

4 - Óptica

Tópicos Fundamentais de Física

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

1/68

Antecedentes

- “A luz tem um papel tão presente e crucial nas nossas vidas e no funcionamento da Natureza que todas as culturas abundam com mitos referentes à luz. [...] As conotações psicológicas, culturais e religiosas da luz afetaram profundamente a maneira como as pessoas, incluindo muitos cientistas, conceberam a natureza da luz.” Cantor (1996)
- em Gênesis 1:2 é dito que, antes do advento da luz, ‘a Terra era sem forma e vazia; havia trevas sobre a face do abismo’ e, no versículo quatro, é dito que ‘e Deus viu que a luz era boa’.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

2/68

Antecedentes

- Agostinho explicava que a verdade só poderia ser percebida à luz da suprema verdade, da mesma forma que o olho só podia vislumbrar objetos iluminados pelo Sol
- mesmo a mais sóbria filosofia da Idade Média aceitava a luz como a mais nobre entidade no mundo e também o meio pelo qual a ordem universal se mantém e a base da extensão no espaço (JAMMER, 1994).

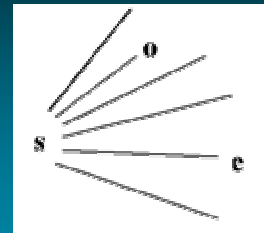
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

3/68

Antecedentes

- **Aristóteles:** luz (*phos*) não seria nem fogo, nem algo material, mas sim um estado do meio, tornado transparente pelo fogo ou outra fonte de luz. Somente em tal estado de transparência, esse meio permitiria a visão.



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

4/68

Antecedentes

- “*não sendo uma substância, a luz se propagaria instantaneamente já que o meio foi tornado transparente como um todo de uma só vez.*”
- *a luz não teria cor, sendo esta o resultado de uma mudança qualitativa produzida pelo objeto colorido no meio transparente*
 - (LINDBERG, 1981; CANTOR, 1996).

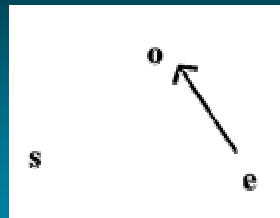
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

5/68

Antecedentes

- **Atomistas:** a luz não teria papel na visão, a qual se daria meramente pela captação de imagens (*eidola*) dos objetos



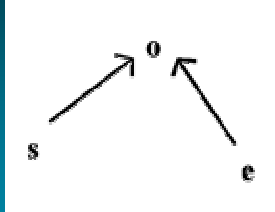
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

6/68

Antecedentes

- Pitagóricos, Empédocles e Platão: a visão se daria por um mecanismo de **extramissão**: um fogo interior ao olho seria emitido para o objeto que entraria em conjunção com a luz solar incidente sobre este



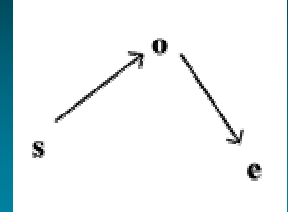
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

7/68

Antecedentes

- Alhazen (*al-Haytham*), filósofo islâmico do séc. X: cada ponto do objeto reflete a luz incidente para o olho em todas as direções mas apenas um raio de cada ponto incide sobre o olho do observador.



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

8/68

Antecedentes

- Alhazen enfatizou ainda que os 'raios' de luz são construções puramente geométricas, sem realidade física (LINDBERG, 1981)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

9/68

Concepções Alternativas

- luz 'ilumina' objeto para que possamos vê-lo através de 'raios de visão'
- luz permanece em torno da fonte, onde podemos 'vê-la'
- luz como estado de iluminação e não como entidade física
- luz incide no olho e é redirigida ao objeto visto

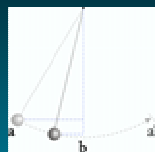
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

10/68

Movimento periódico

- pêndulo
- sistema massa e mola (oscilador harmônico)



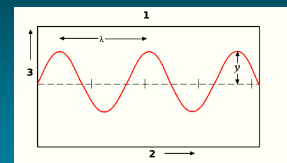
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

