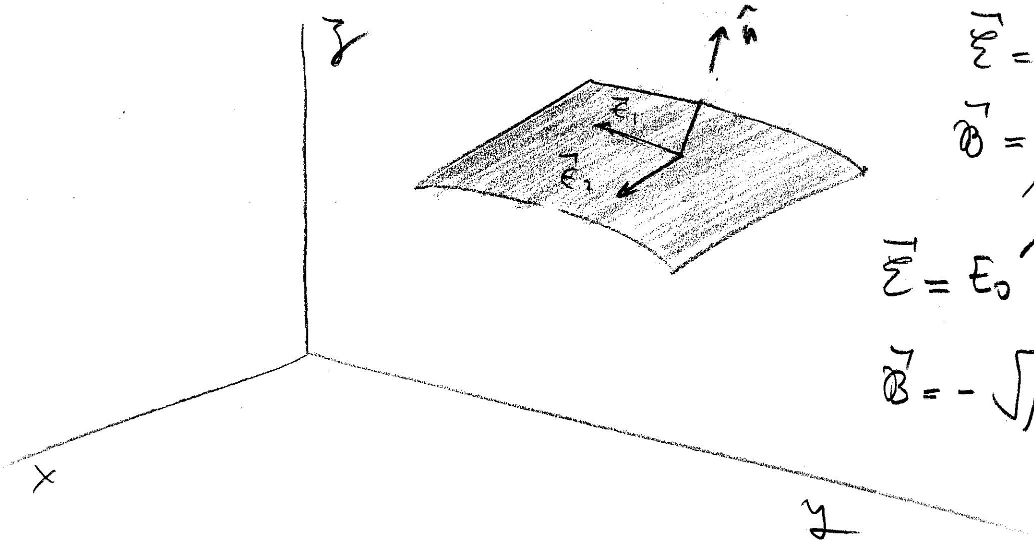
$\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \Rightarrow ik\hat{n}\times\vec{\mathcal{E}}=\frac{1}{c}iw\vec{\mathcal{B}}$ $\boxed{\vec{\mathcal{B}}=\sqrt{\mu\epsilon}\,\hat{n}\times\vec{\mathcal{E}}}$

$\vec{B}\perp\vec{E}$

BS.K

$\hat{n}$ reel $\Rightarrow$ $\vec{\mathcal{E}}$ ve $\vec{\mathcal{B}}$ aynı faza sahipler.

karşılıklı ortogonel üç birim vektör olsun $\vec{\epsilon}_1, \vec{\epsilon}_2, \hat{n}$




$$\vec{\mathcal{E}} = \vec{\epsilon}_1 E_0$$
$$\vec{\mathcal{B}} = \sqrt{\mu\varepsilon}\, E_0\, \vec{\epsilon}_2$$
$$\vec{\mathcal{E}} = E_0' \vec{\epsilon}_2$$
$$\vec{\mathcal{B}} = -\sqrt{\mu\epsilon}\, E_0' \vec{\epsilon}_1$$

<u>Poynting vektörü</u>

$$\vec{S} = \frac{1}{2}\frac{c}{4\pi}\vec{E}\times\vec{H}^*$$

$$\left.\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{\epsilon}_1 E_0\, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}\\ \vec{B} &= \vec{\epsilon}_2\sqrt{\mu\epsilon}\, E_0\, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \vec{S} = \frac{c}{8\pi}\sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}\,|E_0|^2\,\hat{n}$$

enerji akısı.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu}\vec{B}$$

$$u = \frac{1}{16\pi}\left(\epsilon\,\vec{E}\cdot\vec{E}^* + \frac{1}{\mu}\vec{B}\cdot\vec{B}^*\right) = \frac{\epsilon}{8\pi}|E_0|^2$$ enerji yoğunluğu.

$$\Rightarrow \vec{S} = \sqrt{\frac{1}{\mu\epsilon}}\, c\, u\,\hat{n} \Rightarrow \frac{\vec{S}}{u} = v\,\hat{n} \qquad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$\hat{n}$ kompleks $\Rightarrow$ $\hat{n} = \hat{n}_R + i\hat{n}_I$

$$e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t} = \underbrace{e^{-k\hat{n}_I\cdot\vec{x}}}_{\substack{\text{exp. olarak} \\ \text{küçülür ya da} \\ \text{büyür.}}} \underbrace{e^{-i\omega t + ik\hat{n}_R\cdot\vec{x}}}_{\text{bilinen DD}}$$

