



Física VIII

Aula 2

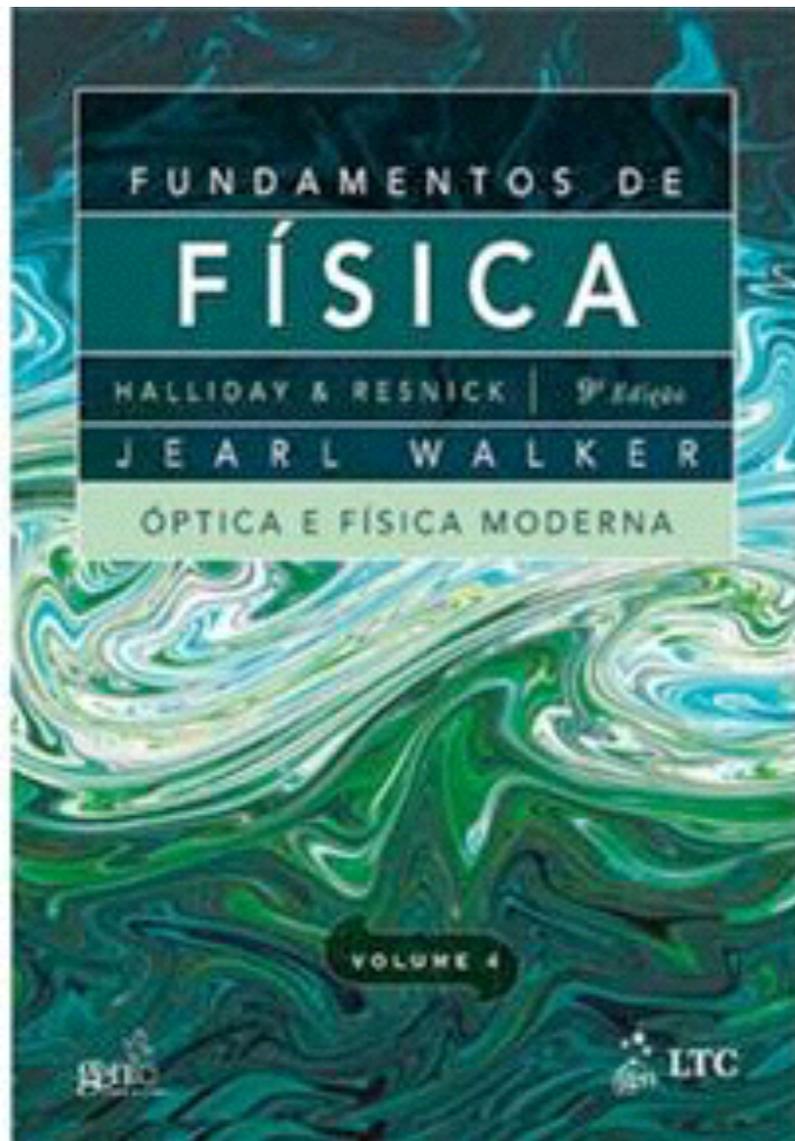
Sandro Fonseca de Souza

Normas e Datas



- Atendimento ao estudante: quarta-feiras de 09:00 - 10:00 na sala 3016 A.
- Os alunos com menos de 75% de presença serão reprovados por falta.
- Entretanto, solicitações extraordinárias devem ser feitas por escrito na secretaria do IF (3002B ou 3001A).
- Abono de faltas somente serão aceitos mediante requerimento na secretaria do departamento até 7 dias úteis a contar da data da falta.
- A presença, participação e pontualidade dos alunos também será avaliada na média final do curso.
- Data das provas: P1-30/09, P2-21/10 e P3-04/11

Bibliografia



Fundamentos da Física
Halliday & Resnick
Volume 4

Seja bem-vindo à TWiki DFNAE

Disciplinas:

- [Física Geral](#)
- [Estrutura da Matéria I](#)
- [Estrutura da Matéria II](#)
- [Estrutura da Matéria III](#)
- [Física Exp. e Teórica IV-lab e Física IV-lab](#)
- [Física VIII](#)

<http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/bin/view/DFNAE/WebHome>

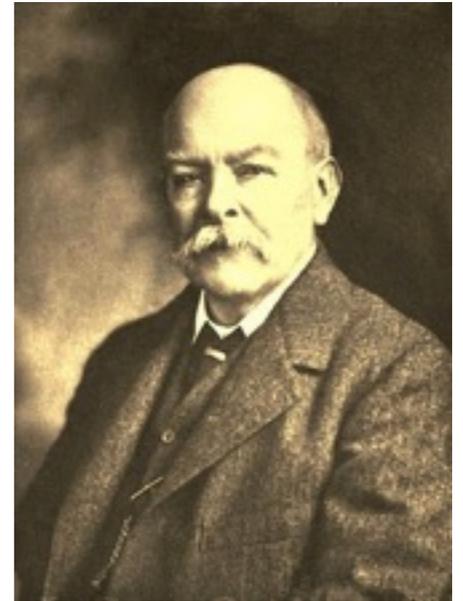
Aula Anterior

Aula Anterior

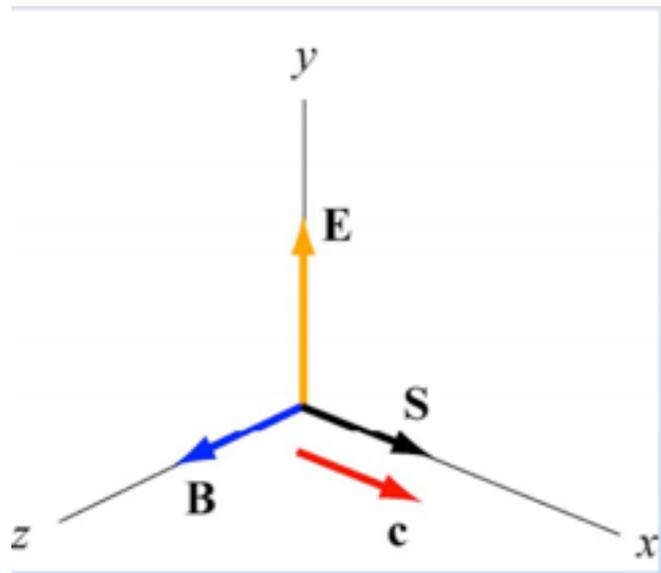
- Equações de Maxwell;
- Propriedades das ondas eletromagnéticas;

Transporte de Energia

A taxa de transporte de energia por unidade de área por parte de uma onda eletromagnética é descrita por um vetor \mathbf{S} , conhecido por vetor de Poynting.



John Henry Poynting (1852-1914)



$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

$$|\mathbf{S}| = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \cdot \mathbf{B} = \frac{1}{c\mu_0} \mathbf{E}^2$$

Fluxo instantâneo de energia

no SI:

$$S = \left(\frac{\text{energia/tempo}}{\text{area}} \right)_{\text{instantanea}} = \left(\frac{\text{potencia}}{\text{area}} \right)_{\text{instantanea}} = \frac{W}{m^2}$$

Transporte de Energia

Na prática, a grande utilidade é o valor médio de S , também conhecido como intensidade I da onda.

$$I = S_{med} = \langle S \rangle = \frac{1}{c\mu_0} \langle E^2 \rangle$$

para:

$$\mathbf{E} = E_m \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

logo,

$$I = \frac{1}{c\mu_0} \langle E_m^2 \cdot \text{sen}^2(kx - \omega t) \rangle = \frac{1}{c\mu_0} E_m^2$$

$$\langle \text{sen}^2 x \rangle = \frac{1}{2} \quad \text{sen}^2 x + \text{cos}^2 x = 1 \quad E_m^2 = 2E^2$$

Exercícios e Problemas

1. Frank D. Drake, um investigador do programa SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence, ou seja, Busca de Inteligência Extraterrestre), disse uma vez que o grande radiotelescópio de Arecibo, Porto Rico “é capaz de detectar um sinal que deposita em toda a superfície da Terra uma potência de apenas um picowatt”. (a) Qual a potência que a antena do radiotelescópio de Arecibo receberia de um sinal como este? O diâmetro da antena é 300m. (b) Qual teria que ser a potência de uma fonte no centro de nossa galáxia para que um sinal com esta potência chegasse a Terra? O centro da galáxia fica a $2,2 \times 10^4$ anos-luz de distância. Suponha que a fonte irradia uniformemente em todas as direções. (Halliday 34.18P)

Radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico)



(a)

$$P_t = 1 \text{ pW} = 1 \times 10^{-12} \text{ W} \quad \text{na superfície terrestre:}$$

$$I = \frac{\text{pot}}{\text{area}} = \frac{P_t}{4\pi r_t^2} \rightarrow \text{área da superfície terrestre}$$

