

Radiación, óptica, microscopía

Prof. Martin Reich

un mineral es una “sociedad” altamente ordenada
y que obedece a reglas bien definidas

$$EC = A + R + S$$



I. Átomos

Periodic Table of the Elements

H ¹

Li ³ Be ⁴

Na ¹¹ Mg ¹²

K ¹⁹ Ca ²⁰

Rb ³⁷ Sr ³⁸

Cs ⁵⁵ Ba ⁵⁶

Fr ⁸⁷ Ra ⁸⁸

hydrogen

alkali metals

alkali earth metals

transition metals

poor metals

nonmetals

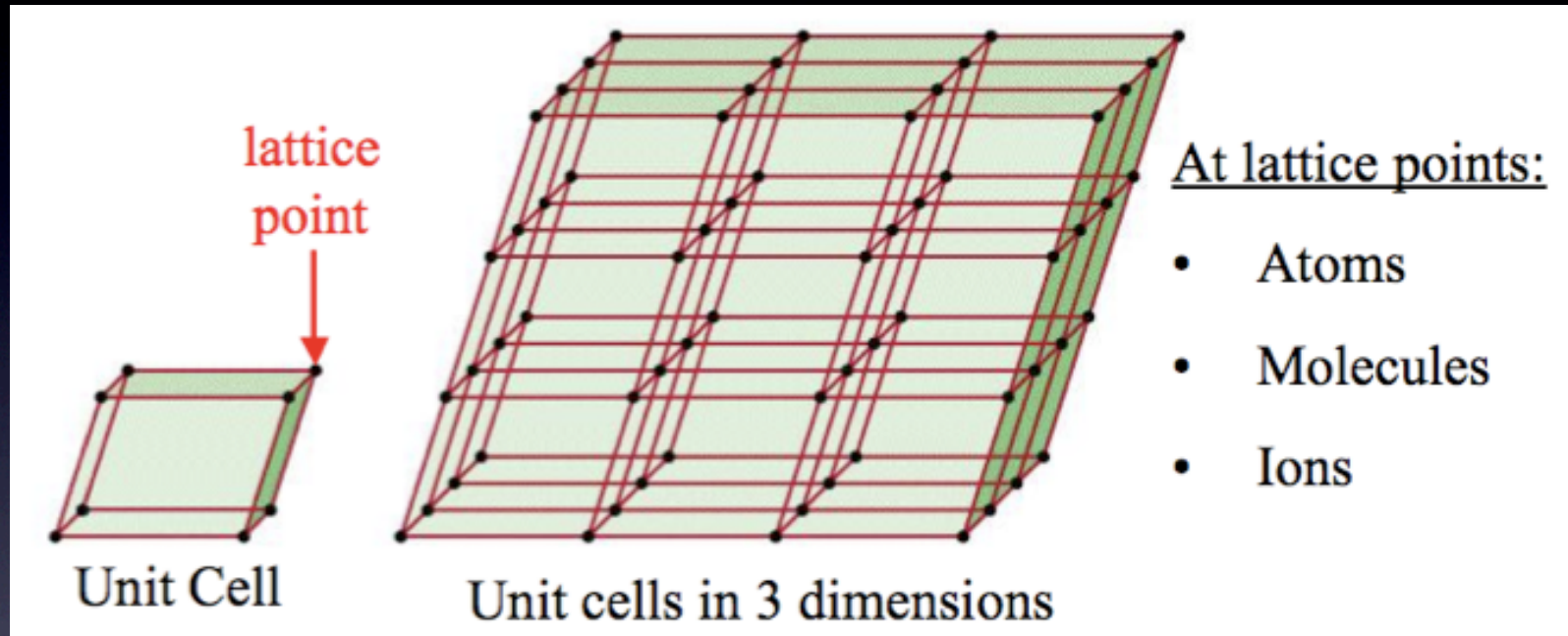
noble gases

rare earth metals

B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	He ²
Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸
Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶
In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴
Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶

Ce ⁵⁸	Pr ⁵⁹	Nd ⁶⁰	Pm ⁶¹	Sm ⁶²	Eu ⁶³	Gd ⁶⁴	Tb ⁶⁵	Dy ⁶⁶	Ho ⁶⁷	Er ⁶⁸	Tm ⁶⁹	Yb ⁷⁰	Lu ⁷¹
Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶	Bk ⁹⁷	Cf ⁹⁸	Es ⁹⁹	Fm ¹⁰⁰	Md ¹⁰¹	No ¹⁰²	Lr ¹⁰³

2. Retículo (lattice)



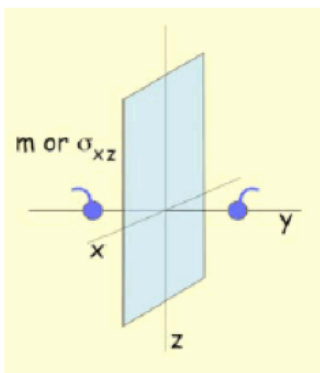
es una construcción VIRTUAL, un marco de referencia o “sistema de coordenadas” definido por el observador

3. Simetría

Rotacional (Sin traslación)

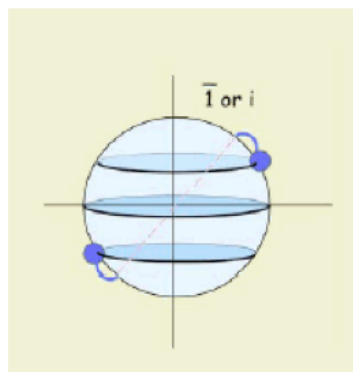
operación

Reflección



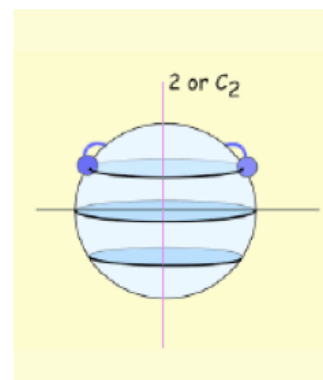
Plano especular

Inversión



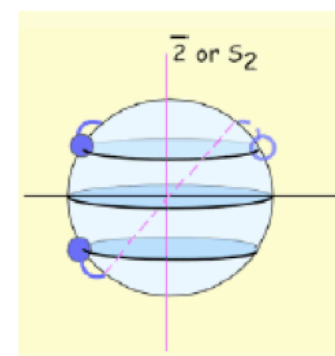
Centro de simetría

Rotación



Eje de rotación

Rotoinversión



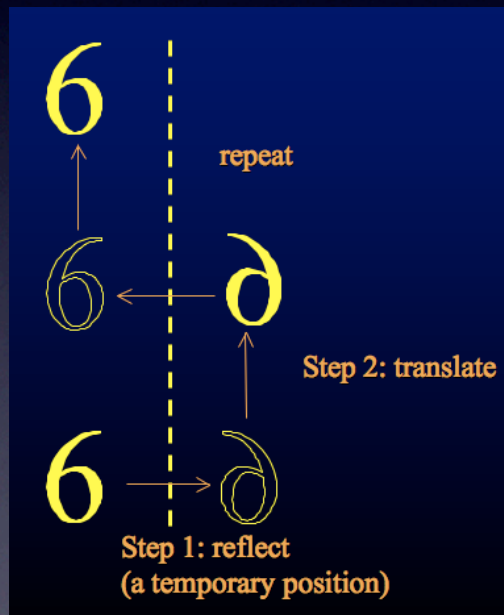
Eje de roto-inversión

elemento

Simetría traslacional

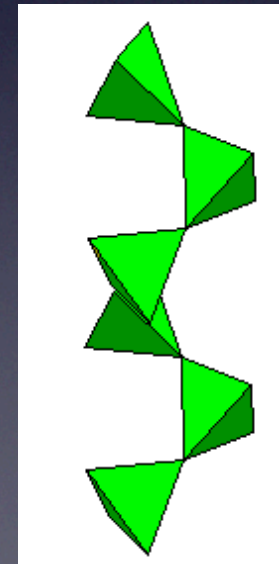
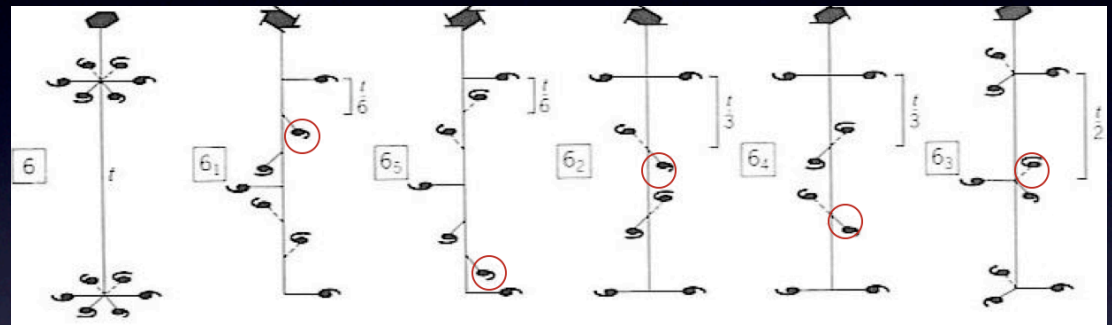
glide
(reflección + traslación)

operación: reflexión con traslación



elemento: plano de deslizamiento
("glide plane")

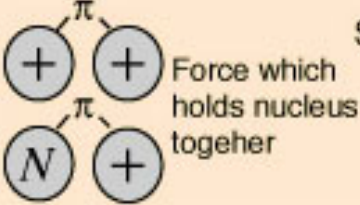
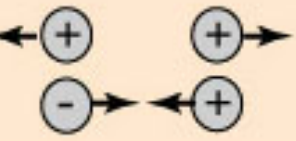
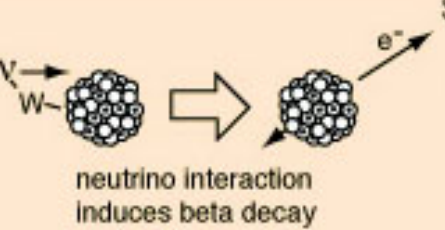
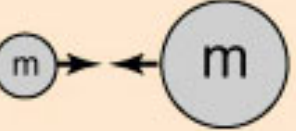
eje de tuerca
(rotación + traslación)



Temario

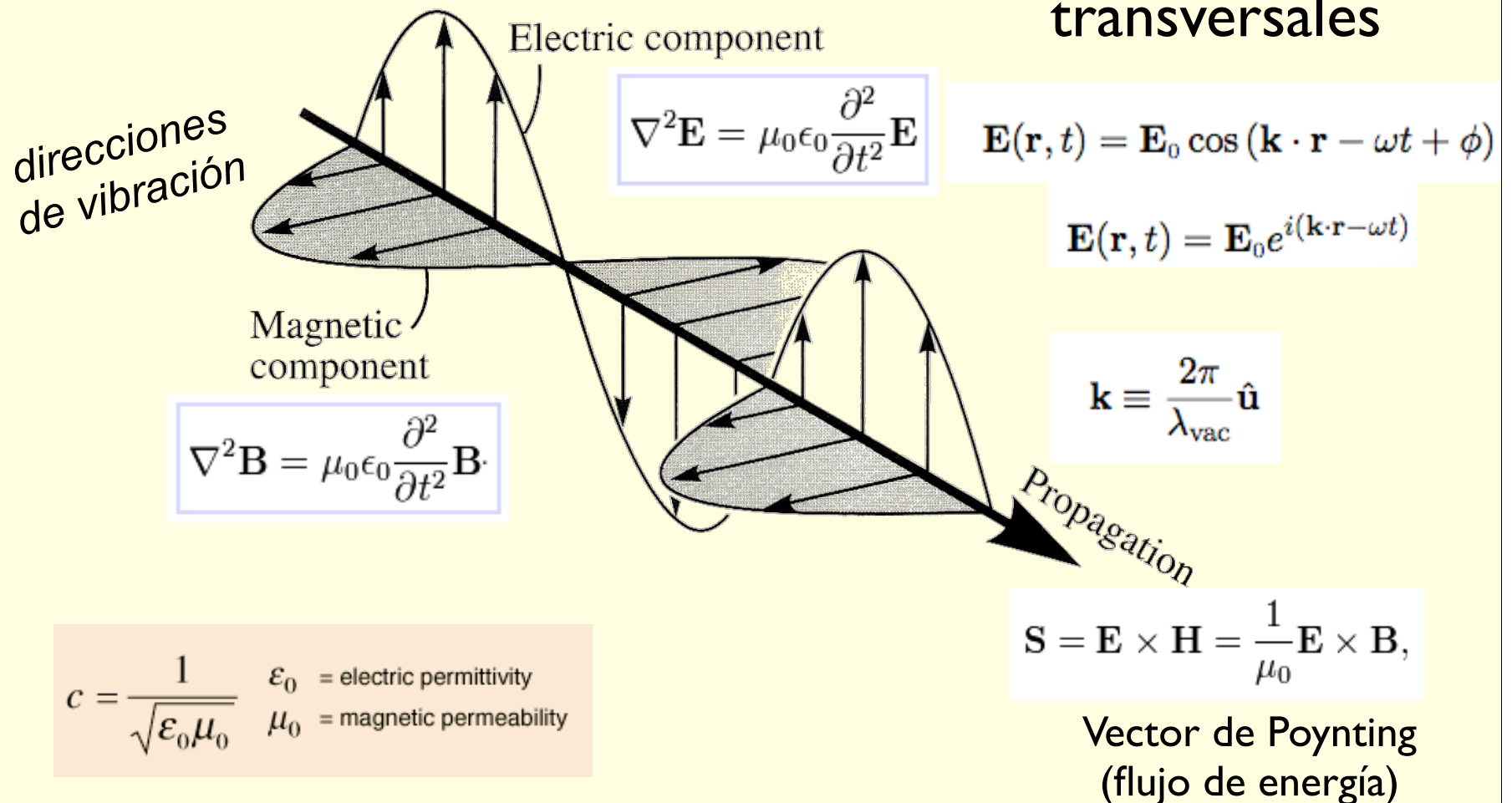
- Espectro electromagnético, luz visible
- Dualidad onda-partícula, fenómenos ondulatorios (difracción) y de dispersión (scattering)
- Refracción, ley de Snell, índice de refracción
- Dispersión
- Microscopía, energía y magnificación