İnhomojen

sabit faz ve genlikler yüzeyi hala düzlemsel, ama artık paralel değiller. Halen,

$$\hat{n}\cdot\hat{\mathcal{E}} = 0 \qquad \hat{n}\cdot\vec{\mathcal{B}} = 0$$

$\hat{n}\cdot\hat{n}$ gerekliliği $\begin{cases} n_R^2 - n_I^2 = 1 \\ \hat{n}_R\cdot\hat{n}_I = 0 \quad \text{ortogonaller} \end{cases}$

$n_R = \hat{x}$ $\quad n_I = \hat{y}$ seçelim $\quad n_R^2 - n_I^2 = 1$ ancak ve ancak

$$\hat{n} = \vec{e}_1 \, Ch\,\theta + i\,\vec{e}_2 \, Sh\,\theta$$

reel $\begin{cases} \theta = 0 \text{ için evvelki} \\ \text{seçimler elde} \\ \text{edilir!} \end{cases}$

olursa sağlanır. O zaman, $\hat{n}\cdot\vec{\mathcal{E}} = 0$ koşulunu sağlayan en genel $\vec{\mathcal{E}}$ vektörü

$$\vec{\mathcal{E}} = \underbrace{A(i\hat{e}_1 Sh\,\theta - \hat{e}_2 Ch\,\theta) + \hat{e}_3 A'}_{}$$

sbt. ler.

## 7.2. Lineer ve dairesel polarizasyon ve Stokes Parametreleri

$$\vec{E}(\vec{x},t) = \vec{\mathcal{E}}\, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

$$\vec{B}(\vec{x},t) = \vec{\mathcal{B}}\, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

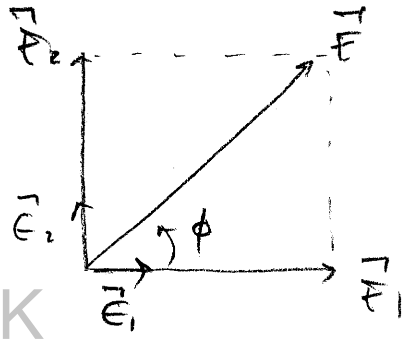
Eğer $\vec{\mathcal{E}} = \vec{\epsilon}_1 E_0$ ve $\vec{\mathcal{B}} = \vec{\epsilon}_2 \sqrt{\mu\epsilon}\, E_0$ ise, o zaman bu $\vec{E}$ daima $\vec{\epsilon}_1$ - doğrultusundadır anlamına gelir ($\vec{\epsilon}_1$ polarizasyon vektörlü lineer kutuplanmış dalga). Diğer benzer bir set şu şekilde kurulabilir.

$$\left.\begin{aligned} \vec{\mathcal{E}} &= \vec{\epsilon}_2 E_0' \\ \vec{\mathcal{B}} &= -\vec{\epsilon}_2 \sqrt{\mu\epsilon}\, E_0' \end{aligned}\right\} \vec{\epsilon}_2 \text{ boyunca lineer pol. olmuş}$$

Böylece, herhangi bir doğrultuda lineer polarize olmuş DD elde etmek için bu iki küme birleştirilir.

$$\vec{E}(\vec{x},t) = (\vec{\epsilon}_1 \underbrace{E_1 + \vec{\epsilon}_2 E_2}_{\text{kompleks genlikler}})\, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

lineer polarize DD elde etmek istiyorsak $E_1$ ve $E_2$ aynı fazda olmalılar.



