

Notas de aula e 1ª Série de Exercícios

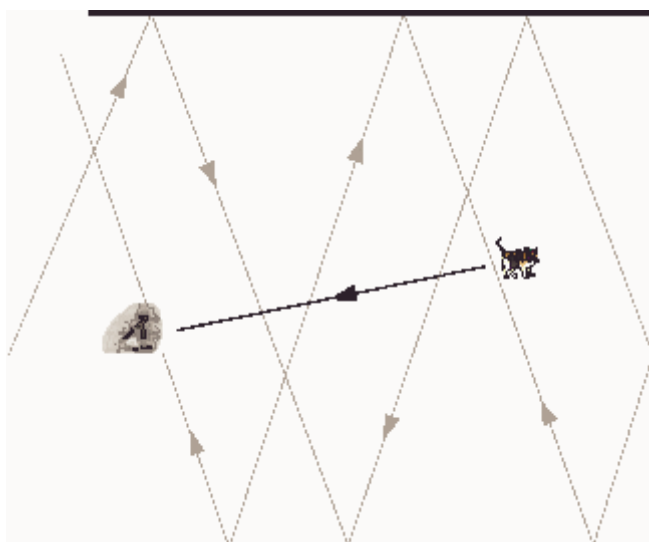
ÓPTICA GEOMÉTRICA

1. ÓPTICA GEOMÉTRICA E A NATUREZA DA LUZ

- (I) Muitos filósofos importantes da antiguidade e da idade média chegaram a supor que o olho emitia algum raio que procurava pelos objetos a fim de enxergá-los. (idéia absurda? procure saber como os morcegos "enxergam")
- (II) Depois de muita discussão, já faz pelo menos 400 anos que o consenso é que, para vermos alguma coisa, a luz emitida pelos objetos deve entrar no nosso olho.
- (III) Pela nossa experiência comum, a luz caminha entre dois pontos em linha reta, contanto que não haja nada que a atrapalhe durante o caminho.



- (IV) Também pela nossa experiência comum, dois raios de luz não interferem entre si. Isto é, a luz ziguezagueia em todas as direções dentro de uma sala, mas a luz que passa em frente à nossa linha de visão parece não afetar a luz que entra no nosso olho proveniente de um objeto qualquer.

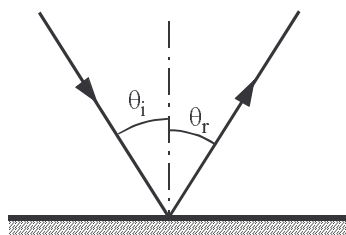


- (V) Huygens usou essa não-interferência entre os raios de luz como um argumento a favor de que a luz deve ser uma onda; afinal, se a luz fosse constituída de partículas, dois raios que se cruzassem deveriam colidir entre si e causar espalhamento dessas partículas...

- (VI) Na verdade, a natureza da luz é bastante enigmática: ela pode se comportar como onda em certas situações e como partícula em outras.
- (VII) Como onda, a luz é um campo eletromagnético vibrante que se propaga no vácuo com a espantosa velocidade de trezentos mil quilômetros por segundo (3×10^8 m/s). Hoje, sabemos que a luz é exatamente igual a ondas de rádio – o que causa a sensação de luz visível é um valor adequado, enorme, da frequência de vibração. O comprimento de onda λ no espaço é relacionado com a frequência f de vibração pela fórmula $\lambda = \frac{c}{f}$, onde c é a velocidade de propagação. Enquanto uma onda de rádio na faixa FM vibra ao redor de 100MHz e tem comprimento de onda perto de 3 metros, uma onda de luz visível vibra ao redor de 6×10^{14} Hz (seiscentos mil Gigahertz !!!) e tem comprimento de onda em torno de $0,5\mu\text{m}$ (meio milésimo de milímetro – quinhentos nanômetros).
- (VIII) A sensação de cor depende da frequência (ou do comprimento de onda) da luz que chega ao nosso olho. Frequências mais baixas correspondem a tons de vermelho, e frequências mais altas a tons de violeta. Olhando para raios de luz de frequências mais baixas a frequências mais altas, percorremos todo o arco-íris.
- (IX) Como partículas, a luz é composta de fótons. Cada fóton de luz é uma unidade indivisível, que carrega uma quantidade de energia dada por $E = hf$, onde h é a constante de Planck ($= 4,1 \times 10^{-15}$ eV.s). 1eV (elétron-volt) é a energia adquirida por um elétron quando acelerado por uma diferença de potencial de 1V (num um canhão de elétrons de uma televisão comum, cada elétron adquire uma energia em torno de 10KeV = 10000eV ao ser acelerado do filamento emissor até a tela). Fótons de ondas de rádio FM tem energias bem pequenas, ao redor de 7×10^{-7} eV. Fótons de luz visível tem energias próximas de 2eV (já são capazes de arrancar elétrons de certos metais, por exemplo). Fótons de raios-X são bem mais energéticos, chegando a 200KeV (por isso são tão perigosos).
- (X) Para as finalidades da óptica geométrica, que se preocupa com o comportamento dos raios luminosos quando atingem corpos que são bastante grandes comparados com o comprimento de onda da luz, e em situações em que a energia de um fóton é muito pequena comparada com a energia mínima necessária para causar algum efeito significativo nesses corpos, os detalhes sobre de que é feita a luz realmente não importam muito.