4 fuerzas fundamentales

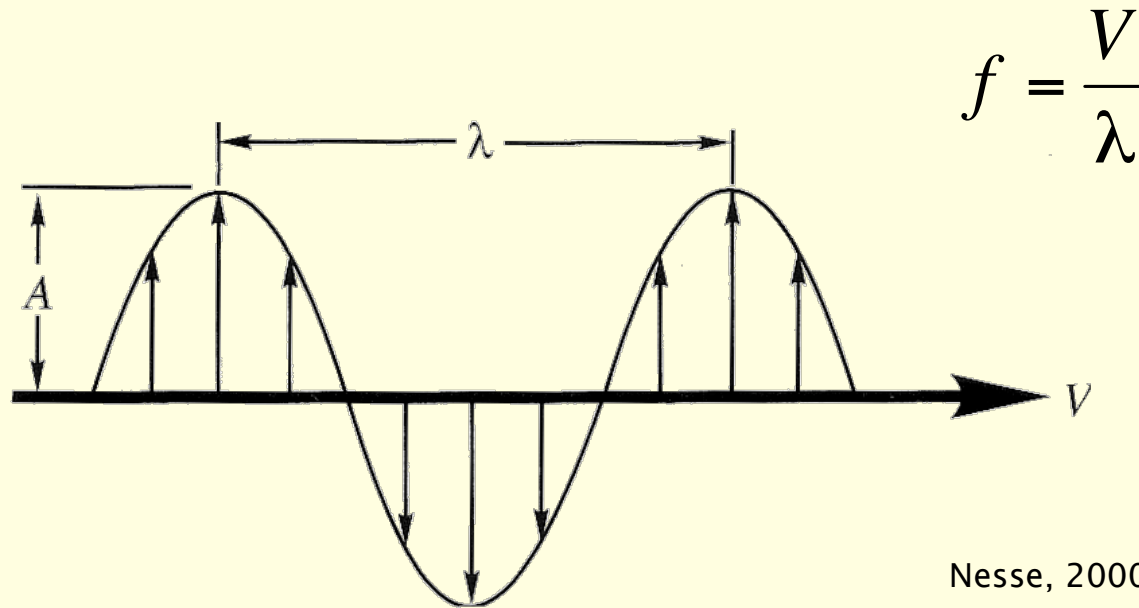
<i>Strong</i>		Strength 1	Range (m) 10^{-15} (diameter of a medium sized nucleus)	Particle gluons, π (nucleons)
<i>Electro-magnetic</i>		Strength $\frac{1}{137}$	Range (m) Infinite	Particle photon mass = 0 spin = 1
<i>Weak</i>		Strength 10^{-6}	Range (m) 10^{-18} (0.1% of the diameter of a proton)	Particle Intermediate vector bosons W^+ , W^- , Z_0 , mass > 80 GeV spin = 1
<i>Gravity</i>		Strength 6×10^{-39}	Range (m) Infinite	Particle graviton ? mass = 0 spin = 2

Componentes de la radiación electromagnética

Ondas transversales



Nomenclatura



$$f = \frac{V}{\lambda}$$

Nesse, 2000; Fig. 7.2b

f (o ν) = frecuencia (Hz)

λ = longitud de onda (nm)

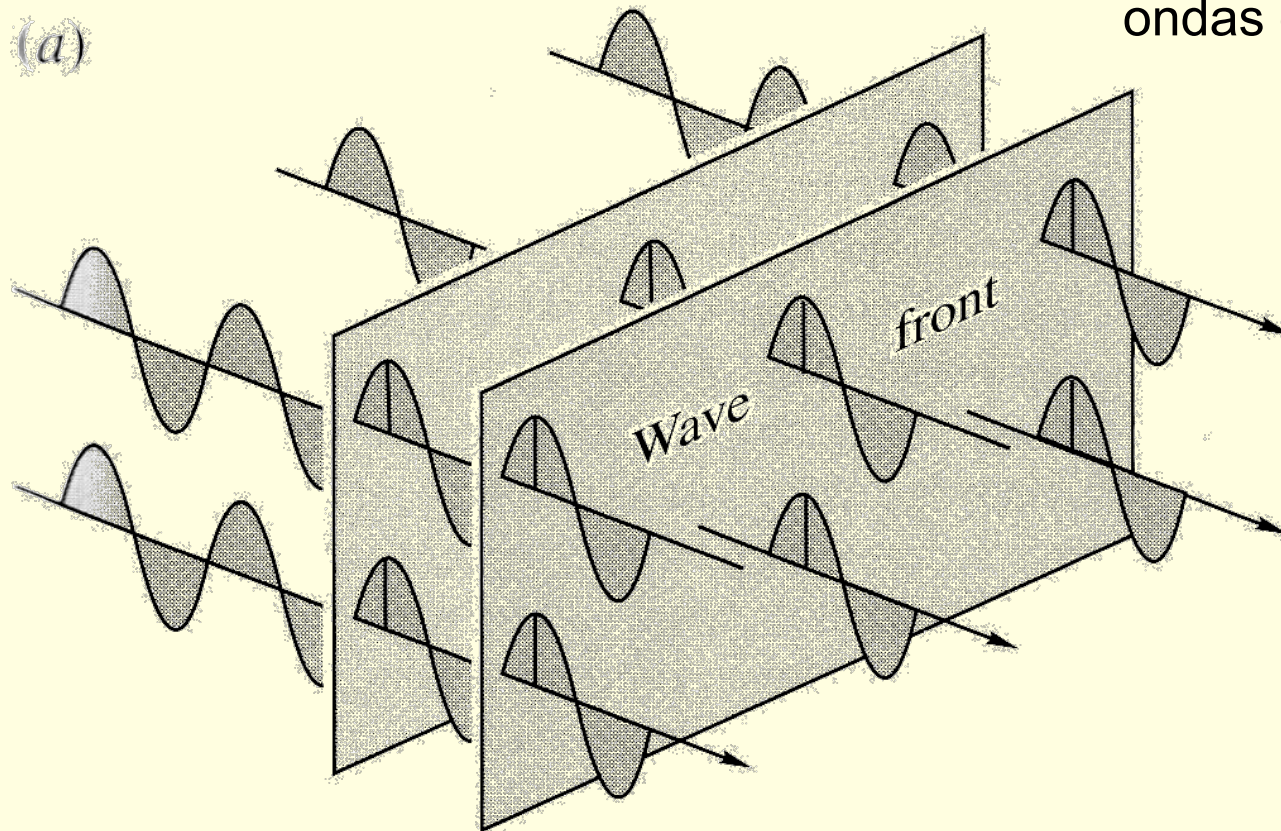
V = velocidad (m/s)

A = amplitud (m)

