

**CEJA** >>

**CENTRO DE EDUCAÇÃO**  
de JOVENS e ADULTOS

**CIÊNCIAS DA  
NATUREZA**

e suas **TECNOLOGIAS** >>

**Física**

**Fascículo 7**

Unidades 16 e 17

Edição revisada 2016

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador  
**Sergio Cabral**

Vice-Governador  
**Luiz Fernando de Souza Pezão**

---

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

---

Secretário de Estado  
**Gustavo Reis Ferreira**

---

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

---

Secretário de Estado  
**Wilson Risolia**

---

FUNDAÇÃO CECIERJ

---

Presidente  
**Carlos Eduardo Bielschowsky**

---

FUNDAÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

---

Coordenação Geral de  
Design Instrucional  
**Cristine Costa Barreto**

Elaboração  
**Claudia Augusta de Moraes Russo**  
**Ricardo Campos da Paz**

Revisão de Língua Portuguesa  
**Ana Cristina Andrade dos Santos**

Coordenação de  
Design Instrucional  
**Flávia Busnardo**  
**Paulo Miranda**

Design Instrucional  
**Aline Beatriz Alves**

Coordenação de Produção  
**Fábio Rapello Alencar**

Capa  
**André Guimarães de Souza**

Projeto Gráfico  
**Andreia Villar**

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades  
**<http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>**

Diagramação  
**Equipe Cederj**

Ilustração  
**Bianca Giacomelli**  
**Clara Gomes**  
**Fernando Romeiro**  
**Jefferson Caçador**  
**Sami Souza**

Produção Gráfica  
**Verônica Paranhos**

# Sumário

**Unidade 16 | O mundo dentro do espelho** **5**

---

**Unidade 17 | Refração e aplicações** **49**

---

# Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:  
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos "nome de usuário" e "senha".

Feito isso, clique no botão "Acesso". Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!

# Refração e aplicações

**Fascículo 7**  
**Unidade 17**



# Refração e aplicações

## Para início de conversa..

Na unidade anterior, introduzimos a ideia de raio luminoso e aplicamos esta ideia, explicando a formação de sombras e imagens em espelhos planos e curvos. Agora, vamos focar nossa atenção no fenômeno conhecido como refração, que nos permitirá entender o funcionamento das lentes, utilizadas em óculos, retroprojetores, e até nos mais poderosos telescópios, tais como o famoso **Hubble**.



Figura 1: Hubble é um satélite astronômico artificial que não possui tripulação e transporta um grande telescópio que captura tanto a luz visível quanto a infravermelha.

## Objetivos de aprendizagem

- Identificar o fenômeno da refração em alguns casos simples;
- Associar a Lei de Snell à aproximação (ou afastamento) do raio, refratado com relação à normal;
- Esquematizar a construção de imagens em lentes convergentes e divergentes, como função da distância relativa entre o objeto e a lente;
- Relacionar a reflexão interna total ao funcionamento das fibras ópticas;
- Associar a refração e as lentes estudadas a situações reais em que elas podem ser utilizadas, em função de suas propriedades.

## Seção 1

# Refração

Para discutir o fenômeno da refração, pedimos a você que providencie um copo cheio d'água e um lápis. Coloque o lápis no copo obliquamente (inclinado) e observe a imagem formada na lateral do recipiente (veja a Figura 2).



Figura 2: Um lápis dentro de um copo d'água. Repita essa montagem e verifique que isto acontece.

O que você pode observar de estranho? O lápis parece estar “quebrado”, certo? O fenômeno físico responsável por essa ilusão de óptica é chamado de refração.

Em nosso estudo sobre os fenômenos que envolvem a luz, introduzimos vários aspectos e modelos relacionados a como a luz comporta-se em determinadas situações. Agora é hora de discutirmos um pouco sobre a natureza da luz.

Você já se perguntou quanto tempo leva para que a luz saia de uma lâmpada e chegue ao chão de seu quarto, quando você a acende? Ou ainda, se ela simplesmente não chega ao chão instantaneamente, sem demorar tempo algum?

Muito provavelmente você já observou uma tempestade e viu um relâmpago na linha do horizonte. É interessante notar que o som provocado por esse fenômeno é ouvido somente alguns segundos depois dele ser visto, o que nos leva à conclusão que no mínimo a velocidade de propagação da luz é consideravelmente maior que a do som.

Para essas questões, trazemos a seguinte resposta: a velocidade da luz não é infinita, isto é, a luz leva um certo tempo para percorrer uma determinada distância. Junto a essa informação, discutiremos rapidamente um princípio muito importante em vários ramos da física.

Imagine a seguinte situação: estamos dentro de uma ambulância, que está sobre uma pista de asfalto. Queremos atravessar esta pista de asfalto, para chegar até uma emergência, que está num solo barroso (veja a Figura 3).

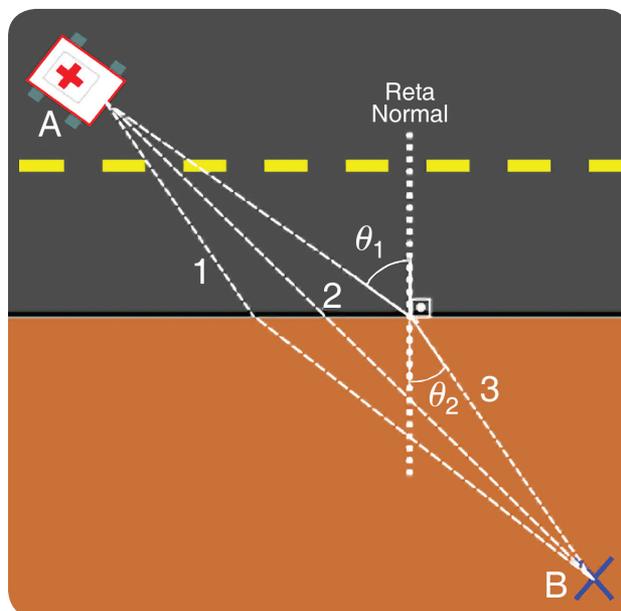


Figura 3: Vista de cima, onde temos duas pistas distintas, com formato retangular. O carro encontra-se na quina superior esquerda (ponto A), e deseja chegar à quina inferior direita (ponto B). Temos indicado 3 trajetórias possíveis para o carro, numeradas como trajetórias 1, 2 e 3.

Como você bem sabe, a maior velocidade que o carro pode atingir será maior na pista de asfalto do que na pista de barro. Suponha então que o carro viaja a 100 km/h na pista de asfalto. Se o motorista não exigir mais do motor à medida que o carro adentrar na pista de barro, a velocidade da ambulância inevitavelmente diminuirá (digamos que ela passou de 100 a 70 km/h). Agora, lembre-se que desejamos chegar ao ponto B da emergência no menor tempo possível. Na Figura 2, temos indicadas 3 possíveis trajetórias. Você seria capaz de dizer em qual das três trajetórias o carro de socorro chegará mais rapidamente ao ponto B? Registre a seguir como seria essa trajetória e por que você a escolheu.




---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

Esta situação que criamos com a ambulância ilustra também o que ocorre com um raio de luz, quando o mesmo passa de um meio para outro. O fato é que a velocidade de propagação da luz depende do meio no qual a mesma está viajando. A seguir, damos alguns valores para a velocidade da luz no vácuo, no ar, no vidro e na água.

Meio	Velocidade da luz
Vácuo	300.000 km/s
Ar	~300.000 km/s
Água	225.500 km/s
Vidro	200.000 km/s



Figura 4: Ao atravessar diferentes meios, a luz refrata-se, mudando assim a sua velocidade. Isso causa uma deformação da imagem que está sendo vista.

## Índice de refração

Vimos anteriormente que a velocidade da luz varia conforme o meio em que ela se propaga. Podemos associar esta mudança na velocidade da luz a um índice, que nos quantifique de alguma maneira essa variação. Definiremos o índice de refração  $n$  através da relação

$$n = \frac{\text{velocidade da luz no meio em que ela se encontra } (v_m)}{\text{velocidade da luz no vácuo } (v_v)}$$

$$n = \frac{v_m}{v_v}$$

Alguns valores de índices de refração:

Meio	Símbolo	Valor
Vácuo	$n_{\text{vacuo}}$	1,0
Ar	$n_{\text{ar}}$	1,0
Água	$n_{\text{agua}}$	1,33
Vidro	$n_{\text{vidro}}$	1,50

Agora, para ilustrar o fenômeno de maneira mais esquemática, usaremos uma fonte laser (como as facilmente encontradas em papelarias), um aquário retangular e duas gotas de leite. Misturamos o leite à água do aquário para evidenciar o trajeto do feixe luminoso, produzido pelo laser pointer, uma vez que a mistura da água com o leite acentua o espalhamento da luz, tratado na aula anterior (veja a Figura 4).