2. REFLEXÃO DA LUZ E ESPELHOS

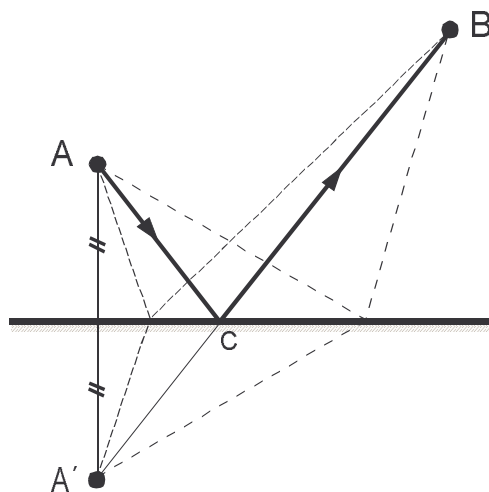
- (XI) Quando um raio de luz atinge uma superfície perfeitamente polida e opaca (um espelho!), ele retorna formando ângulos iguais com o espelho. Por alguma razão histórica, costuma-se medir os ângulos entre os raios e a normal ao espelho (chamados ângulos de incidência θ_i e de reflexão θ_r). Observa-se que $\theta_i = \theta_r$ (lei da reflexão).



- (XII) Fermat, em torno de 1650, notou que a lei da reflexão (e muitas outras da ótica geométrica) pode ser explicada supondo que “*ao propagar entre dois pontos, a luz escolhe o caminho que seja percorrido no menor tempo possível*”. Isso é conhecido como o princípio de Fermat.

(XIII) Obviamente, o princípio de Fermat explica porque a luz se propaga em linha reta – uma vez que o caminho mais curto entre dois pontos é uma reta.

(XIV) Mas agora podemos entender também a lei da reflexão. Para que o raio de luz na figura vá de A até B passando pelo espelho, o caminho mais curto é aquele que toca o espelho no ponto C e, portanto, os ângulos de incidência e de reflexão devem ser iguais. (estude bem a figura e verifique que qualquer outro caminho seria mais longo).



(XV) Note que, do ponto de vista do ponto B, a luz emitida por A e refletida pelo espelho chega a B como se fosse emitida por um objeto situado em A'. Por isso, se estivéssemos em B, nosso olho veria o objeto A, através do espelho, como se ele estivesse em A'. O ponto A' é a imagem do ponto A formada pelo espelho. (A' é a imagem *especular* de A).

(XVI) É curioso observar que muitos animais (inclusive nós) exibem simetria bilateral em seus corpos. A metade esquerda de nossos corpos é uma imagem especular da metade direita (salvo algumas diferenças nos detalhes, claro). NOTE BEM: A imagem especular não é idêntica ao objeto original (tente sobrepor sua mão esquerda à sua mão direita...). Isso provavelmente é um reflexo da combinação entre os cordões de DNA que constituem nossos genes – as cadeias químicas que se combinam nos núcleos das células tem entre si uma relação especular.