velocidad de la luz en el vacío (c) = 2.998×10^8 m/s

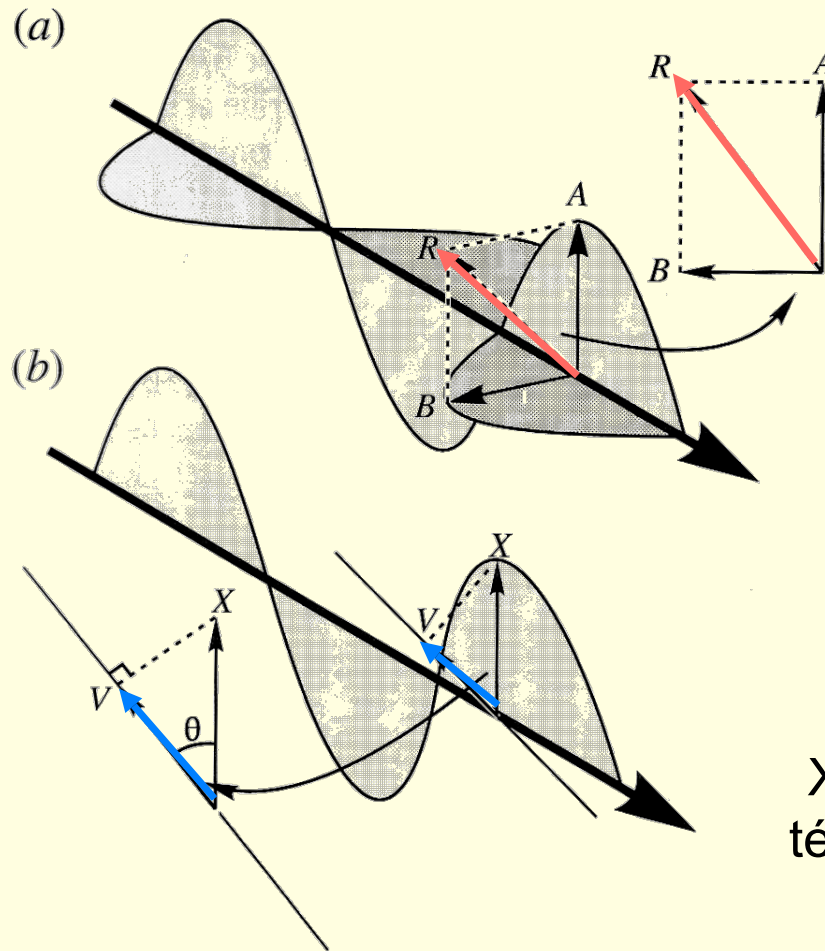
Frente de ondas

conveniente para la
representación de la
propagación de muchas
ondas de luz



Nesse, 2004; Fig. 7.2c

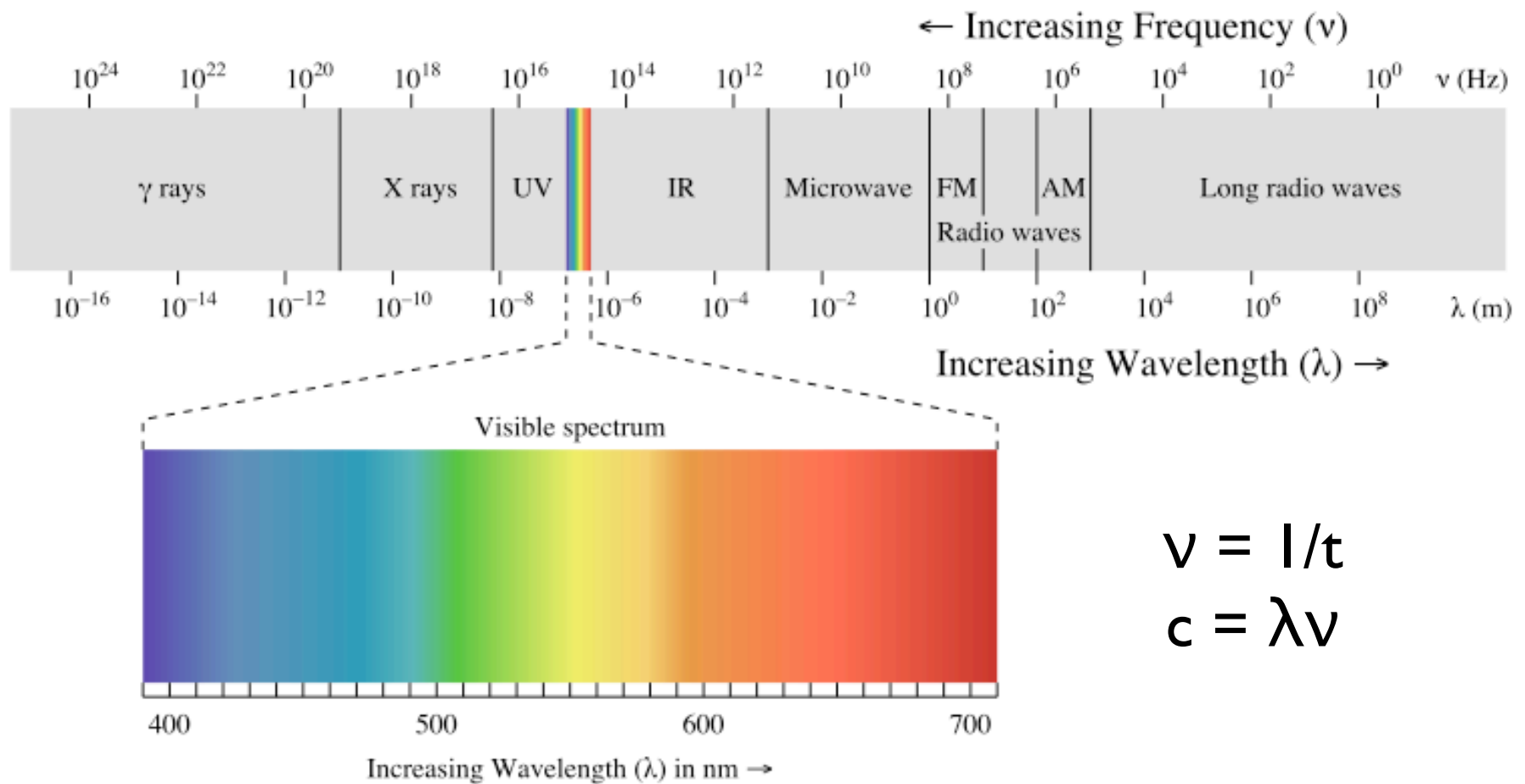
Representación vectorial de las ondas de luz

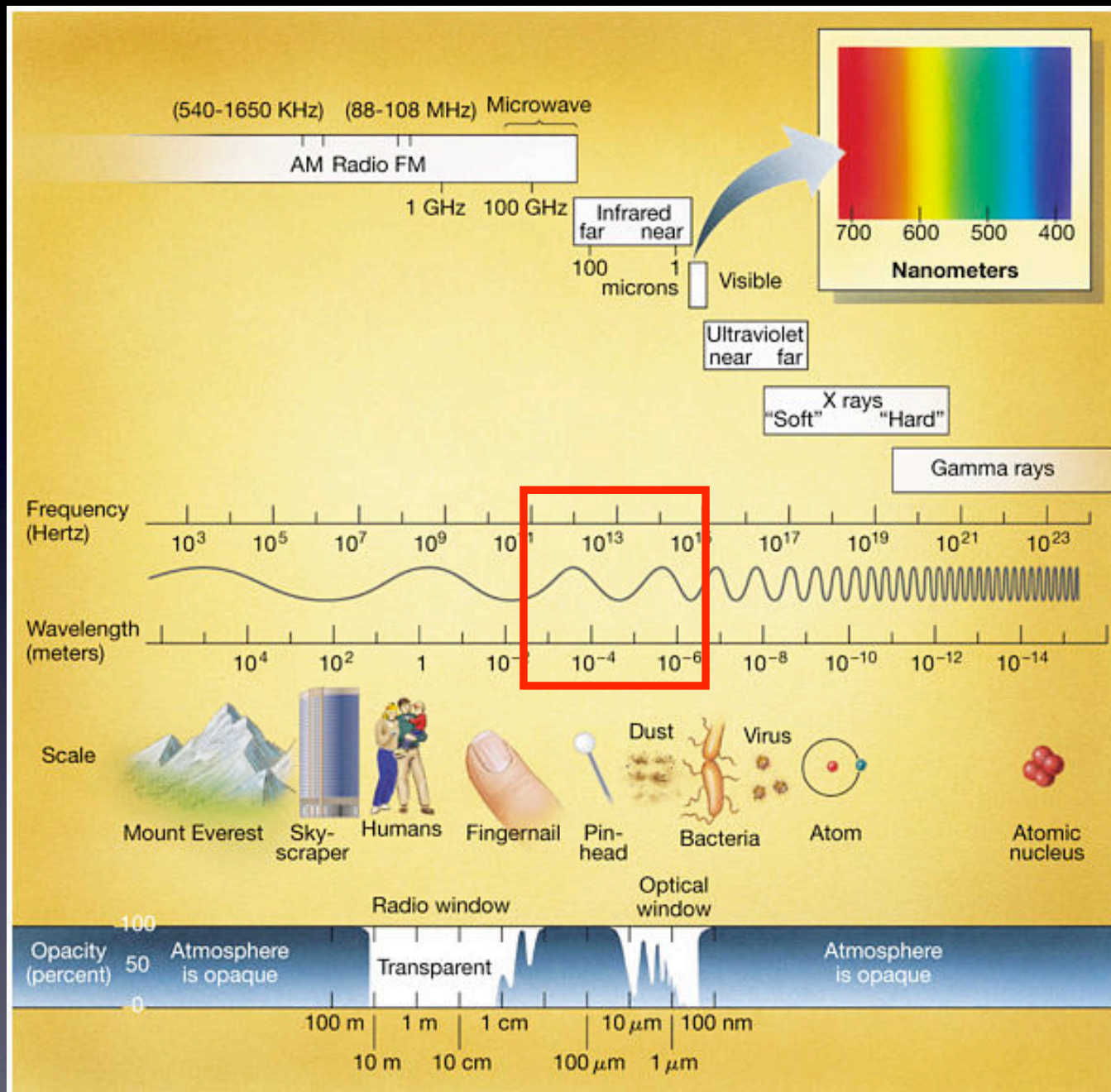


2 direcciones de vibración:
R = resultante
de A y B

1 dirección de vibración:
X puede ser representada en
términos de la componente (**V**)
en ángulos específicos (θ)

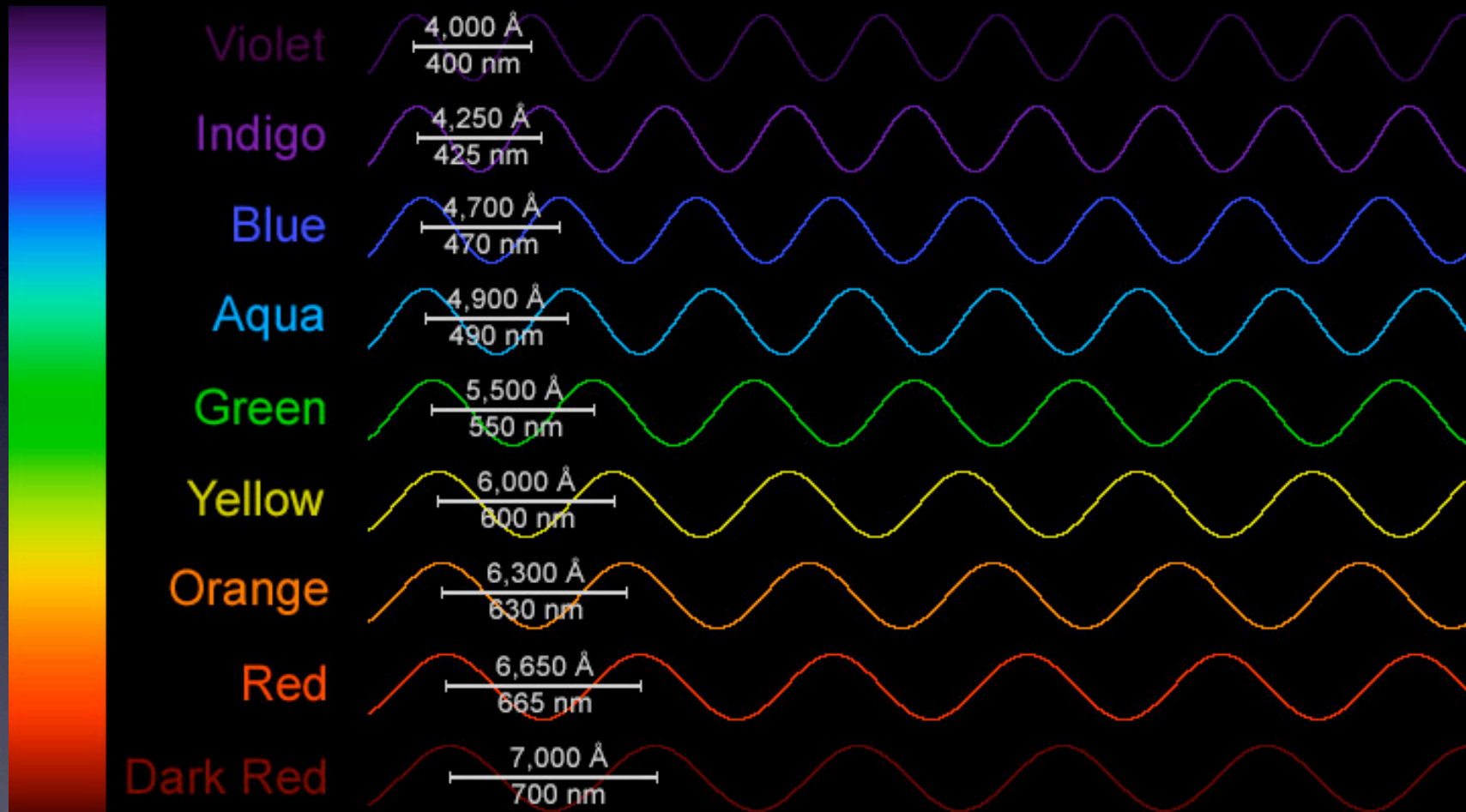
Espectro electromagnético





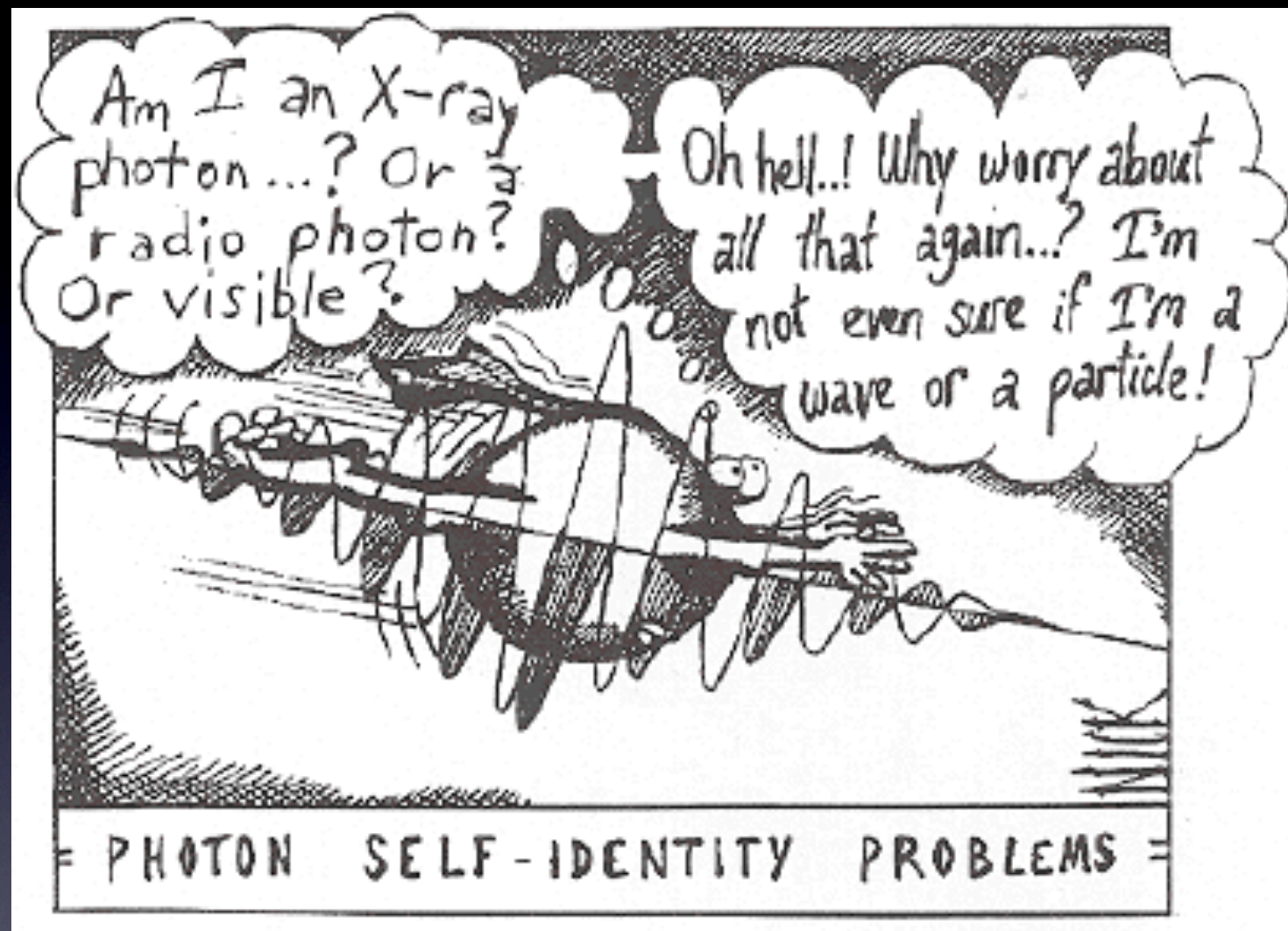
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Longitudes de onda visibles