Mesma onda na antena (supondo sua área plana):

$$I = \frac{P_a}{\pi r_a^2} \Rightarrow P_a = I \pi r_a^2 = I \pi \frac{d^2}{4} = \frac{P_t}{4\pi r_t^2} \pi \frac{d^2}{4}$$

raio terrestre $r_t = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$

diâmetro da antena $d = 300 \text{ m}$

$$P_a = 1,3863 \times 10^{-22} \text{ W}$$

(b) $P_s = ?$

$$I = \frac{\text{pot}}{\text{area}} = \frac{P_s}{4\pi r_g^2} = \frac{P_t}{4\pi r_t^2} \quad I \text{ do item anterior}$$
$$\Rightarrow P_s = \frac{P_t r_g^2}{r_t^2}$$

$$r_g = 2,2 \times 10^4 \text{ anos-luz} = 2,2 \times 10^4 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \times 3 \times 10^8 \text{ m}$$

$$r_g = 2,2 \times 10^4 \text{ anos-luz} = 2,0814 \times 10^{20} \text{ m}$$

$$\Rightarrow P_s = 1,0677 \times 10^{15} \text{ W}$$

Aula de Hoje

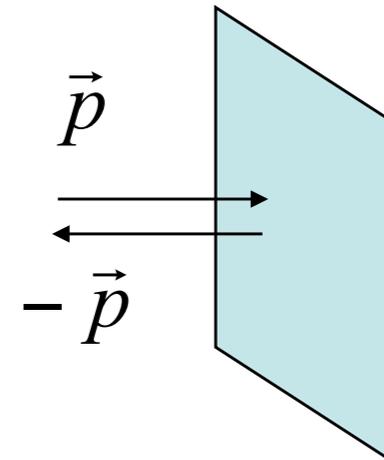
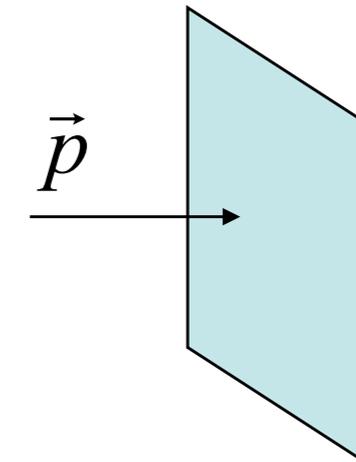
- ✓ Pressão de radiação;
- ✓ Polarização,

Pressão de Radiação

Quando um corpo totalmente livre é submetido a um feixe de radiação eletromagnética durante um intervalo de tempo e que a radiação é totalmente **absorvida**. Isto significa que num intervalo de tempo o mesmo recebe uma energia oriunda da radiação

$$\Delta \vec{p}_a = \frac{\overline{\Delta U}}{c} \hat{k} \quad \text{no caso de absorção total da radiação}$$

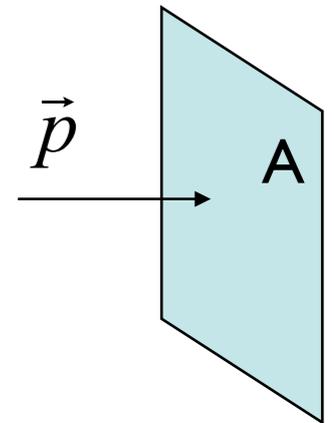
$$\Delta \vec{p}_r = 2 \frac{\overline{\Delta U}}{c} \hat{k} \quad \text{no caso de reflexão total da radiação}$$



Relembrando

Segunda Lei de Newton

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{\Delta\mathbf{p}}{\Delta t}$$



$$I = \langle S \rangle_{\text{medio}} = \left(\frac{\text{energia/tempo}}{\text{area}} \right) = \left(\frac{\text{potencia}}{\text{area}} \right) = \frac{W}{m^2}$$

Intensidade de radiação

$$\Delta U = I A \Delta t$$

Comparando as duas equações:

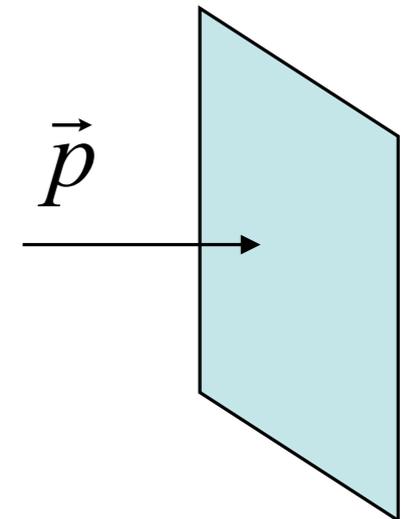
Pressão de Radiação

Transporte de momento linear : pressão de radiação

$$\overline{\Delta U} = IA\Delta t$$

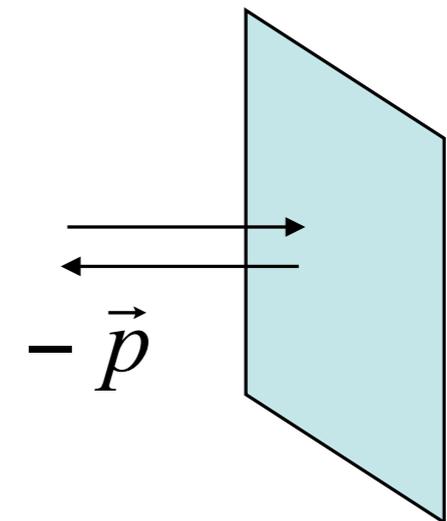
Pressão de radiação
na absorção total

$$F_a = \frac{\Delta p_a}{\Delta t} = \frac{IA}{c} \Rightarrow P_a = \frac{F_a}{A} = \frac{I}{c}$$

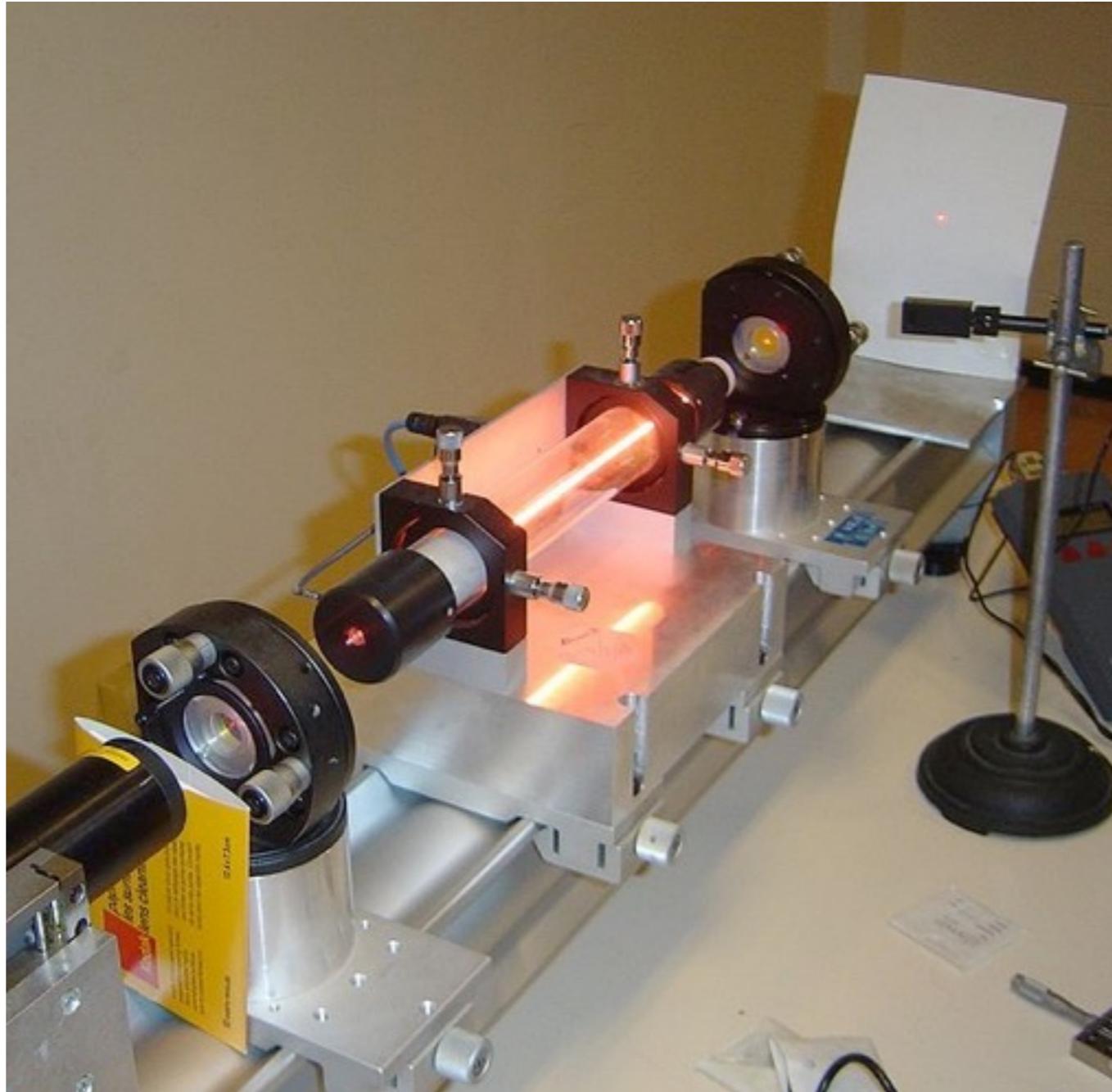


Pressão de radiação
na reflexão total

$$F_r = \frac{\Delta p_r}{\Delta t} = \frac{2IA}{c} \Rightarrow P_r = \frac{F_r}{A} = \frac{2I}{c}$$



Laser



Japão lança sonda que viaja impulsionada pela luz do Sol

Missão é chegar perto de Vênus; veja como o 'veleiro solar' funciona. Tecido dez vezes mais fino que um fio de cabelo servirá como 'motor'.