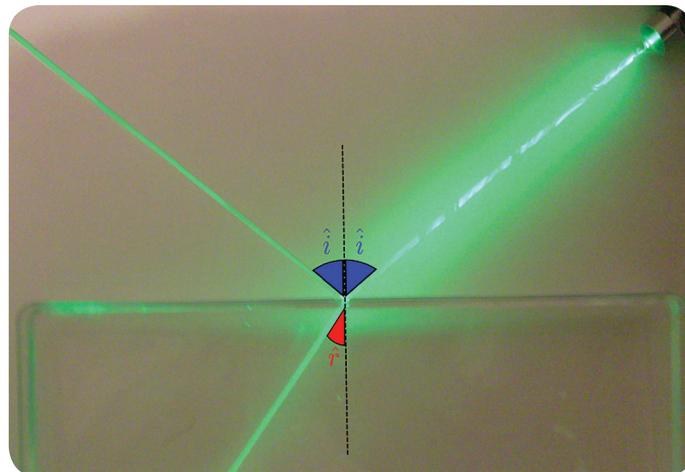


Figura 5: Veja que a direção do feixe luminoso altera-se, quando o mesmo passa do ar para a água.

Observe que direcionamos o feixe laser obliquamente à superfície do líquido, de modo que o raio incidente faça um ângulo  $\hat{i}$  com relação a uma reta normal (perpendicular) à superfície. A este ângulo, damos o nome de **ângulo incidente** (veja a Figura 5).

Note que parte da luz que chega à superfície é refletida, segundo a lei da reflexão (ver aula anterior), enquanto que outra parcela penetra na mistura líquida. O ângulo  $r$  formado pelo feixe que adentrou o fluido e a normal (feixe

refratado), entretanto, é diferente do ângulo incidente. Repare que ao penetrar no fluido o feixe luminoso aproximou-se da normal, o que equivale a dizer que o ângulo  $r$  é menor que o  $i$ .

Podemos buscar uma relação **empírica** que nos permita relacionar os ângulos  $r$  e  $i$ , para um par de meios. No exemplo do parágrafo anterior os meios distintos são o ar e a mistura água-leite.

### Empírico

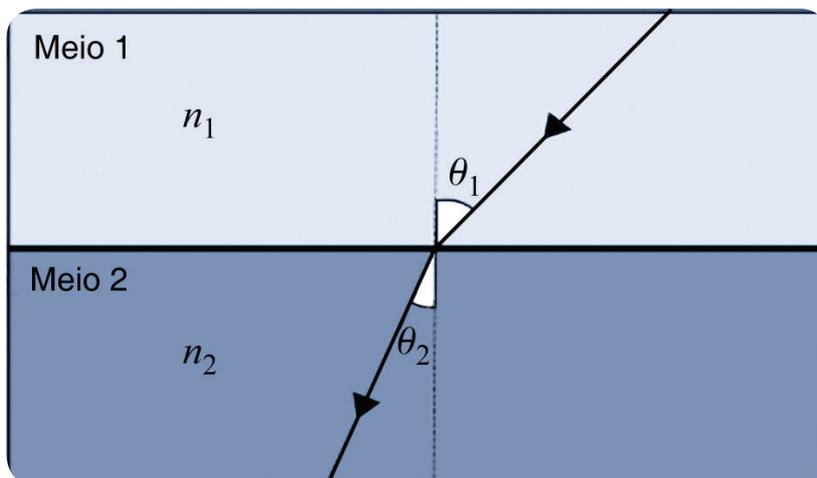
Baseado em observação de experiências.

#### Lei de Snell-Descartes

Existe uma equação que nos fornece quantitativamente a variação angular entre os raios incidente e refratado, e que nos possibilita descobrir qual o ângulo do raio refratado, a partir do ângulo incidente e vice versa. Ela é dada por:

$$\frac{n_1}{\text{sen}\theta_1} = \frac{n_2}{\text{sen}\theta_2},$$

onde  $n_1$  é o índice de refração do meio 1 e  $\theta_1$  o ângulo incidente, e  $n_2$  é o índice de refração do meio 2 e  $\theta_2$  o ângulo refratado (veja a figura a seguir).



Legenda: Representação esquemática da refração observada na Figura 4.

Entretanto, não vamos nos prender à aplicação da equação da lei de Snell-Descartes, pois temos como objetivo apenas deixar claro que a refração ocorre devido a uma diferença na velocidade de propagação da luz em dois meios distintos.



No exemplo anterior, vimos que o raio refratado aproximou-se da normal. Isso sempre ocorrerá quando a luz vier de um meio menos **refringente**, para um meio mais refringente, isto é, de um meio onde a velocidade é maior, para um meio onde a velocidade é menor.

## Refringência

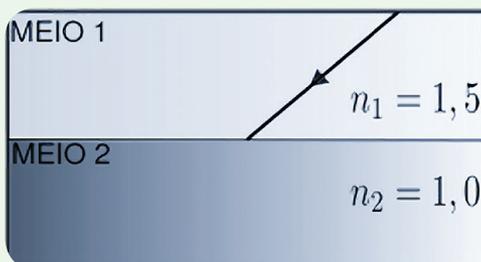
É o nome dado para a medida do índice de refração absoluto do meio onde o raio propaga-se e está diretamente relacionado à velocidade da luz, neste meio. Quanto menor for a refringência, maior será a velocidade da luz neste meio e vice versa.

Você pode se lembrar do exemplo da ambulância. Como podemos ver na Figura 3, o fato de a trajetória 3 ser a indicada, implica que a velocidade no meio 1 é maior que a velocidade no meio 2 (a ambulância percorreu uma distância maior nesse meio). O que observamos foi que o raio refratado aproximou-se da normal. Agora, quando o raio luminoso vem de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio refratado afasta-se da normal, pelo mesmo motivo.

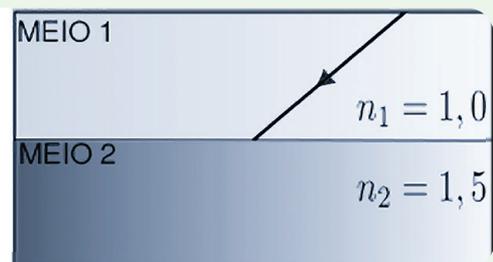


### Desvio no caminho

Esboce os raios refratados nos casos abaixo, onde são válidas as relações entre os índices de refração, indicados na figura.



(a)

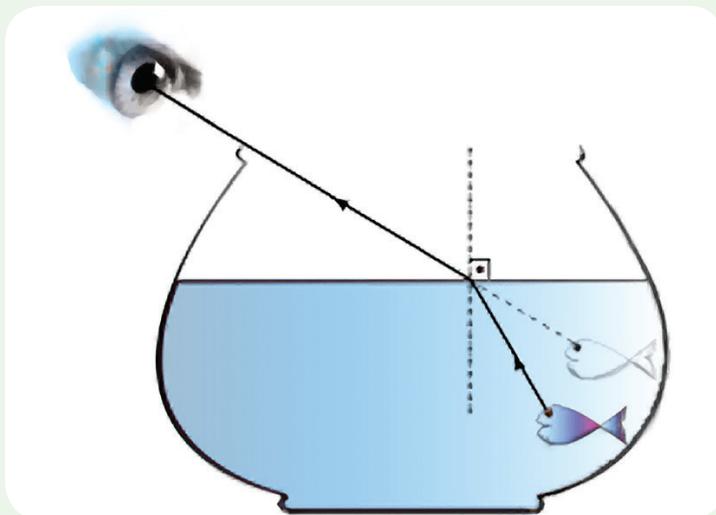


(b)

Anote suas respostas em seu caderno

### Ele está mesmo ali?

Imagine o seguinte questionamento: Será que a posição que vemos um peixe num aquário pode ser alterada em função do fenômeno de refração, de maneira análoga ao que vimos no caso do lápis no copo d'água (veja a Figura 1)? Formule uma resposta e justifique a mesma (dica: lembre-se que o índice de refração da luz na água é maior que o índice de refração da luz no ar).