<http://www.youtube.com/watch?v=WAgk7HGz4AQ&feature=fvw>



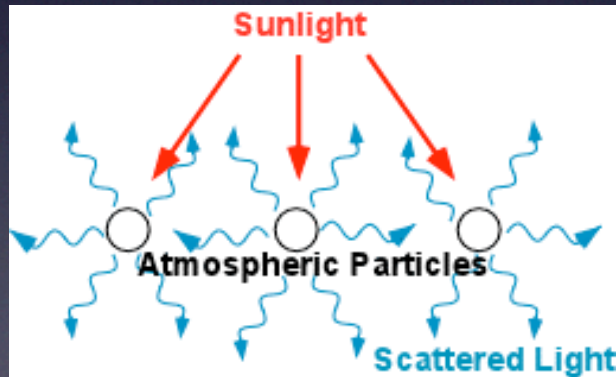


$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Dualidad onda-partícula para la luz visible

Fenómenos corpusculares (partícula)

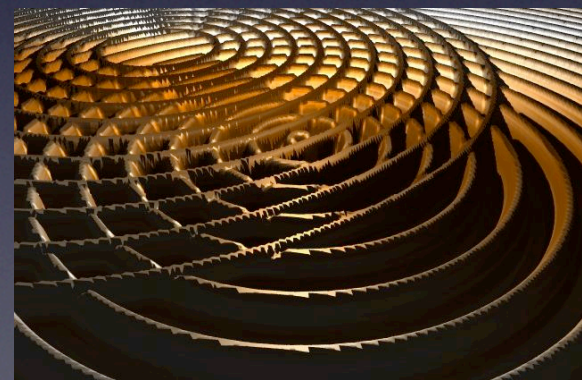
- Scattering de Rayleigh
- Scattering de Mie
- Efecto fotoeléctrico



$$E = h\nu$$

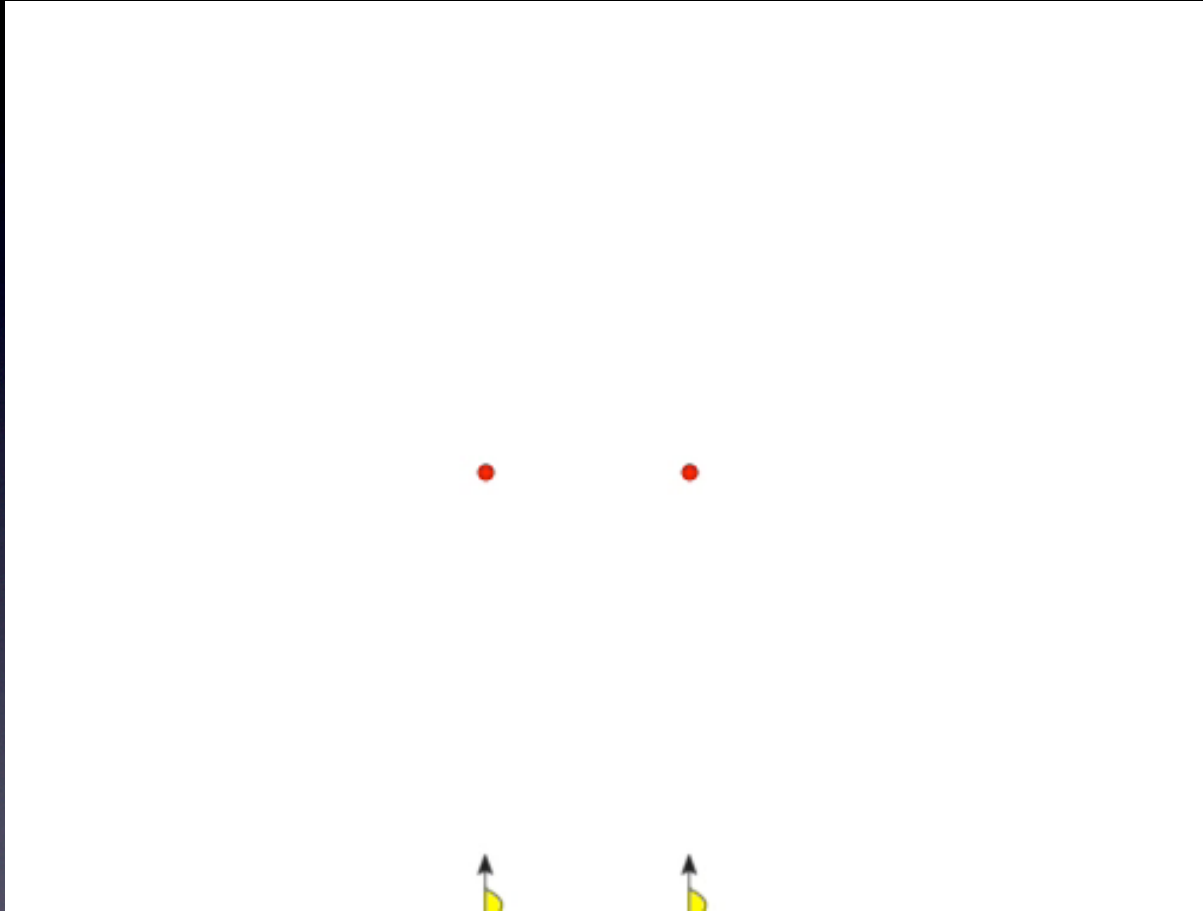
Fenómenos ondulatorios (onda)

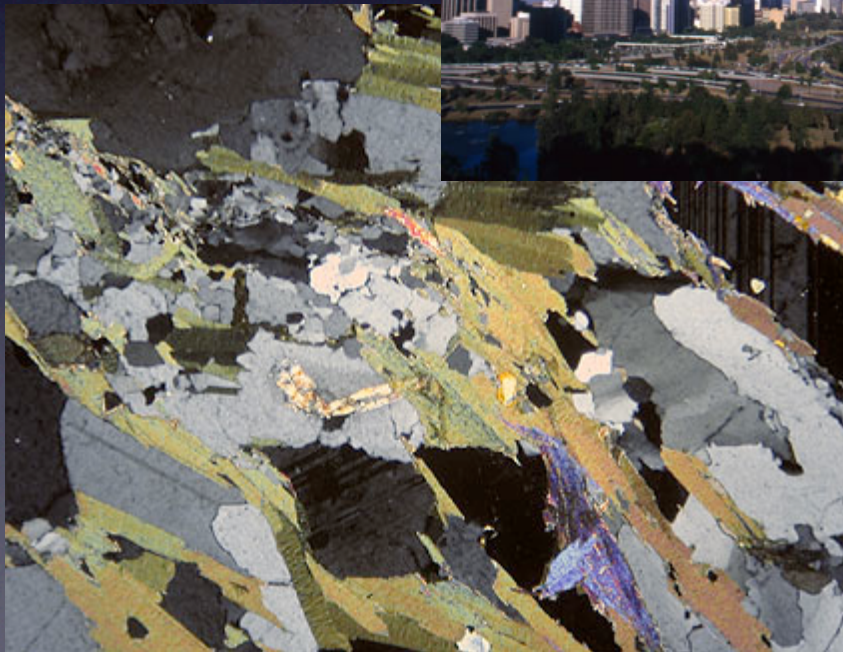
- Polarización
- Interferencia
- Reflexión, refracción, difracción
- Efecto Doppler



$$c = \lambda\nu$$

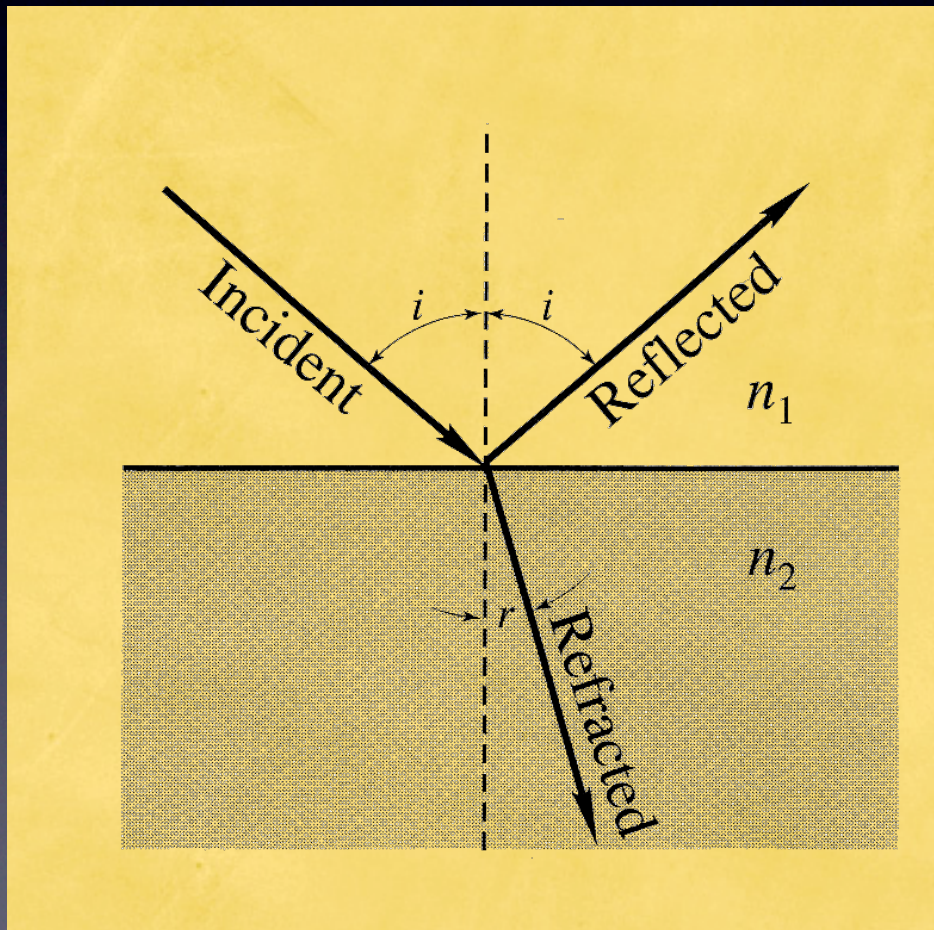
Ejemplo Ondulatorio: Difracción e interferencia





