

Assim caminha a luz

Logo após o jantar, Roberto e Ernesto saem para dar uma volta.

– Olha, pai, como a Lua está grande! – diz Ernesto.

– É, aparentemente isso é verdade. Mas pegue essa moeda de 1 centavo, coloque-a entre dois dedos e aponte para a Lua. Você vai ver que a moeda pode cobrir a Lua toda.

Ernesto não acredita, mas faz a experiência. Por mais que estique o braço, a Lua permanece oculta.

– É verdade! A moeda barrou a luz da Lua.

– Luz da Lua que é do Sol! – diz Roberto.

– O quê?

– É, na realidade a Lua não tem luz própria. Ela reflete a luz do Sol. A Lua, o Sol e todos objetos que vemos são **fontes de luz**. Alguns têm luz própria, como o Sol, as estrelas, o filamento de uma lâmpada etc. Outros refletem essa luz. É o caso da Lua e de praticamente todos objetos que nos rodeiam.

Roberto e Ernesto voltam para casa e, ao entrar, Ernesto grita para a mãe:

– Acabo de ver a luz do Sol!

– O quê?

– Refletida na Lua, é claro!

Em linha reta...

Roberto pega dois pedaços de cartão e faz um furo em cada um, usando, para isso, um prego pequeno. Dá um dos cartões a Ernesto e diz:

– Tente tapar, com esse cartão, a luz que vem dessa lâmpada no teto.

Ernesto faz o que o pai pede e, imediatamente, responde:

– Ô, pai, a luz vai passar pelo burquinho...

– É isso – diz o pai. – Mas, agora, tente com dois cartões

Ernesto se esforça até conseguir.

– Veja, pai! Quando eu ponho os dois furos bem na mesma direção, eu consigo ver a luz da lâmpada!

– É exatamente isso. Quando os dois furos, a lâmpada e o seu olho estiverem alinhados, você consegue ver a lâmpada porque **a luz caminha em linha reta**.



Os princípios da ótica geométrica

O que Roberto e Ernesto discutiam – o fato de a luz caminhar em linha reta – constitui um dos princípios da **ótica geométrica**. Quando a luz sai de uma fonte, como uma lâmpada, ela vai para todas direções, mas sempre caminhando em linha reta. Quando Ernesto segurou os dois cartões, direcionou-os para a lâmpada e conseguiu ver a luz, isso aconteceu porque um pouco da luz atravessou os dois furos que estavam alinhados com seu olho. Em ótica geométrica, essa luz que está passando pelos dois furos é denominada **feixe de luz**. Pode ser considerada, mesmo, como um **raio luminoso**. Cada raio luminoso seria, simplificando, cada direção na qual a luz é emitida.

A ótica geométrica estuda o comportamento dos raios luminosos quando estes encontram diferentes materiais. Estuda, por exemplo, o que vai acontecer quando um feixe de luz atinge um espelho, ou quando passa por uma lente. Para explicar tais fenômenos, foi necessário criar um conjunto de regras que são os princípios da ótica geométrica.

Em nosso estudo, além da propagação retilínea da luz, vamos utilizar, freqüentemente, dois princípios: as leis da **reflexão** e da **refração**. Essas leis vão nos ajudar a compreender como os raios de luz têm sua trajetória modificada quando encontram pela frente um espelho, um bloco de vidro, uma lente etc... Esses objetos que modificam a trajetória dos raios luminosos são denominados **sistemas óticos**.

Com a mão na massa

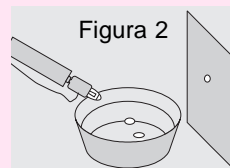
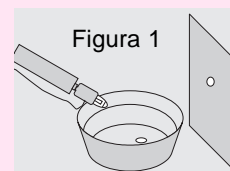
Vamos fazer um experimento que vai nos permitir entender um pouco das leis da reflexão e da refração. Para isso você vai necessitar de uma lâmpada de lanterna de 1,5 V, dessas que são chamadas pingo d'água. Elas têm uma espécie de lente na sua parte da frente. Vai precisar também de uma pilha e de um pedaço de fio para poder acender a lâmpada. Existem lanternas que já fazem tudo isso. Além disso, serão necessários uma bacia com água e um cartão.