Anote suas respostas em seu caderno

Atividade  
2

Atividade  
3

### No limite entre os meios

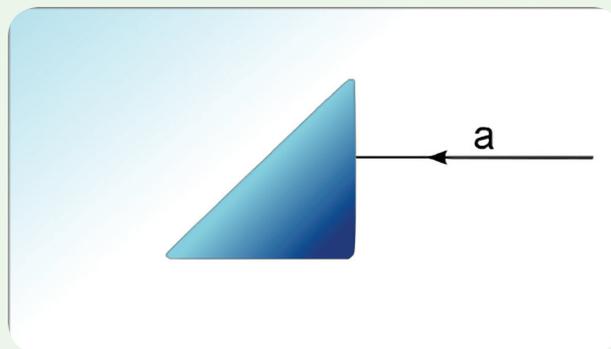
Perceba que pelo que discutimos nesta seção, quando saímos de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio refratado afasta-se da normal. Será que existe um raio inclinado de tal maneira, que o raio refratado encontrar-se-ia exatamente sobre a interface que separa os dois meios? Qual seria o ângulo refratado? Se um raio incidente possuir um ângulo superior a este, como será o raio refratado?

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade  
4

### Por um prisma diferente

A imagem a seguir indica um raio luminoso (a) que entrará no prisma. Esboce na figura o raio, refratado do ar para o prisma e o raio que refrata do prisma para o ar. Lembre-se do que acontece com o raio refratado, quando o mesmo sai de um meio mais refringente para um menos refringente (e vice-versa).



Anote suas respostas em seu caderno

## Seção 2

# Ângulo Limite

Com a discussão que fizemos agora há pouco, podemos explorar um fenômeno bastante interessante, responsável por 90% das comunicações digitais, tais como telefonia móvel e fixa, Internet com e sem fio, transações bancárias, dentre outros. A fibra óptica, largamente usada nas comunicações, baseia-se no fenômeno de **reflexão interna total**, que pode acontecer quando a luz viaja num meio mais refringente e tenta passar para um meio menos refringente, mas não consegue.

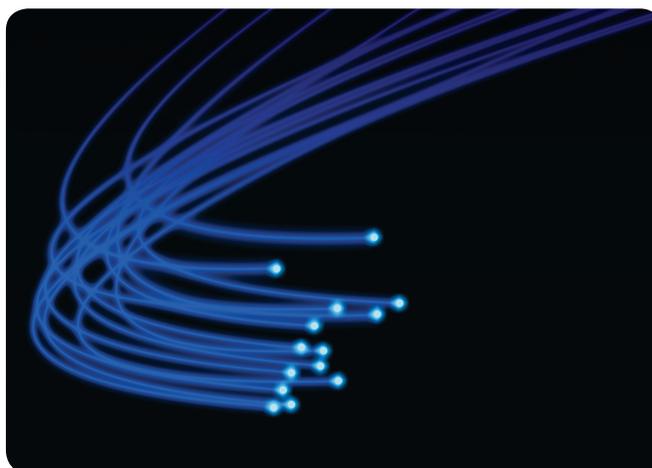


Figura 6: A fibra óptica é uma realidade em nosso cotidiano, através de aplicações cada vez mais diversificadas, desde linhas telefônicas a conexões com a Internet. Seu funcionamento baseia-se nos fenômenos de reflexão interna total.

Existe uma condição especial para que isso ocorra. O ângulo de incidência tem de ser maior que o *ângulo limite*. Esse ângulo específico é determinado da seguinte forma: se formos aumentando o ângulo de incidência, podemos notar que o raio refratado afasta-se cada vez mais da reta normal.

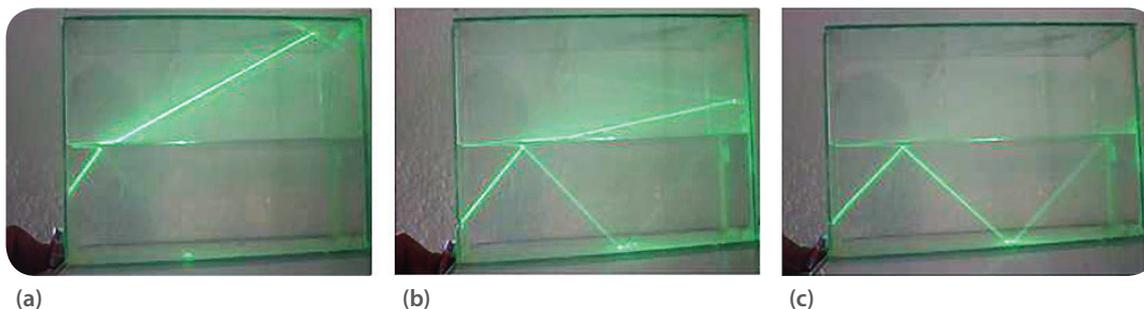


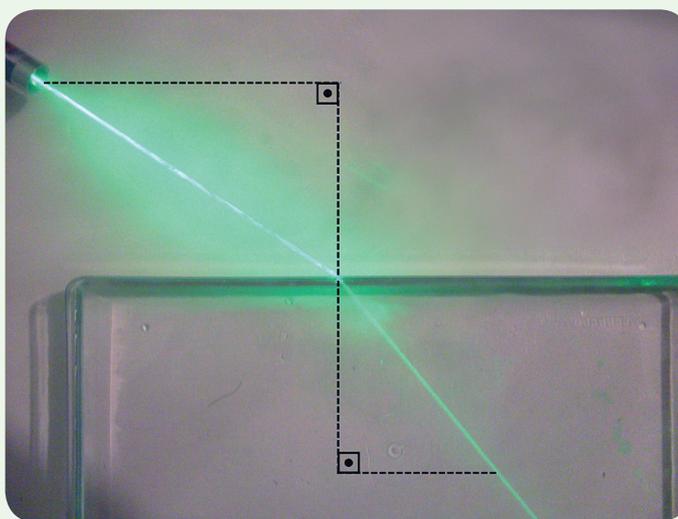
Figura 7: Repare que aos poucos, o raio refratado, que sai da mistura água-leite para o ar com fumaça, afasta-se cada vez mais da normal. Existe um ângulo especial a partir do qual nenhuma parcela do feixe incidente será refratada (7c).

Chegará um momento que o raio refratado passará rente à superfície da água (veja a Figura 7b). Note que o ângulo de refração mede  $90^\circ$ , justamente por que o raio sai paralelo à interface que separa ambos os meios. Se aumentarmos o ângulo de incidência, nem que seja de muito pouco, a luz será refletida totalmente e não sairá de dentro da água (veja a Figura 7c).

Atividade  
5

### Na velocidade da luz (ou quem sabe de um cometa)

Para o raio incidente e refratado da figura abaixo:



Utilizando uma régua e a lei de Snell, que discutimos anteriormente, estime o índice de refração da água, utilizando para o ar  $n_{\text{ar}} = 1$

Anote suas  
respostas em  
seu caderno

A fibra óptica é capaz de transmitir informação, através de raios luminosos que são refletidos repetidas vezes dentro de um tubo transparente, como pode ser visto na Figura 8.

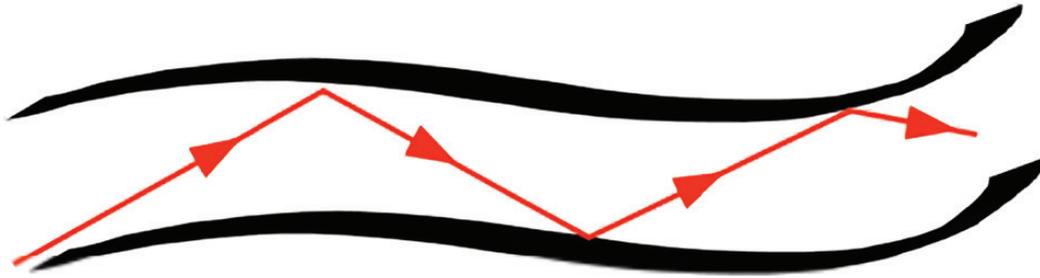


Figura 8: Representação esquemática do funcionamento da fibra óptica (onde ocorrem sucessivas reflexões totais).

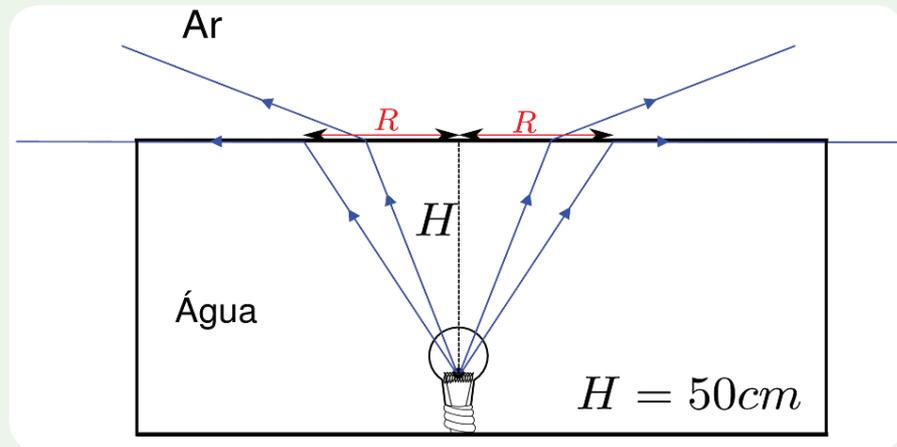
Com um copo transparente, que possui a mistura de água e leite, podemos repetir o fenômeno de reflexão interna ocorrido na fibra (veja a Figura 9).