En mineralogía óptica nos preocupamos de la naturaleza
ONDULATORIA de la luz

Reflexión y refracción de la luz

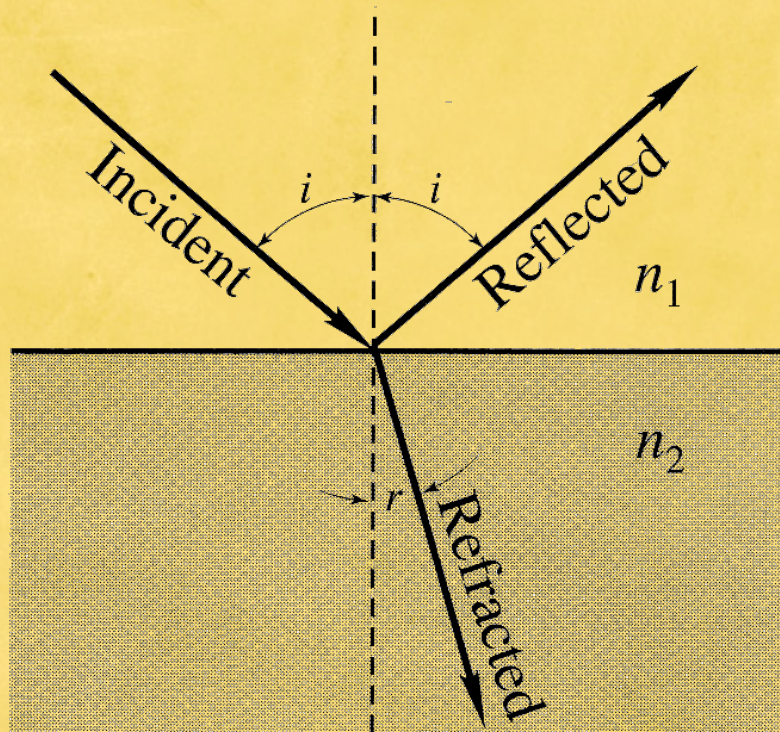


Ley de Snell

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$$

“n” es el índice de refracción
del medio

Índice de refracción de un medio



$$n_{\text{medio}} = v_{\text{vacío}}/v_{\text{medio}}$$

donde v es velocidad de la luz

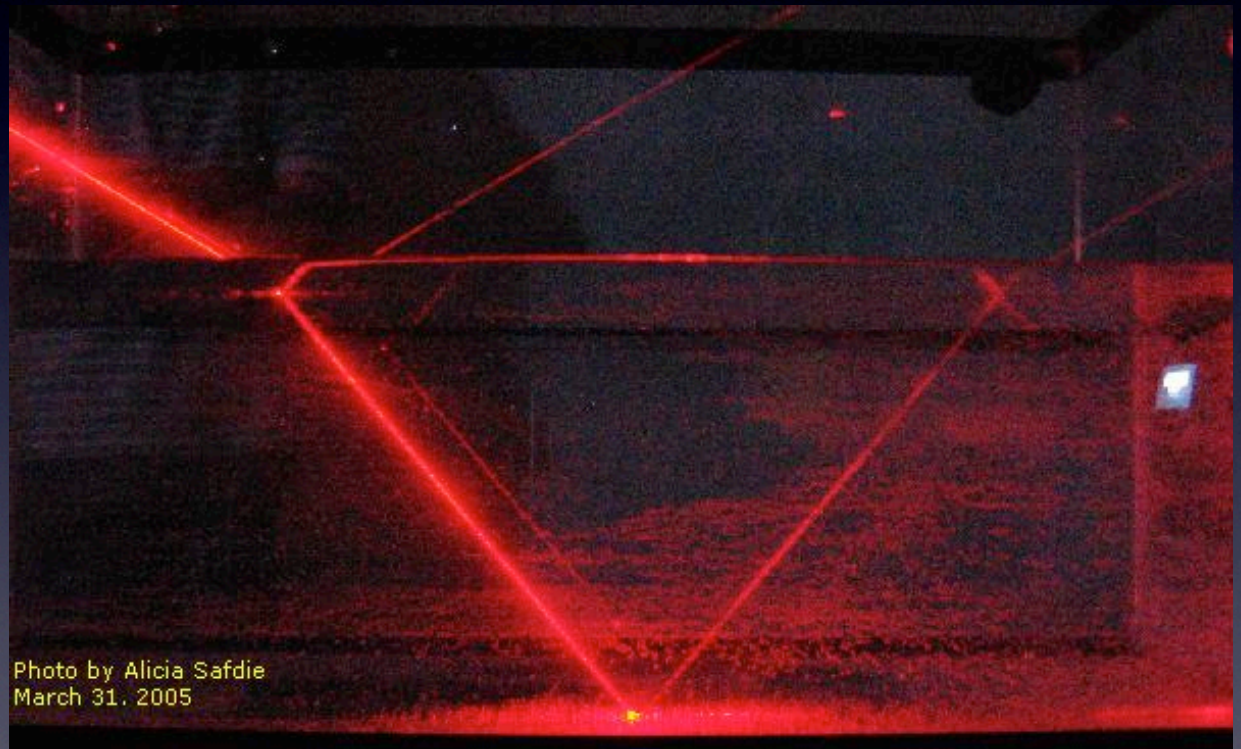
cuánto es el n del aire?

$$n_{\text{aire}} = v_{\text{vacío}}/v_{\text{aire}} = 1.0003$$

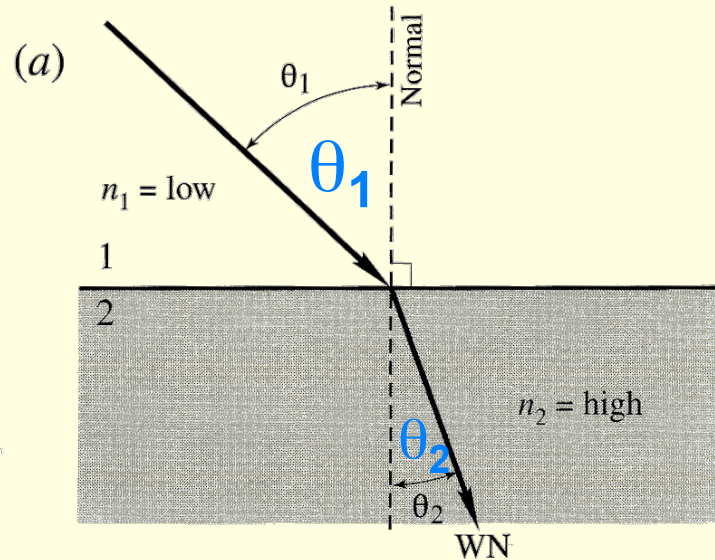
$$n_{\text{medio}} = 1/v_{\text{medio}}$$

cómo es la velocidad de la luz a medida que aumenta el índice de refracción de un medio?

En mineralogía óptica nos preocupamos de la naturaleza
ONDULATORIA de la luz



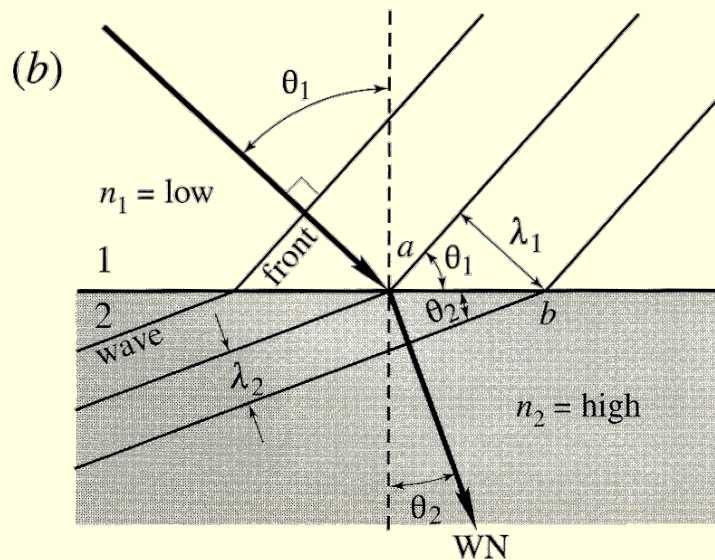
Refracción: Ley de Snell



índice de refracción(n):

$$n_2 = V_1 / V_2$$

*si $n_1 < n_2$
entonces $\theta_1 > \theta_2$*

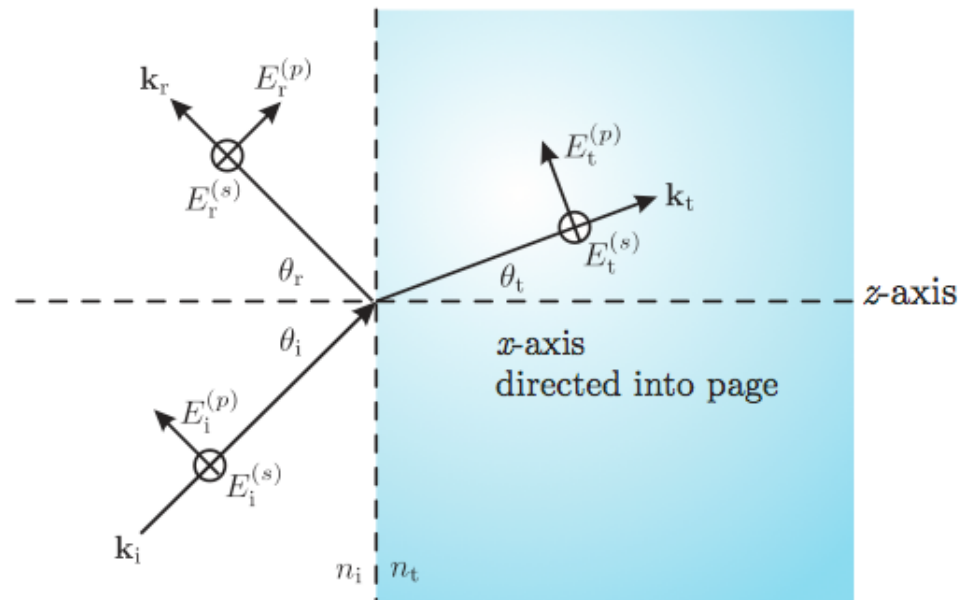


Ley de Snell

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Nesse, 2000; Fig. 7.6

Refracción de un medio: formulación electromagnética



$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{Solución} \Rightarrow \quad \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t + \phi) \quad \mathbf{k} \equiv \frac{2\pi}{\lambda_{\text{vac}}} \hat{\mathbf{u}}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$$

$$\mathbf{k}_i = k_i (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_i + \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_i)$$

$$\mathbf{k}_r = k_r (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_r - \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_r)$$

$$\mathbf{k}_t = k_t (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_t + \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_t)$$

Vectores $\mathbf{k}$ en función de y - z

Refracción de un medio: formulación electromagnética

$$\begin{aligned} \mathbf{k}_i &= k_i (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_i + \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_i) \\ \mathbf{k}_r &= k_r (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_r - \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_r) \\ \mathbf{k}_t &= k_t (\hat{\mathbf{y}} \sin \theta_t + \hat{\mathbf{z}} \cos \theta_t) \end{aligned} \quad \text{Vectores } \mathbf{k} \text{ en función de } y\text{-}z$$

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_i &= \left[E_i^{(p)} (\hat{\mathbf{y}} \cos \theta_i - \hat{\mathbf{z}} \sin \theta_i) + \hat{\mathbf{x}} E_i^{(s)} \right] e^{i[k_i(y \sin \theta_i + z \cos \theta_i) - \omega_i t]} \\ \mathbf{E}_r &= \left[E_r^{(p)} (\hat{\mathbf{y}} \cos \theta_r + \hat{\mathbf{z}} \sin \theta_r) + \hat{\mathbf{x}} E_r^{(s)} \right] e^{i[k_r(y \sin \theta_r - z \cos \theta_r) - \omega_r t]} \\ \mathbf{E}_t &= \left[E_t^{(p)} (\hat{\mathbf{y}} \cos \theta_t - \hat{\mathbf{z}} \sin \theta_t) + \hat{\mathbf{x}} E_t^{(s)} \right] e^{i[k_t(y \sin \theta_t + z \cos \theta_t) - \omega_t t]} \end{aligned}$$

con $z = 0$ las componentes transmitidas y reflejadas deben ser iguales

$$\begin{aligned} \left[E_i^{(p)} \hat{\mathbf{y}} \cos \theta_i + \hat{\mathbf{x}} E_i^{(s)} \right] e^{i(k_i y \sin \theta_i - \omega_i t)} + \left[E_r^{(p)} \hat{\mathbf{y}} \cos \theta_r + \hat{\mathbf{x}} E_r^{(s)} \right] e^{i(k_r y \sin \theta_r - \omega_r t)} \\ = \left[E_t^{(p)} \hat{\mathbf{y}} \cos \theta_t + \hat{\mathbf{x}} E_t^{(s)} \right] e^{i(k_t y \sin \theta_t - \omega_t t)} \end{aligned}$$

la frecuencia debe ser igual de las ondas deben ser iguales $\omega_i = \omega_r = \omega_t \equiv \omega$

y las componentes iguales $k_i \sin \theta_i = k_r \sin \theta_r = k_t \sin \theta_t$