11/68

Características de uma onda

- frequência (f)
- período (T, t)
- amplitude (A)
- comprimento de onda (λ)



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

12/68

Características de uma onda

- velocidade ($v = \lambda f$)
- número de onda: ($k = 2\pi/\lambda$)
- frequência angular: ($\omega = 2\pi f$)

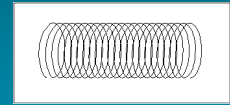
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

13/68

Tipos de ondas

- ondas transversais
- ondas longitudinais



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

14/68

Oscilador harmônico

- sistema ideal constituído de uma massa m e uma mola k sobre uma superfície sem atrito
- Amplitude: A
- frequência angular: ω_0
- fase inicial: δ
- período: $T = 2\pi/\omega_0$

$$\text{Lei de Newton: } F = ma = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$\text{Lei de Hooke: } F = -kx$$

$$\Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega_0^2 x$$

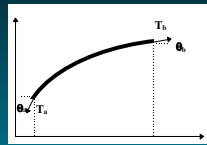
$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \delta)$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

15/68

Equação de onda



$$\begin{aligned} x: T(b,t) \cos \theta_b(t) - T(a,t) \cos \theta_a(t) &= 0 \\ y: T(b,t) \sin \theta_b(t) - T(a,t) \sin \theta_a(t) &= F_y \\ \Rightarrow T(b,t) \cos \theta_b(t) &= T(a,t) \cos \theta_a(t) = T \\ \Rightarrow T[\tan \theta_b(t) - \tan \theta_a(t)] &= F_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \theta_b(t) &= \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \Big|_b, \tan \theta_a(t) = \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \Big|_a \\ \Rightarrow T \left[\frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \Big|_b - \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \Big|_a \right] &= F_y \\ \Rightarrow T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx &= F_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx &= (\mu dx) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \\ v &= \sqrt{\frac{T}{\mu}} \end{aligned}$$

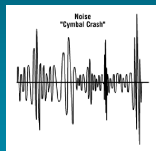
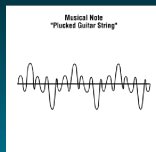
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

16/68

Som

- altura (frequência)
- timbre (composição de harmônicos)
- intensidade (quadrado da amplitude)



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

17/68

Interferência

ϕ_1 e ϕ_2 : duas ondas com mesma direção, frequência e velocidade

$$\begin{aligned} \phi_1 &= A \sin(kx - \omega t) \\ \phi_2 &= A \sin(kx - \omega t + \delta) \\ \phi &= \phi_1 + \phi_2 \\ &= A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \delta) \\ &= 2A \cos \frac{\delta}{2} \sin(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}) \end{aligned}$$

- resultado: onda com a mesma frequência e amplitude dependente da diferença de fase

$$\begin{aligned} \delta = 0 &\Rightarrow A \rightarrow 2A \text{ (construtiva)} \\ \delta = \pi &\Rightarrow A \rightarrow 0 \text{ (destrutiva)} \end{aligned}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

18/68

Ondas estacionárias

- ϕ_1 e ϕ_2 : duas ondas com a mesma frequência e velocidade mas sentidos contrários
- resultado: uma onda estacionária: não há vibração nos pontos em que $kx=0$

$$\begin{aligned}\phi_1 &= A \text{sen}(kx - \omega t) \text{ (progressiva)} \\ \phi_2 &= A \text{sen}(kx + \omega t) \text{ (regressiva)} \\ \phi &= \phi_1 + \phi_2 \\ &= A \text{sen}(kx - \omega t) + A \text{sen}(kx + \omega t) \\ &= 2A \cos(\omega t) \text{sen}(kx)\end{aligned}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

19/68

Batimento

- ϕ_1 e ϕ_2 : duas ondas com frequências levemente diferentes
- resultado: uma onda com a mesma frequência mas com amplitude modulada pela diferença