Figura 9: Utilizando um copo com água e leite, conseguimos reproduzir o fenômeno da reflexão total, responsável pelo funcionamento das fibras ópticas.

Atividade  
6

### Passando dos limites



Consultando a tabela com alguns índices de refração, utilize a fórmula do ângulo limite para determinar qual será o valor do raio  $R$  que se forma na superfície que separa o ar e a água, na figura deste exercício, devido à reflexão total.

Anote suas  
respostas em  
seu caderno

## Seção 3

### Lentes

Vamos utilizar o exemplo do prisma, que discutimos agora há pouco. Suponha que temos a nossa disposição dois prismas, dispostos como na figura a seguir.

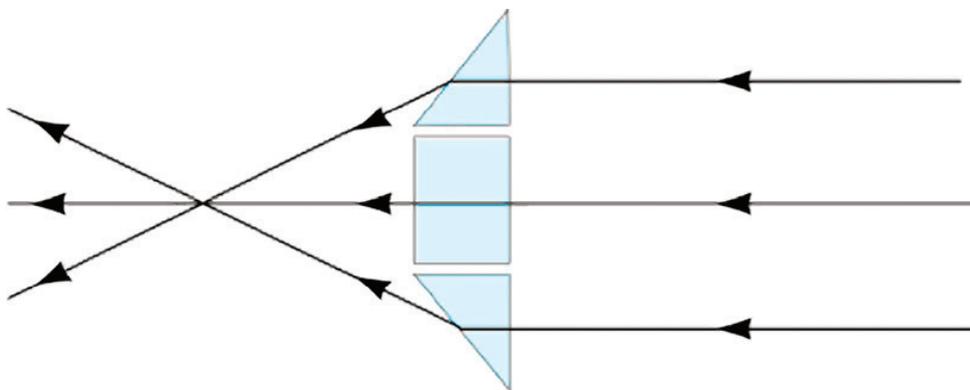


Figura 10: Conjunto de prismas, utilizados em conjunto para convergir os raios paralelos que incidem neles.

Perceba que os raios incidentes, paralelos entre si, têm a sua direção alterada, depois de atravessar o arranjo de prismas. Isso aconteceu devido ao formato peculiar deste arranjo e às propriedades do prisma, que você explorou na atividade 4. Chamamos qualquer objeto transparente, com um formato similar ao da Figura 10 de lente. Repare que o feixe da Figura 10, que inicialmente era *colimado*, converge para um único ponto, que chamamos de foco. As lentes capazes de concentrar feixes luminosos são chamadas de **lentes convergentes**.

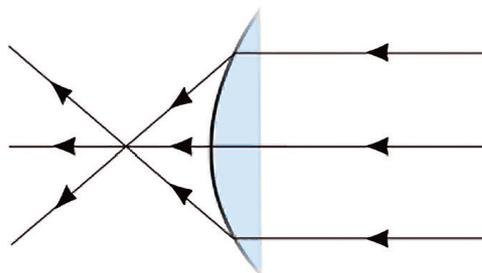


Figura 11: À esquerda, vemos como uma lente convergente (no caso uma lupa) consegue concentrar os raios solares. À direita, temos um diagrama que esquematiza o fenômeno visto com a lupa.

Podemos construir uma lente que possua um formato diferente do que vemos na Figura 11 e que possui a capacidade de divergir feixes luminosos, como podemos ver na figura a seguir.

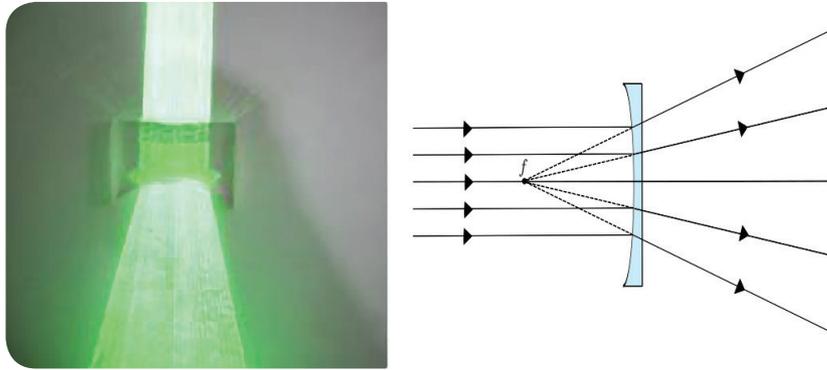


Figura 12: Temos um feixe colimado, incidindo numa lente divergente. Este feixe é paralelo ao eixo principal da lente. Podemos ver que o feixe passa a ser divergente.

Note que o formato de lentes deste tipo é diferente das lentes convergentes. Enquanto as lentes convergentes possuem pelo menos uma face abaulada para fora, as lentes divergentes possuem uma sinuosidade para “dentro”. Não iremos nos aprofundar muito nas especificidades das lentes. Entretanto, é importante acrescentar que existe toda uma variedade de lentes distintas.

Vamos agora nos debruçar sobre a formação de imagens nestas duas categorias de lentes, as divergentes e as convergentes, explorando as características das imagens formadas.

Saiba Mais

### O mundo colorido dos prismas

Os prismas são largamente usados em binóculos, pois se tornam um ótimo espelho, quando ocorre a reflexão interna total. Para tanto, o raio de luz que tenta sair do prisma, tem de fazer um ângulo com a normal que seja maior que no ângulo limite. Mas, existe uma condição muito interessante que faz com que uma luz branca (como a do sol) seja decomposta em muitas outras por um prisma (veja a figura).

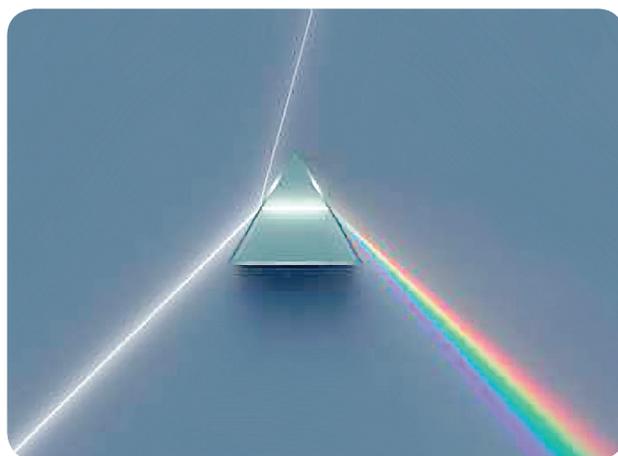


Imagem de um prisma. Cada cor possui um índice de refração diferente e por isso as cores são separadas.

Isso ocorre por que cada cor tem uma faixa de frequência e cada frequência tem um índice de refração distinto para um dado material. Logo, a luz branca quando entra num prisma, cada frequência terá um ângulo de refração diferente. O que separa todas essas cores. Vale dizer que as cores são inúmeras e não sete como comumente pensamos.



Saiba Mais

## Seção 4

### Fomação de imagens em Lentes

#### Lentes Divergentes

Algum dos membros da sua família possui dificuldade para enxergar de longe? A esta disfunção damos o nome de **miopia**. Se você tiver alguém assim ao seu redor, peça a esta pessoa que lhe empreste, se ela tiver, seu par de óculos.

As lentes que compõe esse par de óculos são divergentes, conforme você pode constatar pelo seu formato. Segure com uma das mãos o par de óculos, feche um dos seus olhos e posicione os óculos o mais distante que puder do seu olho aberto.

Agora, fixe sua visão na direção da imagem formada por uma das lentes. Modifique a distância entre a lente e seu olho aberto, trazendo-o lentamente na direção do seu olho. O que acontece com a imagem?

Note que a imagem formada será sempre menor que o objeto observado e será sempre direita, de maneira bastante similar ao caso do espelho convexo. Como podemos entender um pouco mais a formação de imagens neste tipo de lente?

Primeiro, perceba que existe uma distância muito peculiar. Se direcionarmos um feixe colimado numa lente divergente, ele abrirá, conforme podemos ver na Figura 13.

Veja que não existe um ponto onde todos os raios que compõe o feixe encontram-se para que possamos chamá-lo de foco. Entretanto, podemos ver na Figura 13 que o prolongamento dos raios refratados parece emanar de um único ponto, que chamaremos de foco da lente.