Num ambiente escuro, dirija a lanterna contra a água dentro da bacia. Você notará uma pequena mancha luminosa no fundo da bacia. Se agora você colocar um pedaço de cartão, fora da bacia, numa posição semelhante à que está na Figura 1, você verá uma segunda mancha.

Temos aqui, ao mesmo tempo, dois fenômenos: a reflexão e a refração da luz. Parte da luz saiu da lanterna e chegou ao cartão sem penetrar na água. Essa é a luz refletida. Ela muda seu trajeto mas está sempre andando no ar. Outra parte muda sua direção penetrando em um novo meio, a água. Essa passagem da luz, de um meio que é transparente (no nosso caso, o ar) para um segundo meio transparente (a água) é chamada refração.

Um fato interessante, neste experimento, é que não podemos ver a luz da lanterna. A lanterna não está dirigida para nossos olhos, então não podemos ver sua luz. É claro que, indiretamente, vamos ver, pois a luz que sai da lanterna bate no fundo da bacia e forma uma mancha luminosa que podemos enxergar. O mesmo vai acontecer com a luz que bate no cartão.

Mas como saber que percurso a luz percorreu? Qual o trajeto percorrido pelo feixe que não conseguimos enxergar? Para resolver esse problema, precisamos saber onde a luz está tocando a água. Vamos então sujar um pouco a água. Isso pode ser feito colocando-se um pouco de pó de



giz, ou farinha, na superfície da água. Ficaremos então com uma situação análoga à da Figura 2.

Nessa situação, podemos saber exatamente onde chega o feixe que vem da lanterna, que é denominado **feixe incidente**, o feixe que bate na água e chega ao cartão, que é chamado **feixe refletido** e, finalmente, o feixe que penetra na água: o **feixe refratado**. Se, em vez de falarmos em feixes luminosos, usarmos o termo raios luminosos, ficaríamos com uma situação semelhante à da Figura 3. O ponto I, onde o raio incidente toca a água, é chamado

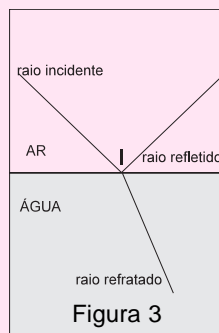


Figura 3

ponto de incidência.

Para completar o estudo das duas leis, precisamos de mais alguns conceitos. Nós vamos precisar medir os ângulos que fazem os raios incidentes, refletidos e refratados. Para isso, temos de traçar uma perpendicular à superfície da água, que passe pelo ponto de incidência. Essa perpendicular é chamada **normal** (Figura 4).

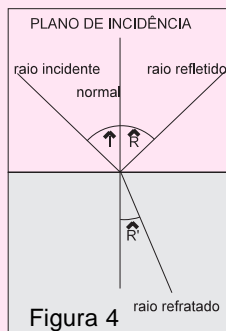


Figura 4

O raio incidente e a normal definem um plano que é chamado **plano de incidência**. A normal é que vai nos servir de referência para a medida dos ângulos.

Agora já podemos falar das leis:

Leis da reflexão

1. O raio refletido está no plano de incidência.
2. O raio refletido forma, com a normal, um ângulo igual ao que a normal forma com o raio incidente.

$$\hat{I} = \hat{R}$$

Leis da refração

1. O raio refratado está no plano de incidência.
2. Se chamarmos de \hat{I} o ângulo de incidência e de \hat{R}' o ângulo de refração, teremos:

$$\frac{\text{sen } \hat{I}}{\text{sen } \hat{R}'} = \text{constante que depende dos meios}$$

Uma parte dessas leis que pode trazer alguma dúvida é a segunda lei da refração. No fundo, ela está dizendo que um raio luminoso, ao passar do ar para a água, é desviado de uma certa maneira. Se passasse do ar para o vidro, teria um desvio diferente. Mas tudo isso será objeto de mais estudos posteriormente.