Do G1, em São Paulo

 imprimir

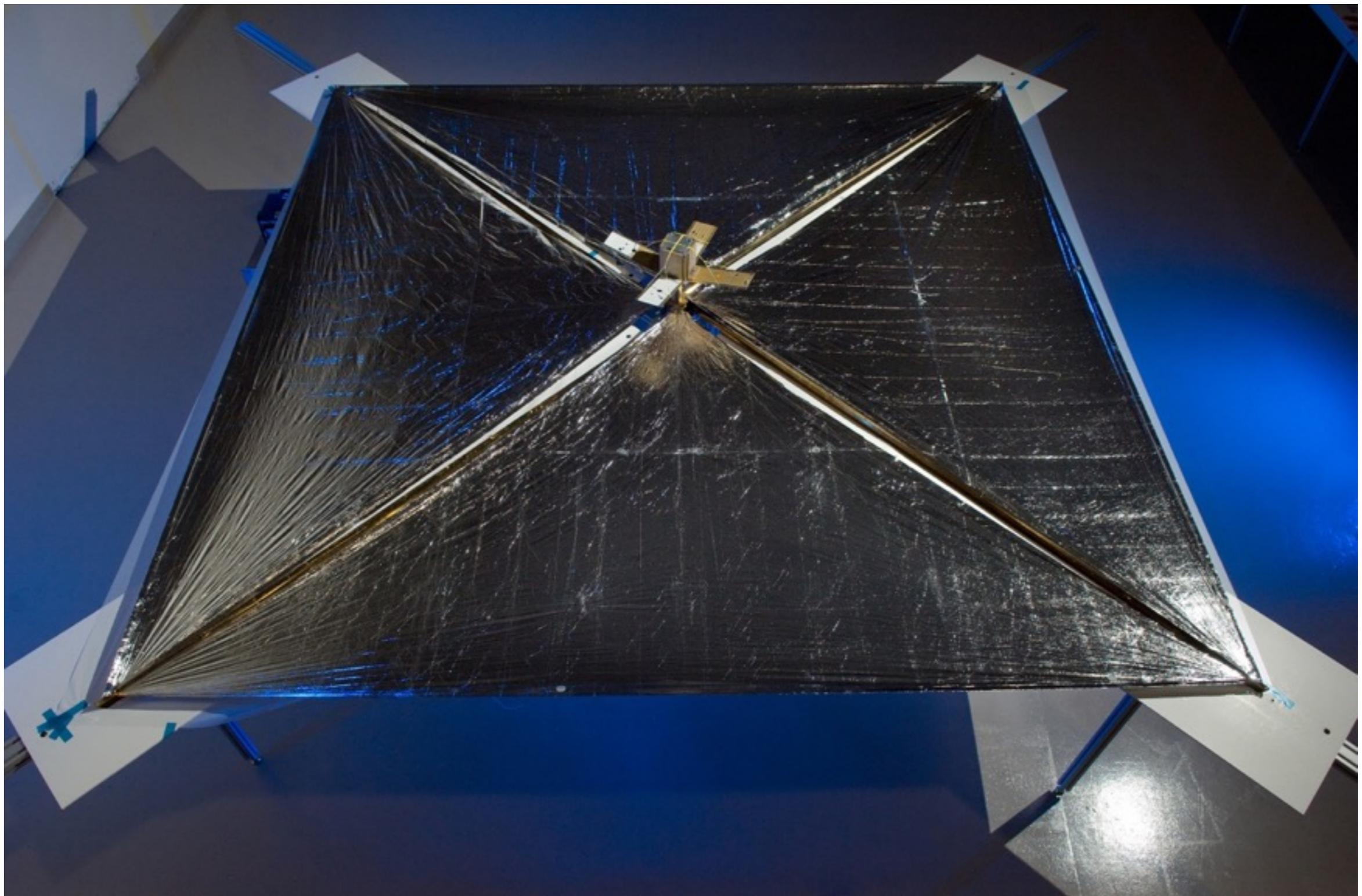
A Agência Espacial Japonesa (Jaxa) lançou com sucesso o **primeiro "veleiro solar" da história**. O foguete que transporta a sonda Ikaros deixou às 18h58 (horário de Brasília) desta quinta-feira (20), já manhã de sexta-feira no Japão. A primeira tentativa, na segunda-feira, foi abortada por causa do mau tempo.

O objetivo é mandar a sonda para perto de Vênus, movida apenas por uma espécie de vela que gera movimento quando se choca com fótons – as partículas que carregam a luz. Com o foguete partiu também a sonda Akatsuki, que analisará a atmosfera de Vênus e entrará em órbita nesse planeta.

Duas tentativas de despachar veículos como o Ikaros já foram feitas, mas houve problemas no lançamento. No final de 2010, a Planetary Society – uma das maiores ONGs dedicadas à astronomia – pretende colocar no espaço a sonda LightSail-1, também para testar a tecnologia da "navegação solar".

<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/05/japao-lanca-sonda-que-viaja-impulsionada-pela-luz-do-sol.html>

<http://www.planetary.org/blogs/jason-davis/2014/lightsail-update-launch.html>



<http://gl.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/05/japao-lanca-sonda-que-viaja-impulsionada-pela-luz-do-sol.html>

<http://www.planetary.org/blogs/jason-davis/2014/lightsail-update-launch.html>

Exercícios

Exercício 1:

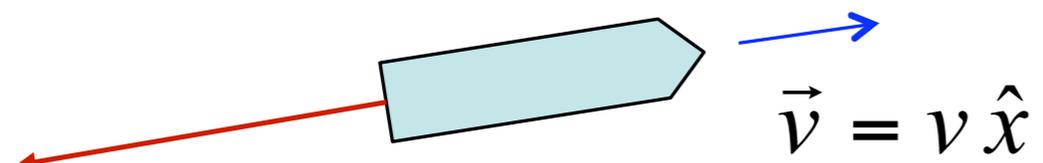
Um feixe de luz de intensidade uniforme incide perpendicularmente em uma superfície refletora, iluminando totalmente. Se a área diminuir o que ocorre com a pressão de radiação(a) e a força exercida sobre a superfície(b)

Exercício 2:

Uma pequena espaçonave, cuja massa é $1,5 \times 10^3$ kg (incluindo um astronauta), está perdida no espaço, longe de qualquer campo gravitacional. Se o astronauta ligar um laser de 10 kW de potência, que velocidade a nave atingirá após transcorrer um dia, por causa do momento linear associado à luz do laser?

Exercício 3:

Uma pequena espaçonave, cuja massa é $1,5 \times 10^3$ kg (incluindo um astronauta), está perdida no espaço, longe de qualquer campo gravitacional. Se o astronauta ligar um laser de 10 kW de potência, que velocidade a nave atingirá após transcorrer um dia, por causa do momento linear associado à luz do laser?



The diagram shows a light blue spaceship with a red arrow pointing left representing the laser beam and a blue arrow pointing right representing the spaceship's velocity. The velocity vector is labeled $\vec{v} = v \hat{x}$.

$$\vec{p}_{luz} = -\frac{U}{c} \hat{x} \quad \vec{p}_n = -\vec{p}_{luz} \quad F_n = \frac{P}{c} = ma \quad \rightarrow \quad a = \frac{P}{mc}$$
$$\frac{dp_{luz}}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dU}{dt} = \frac{P}{c} \quad v(t) = v_0 + at; \quad \text{se } v_0 = 0 \quad \rightarrow \quad v(t) = at$$

$$P = 10 \text{ kW}; \quad m = 1500 \text{ kg}; \quad 1 \text{ dia} = 24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ s}$$

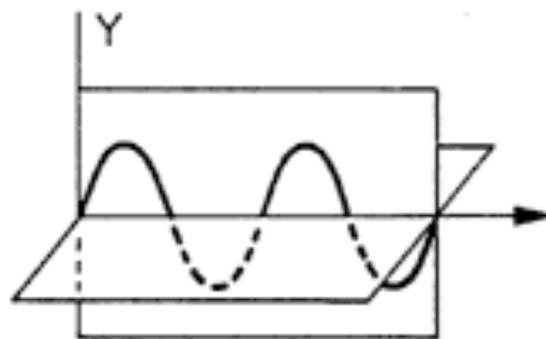
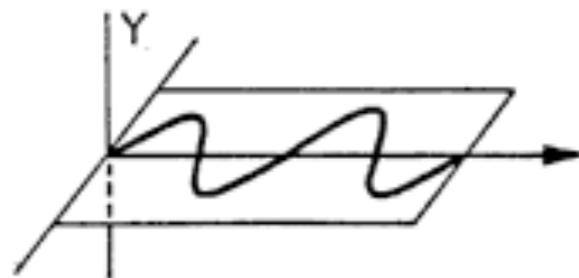
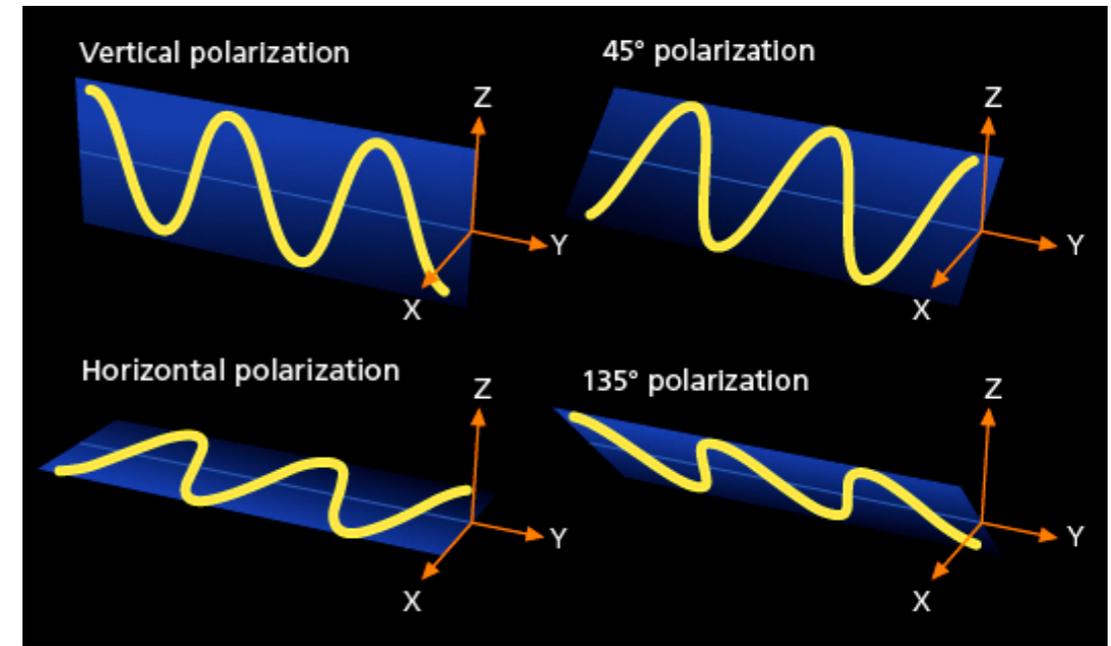
$$v = \frac{P}{mc} t = \frac{10^4 \text{ W} \times 86400 \text{ s}}{1500 \text{ kg} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 1,9 \times 10^{-3} \text{ m/s}!$$