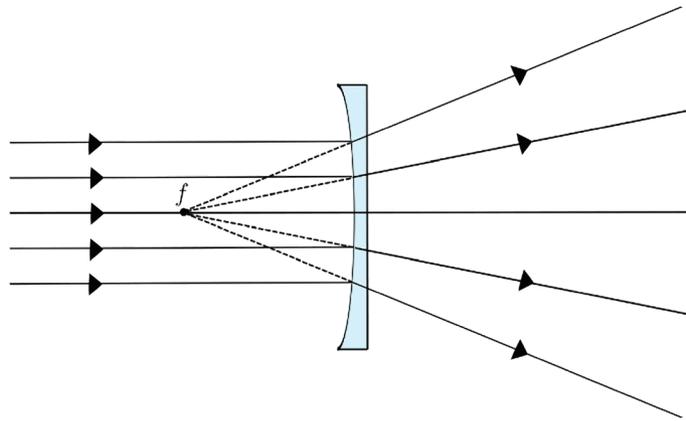


Figura 13: Diagrama que representa o que ocorre com um feixe colimado, quando o mesmo incide sobre uma lente divergente.

A distância entre o vértice e o foco é chamada de **distância focal**.

Para finalmente efetuarmos a construção de uma imagem por uma lente divergente, precisamos de alguns raios bastante especiais. O primeiro deles será o raio paralelo ao eixo focal. Podemos ver raios deste tipo na figura acima. O feixe colimado que incide na lente é composto por raios deste tipo. Como pudemos observar, estes raios possuem como propriedade o fato de seu prolongamento emanar do foco da lente. Já o segundo tipo de raio não sofre mudança na sua direção de propagação. Sempre que um raio passa no vértice (ponto onde o eixo focal cruza com a lente), ele não sofre desvio.

Vamos agora utilizar estes raios para construir a imagem formada por este tipo de lente. Temos na Figura 14 o objeto, a lente e a imagem formada.

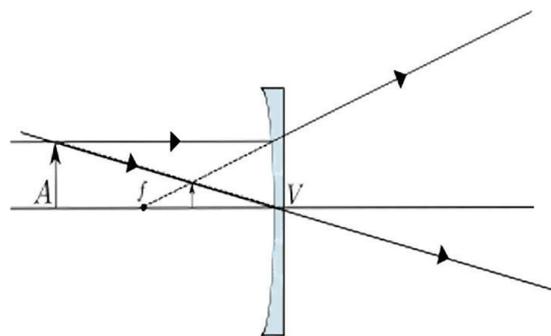
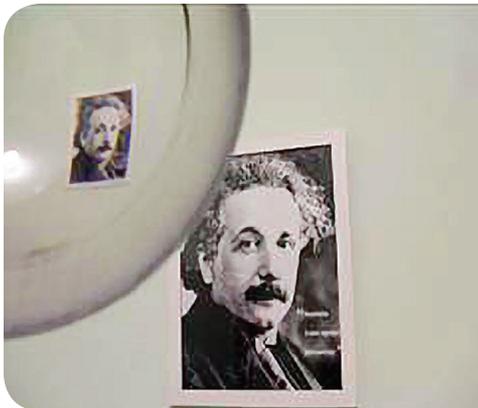


Figura 14: À esquerda, temos a imagem formada por uma lente divergente da foto de Einstein. Já à direita, temos um diagrama esquemático que mostra como a imagem vista à esquerda se forma.

Já, à direita da Figura 14, temos um diagrama que ilustra como a utilização dos dois raios descritos no parágrafo anterior nos permite construir a imagem do objeto A. O raio paralelo ao eixo focal que passa pela “cabeça” do objeto

diverge de tal maneira que seu prolongamento passa pelo foco da lente. Já o raio que passa no vértice da lente não sofre desvio (por causa disso, a projeção deste raio acaba “caindo” nele mesmo). Perceba que apenas a projeção dos raios é que se cruzam, entre o objeto e a lente. No cruzamento destas projeções, será formada a “cabeça” da imagem. Ressaltamos novamente que, embora tenhamos utilizado apenas dois raios, todo e qualquer raio que passe pela “cabeça” do objeto e atravesse a lente contribuirá na formação da imagem.

### **Mantendo o foco**

Como você faria para determinar a distância focal dos óculos de alguém que é míope, sem perguntar a ela? Procure um par de óculos feito para míopes e determine o valor da distância focal das lentes (sugestão: pode ser útil utilizar fumaça e um apontador laser, para poder ver o traçado dos raios luminosos).



Anote suas  
respostas em  
seu caderno

## **Lentes Convergentes**

Esse tipo de lente é largamente usado em instrumentos ópticos, tais como: lunetas, microscópios, farol de carros, projetores de cinema, entre outros. Diferente das lentes divergentes, a convergente é capaz de concentrar os raios que nela chegam (veja a Figura 15).



Figura 15: Temos um feixe luminoso paralelo ao eixo principal da lente (ou perpendicular à superfície plana da mesma, se você preferir). Podemos ver que a lente converge todos estes raios para o seu foco.

As imagens formadas por esse tipo de lente podem ser projetadas em um anteparo (uma parede, por exemplo), e por isso são tão importantes. Todos os casos em que você viu uma imagem projetada, como num cinema ou seminário, uma lente convergente estava presente.

Vamos agora entender a construção de imagens para essa lente. Como anteriormente precisaremos de pelo menos 2 raios para construí-las. Usaremos um raio que passa paralelamente ao eixo focal e um outro que passa pelo vértice da lente. Desta vez, todos os raios que se propagam paralelamente ao eixo focal serão convergidos de tal modo a passarem pelo ponto que chamamos de foco da lente. Já os raios que passam pelo vértice continuam transpassando a lente sem sofrer desvio algum, como na lente divergente.

Mais uma vez nós o convidamos a participar ativamente na construção de um experimento. Para essa atividade você pode utilizar uma lupa ou um par de óculos usado por portadores de hipermetropia. Dentro de um cômodo com uma janela disponha a lente, da lupa ou dos óculos, entre a janela e uma parede. Ao variar a distância entre a parede e a lente, você perceberá que uma imagem da janela (e da paisagem de fundo que ela dispõe) surgirá projetada na parede. Para exemplificar este mesmo fenômeno, dispomos a imagem de uma vela, projetada numa parede (veja a Figura 16). Sugerimos que você procure fazer experiências semelhantes com os instrumentos indicados anteriormente.



Figura 16: Imagem da vela, projetada na parede com o auxílio de uma lente convergente.

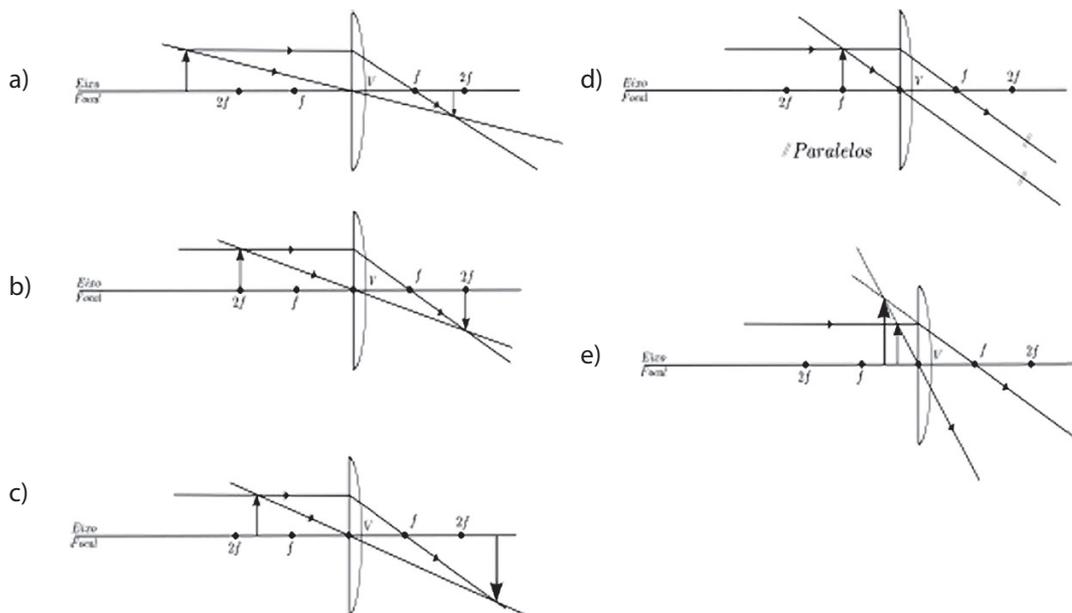


Figura 17: Imagem de uma lente projetada numa parede por uma lente convergente. Perceba que uma das faces da lente é abaulada.