O que estamos vendo?

Quando olhamos um lápis, somos capazes de vê-lo porque ele é, como afirmamos, uma fonte de luz. A luz não é própria do lápis. Provavelmente, ela veio do Sol, bateu nas paredes de nossa casa, foi refletida por elas, bateu no lápis, foi refletida e chegou aos nossos olhos, permitindo que pudéssemos ver o lápis. Isso, é claro, se estivermos observando o lápis durante o dia. Durante a noite, o processo é parecido, mas a luz, agora, é a de uma lâmpada.

Portanto, podemos ver os objetos quando eles são capazes de enviar luz aos nossos olhos. Em ótica geométrica, esses objetos que são fontes de luz são denominados **objetos reais**. Mas nós somos capazes de ver outras coisas.

Coloque o lápis dentro de um copo de vidro contendo água e observe o que aparece dentro do copo (Figura 5).

Parecem existir dois lápis: um acima da água e outro mergulhado nela, o que dá a impressão de que o lápis está quebrado dentro da água. Esse “segundo” lápis aparece assim porque a luz emitida pelo lápis passou pela água e pelo vidro do copo, sofrendo refração.

Ao passar pela água, os raios luminosos emitidos pelo lápis sofrem desvios e chegam aos nossos olhos dando-nos a impressão de que o lápis está em outra posição e tem tamanho diferente. Essa parte do lápis que vemos distorcida é o que denominamos, em ótica geométrica, a **imagem** do lápis formada pela refração da luz ao passar pela água e pelo vidro do copo.

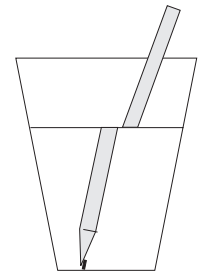


Figura 5

Vamos supor que a luz que parte de um objeto incida num sistema ótico – uma lente, por exemplo. Essa lente vai formar uma imagem do objeto. A ótica geométrica vai determinar as características dessa imagem: se ela está mais próxima ou mais distante que o objeto, se é maior que o objeto etc. Já que, para nossos olhos, tanto faz ver o objeto ou sua imagem, podemos usar os sistemas óticos como uma extensão de nossa visão. Assim como uma alavanca nos permite aumentar a força de nossos braços, os sistemas óticos podem ampliar nosso sentido da visão. Daí a importância de seu estudo.

Conseqüências da propagação retilínea da luz

Sombras e penumbras

Existem alguns fatos que são conseqüência imediata do princípio da propagação retilínea da luz: a formação de sombras sobre um objeto e as sombras que esse objeto é capaz de projetar.

Se, com auxílio de uma pequena lâmpada, iluminarmos uma bola de futebol dentro de um quarto escuro (ver Figura 6), vamos constatar o aparecimento de uma sombra da bola projetada na parede e também de uma região de sombra sobre a bola.

A luz parte da lâmpada L e se propaga em todas direções. Incide sobre a bola, deixando uma parte da mesma iluminada. A região da bola que está do lado oposto à lâmpada fica escura. Se a luz fosse capaz de realizar curvas durante seu trajeto, poderíamos ver iluminadas regiões da bola que estão do lado oposto à lâmpada. Mas isso, evidentemente, não acontece.

Se, por outro lado, a lâmpada utilizada fosse de maiores dimensões, poderíamos apreciar, além das sombras, a formação de penumbra. A penumbra é uma região parcialmente iluminada.