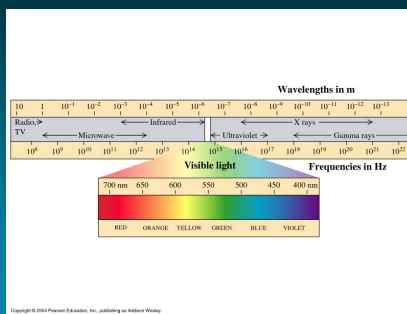
$$\begin{aligned}\phi_1 &= A \text{sen}(kx - \omega t) \\ \phi_2 &= A \text{sen}[(k + \Delta k)x - (\omega + \Delta\omega)t] \\ \phi &= \phi_1 + \phi_2 \\ &= 2A \cos(\Delta kx - \Delta\omega t) \text{sen}(kx - \omega t)\end{aligned}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

20/68

Espectro luminoso



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

21/68

A cor

- “Se as ondas de 760 nm, que por si só, produzem a sensação de vermelho se misturarem, numa determinada proporção, com as ondas de 535 m, que por seu turno, ocasionam a sensação de verde, dessa mescla resulta um amarelo que não se distingue do produzido pelas ondas de 590 nm.”

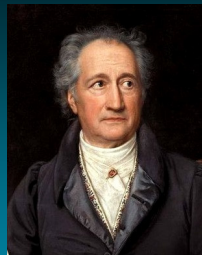
(SCHRÖDINGER, Erwin, 1989)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

22/68

**Johann Wolfgang
von Goethe
(1749-1832)**



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

23/68

Goethe

- escritor, filósofo, cientista e botânico alemão
- escreveu vários trabalhos sobre a morfologia das plantas, que influenciaram Darwin

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

24/68

Goethe

- autor da peça Fausto e do romance Os Sofrimentos do Jovem Werther
- ícone do Romantismo
- causador de onda de suicídios



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

25/68

Goethe

- *Da Teoria das Cores*: oposição à interpretação de Newton dos fenômenos luminosos.
- cor: mais um fenômeno da consciência do que físico, mais associado ao olho do que à luz
- quarto escuro=artificial
- a Natureza só existiria quando se revelasse livremente aos nossos sentidos

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

26/68

**Hermann Ludwig
Ferdinand von Helmholtz
(1821–1894)**



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

27/68

Helmholtz

- médico e físico alemão
- na Filosofia, é conhecido por sua Filosofia da Ciência, idéias sobre a relação entre as leis da percepção e as leis da natureza, sobre a Estética e idéias sobre o poder civilizador da Ciência
- também é conhecido como o criador da Teoria da Panspermia Cósmica.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

28/68

Helmholtz

- na Fisiologia e na Psicologia Fisiológica, contribuiu com teorias da visão, da percepção visual, percepção espacial, visão a cores, percepção de movimento, sensação de tom sonoro, percepção do som, etc.
- na Física, é conhecido pelas suas teorias da conservação da energia, trabalhos em Eletrodinâmica, Termodinâmica Química e numa fundação mecânica para a Termodinâmica.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

29/68

Helmholtz

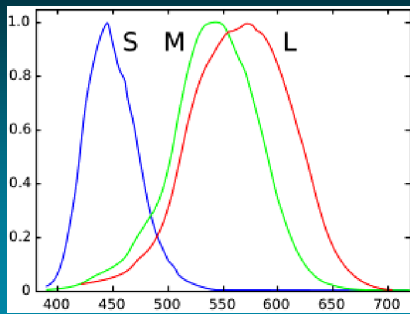
- 1850: desenvolveu a teoria de Young
- três tipos de cone: sensíveis ao azul, ao verde e ao vermelho
- intensidade relativa dos sinais de cada conjunto de cones, é interpretada pela mente como cor

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

30/68

Teoria tricromática



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

31/68

O triângulo de cores

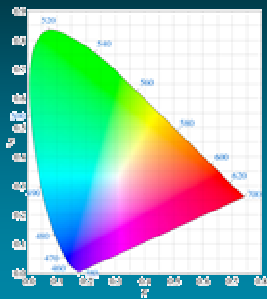
- “É evidente que a tabela de todas as misturas deste tipo foi elaborada empiricamente; chama-se o triângulo das cores. Mas não tem qualquer relação com os comprimentos de onda.”