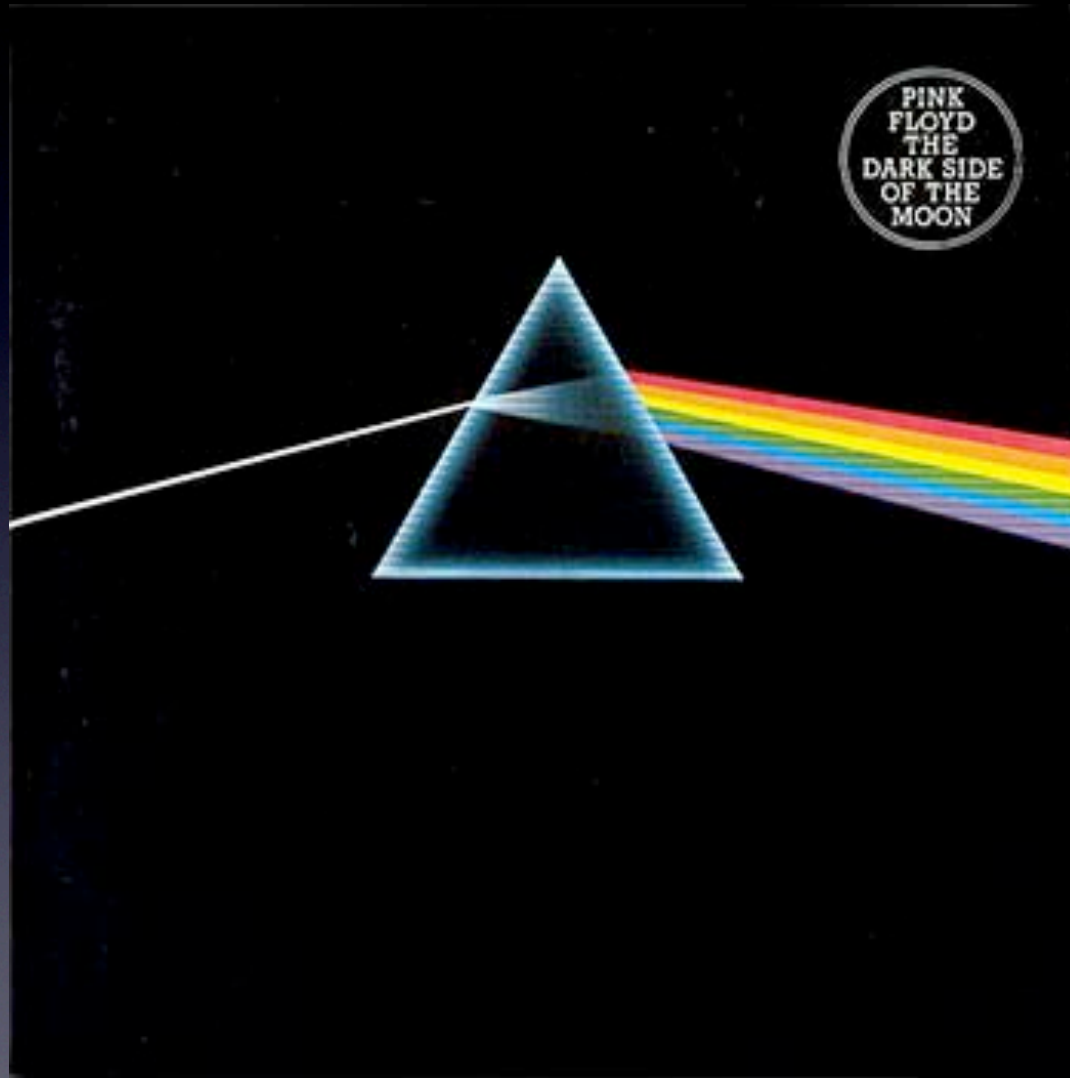
recordando se llega a : $k_i = k_r = n_i \omega / c$ and $k_t = n_t \omega / c$.

$\theta_r = \theta_i$	Reflexión	$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$	Snell
-----------------------	-----------	---	-------

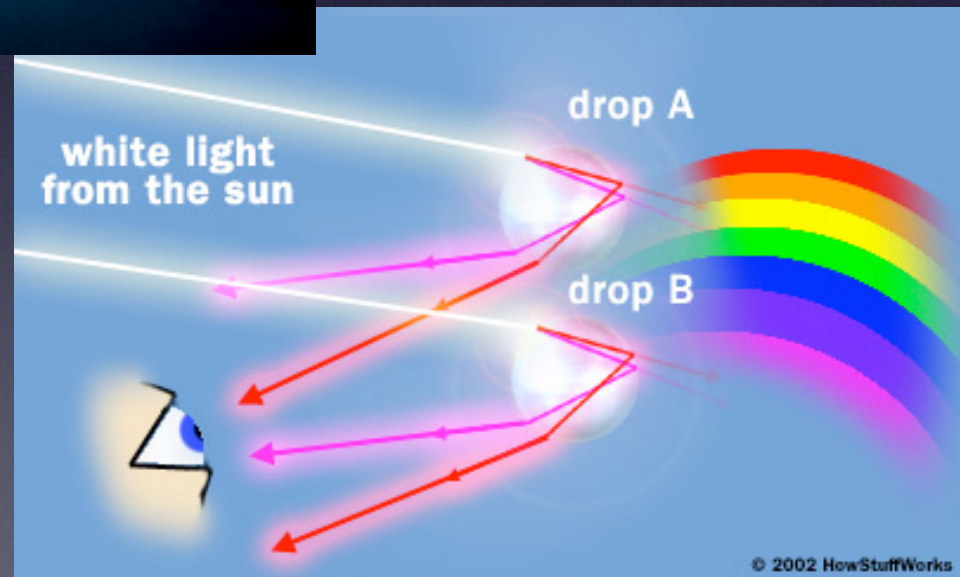
Índice de refracción de un medio

<u>medio transparente</u>	<u>índice de refracción (n)</u>	
vacuum	1.00000000	
air	1.00029	
water	1.33	
ice	1.31	
salt	1.54	minerales ? (1.4-1.8)
Pyrex glass	1.50	
quartz	1.46	
glycerine	1.47	
acrylic	1.70	

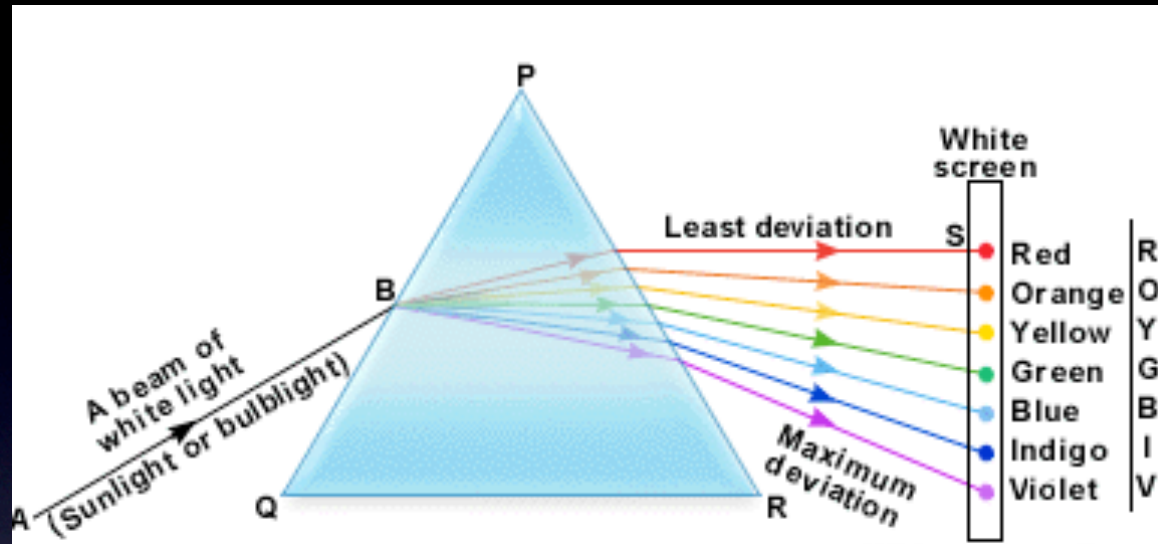
Dispersión de las longitudes de ondas por refracción



Dispersión de las longitudes de ondas por refracción



Dispersión de las longitudes de ondas por refracción



$$c = \lambda v \quad n_{\text{prisma}} = c/v_{\text{prisma}}$$

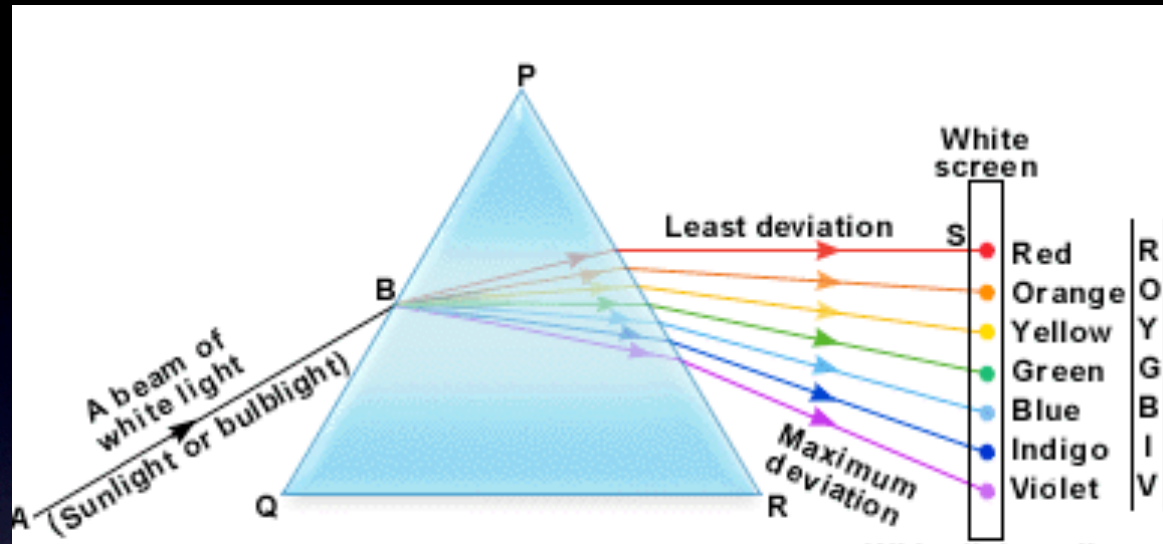
$$n_{\text{prisma}} v_{\text{prisma}} = \lambda v \quad n_{\text{aire}} \sin(i) = n_{\text{prisma}} \sin(r)$$

$$n_{\text{prisma}} = \sin(i)/\sin(r)$$

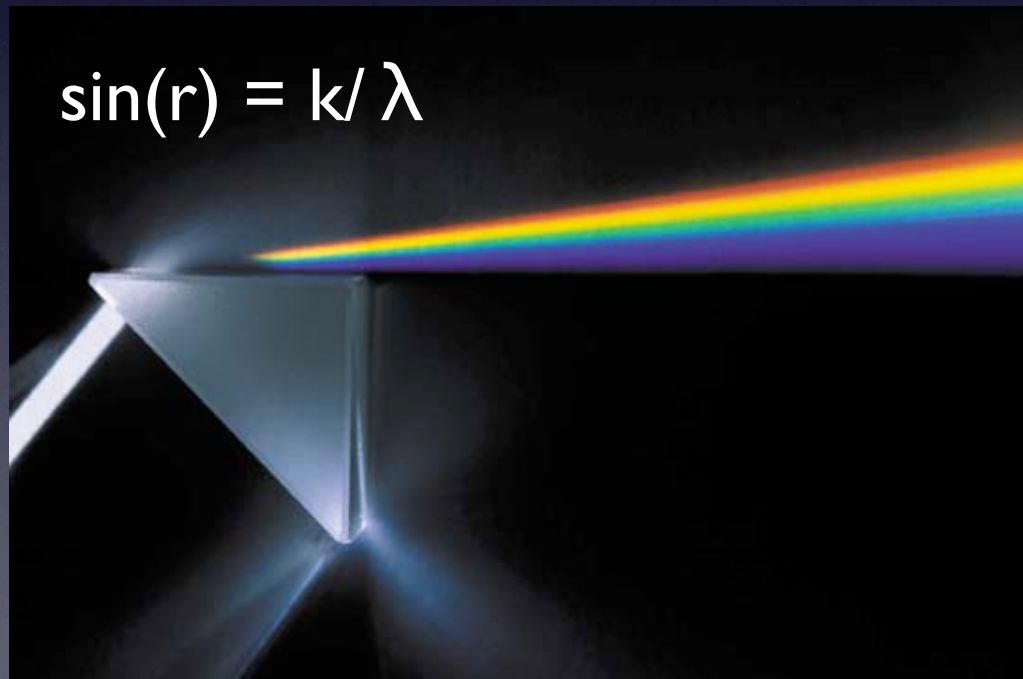
$$\sin(i)/\sin(r) v_{\text{prisma}} = \lambda v \quad \sin(r) = v_{\text{prisma}} \sin(i) / \lambda v$$

$$\sin(r) = k / \lambda$$

Dispersión de las longitudes de ondas por refracción



$$\sin(r) = k/\lambda$$



$$n = f(\lambda)$$

qué característica deben tener los medios para poder
TRANSMITIR la luz por refracción???

deben ser transparentes a la luz
(es decir, tener índices de refracción bajos)

expresión general del índice de refracción

$$n' = n - iK \quad \text{definición óptica de "n"}$$

donde n es el índice de refracción, i es raíz(-1) y k es el coeficiente de absorción (aumenta a medida para materiales más densos y menos transparentes a la luz). Para materiales transparentes $n' = n$

Cómo usar la luz para generar imágenes con magnificación?