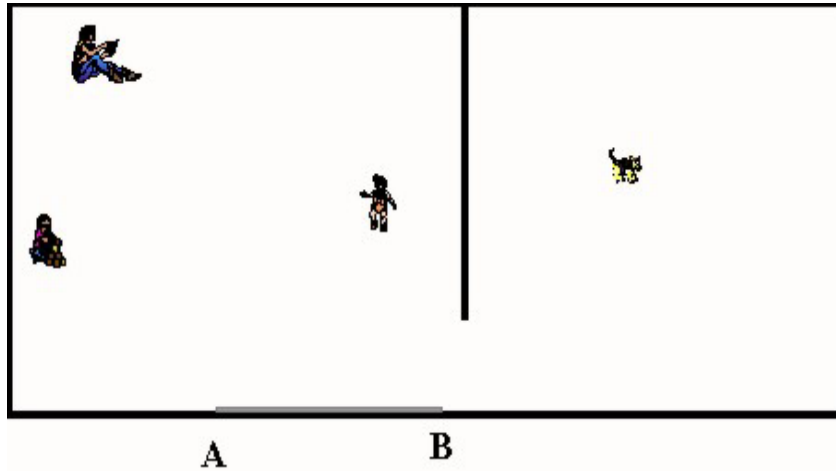
EXERCÍCIOS

1. Na figura, as distâncias ao espelho dos pontos A e B são, respectivamente, 20cm e 30cm. A distância entre A e B é 35cm.
 - (a) marque a posição da imagem B' do ponto B pelo espelho S
 - (b) calcule a distância de B' ao ponto A
 - (c) obtenha os ângulos de incidência e de reflexão do raio de luz que sai de A, reflete no espelho e chega em B
 - (d) marque a região onde o ponto A pode estar de modo que consiga ver a imagem do ponto B.

As respostas devem ser dadas com dois significativos, e os ângulos em graus.

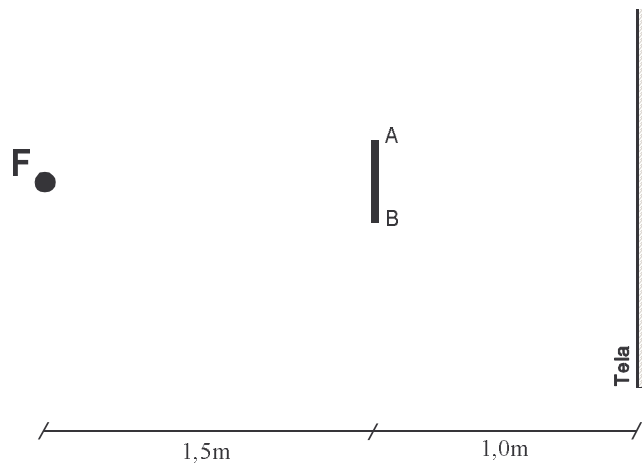


2. Em uma sala estão três pessoas, onde há um espelho AB. Essa sala tem uma porta, que está aberta, que dá para um quarto onde está um gato. Quais das três pessoas podem ver o gatinho pelo espelho? Faça a construção geométrica apropriada e explique claramente sua resposta.

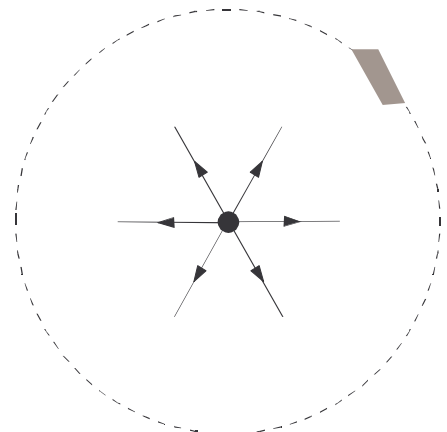


3. Uma fonte *pontual* de luz consiste num corpo de dimensões muito reduzidas que emite luz. Essa fonte é *isotrópica* se emite igualmente em todas as direções. Em outras palavras, uma fonte isotrópica irradia energia para o espaço em todas as direções com a mesma intensidade.