Polarização

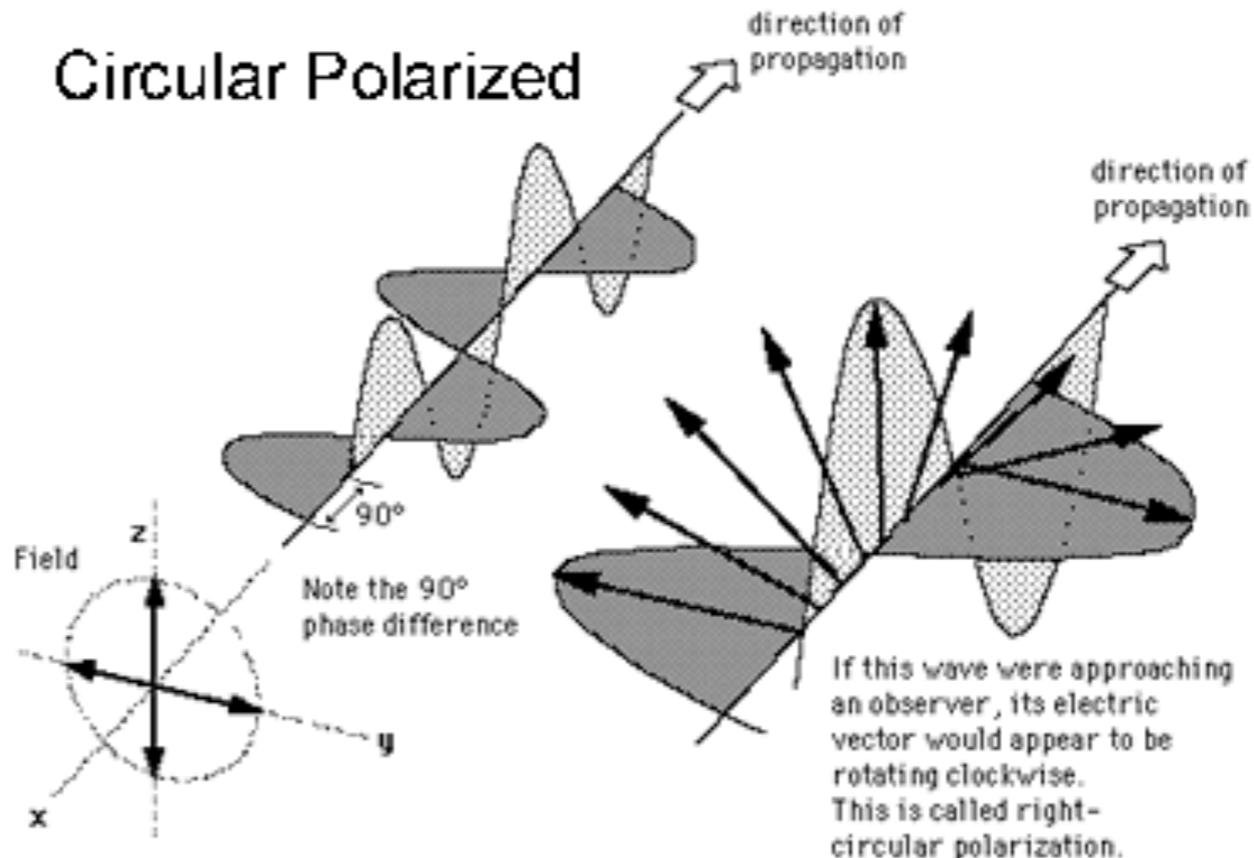
Polarização da radiação

Polarização linear:

Direção do campo elétrico $\vec{E}(\vec{r}, t)$



Linear Polarized

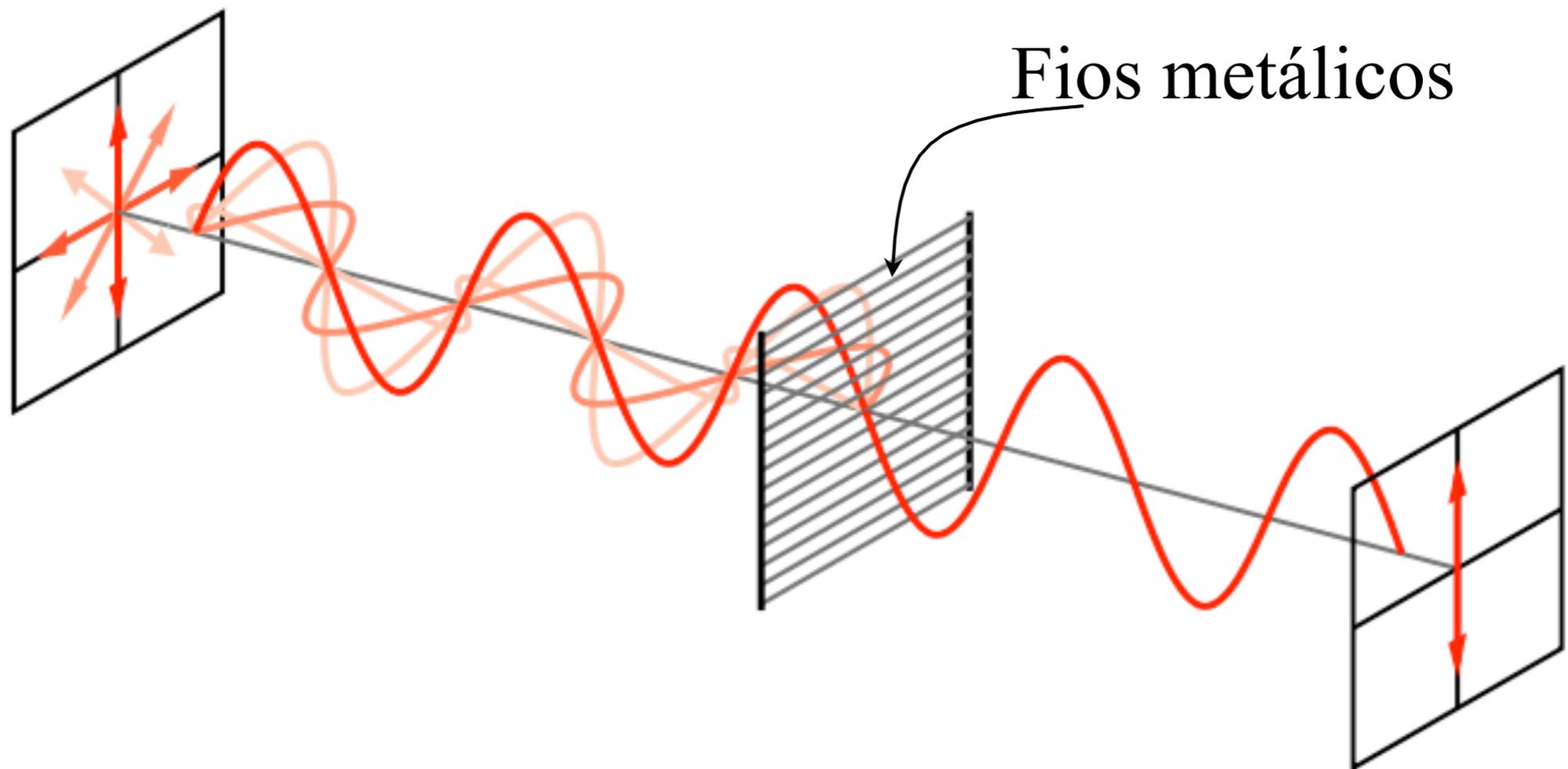


<http://www.colorado.edu/physics/2000/polarization/index.html>

Polarizadores

A luz polarizada em uma dada direção é absorvida pelo material usado na fabricação do polarizador. A intensidade da luz polarizada perpendicularmente a esta direção fica inalterada.