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

32/68

O triângulo de cores



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

33/68

O triângulo de cores

- [...] Da combinação do ‘vermelho’ e do ‘azul’ das duas extremidades do espectro, por exemplo, resulta ‘púrpura’, cor que não é dada por nenhuma luz espectral simples. Além disso, a referida tabela, o triângulo das cores, varia ligeiramente de pessoa para pessoa e difere consideravelmente em alguns indivíduos como tricromáticos anômalos (que não sofrem de cegueira de cor).”

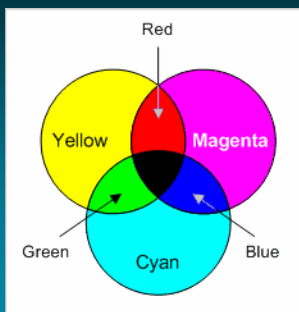
(SCHRÖDINGER, 1989)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

34/68

Cores subtrativas

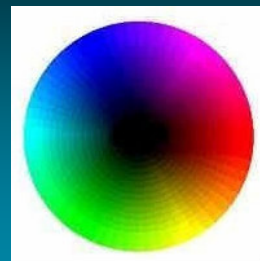


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

35/68

Cores subtrativas

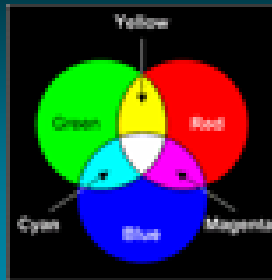


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

36/68

Cores aditivas

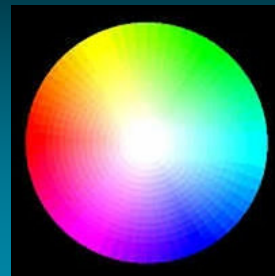


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

37/68

Cores aditivas



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

38/68

Teoria tricromática

Cone	Nome	Intervalo (nm)	Máximo (nm)
S	β	400–500	430
M	γ	450–630	540
L	ρ	500–700	572

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

39/68

Daltonismo

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

40/68

Daltonismo

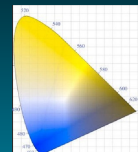
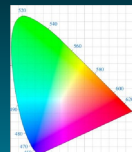
- também chamado de **discromatopsia** ou **discromopsia**
- 1798: Dalton J. "Extraordinary facts relating to the vision of colours: with observations" *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, v. 5, pp. 28-45
- Dalton era deuteranópico

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

41/68

Protanopia



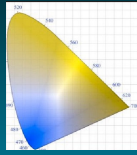
- 1% dos homens
- faltam cones do "vermelho"
- vermelho parece cinza
- confundem violeta, lavanda e púrpura com azul

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

42/68

Deuteranopia



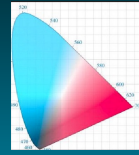
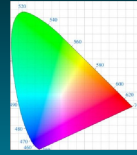
- 1% dos homens
- faltam cones do "verde"
- confundem vermelho, laranja, amarelo e verde
- não distinguem tons de azul

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

43/68

Tritanopia



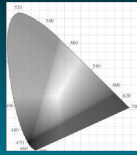
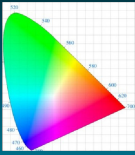
- <1% dos homens
- faltam cones do "azul"
- confundem toda a região azul-amarela do espectro

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

44/68

Acromatopsia



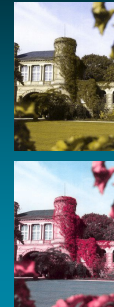
- cegueira completa para as cores: o mundo é visto em preto e branco e em tons de cinza