- (a) Calcule o comprimento da sombra que a barra opaca AB (de comprimento 25cm) projeta sobre a tela, quando iluminada pela fonte isotrópica F.

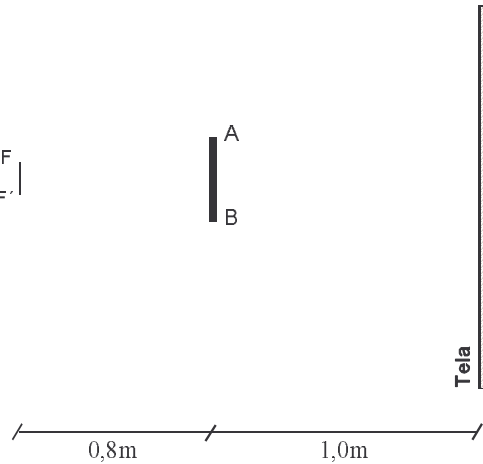


- (b) Uma fonte pontual isotrópica emite luz com a potência de 100W. ($1W = 1Watt = 1 \text{ Joule de energia por segundo}$). A cinco metros dessa fonte, há um pequeno painel opaco que absorve toda a luz que nele chega. Se a área desse painel for de 100cm^2 , quantos Joules de energia ele absorve por segundo? (respostas com dois significativos)

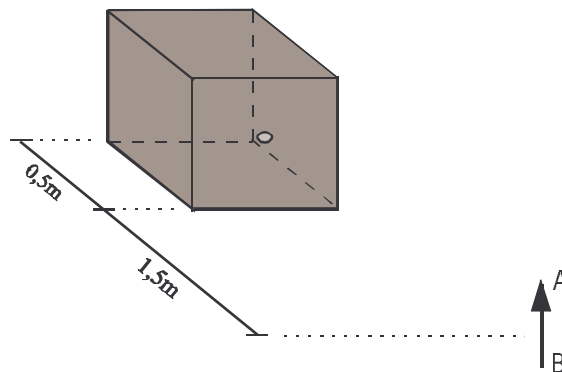


4. Cada ponto de um corpo extenso irradia luz como uma fonte pontual.

- (a) Quando a barra AB (comprimento 25cm) é iluminada pelo filamento extenso FF' (comprimento 10cm), ela projeta na tela uma região de sombra completa (onde nenhuma luz chega) envolvida por uma penumbra (onde chega apenas parte da luz emitida por FF'). Mostre na figura as regiões de sombra e penumbra, e calcule seus comprimentos.

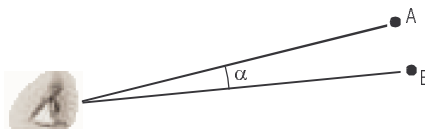


- (b) Utilizando o princípio da propagação retilínea da luz, desenhe a imagem de AB projetada no fundo da câmara escura e calcule seu comprimento. Suponha que o orifício da câmara escura seja muito pequeno. O comprimento da seta AB é 12cm. Por que a imagem aparece invertida?



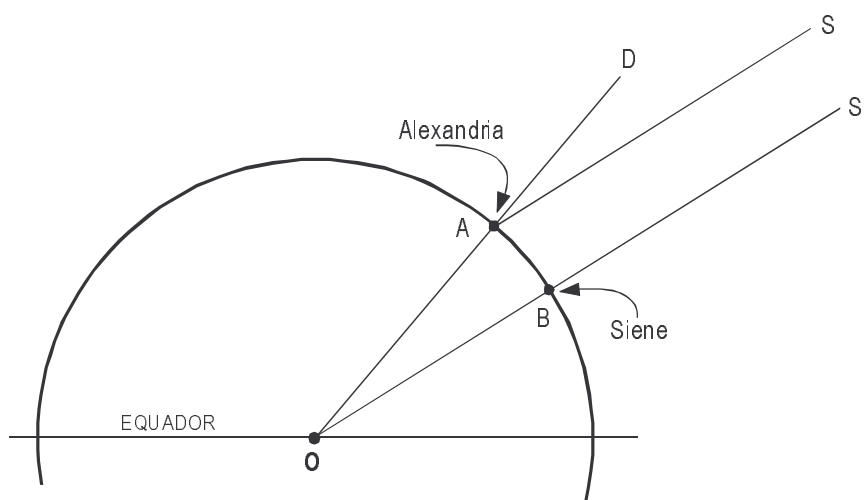
- (c) O que ocorre se o orifício da câmara aumentar?