$$|\vec{E}| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

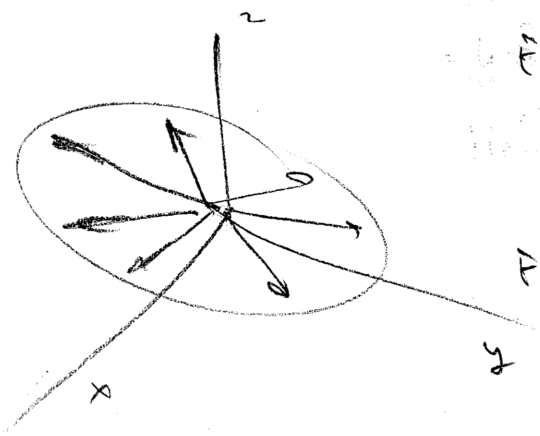
$$\phi = \tan^{-1}\frac{E_2}{E_1}$$

* $E_1$ ve $E_2$ farklı fazda ise eliptik kutuplu

$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2|$ $\phi = \frac{\pi}{2}$ dairesel kutuplu

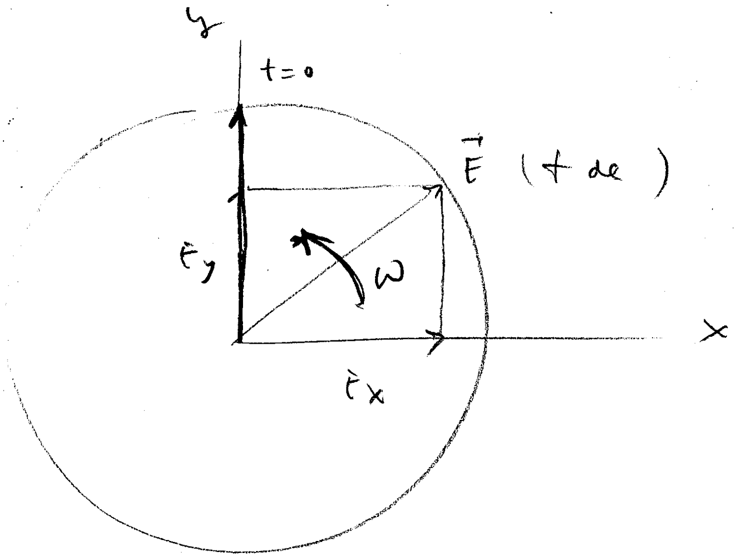
$\vec{\epsilon}_1 = \hat{x}$ $\vec{\epsilon}_2 = \hat{y}$ seçelim $\vec{k} = k\hat{z}$ olsun.

$$\vec{E}(\vec{x},t) = E_0 \, (\hat{x} \pm i\hat{y}) \, e^{ik\hat{n}\cdot\vec{x} - i\omega t}$$




$$E_x(\vec{x},t) = Re\,[E_x(\vec{x},t)]$$
$$= E_0 \cos(kz - \omega t)$$
$$E_y(\vec{x},t) = Re\,[\vec{E}_y(\vec{x},t)]$$
$$= \mp E_0 \sin(kz - \omega t)$$

belirli bir zamanda, uzayda bir noktada




$\vec{\epsilon}_1 + i\vec{\epsilon}_2$ sol dairesel pol. <u>pozitif</u> helisite

$\vec{\epsilon}_1 - i\vec{\epsilon}_2$ sağ " " <u>negatif</u> "

$\vec{\epsilon}_1, \vec{\epsilon}_2, \hat{n}$ : lineer pol. için birim baz vektörleri

$\vec{\epsilon}_+, \vec{\epsilon}_-, \hat{n}$ seçebiliriz $\quad \vec{\epsilon}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{\epsilon}_1 + i\vec{\epsilon}_2)$

$$\vec{\epsilon}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{\epsilon}_1 - i\vec{\epsilon}_2)$$

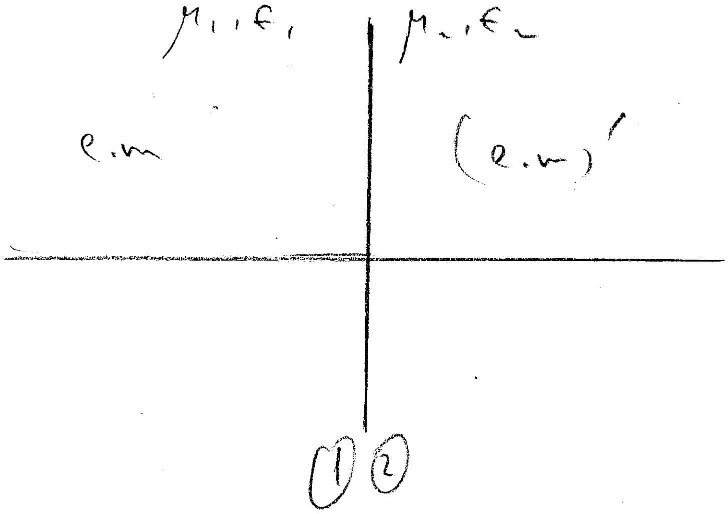
$\left.\begin{array}{l} \vec{\epsilon}_+ \cdot \vec{\epsilon}_-^{\,*} = 0 \\ \vec{\epsilon}_\pm \cdot \vec{\epsilon}_\pm^{\,*} = 1 \end{array}\right|$ dairesel pol. için birim baz vektörleri