Exemplo:



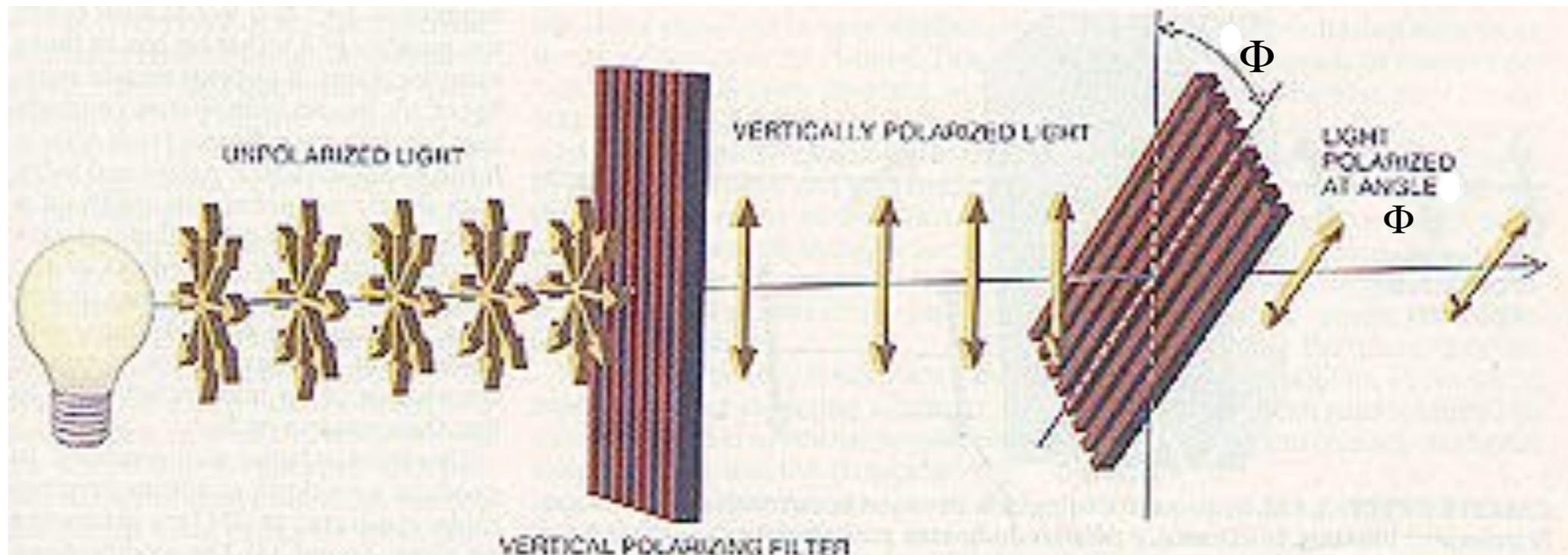
Polarizadores

Lei de Malus

Intensidade da radiação incidente não-polarizada
(ex.: luz natural)

Intensidade da radiação polarizada ao longo de \hat{y} :

$$I = I_0 \overline{\cos^2 \theta} = \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta d\theta = \frac{I_0}{2}$$



Intensidade de uma componente da radiação incidente:

$$E_{0\parallel} = E_0 \cos \theta$$

$$E_{0\perp} = E_0 \sin \theta$$

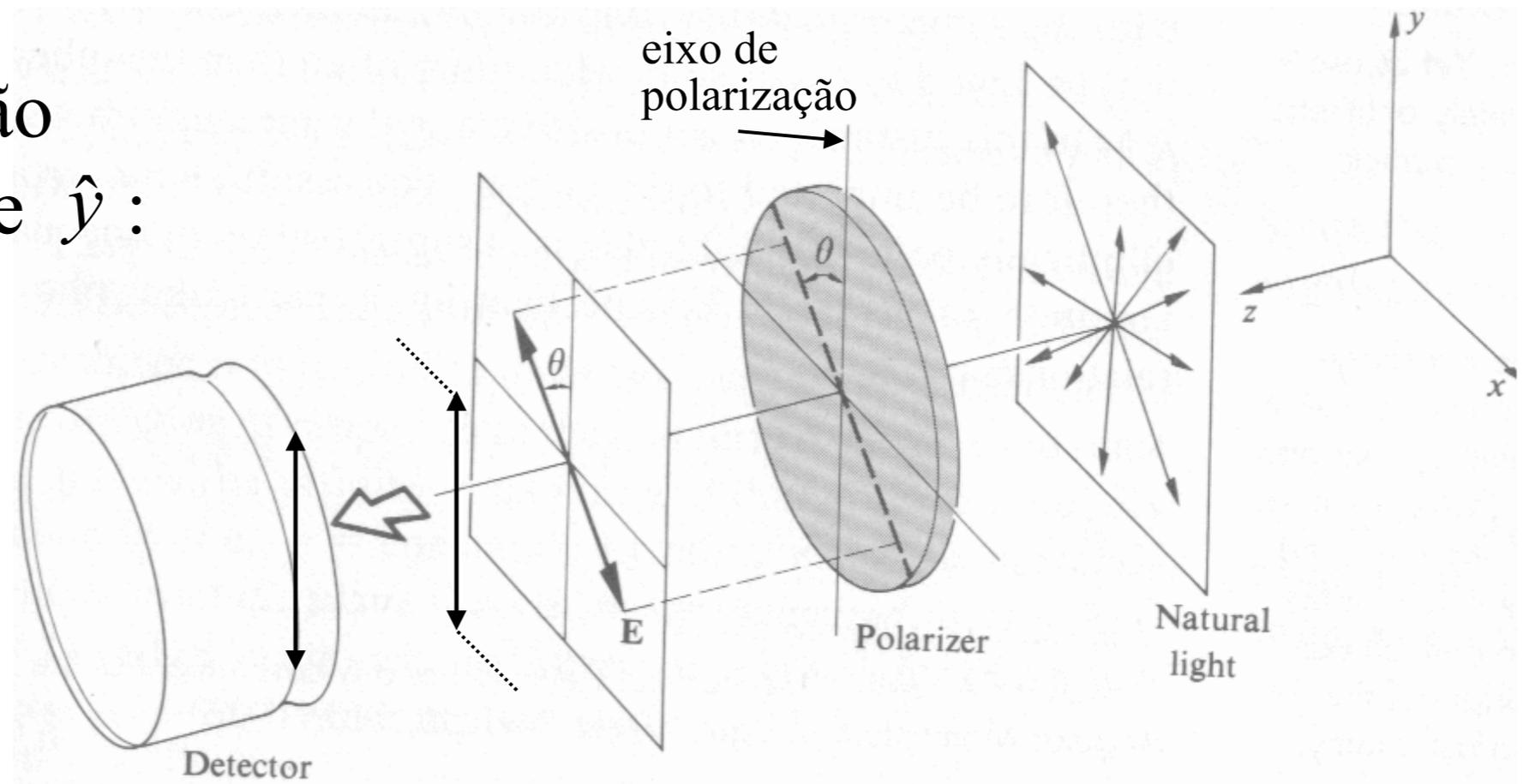
Intensidade da radiação polarizada ao longo de \hat{y} :

$$I = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_{0\parallel}^2$$

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_{\perp 0} \hat{x} + \vec{E}_{\parallel 0} \hat{y}$$

$$I_0 = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 (E_{0\parallel}^2 + E_{0\perp}^2)$$



Intensidade da luz polarizada transmitida

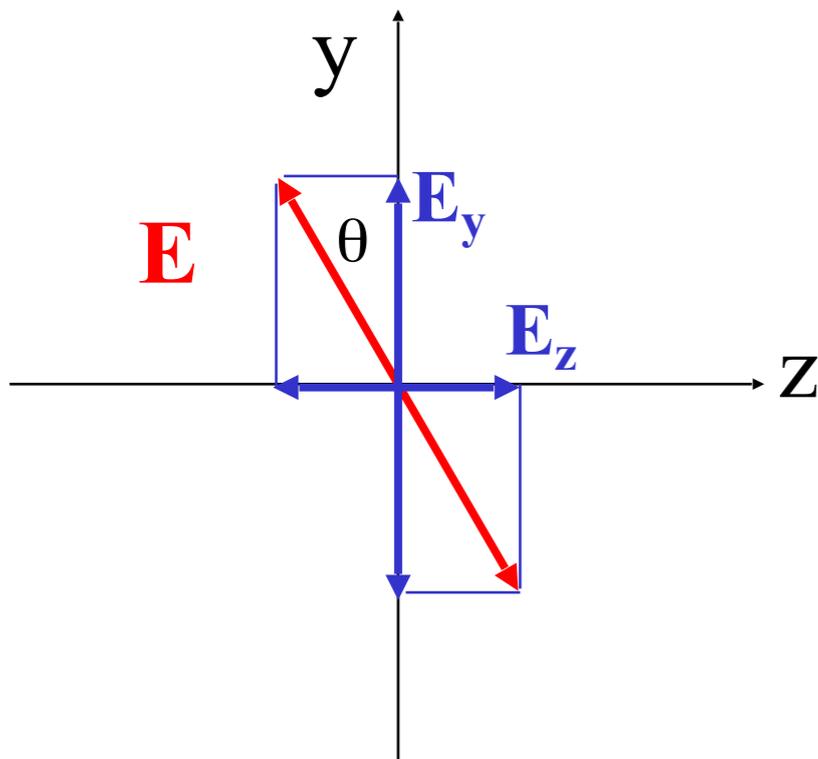
Luz não-polarizada:

polariz.

não-polariz.