Estamos aptos agora a construir as imagens geradas por uma lente convergente. Quando a lente está a uma distância superior a duas vezes a distância focal, a imagem será projetada, e será invertida e menor, conforme você pôde constatar com a lupa. Veja o diagrama na Figura 17. Observe a trajetória descrita por um raio paralelo ao eixo focal e que passa pela cabeça do objeto e a de um raio que passa pelo vértice da lente (cujá direção portanto não se altera). Estes raios encontram-se em um ponto, que está “atrás” da lente (para o objeto). A este ponto corresponde a imagem da “cabeça” do objeto, o que mostra que a imagem projetada será de fato menor e invertida. Como a imagem é projetada, trata-se de uma imagem real. À medida que o objeto aproxima-se da lente, o comportamento da imagem altera-se. Quando o objeto está a uma distância exatamente igual ao dobro da distância focal, a imagem terá exatamente o mesmo tamanho que o objeto (veja a Figura 17c), e continuará sendo invertida e real. Quando aproximamos o objeto um

pouco mais, de modo que ele esteja entre  $2f$  e  $f$ , a imagem passa a ser maior que o objeto, embora ainda seja real e invertida. Quando o objeto está exatamente em cima do foco, não haverá imagem (conforme você pode ver na Figura 17b os raios nunca se encontram, isto é, são paralelos). Por fim, quando o objeto estiver entre o vértice e o foco da lente, sua imagem voltará a ser formada pelas projeções de raios refradados, de modo que será virtual, direita e aumentada (veja a Figura 18).



Figura 18: Quando o objeto está entre o vértice e o foco, a imagem é maior, virtual (formada pela projeção de raios) e direita.

Nesta aula, introduzimos o fenômeno de refração, relacionando-o à diversas ferramentas e tecnologias, tais como a fibra óptica e diferentes tipos de lentes. Descobrimos que este fenômeno está relacionado à variação de velocidade que a luz sofre quando a mesma vai de um meio à outro. Utilizando alguns raios especiais, fomos capazes de construir a imagem formada em lentes convergentes e divergentes.

## Resumo

Nesta unidade, discutimos:

- O fenômeno da refração, que ocorre quando a luz troca de meio, associando este fenômeno à variação da velocidade da luz entre meios distintos;
- A reflexão total, que pode ocorrer quando a luz vai de um meio mais refringente (menor velocidade) para um menos refringente (maior velocidade), e sua aplicação tecnológica, por exemplo, as fibras ópticas;
- Utilizando os raios principais, fomos capazes de descrever as imagens formadas por lentes convergentes e divergentes, obtendo resultados compatíveis com os verificados experimentalmente.

# Veja Ainda

## O Olho Humano

Com todo o conhecimento construído até agora, seremos capazes, tentaremos entender o funcionamento do olho humano. Esquemáticamente, podemos modelá-lo como um instrumento óptico formado por um globo dotado de duas lentes convergentes, um obturador e um anteparo. Um obturador é um dispositivo que controla a entrada de luz numa cavidade. No olho, quem faz esse papel é a íris, um músculo que, quando tencionado, é capaz de se fechar, diminuindo seu diâmetro.

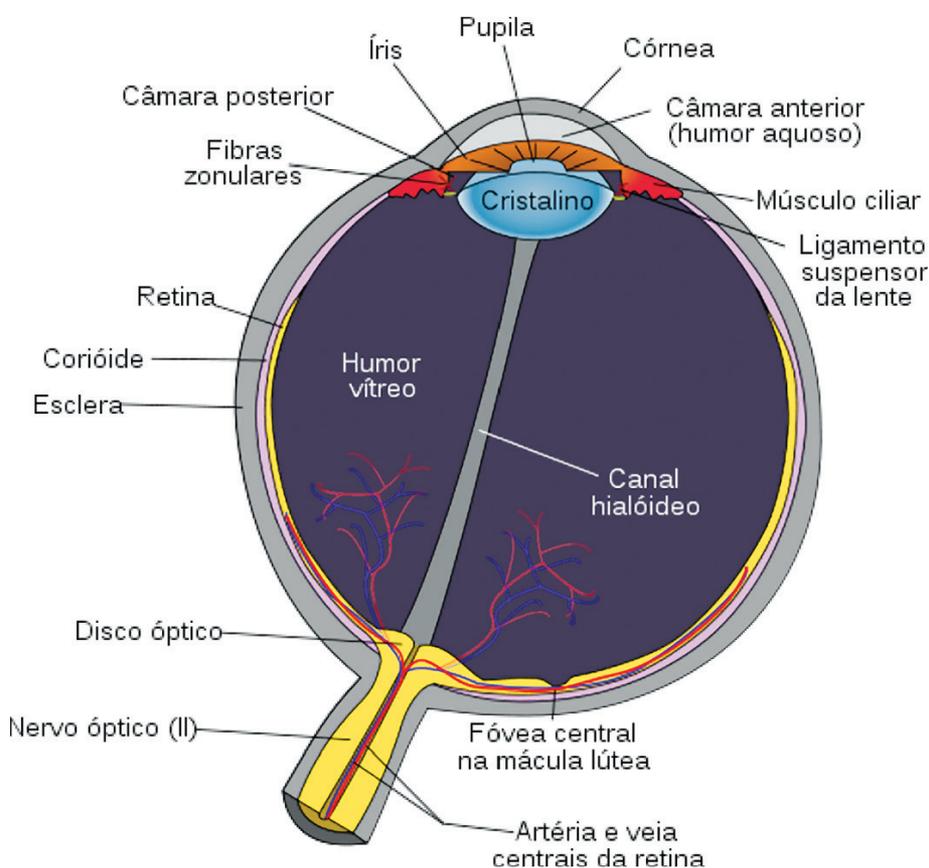


Figura 19: Representação esquemática de um olho humano

Nesta imagem, também podemos ver a córnea e o cristalino, que são um par de lentes convergentes acopladas. Um feixe luminoso que vem de um determinado local é refratado pela córnea e pelo cristalino, formando uma imagem no fundo do olho, que é chamado de retina. A retina é dotada de células capazes de transformar a luz em impulsos nervosos que são interpretados pelo cérebro. A visão dá-se por todo esse processo. Como toda imagem que

o olho capta é projetada em sua retina, temos que toda imagem será invertida e real, conforme aprendemos (ver a parte relativa à formação de imagens em lentes convergentes). Não vemos o mundo de maneira invertida por que nosso cérebro corrige todas estas imagens, girando-as adequadamente.

## Referências

- HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª. Edição. Porto Alegre: ARTMED Ed., 2002
- LUZ, Antonio Máximo Ribeiro da e ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Curso de física**. São Paulo: Scipione. 2007.
- Boa, M. F. & Guimarães, L. A. **Física**: Termologia e óptica. Ensino Médio, São Paulo: Harbra, 2007

## Imagens



- <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sts109-708-038a.jpg>.



- <http://www.sxc.hu/photo/968512>.



- <http://www.sxc.hu/photo/1067599>.



- [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic\\_diagram\\_of\\_the\\_human\\_eye\\_pt.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg).



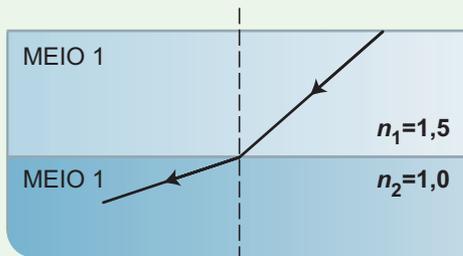
- <http://www.sxc.hu/photo/517386> • David Hartman.



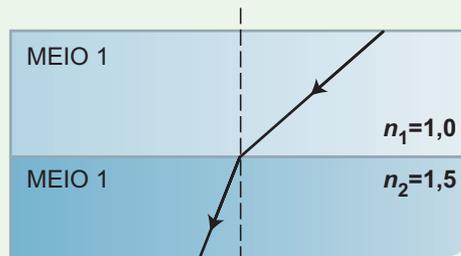
- [http://www.sxc.hu/985516\\_96035528](http://www.sxc.hu/985516_96035528).