Her elekt. DD nın pol. bilgisi ($E_1$, ve $E_2$) ya da ($E_+$ ve $E_-$) ye bakarak bulunabilir.

Ters problem: bir demetteki gözlemlerimizden, tüm özelliklerdeki polarizasyon durumunu nasıl betimleriz? Stokes parametreleri bunları ölçülü bilinmeyen pol. u tamamen belirler.

$S_0, S_1, S_2, S_3$

## 7.3. Yansıma ve kırılma




1.) Kinematik özellikler: (Dalgaların ya da sınır şartlarının detaylı doğasına bağlı olmayıp, EMD'nin dalga doğasından çıkanlar)

a) Yansıma açısı = Geliş açısı

gelen

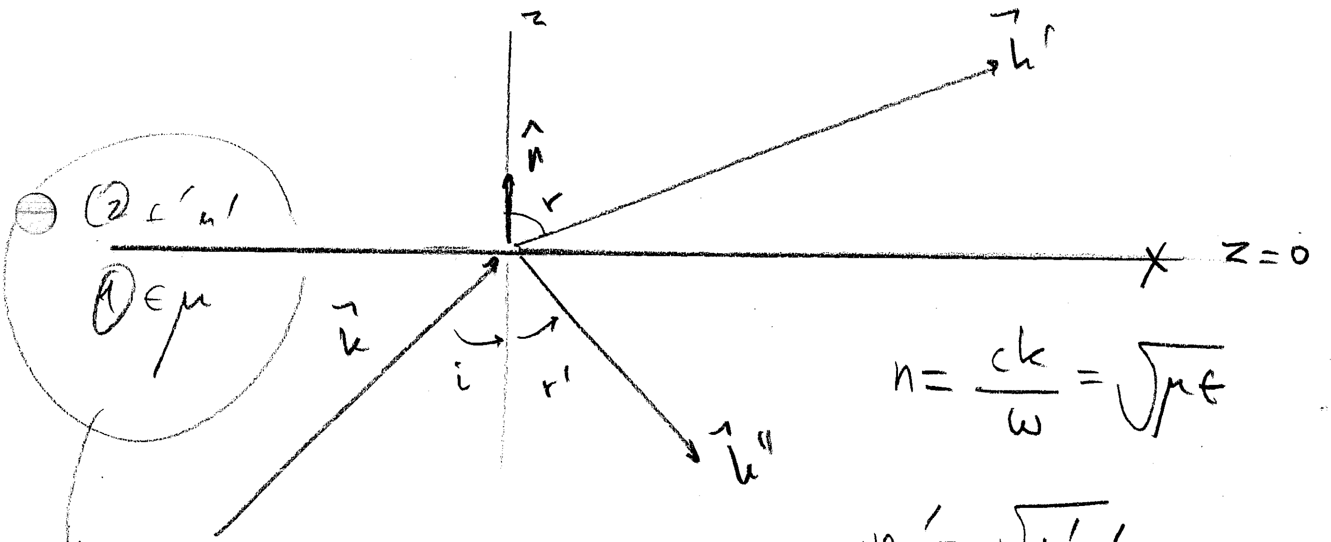
b) Snell yasası $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n'}{n}$ kırılma indisleri

yansıyan

2. <u>Dinamik özellikleri</u> : (Tamamen EMD'in özel doğasına bağlıdırlar)

a) Yansıyan ve kırılan ışınımların şiddetleri

b) Faz değişimleri ve kutuplanma




$$n = \frac{ck}{\omega} = \sqrt{\mu\epsilon}$$

$$n' = \sqrt{\mu'\epsilon'}$$

SM'li izotropik homojen

Sınır koşulları + Maxwell denk.'nin kullanılmadıkları için EMD olduğunu ispat etmiş oluruz.