La distancia más pequeña que el ojo humano puede distinguir es $\sim 0.1\text{-}0.2\text{ mm}$ ("poder de resolución" del ojo humano, distancia entre 2 líneas paralelas)

MICROSCOPIO: todo instrumento que permite obtener imágenes con detalle menor $< 0.1\text{ mm}$



microscopios de luz visible:
luz + lentes ópticos para magnificar y
obtener detalles $< 0.1\text{ mm}$

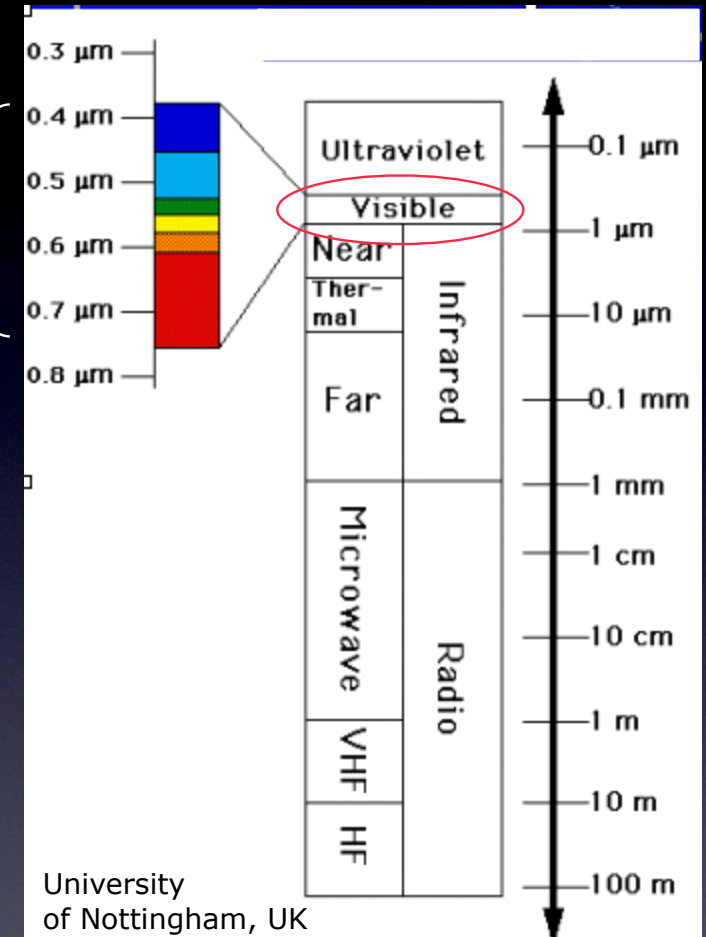
Microscopía de luz visible

La distancia más pequeña que puede ser resuelta es:

$$\delta = \frac{0.61\lambda}{\mu \sin \beta}$$

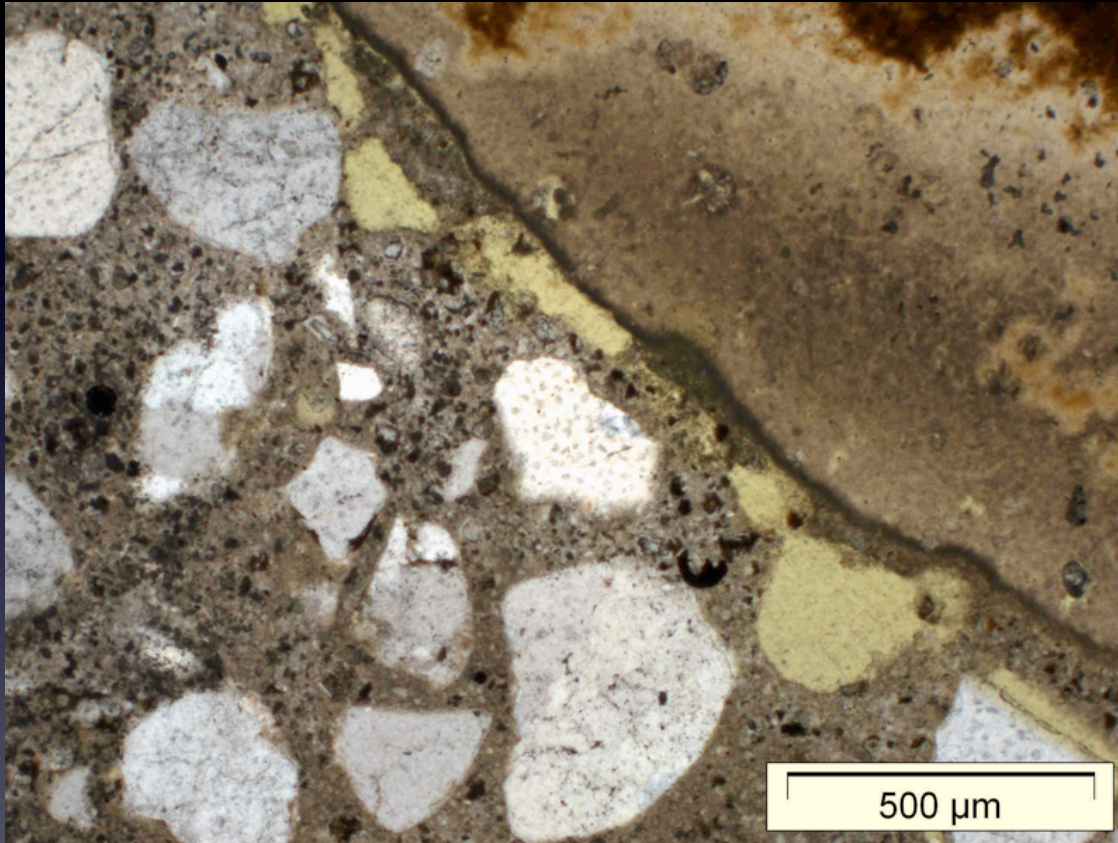
Criterio de Rayleigh para la microscopía

λ
(350-750 nm)



Usando esta relación para $\lambda \sim 550$ nm, y aproximando el denominador a 1, la resolución de un buen microscopio óptico sería ~ 355 nm (0.3 micrones)

Microscopía óptica



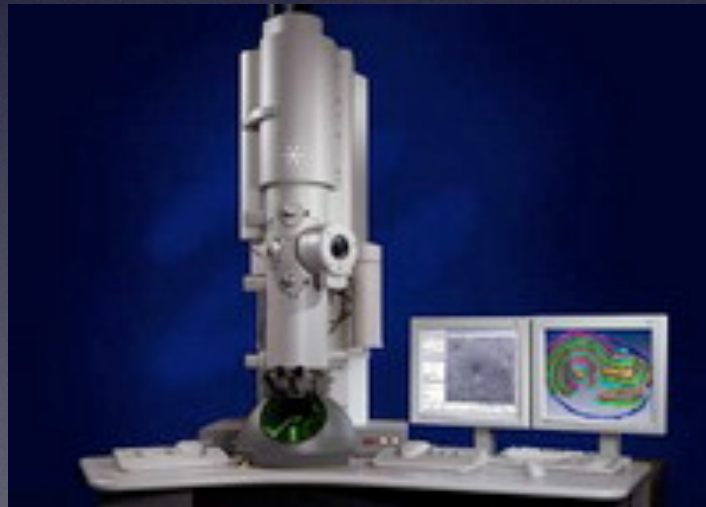
Microscopía electrónica

$$\lambda_e = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

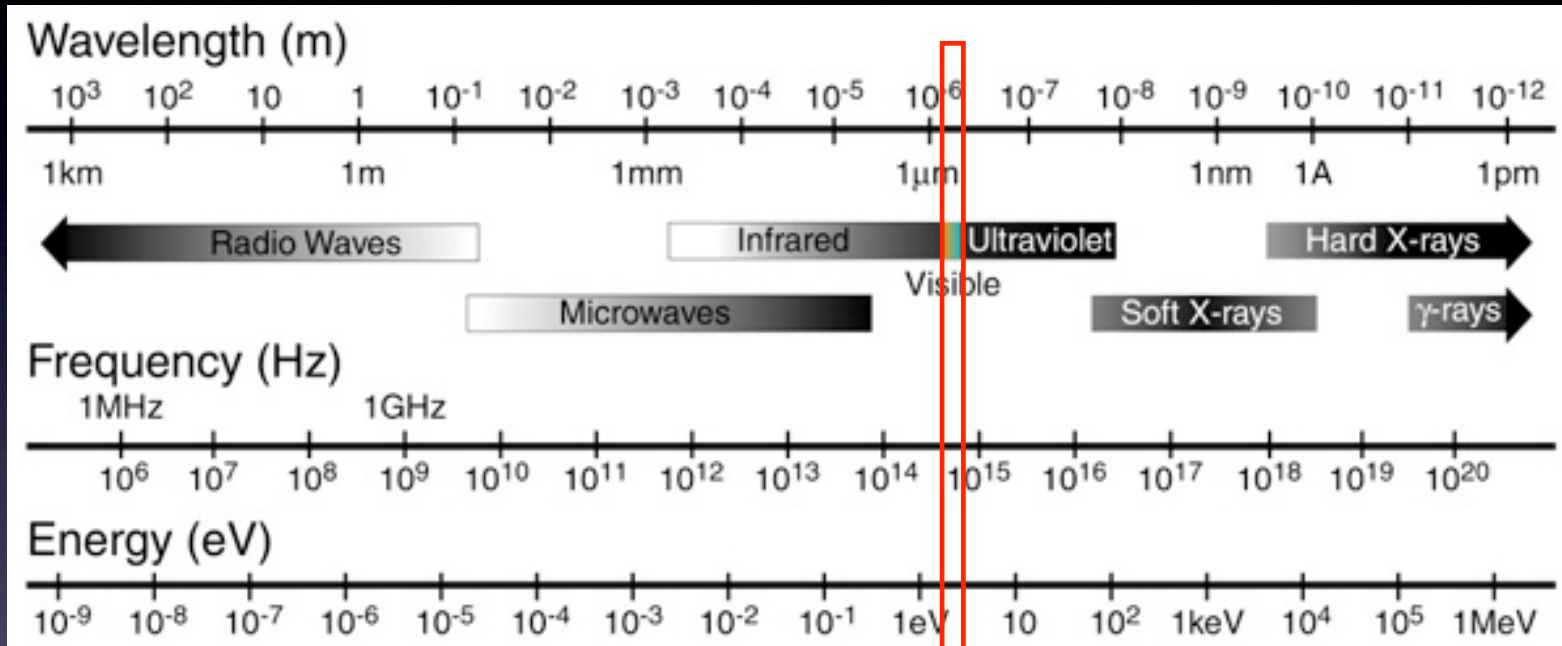


$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\lambda_e = \frac{h}{(2m_e E)^{1/2}} = \frac{h}{(2m_e eV)^{1/2}}$$



Longitud de onda, frecuencia, energía y técnicas microscópicas

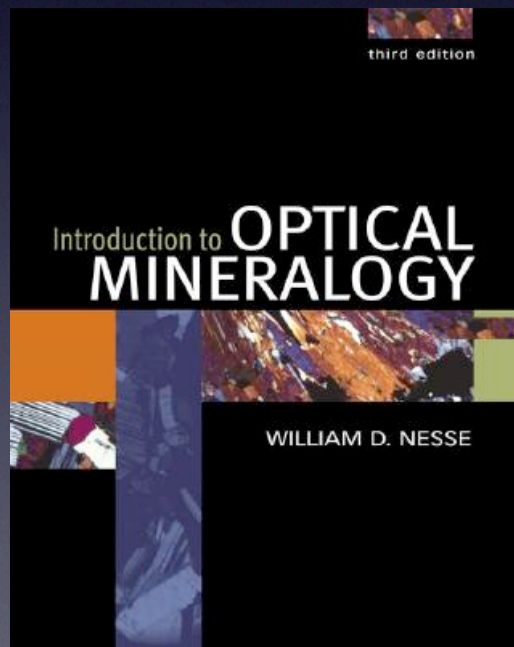


microscopías ópticas

Clase Jueves: Polarización y Luz Polarizada

Lecturas:

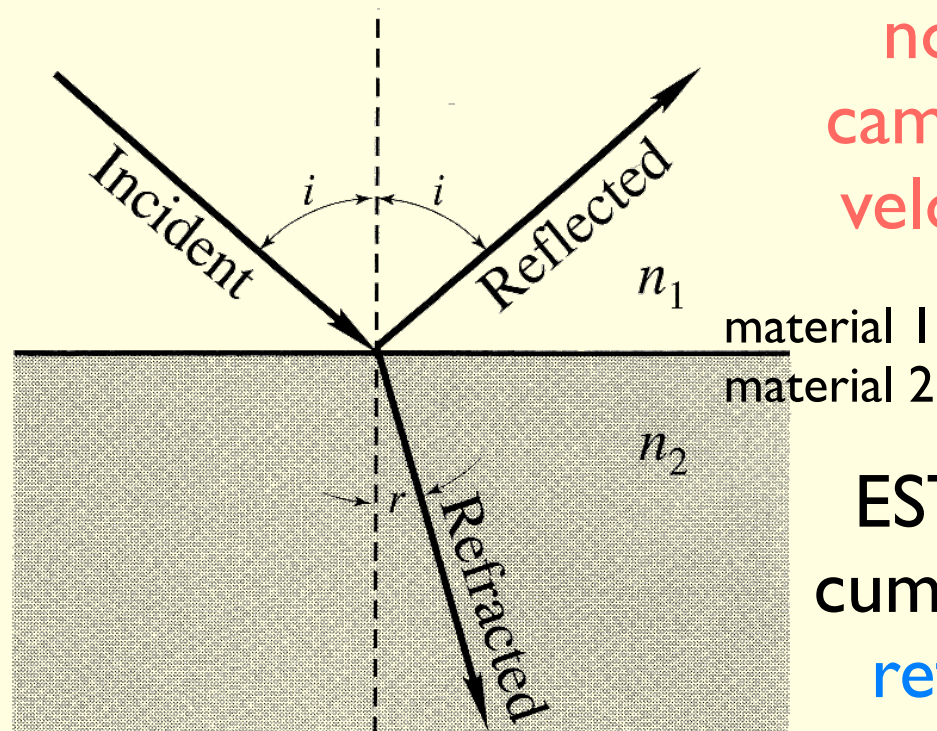
Nesse: Capítulos 1-3



Diapos adicionales: refracción

Reflexión y refracción

ángulo de
incidencia =
ángulo de
reflección

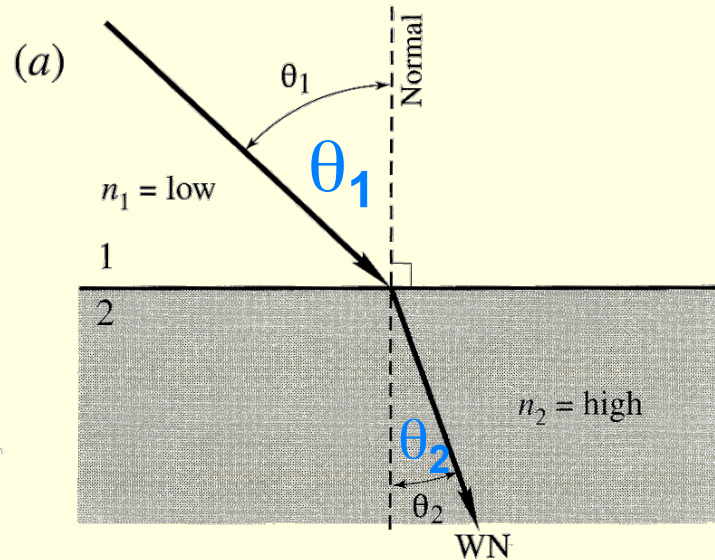


no hay
cambio en
velocidad

ESTO no se
cumple para la
refracción!

la velocidad de la
luz cambia

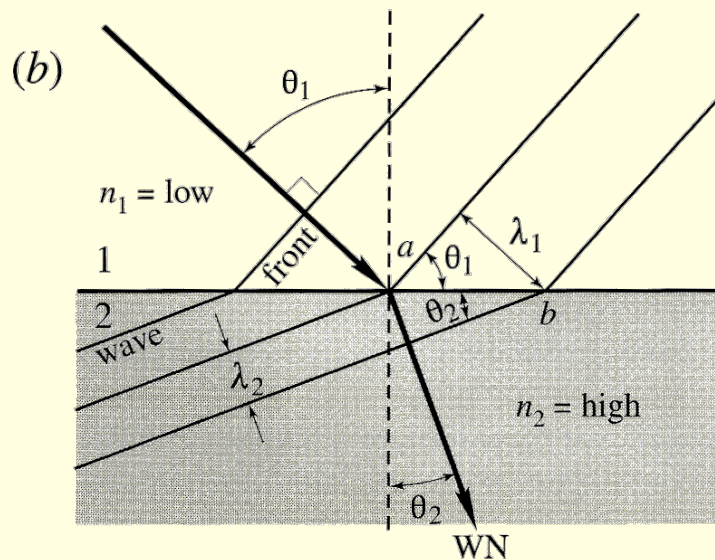
Refracción: Ley de Snell



índice de refracción(n):

$$n_2 = V_1 / V_2$$

*si $n_1 < n_2$
entonces $\theta_1 > \theta_2$*



Ley de Snell

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Nesse, 2000; Fig. 7.6

Refracción: Ley de Snell

índice de refracción(n):

$$n_2 = V_1 / V_2$$

para minerales:

$$n_{\text{mineral}} = V_{\text{aire}} / V_{\text{mineral}}$$

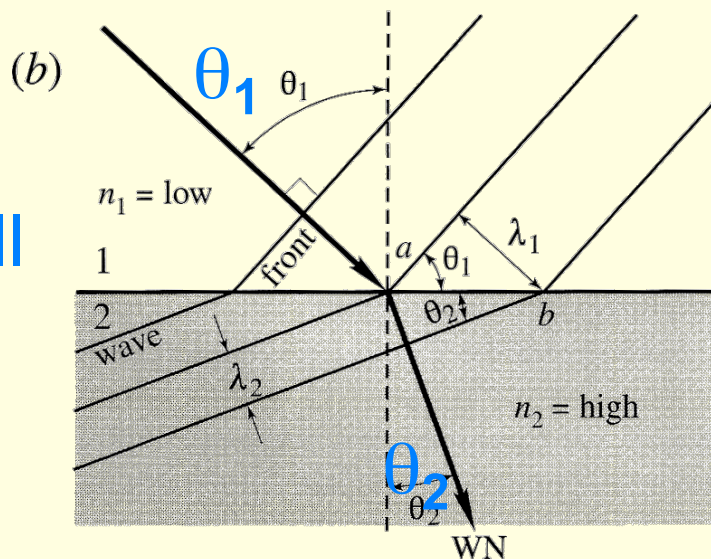
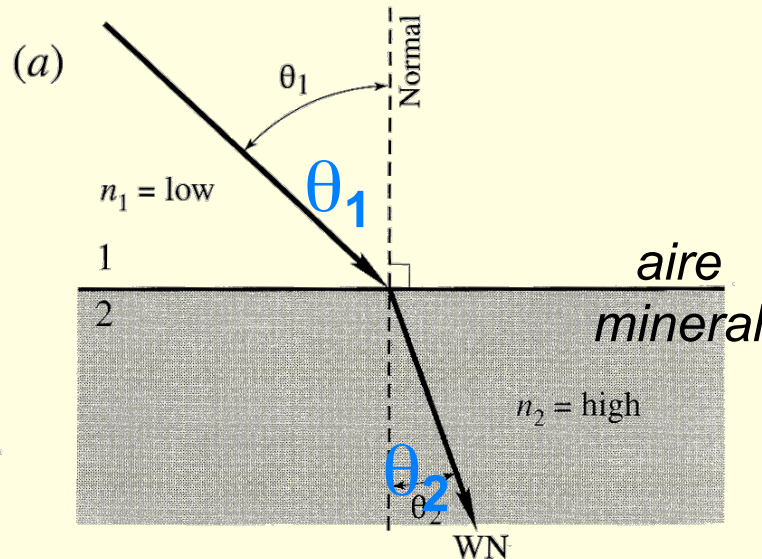
debido que

$$V_{\text{air}} > V_{\text{mineral}}$$

$$n_{\text{mineral}} > 1$$

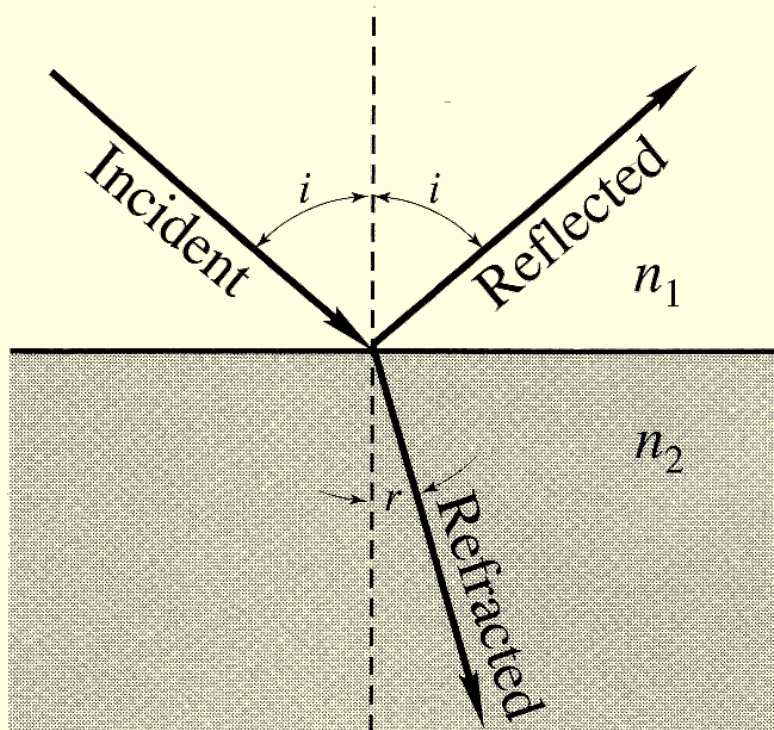
Ley de Snell

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



*mineral con n
alto tiene V más
bajo*

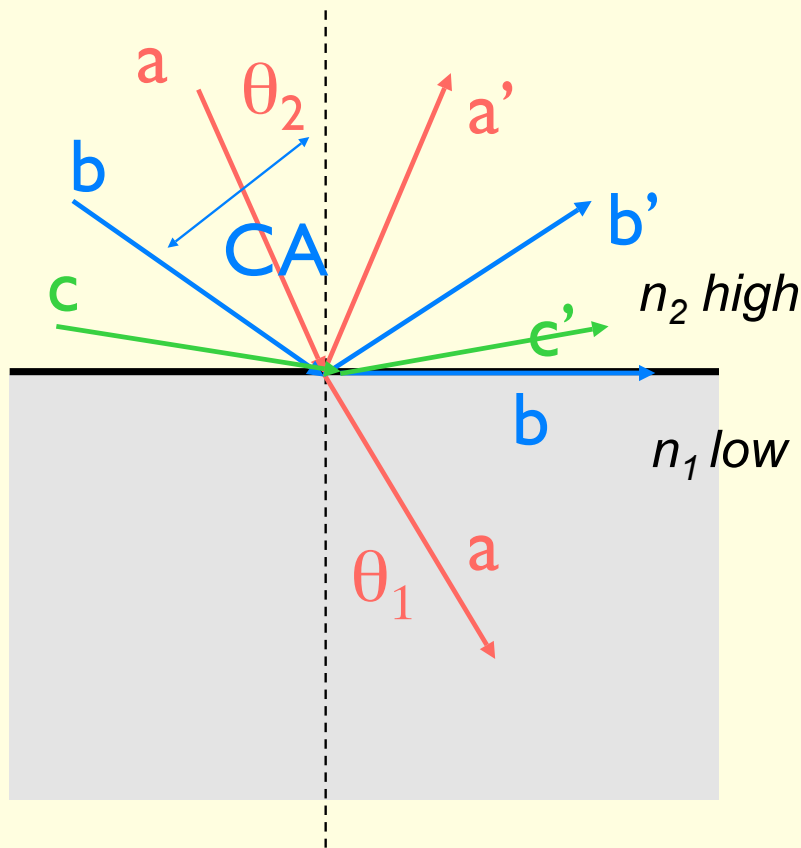
Reflexión



Porcentaje de reflexión:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \times 100$$

Angulo crítico (AC) y refracción total



a: reflexión normal y refracción
($\theta_1 > \theta_2$)

c: reflexión interna total
ángulo de incidencia $> AC$

b: ángulo crítico (AC):
ángulo de incidencia para el cual
el ángulo de refracción = 90°