5. O menor ângulo visual sob o qual o olho humano vê dois pontos A e B separadamente é chamado de acuidade visual, e é, em média, da ordem de um minuto de grau.

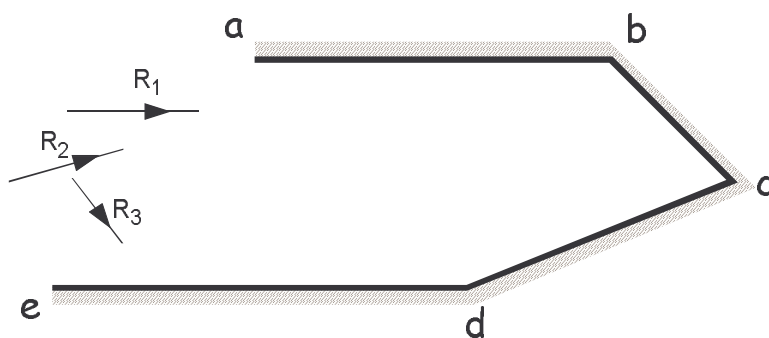


- (a) Uma pessoa normalmente consegue focar bem a vista a uma distância mínima de 20cm. Dessa distância, qual a separação mínima entre dois pontos que pode ser distinguida? (resposta com dois significativos)
- (b) O diâmetro da Lua é de 3.480Km. Se ele é vista a olho nu, numa noite de lua cheia, sob um ângulo de meio grau, a que distância aproximada ela está de nós? (compare com o dado conhecido para a distância média entre a Lua e a Terra : 380 mil quilômetros)

6. (Kline) Erastóstenes (275-194 AC) foi um famoso erudito, poeta, historiador, astrônomo, geógrafo e matemático, que viveu durante os últimos períodos da civilização grega antiga, quando o centro dessa cultura estava em Alexandria, no Egito. Assim como a maioria dos gregos mais informados, ele sabia que a Terra era esférica, e então preparou um experimento para encontrar seu perímetro. Ele sabia que Alexandria estava ao norte da cidade de Siene, e que a distância medida entre essas duas cidades, sobre a superfície da Terra, era de quinhentas milhas. No solstício de verão, o Sol do meio-dia brilhava diretamente sobre um poço, em Siene. Isso significa, como Erastóstenes observou, que o Sol estava verticalmente acima nesse instante (direção OBS' na figura). Já em Alexandria, nesse mesmo instante a direção do Sol era AS, enquanto que a direção vertical é OAD. Mas o Sol está tão longe que as direções AS e BS' são paralelas. Erastóstenes mediu o ângulo DAS (como você faria isso?) e encontrou sete graus e meio. Qual o valor do raio da Terra, de acordo com essa medição? (uma milha corresponde a 1.610 metros)

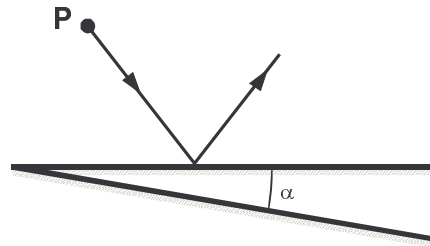


7. Desenhe a trajetória dos raios de luz R_1 , R_2 e R_3 quando incidem sobre as superfícies internas espelhadas do corpo abcde.