<u>Gelen</u>

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

$$\vec{B}(\vec{x},t) = \sqrt{\mu\epsilon}\,\frac{\vec{k}\times\vec{E}}{k}$$

<u>Kırılan</u>

$$\vec{E}'(\vec{x},t) = \vec{E}_0' e^{i\vec{k}'\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

$$\vec{B}'(\vec{x},t) = \sqrt{\mu'\epsilon'}\,\frac{\vec{k}'\times\vec{E}'}{k'}$$

<u>Yansıyan</u> :

$$\vec{E}''(\vec{x},t) = \vec{E}_0'' e^{i\vec{k}''\cdot\vec{x} - i\omega t}$$

$$\vec{B}''(\vec{x},t) = \sqrt{\mu\epsilon}\,\frac{\vec{k}''\times\vec{E}''}{k''}$$

<u>Dalga sayıları</u>: $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\mu\epsilon} = k''$

$$|\vec{k}'| = k' = \frac{\omega}{c}\sqrt{\mu'\epsilon'}$$

$z=0$ daki sınır şartları

1.) Alanların sınırda uzay ve zaman değişimleri aynı olmalı. Yani fazları eşit olmalı, yani

$$\vec{k}\cdot\vec{x}\Big|_{z=0} = \vec{k}'\cdot\vec{x}\Big|_{z=0} = \vec{k}''\cdot\vec{x}\Big|_{z=0}$$

bu $\Rightarrow$ $k \sin i = k' \sin r = k'' \sin r' \Rightarrow$ $i = r'$

gelen ve yansıma eşit

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{k'}{k} = \frac{(\omega/c)\sqrt{\epsilon'\mu'}}{(\omega/c)\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{n'}{n}$$ Snell yasası

2. Dinamik özellikleri

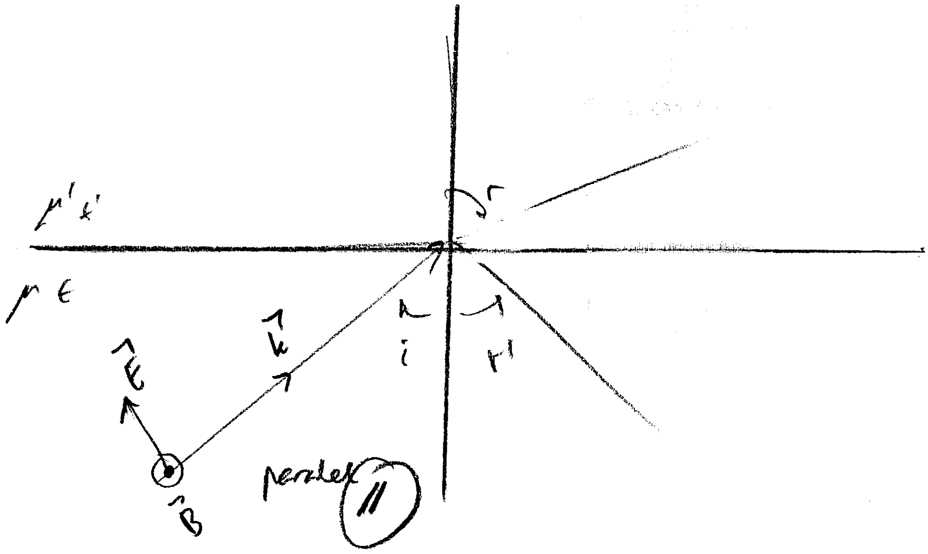
$\vec{D}$ ve $\vec{B}$'nin normal bileşenleri } sürekliler
$\vec{E}$ ve $\vec{H}$'nin teğet "