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

45/68

Exemplo



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

46/68

Exemplo

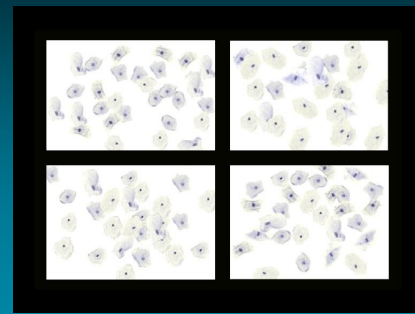


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

47/68

Exemplo

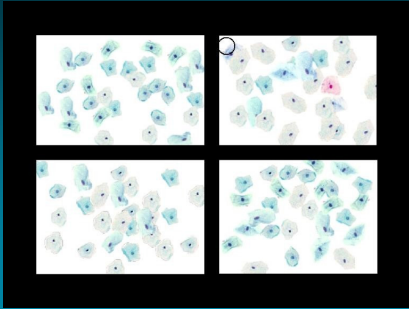


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

48/68

Exemplo

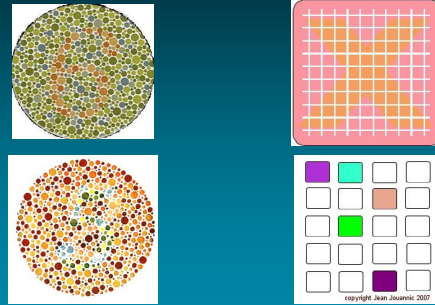


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

49/68

Testes de Daltonismo

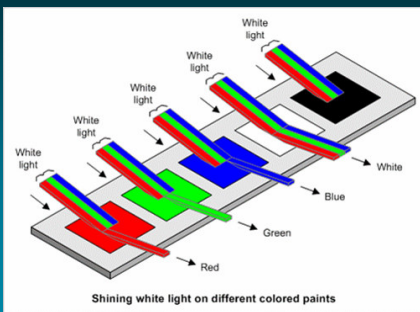


11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

50/68

Reflexos coloridos



11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

51/68

Pergunta

- De que cor se vê um objeto amarelo se o colocarmos sob luz monocromática azul? (BRITO, 1996)

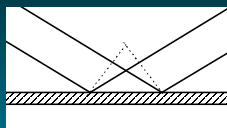
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

52/68

Reflexão

- o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, tal como na reflexão mecânica de bolas de bilhar, p. ex.
- levou Newton a pensar no modelo corpuscular



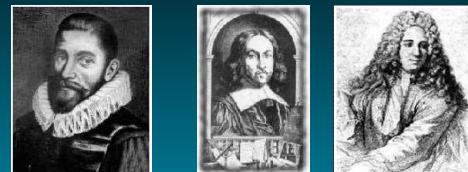
$$\begin{aligned} \text{cm } \triangle AB: \varphi_i = kx_i - \alpha = \varphi_r = kx_r - \alpha' \\ \Rightarrow x_i = x_r \\ \text{cm } \triangle A'B': \varphi_i = k(x_i + \overline{AA'}) - \alpha = \varphi_r = k(x_r + \overline{BB'}) - \alpha' \\ \Rightarrow \overline{AA'} = \overline{BB'} \\ \Rightarrow \angle A'AB = \angle B'BA \\ \Rightarrow \text{sen } i = \text{sen } r' \end{aligned}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

53/68

Lei da Refração



- A lei da refração surge com Descartes, mas Snell, em 1625 já tinha desenvolvido alguma coisa do assunto.
- Em 1662 Fermat demonstra a lei da refração, que é corrigida em 1774 por Maupertius.

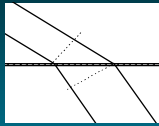
11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

54/68

Refração

- Lei de Snell-Descartes



$$\phi = (kx - \omega t) = \omega \left(\frac{x}{v} - t \right)$$

$$\Rightarrow \frac{BB'}{v_1} = \frac{AA'}{v_2} \Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

55/68

O espelho

- “A usual experiência do espelho é à primeira vista tão simples, tão clara, tão distinta, tão geométrica, que poderia ser colocada na base da conduta científica, no próprio estilo em que Pierre Janet fala do comportamento do cesto para caracterizar a mentalidade humana e mostrar a grande superioridade da criança que compreende a acção totalizante do cesto, enquanto que o cão nunca se serve do cesto como colector de objectos.”

