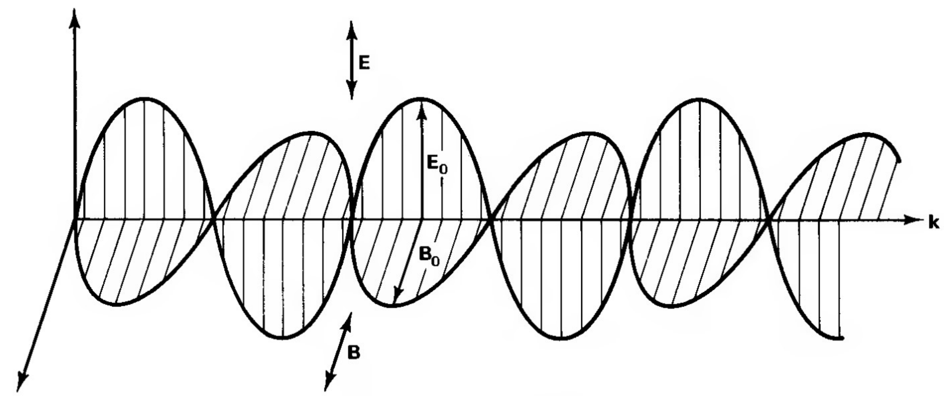
Física Contemporánea

Dr. Víctor H. Cárdenas
Instituto de Física y Astronomía
Universidad de Valparaíso

4. Polarización



Vectores de Jones

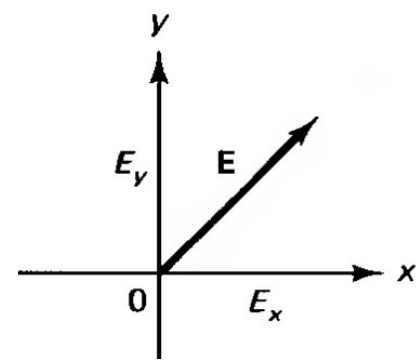
Consideremos el campo $\mathbf{E} = \mathbf{i}E_x + \mathbf{j}E_y$

O bien

$$\mathbf{E} = \mathbf{i}E_{0x}e^{i(kz-\omega t+\varphi_x)} + \mathbf{j}E_{0y}e^{i(kz-\omega t+\varphi_y)}$$

escribiremos

$$\mathbf{E} = [\mathbf{i}E_{0x}e^{i\varphi_x} + \mathbf{j}E_{0y}e^{i\varphi_y}]\, e^{i(kz-\omega t)} = \tilde{\mathbf{E}}_0 e^{i(kz-\omega t)}$$



donde

$$\tilde{\mathbf{E}}_0 = \begin{bmatrix} \tilde{E}_{0x} \\ \tilde{E}_{0y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{0x}e^{i\varphi_x} \\ E_{0y}e^{i\varphi_y} \end{bmatrix}$$

llamado <u>vector de Jones</u>

Polarizadores

SUMMARY OF JONES MATRICES

I. Linear polarizers

TA horizontal $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ TA vertical $\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ TA at 45° to horizontal $\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$

II. Phase retarders

General $\begin{bmatrix} e^{i\epsilon_x} & 0 \\ 0 & e^{i\epsilon_y} \end{bmatrix}$

QWP, SA vertical $e^{-i\pi/4}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$ QWP, SA horizontal $e^{i\pi/4}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix}$

HWP, SA vertical $e^{-i\pi/2}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$ HWP, SA horizontal $e^{i\pi/2}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$

III. Rotator

Rotator $(\theta \rightarrow \theta + \beta)$ $\begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix}$

Polarización

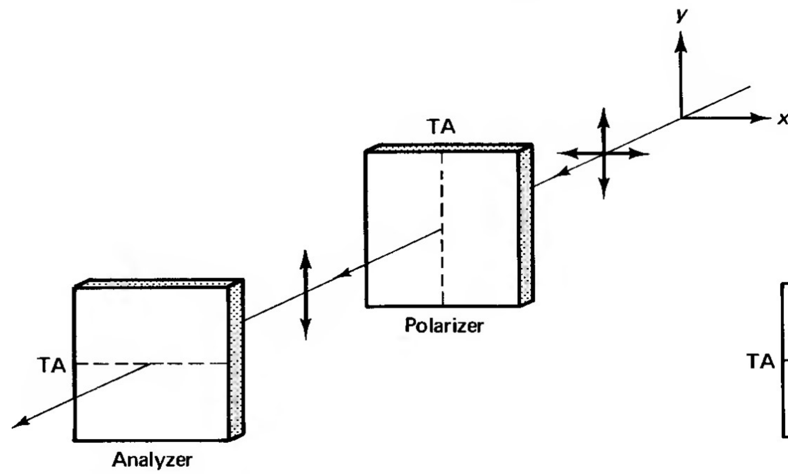
Los procesos más importantes para producir luz polarizada son:

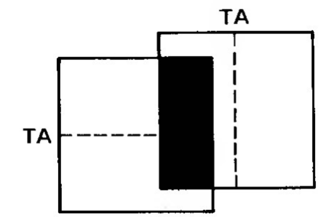
1) Dicroismo
2) Reflexión
3) Scattering
4) Birrefringencia

Polarización

<u>Dicroismo</u>

Absorbe selectivamente vibraciones de ***E*** en una dirección (TA del polarizador).