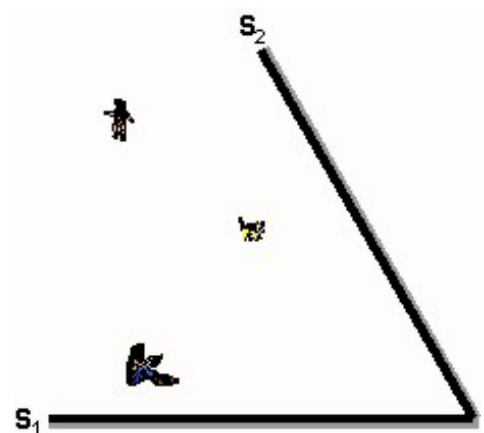
8. (Ramalho) Uma pessoa mantém diante dos olhos, a 20cm de distância, um espelho vertical, de modo a ver nele a imagem de um poste vertical de 4,4m de altura situado exatamente a 1,8m atrás de si. Qual o comprimento mínimo do espelho para que a pessoa veja inteiramente a imagem do poste? Construa um diagrama mostrando os raios de luz mais importantes.
9. Mostre que, se um espelho estiver se afastando de um objeto com certa velocidade, a imagem desse objeto pelo espelho vai se deslocar com o dobro dessa velocidade.

10. (a) Mostre que, se o espelho S girar de um ângulo α , o raio refletido proveniente do ponto fixo P vai girar de 2α .



- (b) Mostre que, à medida que o espelho gira, a imagem do ponto fixo P descreve um arco de circunferência.
11. Os espelhos S_1 e S_2 formam um ângulo do 60° . Nessas condições, é possível mostrar que os espelhos produzem exatamente cinco imagens do gato.

- (a) Localize essas cinco imagens.
- (b) Quantas dessas imagens são vistas pelo bebê?
E pela garota?

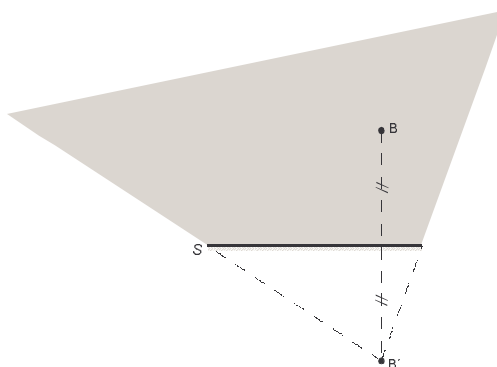


REFERENCIAS

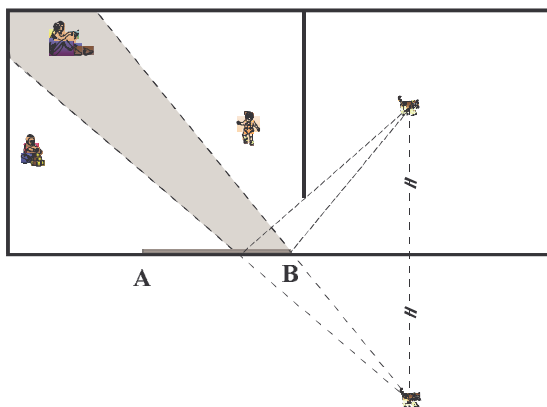
1. Feynman, R. *Lectures on Physics*, Vol.I. Addison-Wesley, 1963
2. Kline, M. *Mathematics and the Physical World*, Dover, 1981
3. Ramalho Jr., F.; Ferraro, N.G. e Soares, P.A.T. *Os Fundamentos da Física*, Vol.2 (6ª ed.). Editora Moderna, 1993.
4. <http://www.lhup.edu/~dsimanek/physics.htm>

RESPOSTAS SELECIONADAS

1. (b) 60cm (c) 34° (d)



- 2.

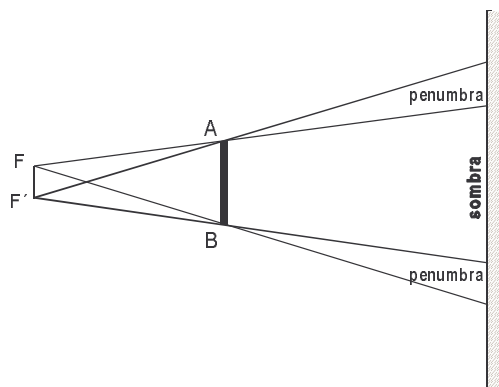


Apenas uma parte do espelho recebe luz do gato, devida à parede.

Somente a garota sentada pode ver o gato através do espelho.