### Atividade 1

Nessa questão temos que nos lembrar que quando a luz passa de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz tende a se afastar da reta normal à superfície de separação entre os meios; e quando a luz vem de um meio menos refringente para um meio mais refringente o raio luminoso tende a se aproximar da reta normal!



a) o raio refratado se afasta da normal



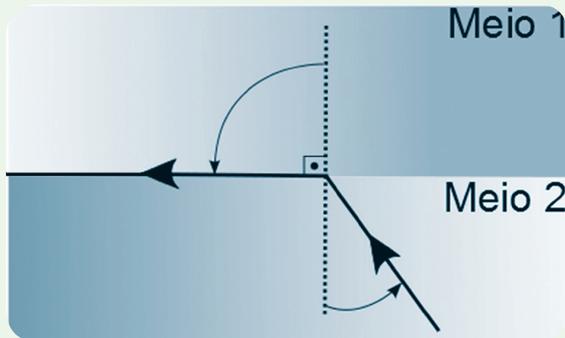
b) o raio refratado se aproxima da normal

### Atividade 2

Sim! Pois a luz que vem do peixe sai de um meio mais refringente para um meio menos refringente e portanto se afasta da normal. Isso faz com que a luz que chega aos olhos do observador tenha uma direção diferente da que seria se não houvesse água. Logo, temos a impressão que o peixe está mais acima do que realmente está!

### Atividade 3

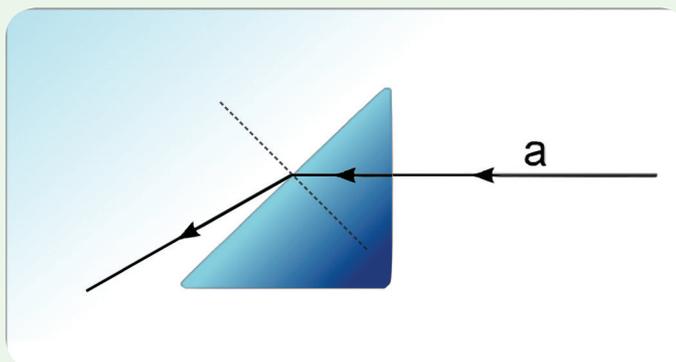
Sim, ele existe! Como nesse caso o raio refratado tende a se afastar da normal. A medida que o ângulo do raio incidente o ângulo do raio refratado também aumenta, assim o raio refratado tende a se afastar de reta normal até que chega a um limite, que vale  $90^\circ$ .



### Atividade 4

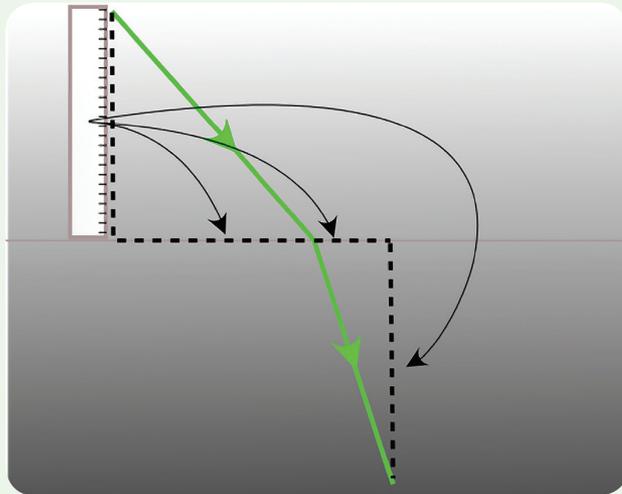
Nesse caso o que pode parecer difícil é o fato de que a reta normal a superfície de separação está inclinada, pois a superfície onde a luz passa do vidro para o ar também está inclinada.

Visto isso, basta aplicar a regra que já conhecemos: quando a luz passa de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz se afasta da normal.



### Atividade 5

Nessa questão, você deve utilizar uma régua para medir os catetos dos triângulos retângulos formados pelos raios incidentes, refratados e as linhas pontilhada. Veja a figura a seguir:



assim podemos utilizar a semelhança de triângulos onde o cateto menor está para o cateto menor e o cateto maior está para o cateto maior.

### Atividade 6

Para essa questão temos que usar a fórmula que aprendemos:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \times \sin 90^\circ$ . vamos lembrar que em  $\sin \theta_2$ ,  $\theta_2 = 90^\circ$  por que o ângulo refratado da água para o ar é paralelo e rente a superfície da água. Assim o ângulo que ela faz com a normal vale  $90^\circ$ . Sabemos também que o  $\sin 90^\circ = 1$ , portanto temos a seguinte equação:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \times 1$$

Então podemos escrever:

$$\sin \theta_1 = n_2/n_1$$

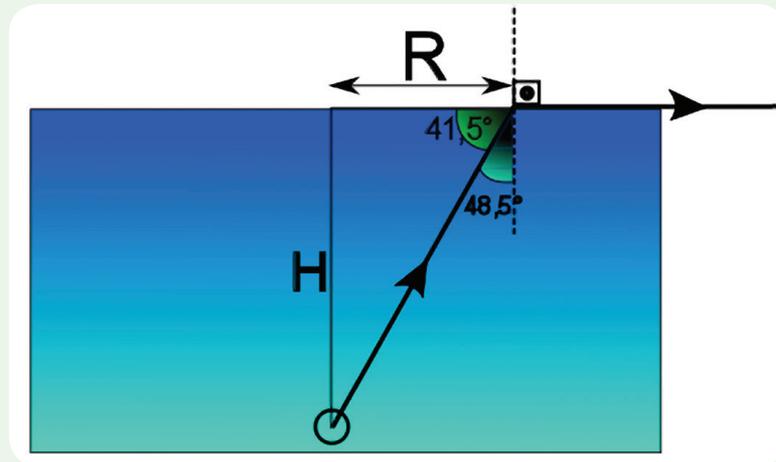
Sabemos que  $n_1=1,3$  e que  $n_2 = 1,0$ . Assim temos que descobrir o ângulo cujo seno vale 0,75!

Ao olhar uma tabela de senos vemos que esse ângulo vale  $48,5^\circ$  aproximadamente.

Respostas  
das  
Atividades

Agora sim!

Podemos construir um esquema geométrico para determinar o raio pedido na questão ver figura.



Agora podemos fazer a seguinte relação: a  $\text{tg } 41,5^\circ = H/R$  e  $H=50\text{cm}$ , logo:

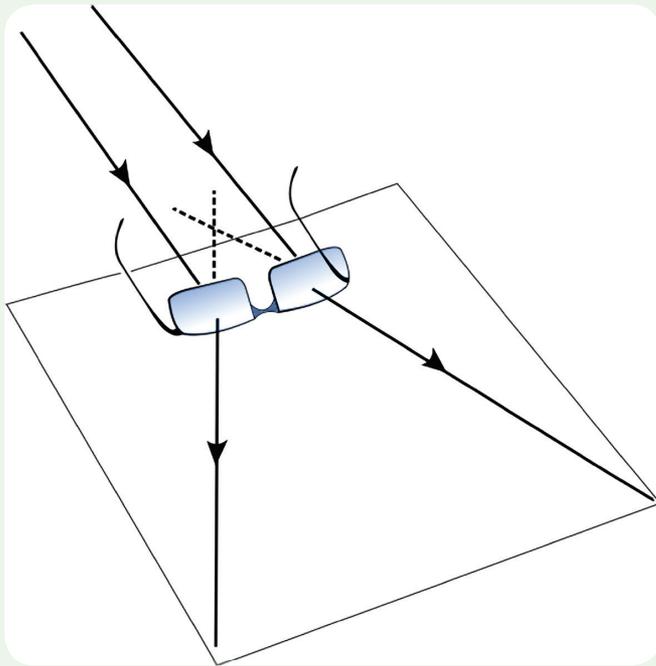
$1,33=50/R$  portanto  $R=50/1,33=37,6\text{ cm}$ .

Obs: podemos perceber a complexidade na resolução desse exercício, mas o consideramos muito esclarecedor e completo em vários aspectos!

### Atividade 7

Bem esse exercício lhe pede, na verdade, uma estimativa desse valor. Para tanto, basta apoiar o par de óculos sobre uma folha branca e injetar um feixe laser (desses tipo chaveiro). Você notará que esse feixe tende a divergir; marque com uma régua o feixe refratado e em seguida mude o feixe de posição e repita a marcação, veja na figura!

Agora você só precisa prolongar os feixes refratados até que eles se encontram. Com uma régua meça a distância entre a lente do óculos e o ponto de encontro dos feixes prolongados.