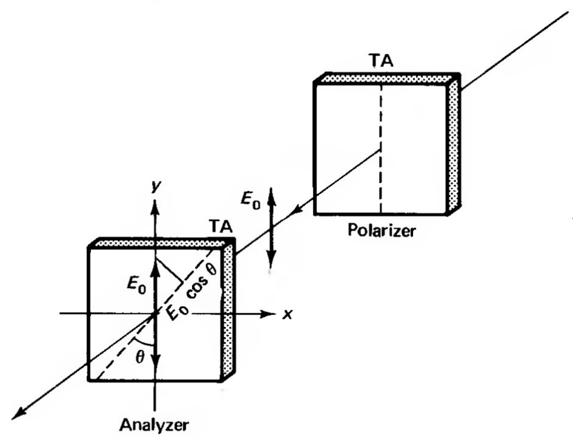


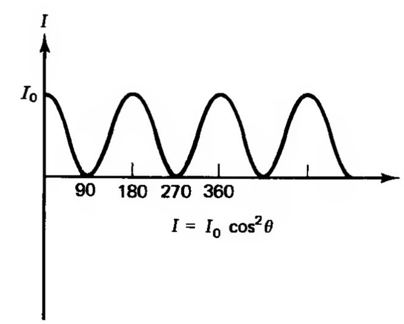
La señal transmitida estará <u>linealmente polarizada</u> (LP)

Para testear el estado de polarización, se uso un segundo polarizador con TA a 90°.

La señal final sigue la *ley de Malus*

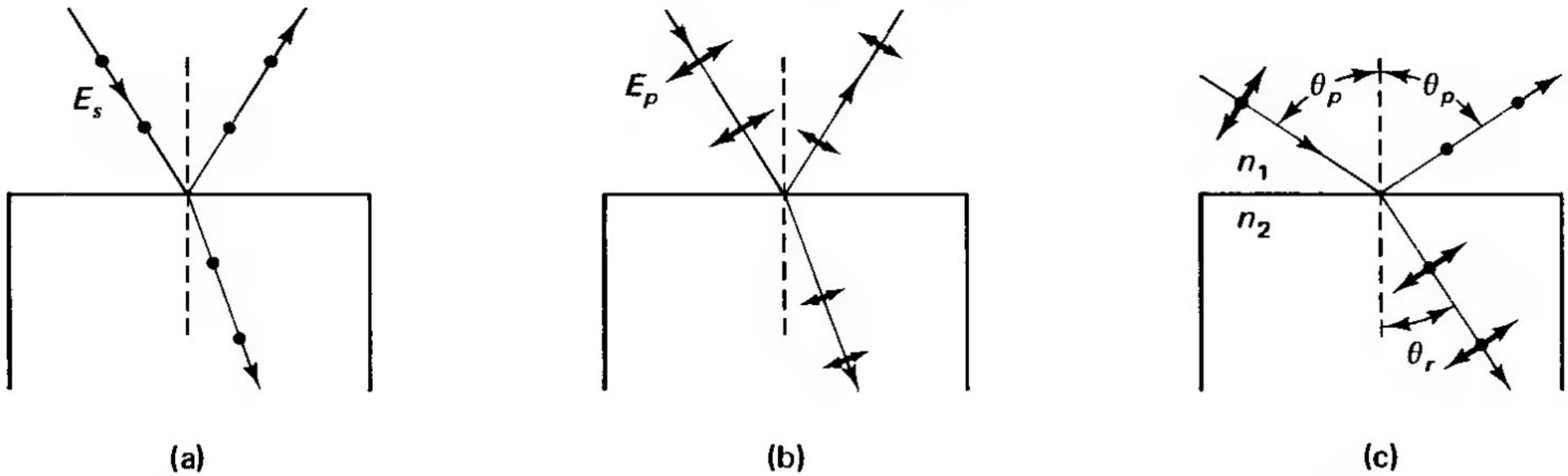
$$\boxed{I = I_0 \cos^2 \theta}$$





Polarización

<u>Reflexión (de superficies dieléctricas)</u>



Una señal no-polarizada (de componentes perperdicular E_s y paralela E_p)

Existe un ángulo para el cual desparece la componente E_p de haz reflejado.