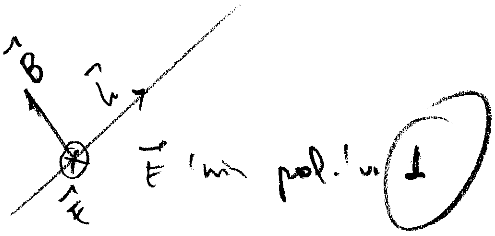
1. $D_{1n} = D_{2n} \Rightarrow \left[\epsilon(\vec{E}_0 + \vec{E}_0'') - \epsilon'\vec{E}_0'\right]\cdot\hat{n} = 0$

2. $B_{1n} = B_{2n} \Rightarrow \left[\vec{k}\times\vec{E}_0 + \vec{k}''\times\vec{E}_0'' - \vec{k}'\times\vec{E}_0'\right]\cdot\hat{n} = 0$

3. $\left(\vec{E}_0 + \vec{E}_0'' - \vec{E}_0'\right)\times\hat{n} = 0$ $\quad E_{1t} = E_{2t}$

4. $\left[\frac{1}{\mu}(\vec{k}\times\vec{E}_0) + \frac{1}{\mu}(\vec{k}''\times\vec{E}_0'') - \frac{1}{\mu'}(\vec{k}'\times\vec{E}_0')\right]\times\hat{n} = 0$ $\quad H_{1t} = H_{2t}$



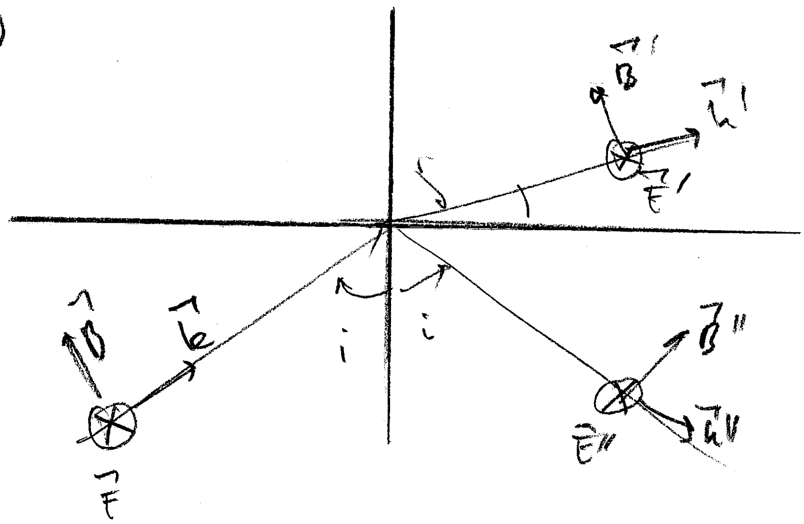

z=0 daki sınır şartları dinamik özellikleri verecek.

<u>İki farklı durum var:</u>

(i) Gelen dalga, kutuplanma vektörü geliş düzlemine ($\hat{n}, \hat{k}$ ile tanımlanan düzlem) dik olacak şekilde çizgisel kutuplu

(ii) kutuplanma vekt. geliş düzlemine paralel

(i)




3 ve 4 $\quad E_0 + E_0'' - E_0' = 0 \quad (3)$

(4) $\sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}\,(E_0 - E_0'')\cos i - \sqrt{\frac{\epsilon'}{\mu'}}\,E_0'\cos r = 0$

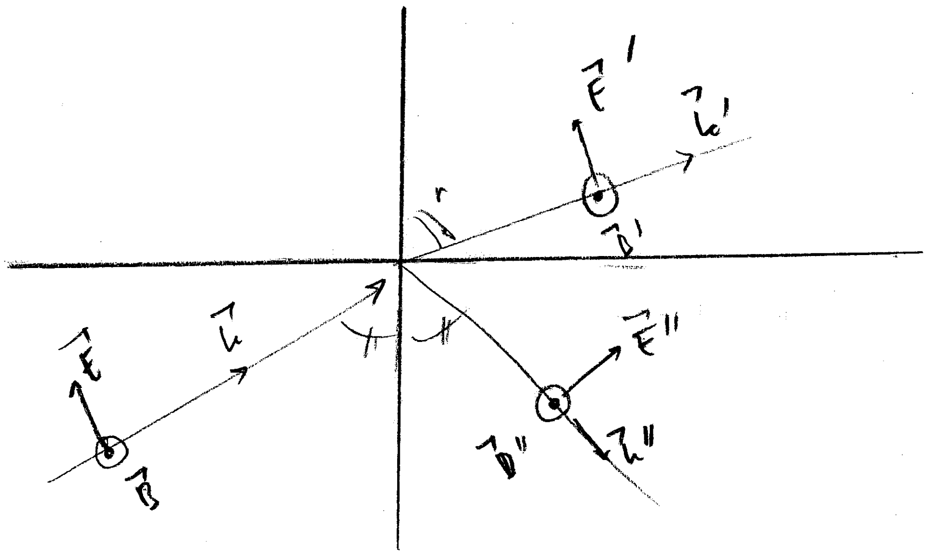
Snell yasası kullanılırsa (2) (3) ü verir.