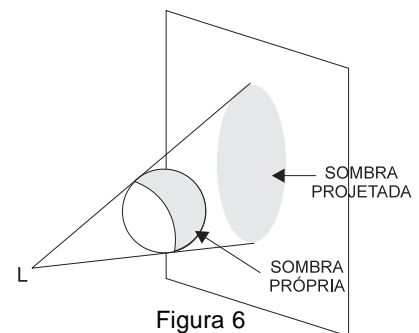
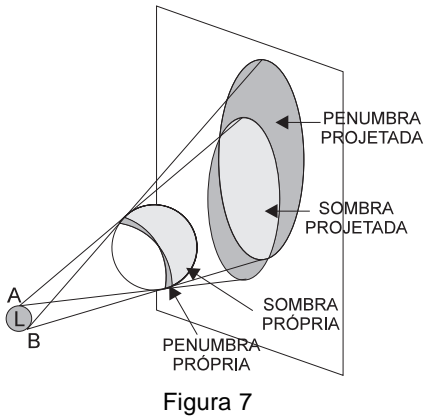


Figura 6

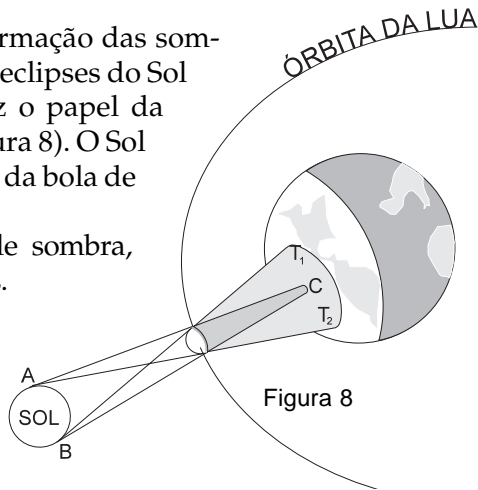


Veja a Figura 7. Podemos imaginar que a lâmpada L é formada por pequenas lâmpadas: A, B, C... Uma dessas pequenas lâmpadas imaginárias (A, por exemplo) vai projetar na parede e formar sobre a bola uma sombra. Outra pequena lâmpada imaginária (B) vai também formar e projetar suas sombras. Então, sobre a parede, vão existir regiões que A e B iluminam, regiões iluminadas somente por A ou somente por B (região da penumbra), e regiões que nem A nem B iluminam (região da sombra).

Eclipses

O mesmo fenômeno que ocorre na formação das sombras e penumbras dos objetos aparece nos eclipses do Sol e da Lua. Num eclipse do Sol, quem faz o papel da parede do exemplo anterior é a Terra (Figura 8). O Sol faz o papel da lâmpada e a Lua faz o papel da bola de futebol.

Sobre a Terra vão aparecer regiões de sombra, regiões de penumbra e regiões iluminadas. As pessoas da Terra que estiverem na região T_1 não conseguem receber os raios luminosos da parte B do Sol, mas conseguem ver a parte A do Sol. Elas estão vendo o Sol parcialmente encoberto pela Lua. Elas estão na região de penumbra.

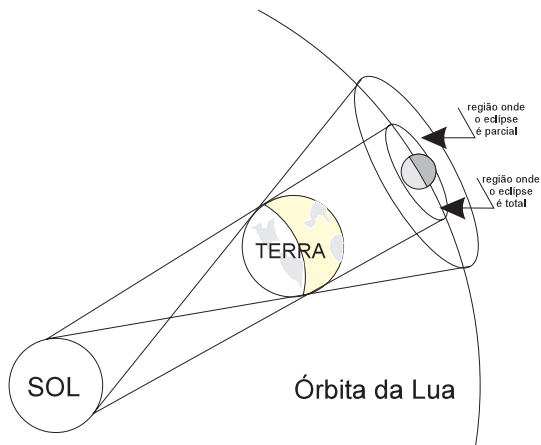


Da mesma maneira, as pessoas que estiverem na região T_2 da Terra não conseguem ver A, mas vêem B. Elas também estão numa região de penumbra.

Finalmente, quem estiver em C não consegue ver nenhum ponto do Sol. Para essas pessoas, o eclipse é total.

Os eclipses da Lua são explicados de maneira semelhante. Fazendo sempre a comparação com o exemplo da bola de futebol, nesse caso a Terra será a bola, a Lua será a parede e a lâmpada continua sendo o Sol (Figura 9).

A Lua, no seu movimento ao redor da Terra, atravessará regiões nas quais sofrerá eclipses parciais ou totais.