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

Luz polarizada: projeção o vetor \mathbf{E}



$$E_y = E \cos \theta$$

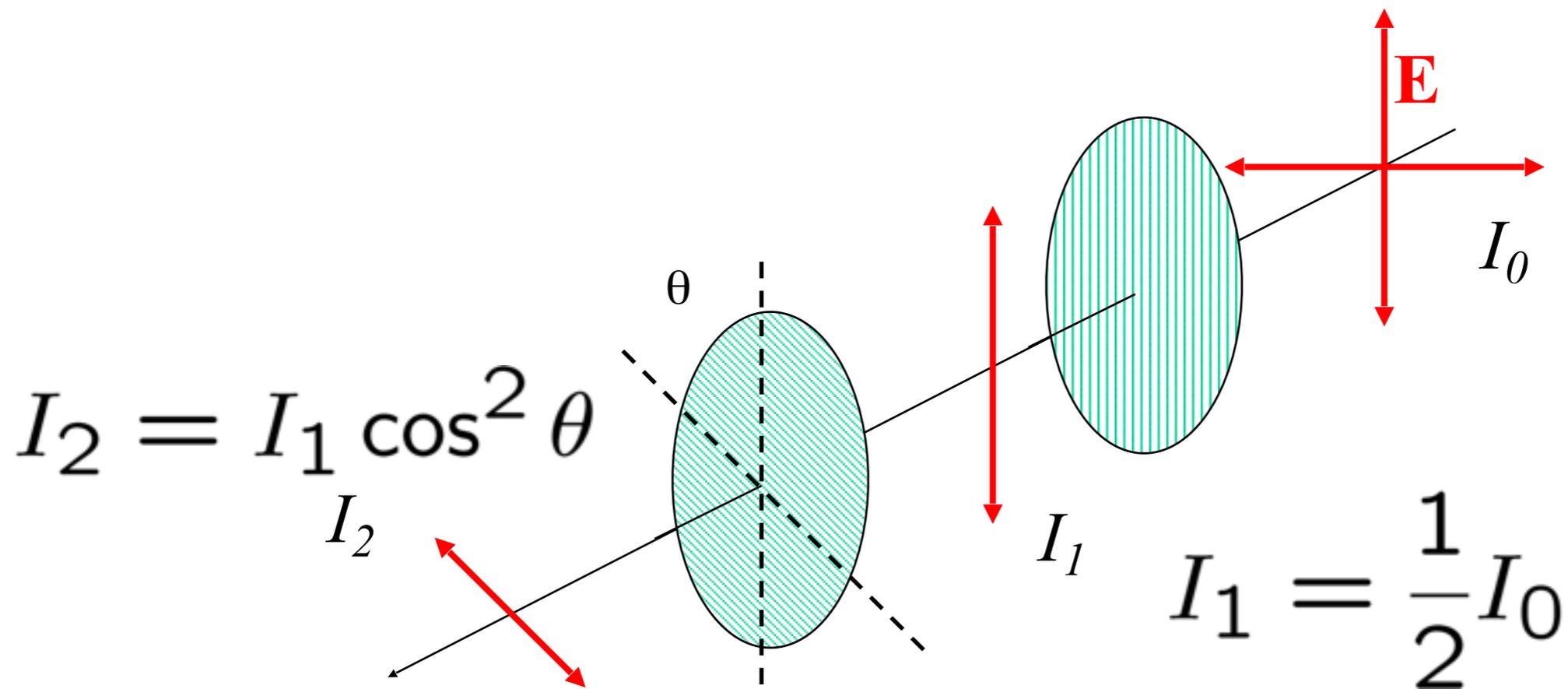
Como:

$$I \propto E^2$$

$$\Rightarrow I = I_0 \cos^2 \theta$$

(só para luz já polarizada)

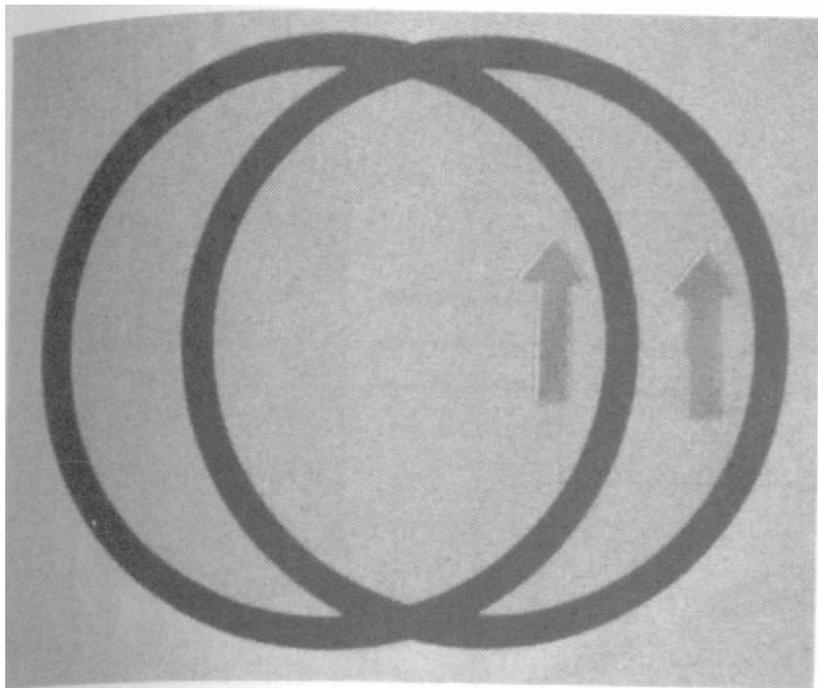
+ de 1 polarizador



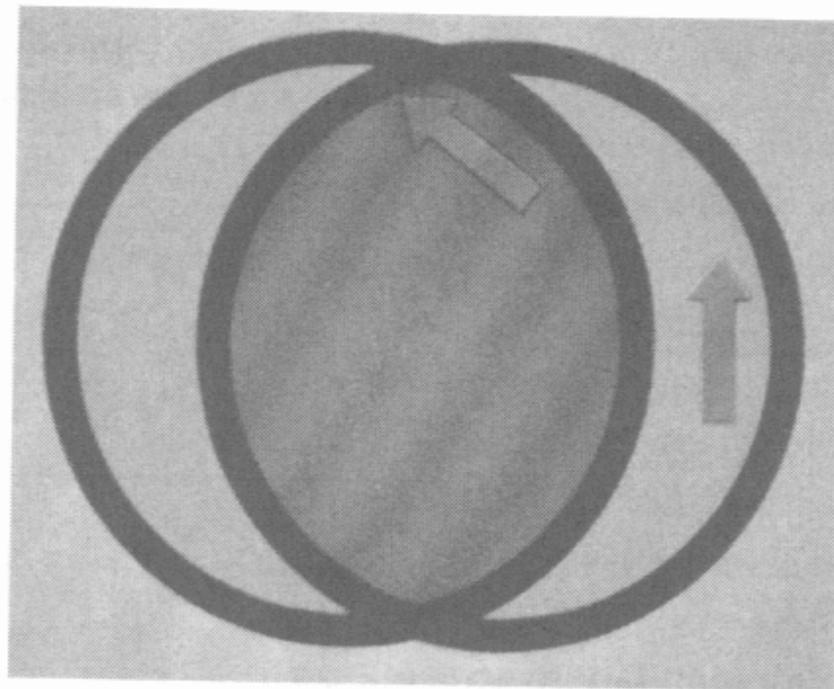
$$\Rightarrow I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$$

Polarizadores

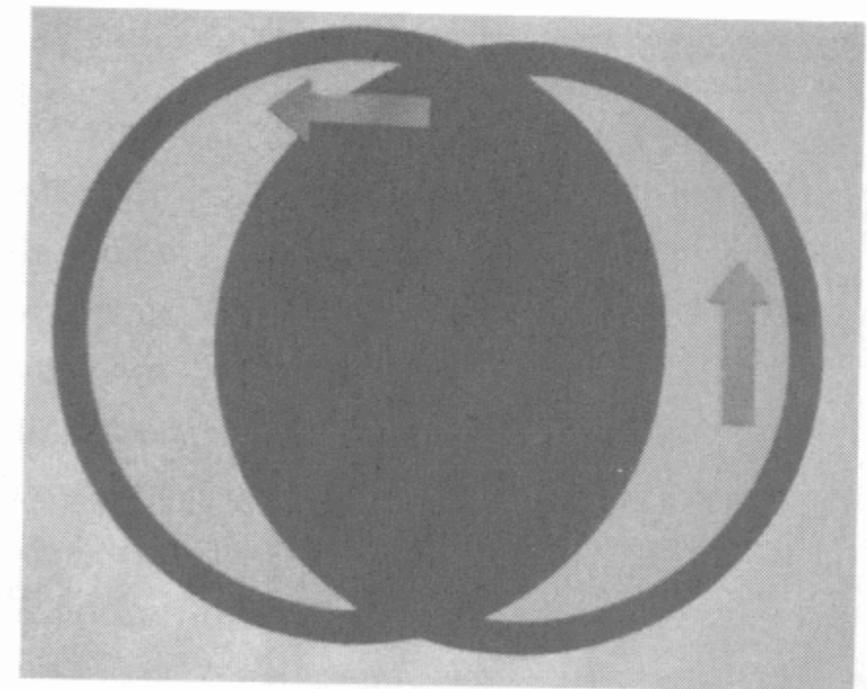
Visualização através de um polarizador:



(a)



(b)



(c)