$\Rightarrow \quad E_0'/E_0 = 2n\cos i \Big/ \left[ n\cos i + \frac{\mu}{\mu'}\sqrt{n'^2 - n^2\sin^2 i} \right]$

$$\frac{E_0''}{E_0} = \left[ n\cos i - \frac{\mu}{\mu'}\sqrt{n'^2-n^2\sin^2 i} \right] \Big/ \left[ n\cos i + \frac{\mu}{\mu'}\sqrt{n'^2-n^2\sin^2 i} \right]$$

$i = \pi/2 \Rightarrow E_0' = 0$

(ii)




(3) $\rightarrow \left( E_0 - E_0'' \right)\cos i - E_0'\cos r = 0$

(4) $\rightarrow \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}\,(E_0 + E_0'') - \sqrt{\frac{\epsilon'}{\mu'}}\,E_0' = 0$

1 + Snell yasası + 4 ü tekrar ede

$E_0'/E_0 = 2nn'\cos i \Big/ \left[ (\mu/\mu')\, n'^2\cos i + n\sqrt{n'^2 - n^2\sin^2 i} \right]$

$E_0''/E_0 = \left[ (\mu/\mu')\, n'^2\cos i - n\sqrt{n'^2-n^2\sin^2 i} \right] \Big/ \left[ (\mu/\mu')\, n'^2\cos i + n\sqrt{n'^2-n^2\sin^2 i} \right]$

# 7.4. Yansıma ile kutuplanma ve tam iç yansıma

## (i) Yansıma ile kutuplama

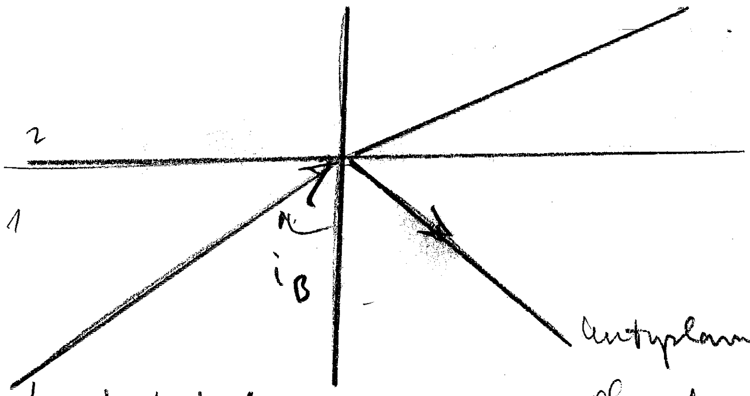
Geliş düzlemine paralel kutuplanma için, yansıyan dalganın olmadığı Brewster açısı olarak adlandırılan bir geliş açısı vardır. Basitlik için $\mu=\mu'$ alalım.

$$\frac{E_0''}{E_0}=0 \qquad n'^2\cos i = n\sqrt{n'^2-n^2\sin^2 i} \qquad E_0'/E_0=1 \text{ olmalı.}$$