De la ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_p = n_2 \sin \theta_r$$

$$\boxed{\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

Angulo de Brewster

Polarización

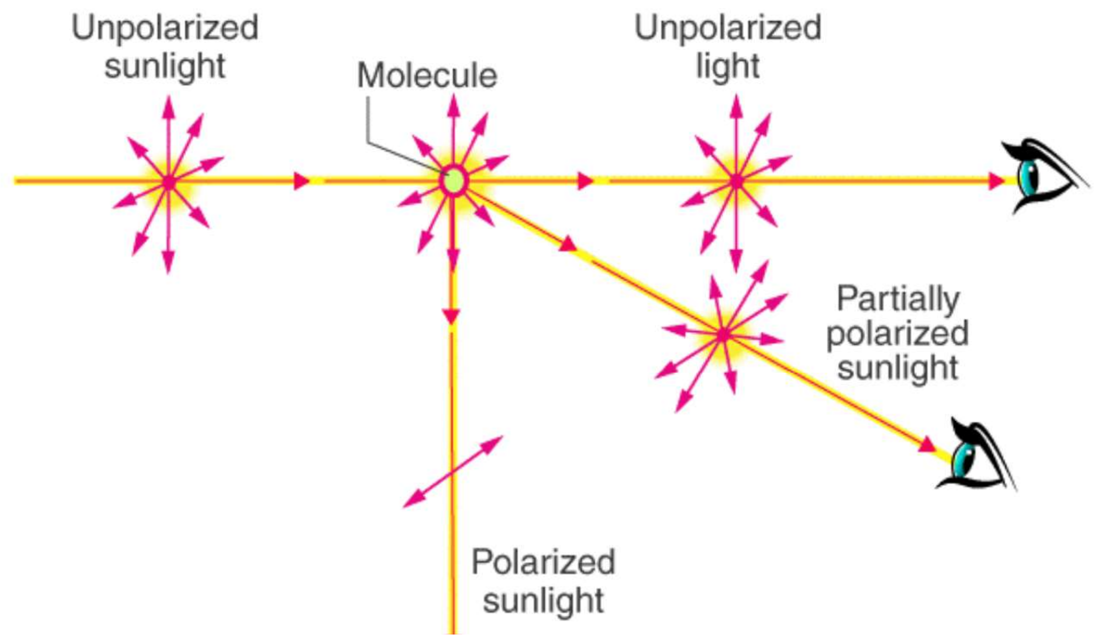
Por scattering

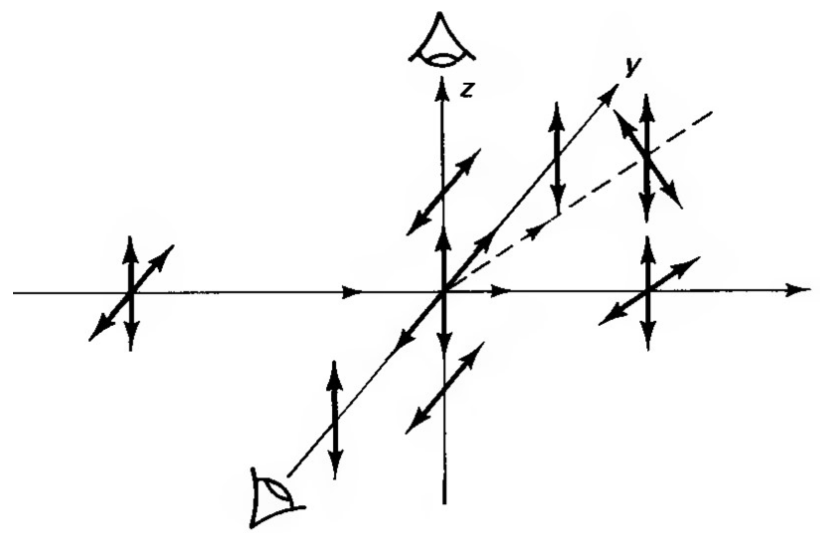
Rayleigh

Las dimensiones de las partículas son pequeñas que la longitud de onda.