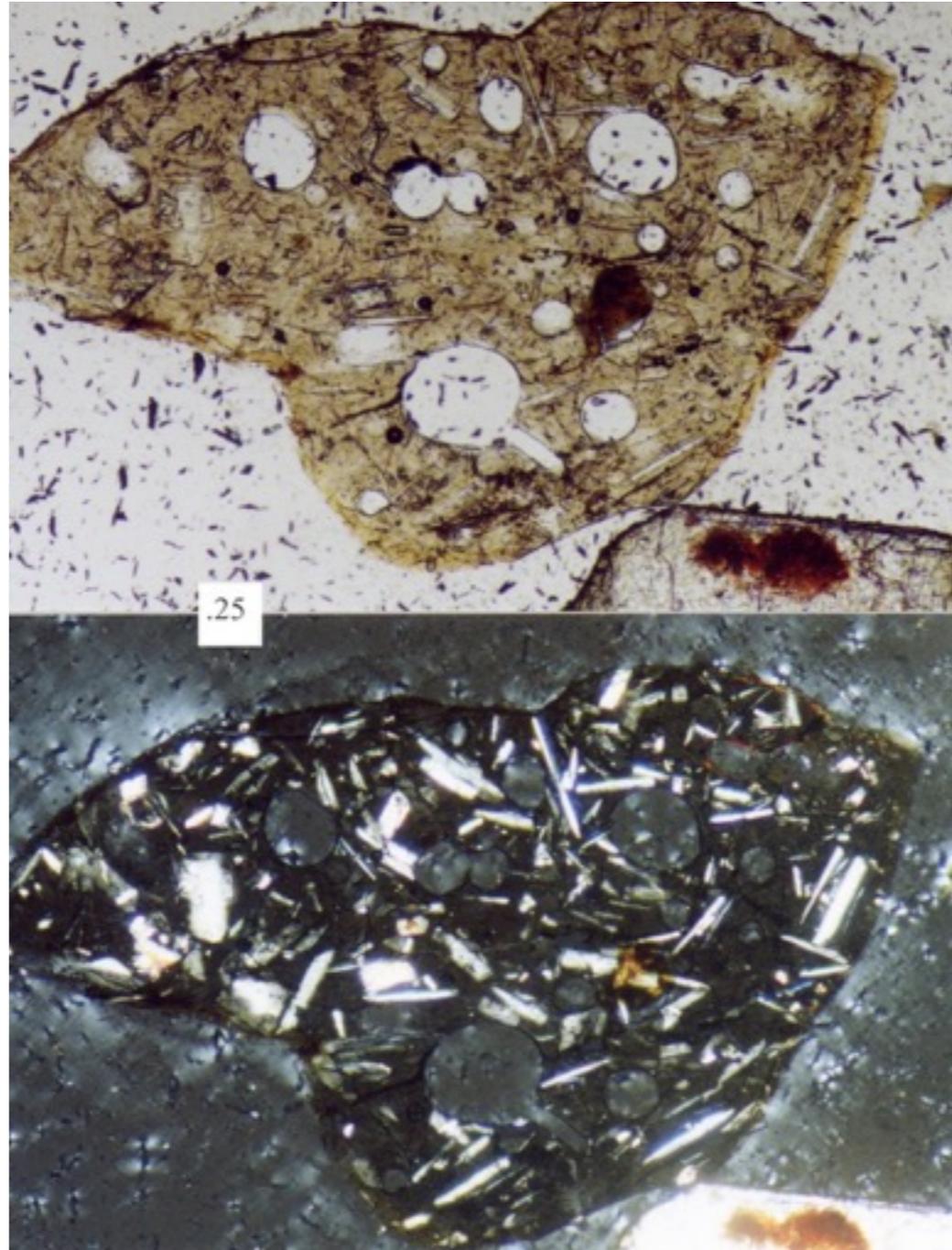
Aplicações



Aplicando um polarizador a 90 graus para identificar a lama mistura nesta onda



Quando aplicamos um polarizador na foto da esquerda podemos ver do lado direito o efeito causado



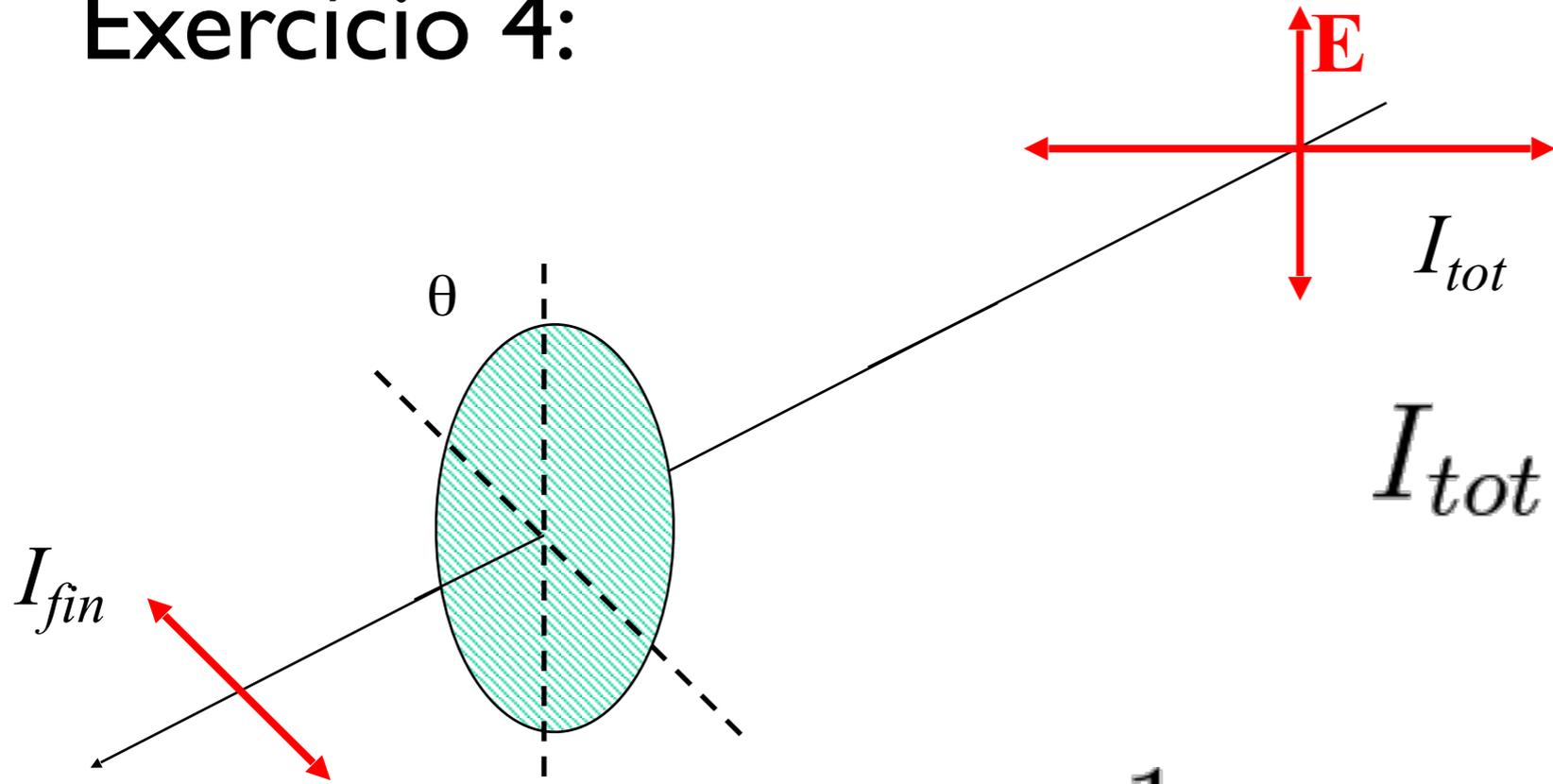
Aplicações para identificar a composição de minerais usando mineralogia ótica que é o estudo das rochas e minerais pelas suas propriedades óticas.

Exercícios

Exercício 4:

Um feixe de luz parcialmente polarizada pode ser considerado como uma mistura de luz polarizada e não-polarizada. Suponha que um feixe deste tipo atravesse um filtro polarizador e que o filtro seja girado de 360° enquanto se mantém perpendicular ao feixe. Se a intensidade da luz transmitida varia por um fator de 5,0 durante a rotação do filtro, que fração da intensidade da luz incidente está associada à luz polarizada do feixe ?