$$n'^4\cos^2 i = n^2 n'^2 - n^4\sin^2 i = n'^4(1-\sin^2 i)$$

$$\sin i_B = \frac{(n'/n)}{\sqrt{1+(n'/n)^2}} \qquad i_B=\tan^{-1}(n'/n)$$

tipik bir oran için $(n'/n \simeq 1.5)$ $i_B \simeq 56^\circ$



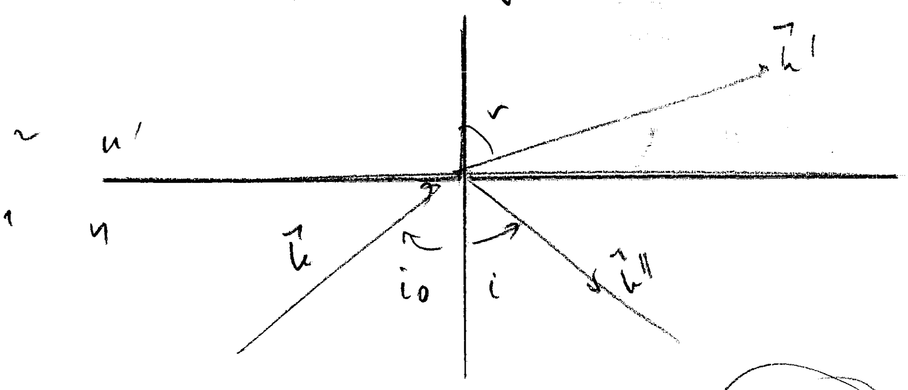

kutuplanma vektörü geliş düzlemine dik olacak şekilde tamamen düzlemsel kutuplu D elde edilir.

karışık kutuplu DD

dik olan yansıyacak
paralel " geçmeyecek.

## (ii) Tam İç Yansıma (TİY)

$n > n'$ (içe) olduğundan çok yoğundan → az yoğuna




$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n'}{n} < 1$$

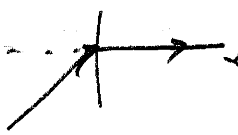
$$\sin i < \sin r$$

$$i < r$$

$r = \pi/2 \rightarrow i_0 = \sin^{-1}\left(\frac{n'}{n}\right)$ ya da olursa

$i = i_0$ ise $\sin r = \frac{n}{n'} \sin i = \frac{n}{n'} \sin\left(\sin^{-1}\frac{n'}{n}\right) = \frac{n}{n'} \cdot \frac{n'}{n} = 1$ olur

$i < \pi/2$ $\quad r = \frac{\pi}{2}$ $\quad$ kırılan dalga yüzeye paralel yayılır.



? $i > i_0 \Rightarrow$ ne olur. $\sin r > 1$

bu $r$'nin $\quad \cos^2 r = 1 - \sin^2 r < 0$ olacağından $\cos r$ nin saf sanal olacağını söyle.

$$\cos r = i\sqrt{\sin^2 r - 1} = i\sqrt{\left(\frac{n}{n'}\right)^2 \sin^2 r - 1} \qquad \vec{E} \perp GD.$$

$$= i\sqrt{\frac{\sin^2 r}{(n'/n)^2} - 1} = i\sqrt{\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i_0} - 1}$$

$$e^{i\vec{k}'\cdot\vec{x}} = e^{ik'(x\sin r + z\cos r)} = \underbrace{e^{-k'\left[\left(\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i_0} - 1\right)^{1/2}\right] z}}_{\text{sönme arayüzeyden içerilerde}} \; \underbrace{e^{ik'\frac{\sin i}{\sin i_0} x}}_{\text{yüzeye paralel ilerleme.}}$$

Yüzeyin öbür yanında alanlar olsa bile yüzeyden enerji alınışı yok.

BS K

$$\vec{S}\cdot\hat{n} = \frac{c}{8\pi} \mathrm{Re}\left\{ \hat{n}\cdot(\vec{E}'\times\vec{H}'^{*}) \right\}$$

$$S = \frac{c}{8\pi} \mathrm{Re}\,(\vec{E}'\times\vec{H}'^{*})$$

$$\vec{H}' = \frac{c}{\mu' \omega} (\vec{k}'\times\vec{E}')$$

$$\vec{S}\cdot\hat{n} = \frac{c^2}{8\pi\omega\mu'} \mathrm{Re}\left[ (\hat{n}\cdot\vec{k}')\,|\vec{E}_0'|^2 \right]$$

$$\hat{n}\cdot\vec{k}' = |\hat{n}|\,|\vec{k}'|\cos r = k' \underbrace{\cos r}_{\text{purely im. no real part}}$$

$$\vec{S}\cdot\hat{n} = 0$$