$$r = r_0 e^{i\omega t}, \qquad d^2 r/dt^2 = -\omega^2 r_0 e^{i\omega t}$$

$$P = \frac{e^2 \omega^4 r_0^2}{12\pi\epsilon_0 c^3}$$

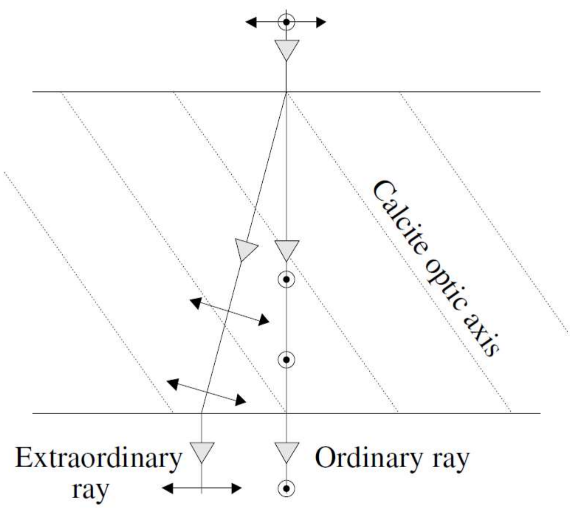




Polarización

Birrefringencia

Son materiales que producen doble refracción. Como si tuvieran 2 índices de refracción.



	Wavelength	n_o	n_e	High transmittance
Calcite	589 nm	1.658	1.486	350–4000 nm
Quartz	589 nm	1.544	1.553	200–2300 nm
LNO	633 nm	2.286	2.202	400–5000 nm
LNO	1300 nm	2.220	2.146	400–5000 nm
YVO_4	633 nm	1.993	2.215	400–4000 nm

Existe polarización ordinaria y extraordinaria.

Polarización

Birrefringencia: Análisis vía ecs. de Maxwell $v \equiv \omega/k = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0\mu_{\mathrm{r}}\varepsilon_{\mathrm{r}}},$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp\left[i(\omega t - \mathbf{k}\cdot\mathbf{r})\right],\ \mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \exp\left[i(\omega t - \mathbf{k}\cdot\mathbf{r})\right].$$

$$\mathbf{k}\cdot\mathbf{D} = 0; \quad \mathbf{k}\cdot\mathbf{H} = 0;$$

$$\mathbf{k}\wedge\mathbf{E} = \omega\mu_0\mathbf{H}; \quad \mathbf{k}\wedge\mathbf{H} = -\omega\mathbf{D}.$$

de la tercera

$$\mathbf{k}\wedge(\mathbf{k}\wedge\mathbf{E}) = \omega\mu_0\mathbf{k}\wedge\mathbf{H} = -\omega^2\mu_0\mathbf{D}.$$

luego

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} = \varepsilon_0 \begin{pmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}.$$

$$\boxed{\mathbf{D} = \varepsilon_0\, \boldsymbol{\varepsilon}\cdot\mathbf{E},}$$

En cristales uniaxiales existe simetría (aquí suponemos eje z) $\varepsilon_y = \varepsilon_x = \varepsilon_1.$

$$\mathbf{k}\wedge(\mathbf{k}\wedge\mathbf{E}) = -(\omega^2/c^2)\boldsymbol{\varepsilon}\cdot\mathbf{E}.$$

$$\boxed{(\mathbf{k}\cdot\mathbf{E})\mathbf{k} - k^2\mathbf{E} + (\omega^2/c^2)\boldsymbol{\varepsilon}\cdot\mathbf{E} = 0.}$$

Birrefringencia

$$\boxed{(\mathbf{k}\cdot\mathbf{E})\mathbf{k} - k^2\mathbf{E} + (\omega^2/c^2)\boldsymbol{\varepsilon}\cdot\mathbf{E} = 0.}$$

O en componentes

$$\begin{pmatrix} (\omega^2/c^2)\varepsilon_1 - k_z^2 & 0 & k_x k_z \\ 0 & (\omega^2/c^2)\varepsilon_1 - k^2 & 0 \\ k_x k_z & 0 & (\omega^2/c^2)\varepsilon_3 - k_x^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = 0.$$

La componente y es simple

$$(\omega^2/c^2)\varepsilon_1 - k^2 = 0, \qquad v \equiv \omega/k = c/\sqrt{\varepsilon_1}. \qquad \mathbf{D} = \varepsilon_0\varepsilon_1\mathbf{E}.$$

Luz con este campo tiene polarización ordinaria con $n_\mathrm{o} = \sqrt{\varepsilon_1}$ indep. de **k**.

Las otras están acopladas

$$[\,(\omega/c)^2\varepsilon_1 - k_z^2\,][\,(\omega/c)^2\varepsilon_3 - k_x^2\,] - k_x^2 k_z^2 = 0.$$

$$n(\theta) = kc/\omega. \qquad 1/n^2(\theta) = \cos^2\theta/n_\mathrm{o}^2 + \sin^2\theta/n_\mathrm{e}^2, \qquad n_\mathrm{e} = \sqrt{\varepsilon_3}$$