3. (a) 42cm (b) 3,2mW

4. (a)

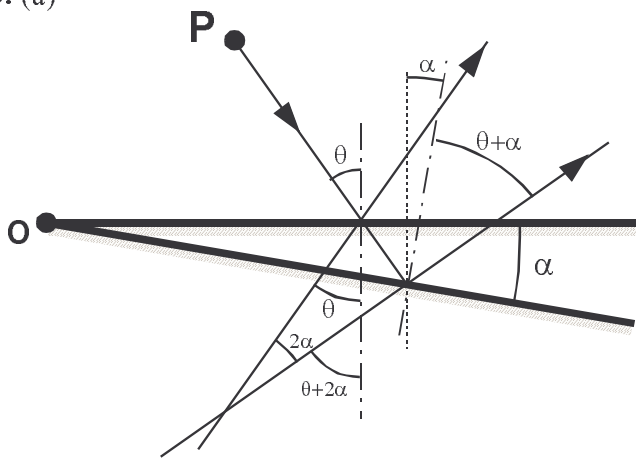


sombra : 43,75cm
penumbra: 12,5cm de cada lado

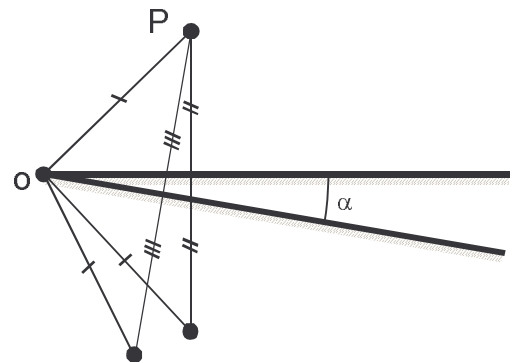
- (b) 4cm

5. (a) $58\mu\text{m}$ (b) 399 mil quilômetros
6. 6150Km (o valor moderno é 6370Km)
8. 40cm

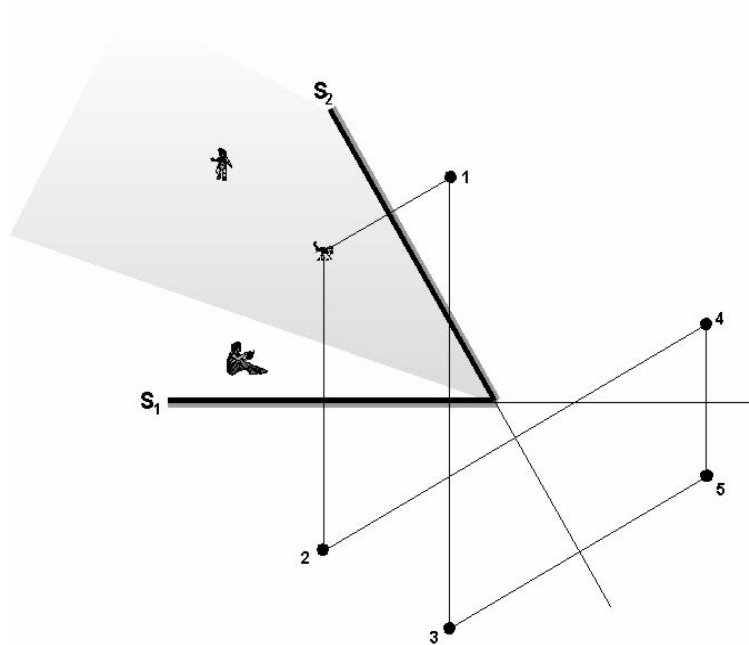
10. (a)



(b) basta notar que a distância do ponto imagem ao vértice do espelho permanece fixa = distância do objeto P ao vértice O.



11. O bebê vê todas as cinco imagens. A garota, apenas as imagens 1, 2, 3 e 4.



© 2006-11 Maurício Fabbri
MCT/INPE : <http://www.las.inpe.br/~fabbri>
Universidade São Francisco – USF
Italva/Campinas – <http://www.saofrancisco.edu.br>
São Paulo - Brazil
Permitido uso livre para fins educacionais,
sem ônus, desde que seja citada a fonte.