Respostas  
das  
Atividades



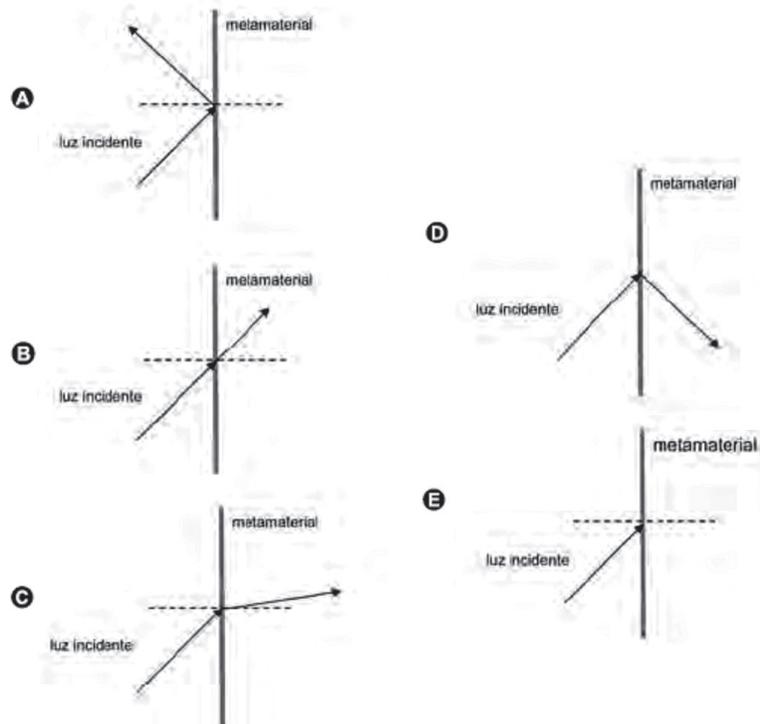
# O que perguntam por aí?

## Atividade 1 (ENEM 2011)

Um grupo de cientistas liderado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro metamaterial que apresenta valor negativo do índice de refração relativo para a luz visível. Denomina-se metamaterial um material óptico artificial, tridimensional, formado por pequenas estruturas menores do que o comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Esse material tem sido chamado de “canhoto”.

Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em: 28 abr. 2010 (adaptado).

Considerando o comportamento atípico desse metamaterial, qual é a figura que representa a refração da luz ao passar do ar para esse meio?



**Resposta:** Letra D

**Comentário:**

De acordo com o enunciado, o metamaterial apresenta propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Assim sendo, a única alternativa que pode representar a refração da luz ao passar para o metamaterial é a D

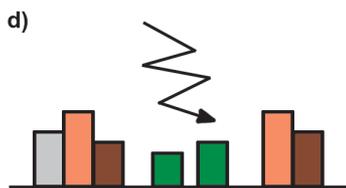
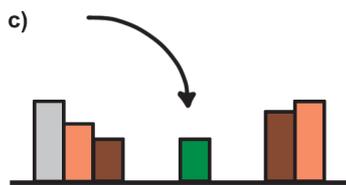
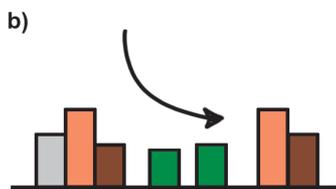
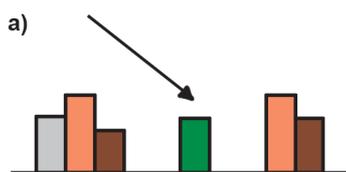


# Atividade extra

## Refração e aplicações

### Exercício 1 - Adaptado de CEFET

Durante o dia, um raio luminoso solar, atravessa a camada atmosférica e atinge a poluída cidade de São Paulo. A camada atmosférica poluída apresenta índice de refração maior do que o ar não poluído. A trajetória provável, devido ao fenômeno da refração, é



## Exercício 2 – Adaptado de UERGS - 2004

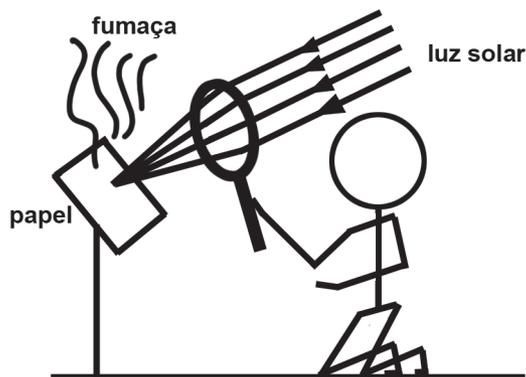
A velocidade da luz no vácuo é 300.000 km/s e em certo plástico transparente é 150.000 km/s.

O índice de refração desse plástico é

- a. 0,2.
- b. 0,5.
- c. 2,0.
- d. 5,0.

## Exercício 3 – Adaptado de UEMG - 2008

Uma pessoa usa uma lupa para queimar uma folha de papel, usando a luz solar, conforme ilustração:

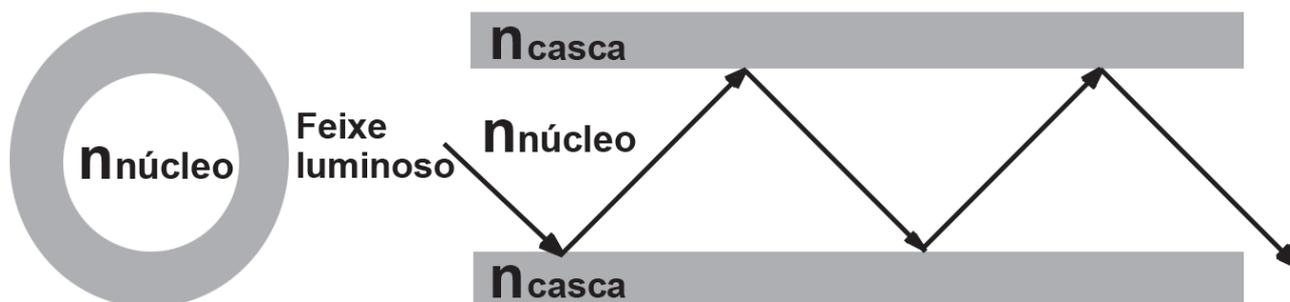


A lente usada pela pessoa é

- a. convergente.
- b. divergente.
- c. coróide.
- d. plana.

## Exercício 4 – Adaptado de CEFET - 2005

A medicina utiliza-se da Endoscopia para a observação de órgãos internos. Este equipamento tem, entre suas partes componentes, fibras ópticas:



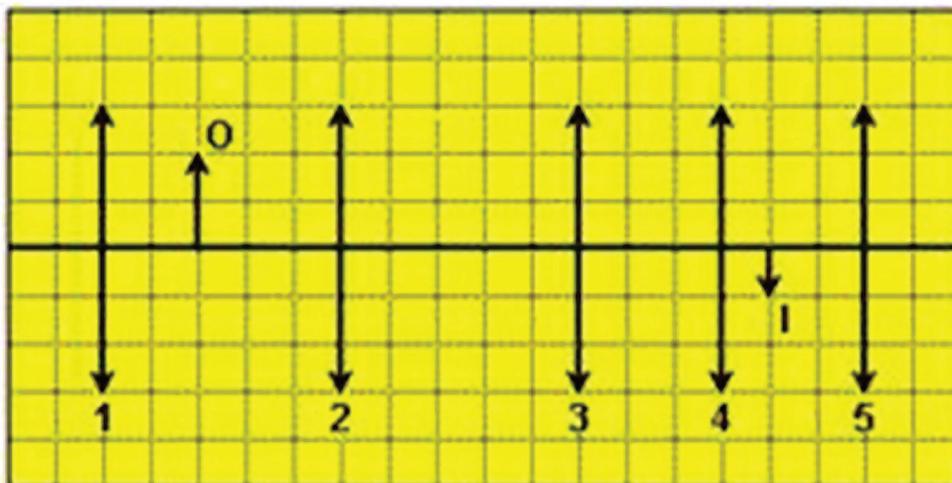
Onde:  $n_{\text{núcleo}} > n_{\text{casca}}$

O funcionamento do endoscópio se deve ao fenômeno físico:

- refração da luz em um núcleo vítreo e uma casca metálica.
- reflexão total da luz devido aos diferentes índices de refração do núcleo e da casca da fibra óptica.
- dispersão da luz de maneira que o feixe luminoso incidente tem sua energia dissipada ao longo da sua trajetória.
- refração da luz de maneira que a incidência de um feixe luminoso na fronteira que separa o núcleo da casca se dá por um ângulo inferior ao do ângulo limite.

## Exercício 5 - Adaptado de UNESP

Considere as cinco posições de uma lente convergente numeradas de 1 a 5 e apresentadas na figura a seguir:



Faça um desenho mostrando qual o número que representa a única posição em que essa lente, se tiver a distância focal adequada, poderia formar a imagem real I do objeto O.

## Gabarito

### Exercício 1 - Adaptado de CEFET

- A B C D

### Exercício 2 - Adaptado de UERGS - 2004

- A B C D

### Exercício 3 - Adaptado de UEMG - 2008

- A B C D

### Exercício 4 - Adaptado de CEFET - 2005

- A B C D

### Exercício 5 - Adaptado de UNESP

Posição 3.