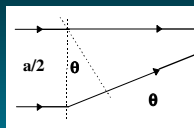
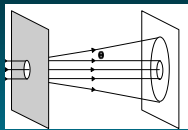
(BACHELARD, 1996)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

56/68

Difração



dif. de perc.: $\frac{a}{2} \sin \theta$

int. constr.: $\lambda/2$

\Rightarrow larg. da im.: $\sin \theta = \lambda/a$

$$\begin{cases} a \gg \lambda \Rightarrow \sin \theta \cong 0 \\ a \ll \lambda \Rightarrow \sin \theta \cong 1 \end{cases}$$

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

57/68

Polarização

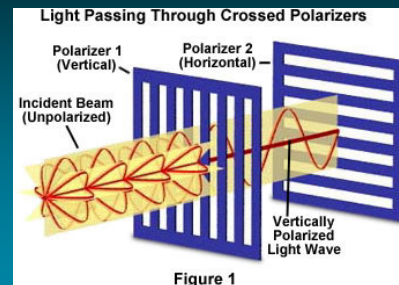


Figure 1

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

58/68

Referências

- LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc, A Electricidade e o Electromagnetismo em Perguntas, Gradiva, Lisboa, 1991.
- SCHRÖDINGER, Erwin, O Que é a Vida?, Ed. Fragmentos, Lisboa, 1989, cap. VI, “O Mistério das Qualidades Sensoriais”

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

59/68

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

60/68

Referências

- GOTTSCHELL, Carlos Antonio Mascia. Do mito ao pensamento científico: A busca da realidade, de Tales a Einstein. São Paulo : Atheneu, 2004.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

61/68

Referências

- Luz: Ciência, Arte e Ensino de Física. (<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/ep/ef/x/sys/resumos/T0164-2.pdf>)
- SILVA. Esclarecendo o significado de "cor" em Física. Física na Escola, vol. 8, n. 1, pp. 25-26, 2007. (disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a06.pdf>)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

62/68

Referências

- LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc, A Electricidade e o Electromagnetismo em Perguntas, Gradiva, Lisboa, 1991.
- SCHRÖDINGER, Erwin, O Que é a Vida?, Ed. Fragmentos, Lisboa, 1989, cap. VI, "O Mistério das Qualidades Sensoriais"

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

63/68

Referências

- CHAIB & ASSIS. Apresentação distorcida da obra de Ampère nos livros didáticos. In Anais do X EPEF, 2006. (disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/ep/ef/x/sys/resumos/T0023-1.pdf>)
- SILVA & PIMENTEL. Benjamin Franklin e a História da Eletricidade em livros didáticos. In Anais do X EPEF, 2006. (disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/ep/ef/x/sys/resumos/T0150-1.pdf>)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

64/68

Referências

- QUEIROZ, G. et al. Luz: Ciência, Arte e Ensino de Física. In Anais do X EPEF, 2006. (disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/ep/ef/x/sys/resumos/T0164-2.pdf>)
- SILVA. Esclarecendo o significado de "cor" em Física. Física na Escola, vol. 8, n. 1, pp. 25-26, 2007. (disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a06.pdf>)

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

65/68

Referências

- BRITO, Jorge Sousa. Cartesianismo e Transdisciplinaridade no Ensino da Química, in *Atas das 1as. Conferências de Epistemologia e Filosofia*, Instituto Piaget, Viseu (Portugal), Março de 1996.
- BACHELARD, Gaston. *O Novo Espírito Científico*, Edições 70, Lisboa, 1996.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

66/68

Referências

- DRUZIAN, RADÉ & SANTOS. Uma proposta de perfil conceitual para os conceitos de luz e visão. in Atas do VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências, 2007 (disponível em http://reniza.com/renato/artigos/pc_luz.pdf)
- SOUSA BRITO, Jorge, Cartesianismo e Transdisciplinaridade no Ensino da Química, in Atas das 1as. Conferências de Epistemologia e Filosofia, Instituto Piaget, Viseu (Portugal), Março de 1996.
- BACHELARD, Gaston, O Novo Espírito Científico, Edições 70, Lisboa, 1996.

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

67/68

Referências

- http://pt.wikipedia.org/wiki/História_da_electricidade
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Eletricidade>
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Electrostática>
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetismo>
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetostática>
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Óptica>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Vermeer>

11-jun-2011

© www.fisica-interessante.com

68/68