Exercício 4:



$$I_{tot} = I_{np} + I_p$$

$$I_{fin} = I'_{np} + I'_p = \frac{1}{2}I_{np} + I_p \cos^2 \theta$$

$$\frac{1}{2}I_{np} + I_p = 5\frac{1}{2}I_{np}$$

$$\Rightarrow I_p = 2I_{np}$$

$$\Rightarrow I_{tot} = 3I_{np} \Rightarrow$$

$$\frac{I_p}{I_{tot}} = \frac{2}{3}$$

Próxima Aula

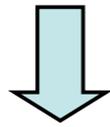
- Interferência
- Experimento de Young
- Coerência
- Difração

Fim

Polarização da radiação

Polarização elíptica

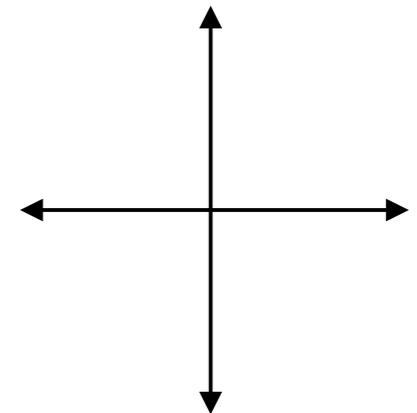
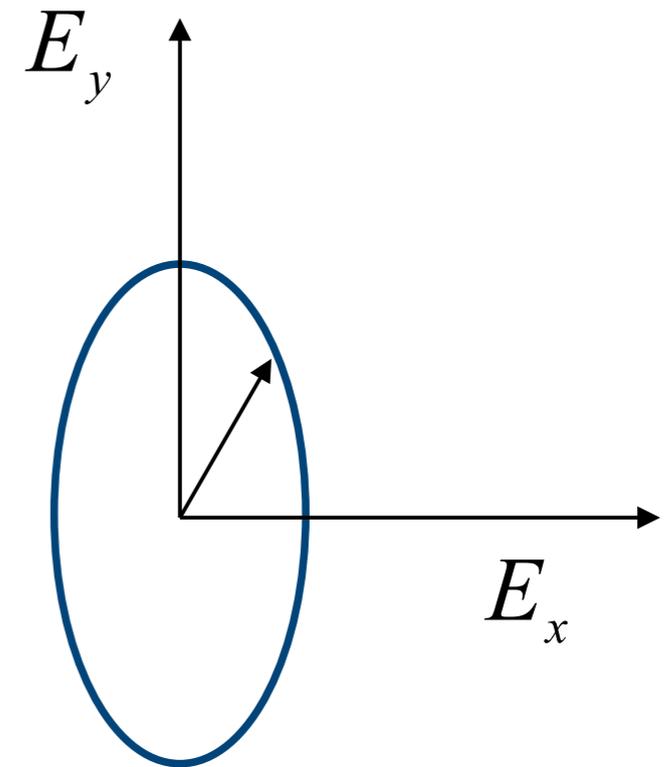
$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_{x0} \sin(kz - \omega t) \hat{x} + E_{y0} \cos(kz - \omega t) \hat{y}$$



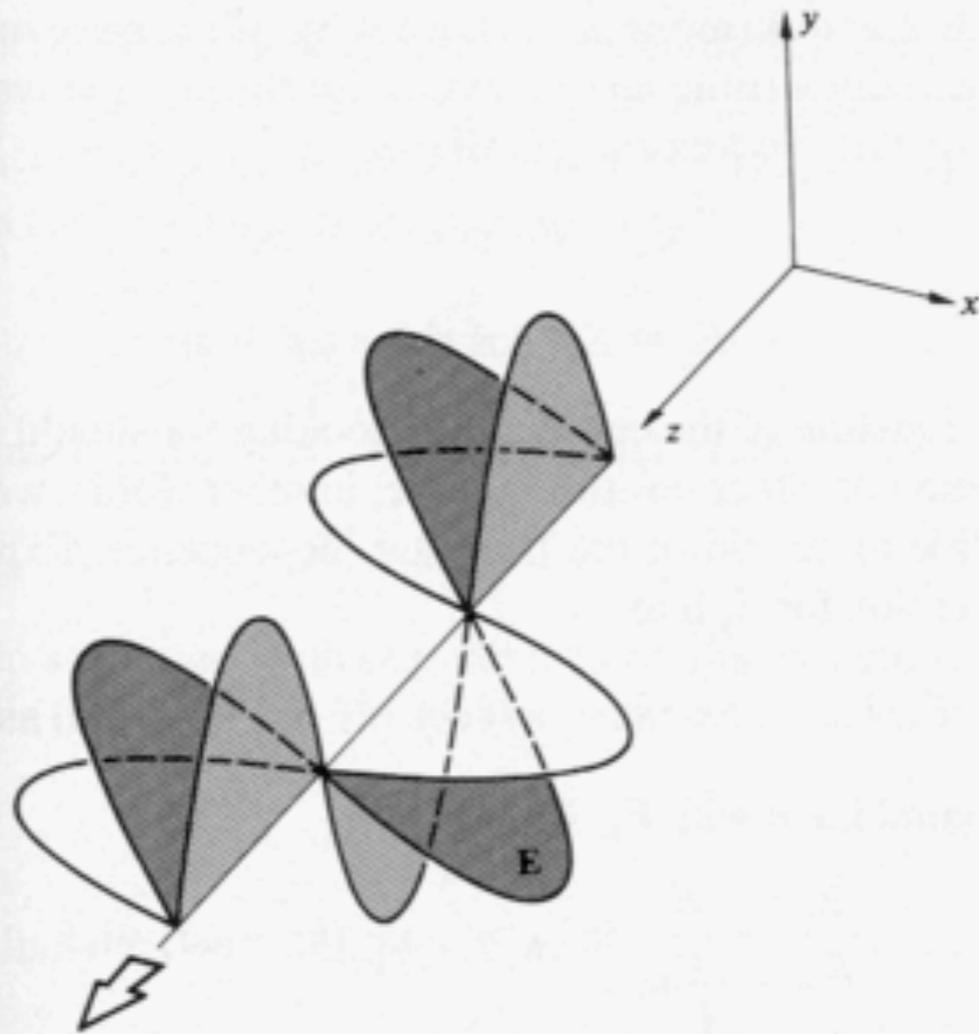
$$\frac{E_x^2(\vec{r}, t)}{E_{x0}^2} + \frac{E_y^2(\vec{r}, t)}{E_{y0}^2} = 1$$

Um pulso eletromagnético geral corresponde a uma superposição de vários pulsos que oscilam em diferentes direções, com diferentes fases

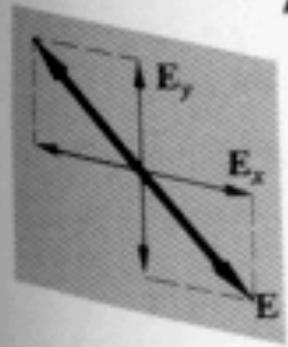
➡ radiação não-polarizada



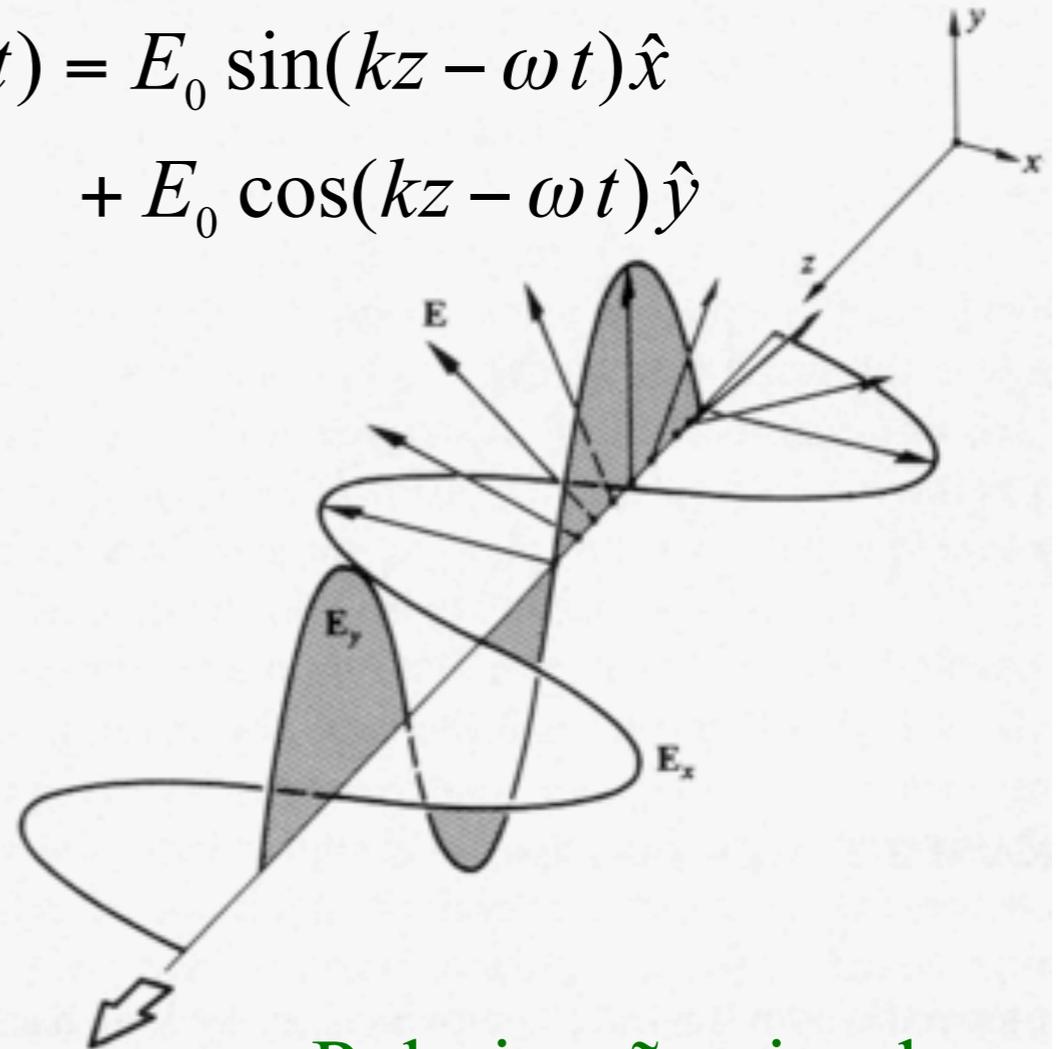
Polarização da radiação



Polarização linear



$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \sin(kz - \omega t) \hat{x} + E_0 \cos(kz - \omega t) \hat{y}$$



Polarização circular

$$E_x^2(\vec{r}, t) + E_y^2(\vec{r}, t) = E_0^2$$