A câmara escura

É uma caixa dentro da qual podemos projetar a imagem de um objeto sobre uma folha de papel. Seu funcionamento baseia-se no princípio da propagação retilínea da luz. Você pode construir uma câmara escura com uma caixa de sapatos, papel vegetal, um pedacinho de papel de alumínio, guache preto ou tinta preta, uma agulha de costura, cola e fita adesiva. Inicialmente, pinte de preto a parte interna da caixa. Em seguida, faça dois furos com um diâmetro de um lápis comum na parte central das faces menores da caixa (Figura 10).

Na parte central da caixa é colado o papel vegetal (que pode ser substituído por papel branco sobre o qual se tenha passado óleo de cozinha; assim o papel fica translúcido, ou seja, meio transparente).

Um dos furos é coberto por papel de alumínio. Em seguida, com uma agulha, faça outro furo no alumínio (um furo dentro do outro). Para terminar, basta tapar bem a caixa e vedar bem a entrada de luz

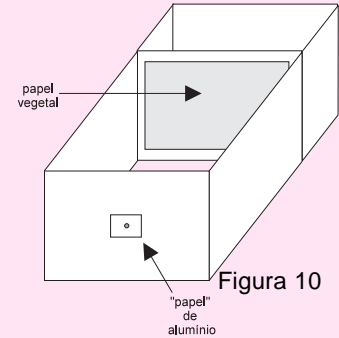


Figura 10

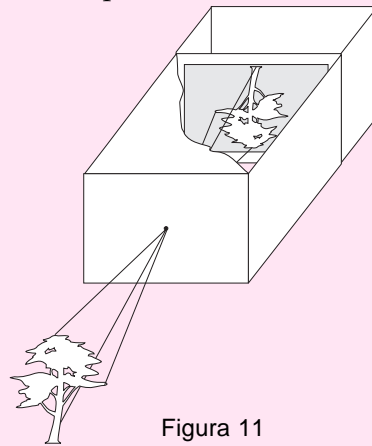


Figura 11

pela tampa, utilizando a fita adesiva.

Se apontarmos a caixa (o lado que tem o papel de alumínio) para um objeto bem claro, notaremos, pelo outro furo, que sobre o papel vegetal será projetada uma imagem do objeto que estamos tentando ver. O interessante desse experimento é que a imagem está invertida (Figura 11). Isso acontece porque a luz caminha em linha reta. Um raio de luz que sai da parte inferior do objeto, após passar pelo furinho no papel de alumínio, baterá na parte superior do papel vegetal. Isto é: o que está em cima vai para baixo, o que está à esquerda vai para a direita e vice versa.

Passo a passo

1. Uma lâmpada pequena está a 20 cm de um disco de 10 cm de diâmetro e projeta sombra sobre um anteparo situado a 80 cm, como mostra a figura. Qual o diâmetro da sombra formada no anteparo?

Os triângulos FAB e FA'B' são semelhantes, então teremos:

$$\frac{AB}{FC} = \frac{A'B'}{FC'}$$

$$\frac{10\text{ cm}}{20\text{ cm}} = \frac{A'B'}{80\text{ cm}}$$

$$A'B' = 40\text{ cm}$$

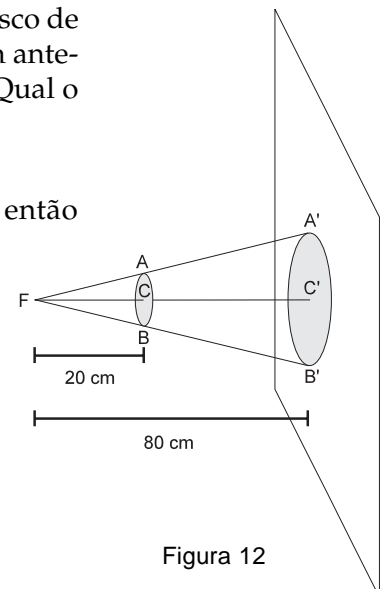


Figura 12

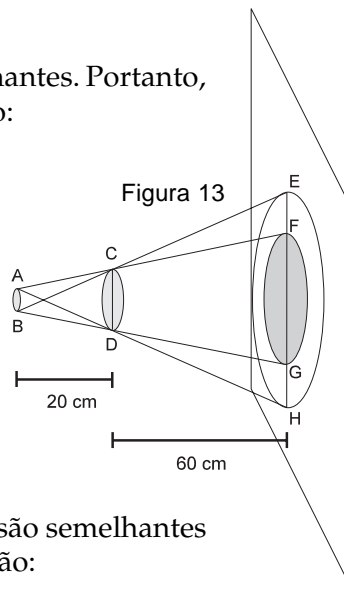
2. Suponha que, no problema anterior, a fonte fosse um disco luminoso de 4 cm de diâmetro. Quais seriam os raios da sombra e da penumbra projetadas no mesmo anteparo?

Na figura, os triângulos ABD e DGH são semelhantes. Portanto, suas bases são proporcionais às suas alturas. Então:

$$\frac{AB}{20 \text{ cm}} = \frac{GH}{60 \text{ cm}}$$

$$\frac{4 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = \frac{GH}{60 \text{ cm}} \text{ então,}$$

$$GH = 12 \text{ cm}$$



Da mesma maneira, os triângulos ACD e AFH são semelhantes e suas bases são proporcionais às suas alturas. Então:

$$\frac{CD}{20 \text{ cm}} = \frac{FH}{80 \text{ cm}}$$

$$\frac{10 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = \frac{FH}{80 \text{ cm}} \text{ então,}$$

$$FH = 40 \text{ cm}$$

O diâmetro da sombra é $FG = FH - GH = 28 \text{ cm}$.

O diâmetro da penumbra é $EH = FH + EF$. Como $EF = GH$, teremos:

$$EH = 52 \text{ cm}.$$

Nesta aula você aprendeu:

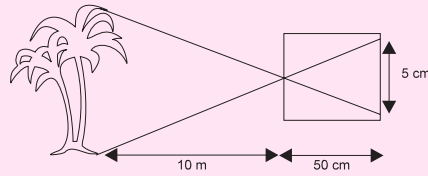
- que a luz anda em linha reta;
- que a luz pode sofrer refrações e reflexões;
- que podemos explicar as sombras dos objetos e os eclipses usando o princípio da propagação retilínea da luz;
- a construir uma câmara escura.





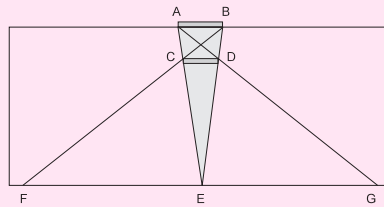
Exercício 1

Uma câmara escura tem profundidade de 50 cm. Ela é dirigida para uma árvore a uma distância de 10 m. Uma projeção de 5 cm de altura forma-se no fundo da caixa. Qual a altura da árvore?



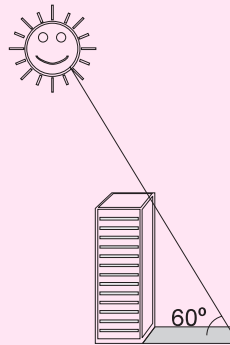
Exercício 2

Um lustre circular de 40 cm de diâmetro está embutido no teto de uma sala de 3 m de altura. Queremos colocar, abaixo do mesmo, um disco opaco de 36 cm, de modo que a sombra do mesmo fique reduzida a um ponto. A que altura deve ser colocado esse disco? Qual o diâmetro da penumbra nessa situação?



Exercício 3

Um prédio tem 40 m de altura. Calcular o tamanho de sua sombra sabendo-se que a direção do Sol forma um ângulo de 60° com o horizonte.



Exercício 4

A moeda de 5 centavos tem 2 cm de diâmetro. A Lua tem 3 mil km de diâmetro e sua distância da Terra é 380 mil km (valores aproximados). A que distância devemos colocar a moeda para que ela cubra totalmente o disco lunar?

