



REFRAÇÃO DA LUZ

Quando a luz atinge um obstáculo, ocorrem três fenômenos: **reflexão**, **absorção** e **refração**.

► **Reflexão:** a reflexão, como já estudamos anteriormente, ocorre quando a luz atinge uma superfície e retorna. É através dela que conseguimos enxergar os objetos que não emitem luz própria, pois eles refletem a luz.

► **Absorção:** ocorre quando a luz é absorvida por um corpo. Esse corpo absorve a energia luminosa recebida, nos impossibilitando de enxergar a luz que o atinge, pois ela não é refletida. Quando a luz branca atinge um determinado objeto e ele reflete, por exemplo, apenas a luz azul, significa que ele absorveu todas as outras cores do espectro e o vemos apenas como azul.

► **Refração:** a refração ocorre quando a luz que se propaga em um determinado meio material atinge outro meio material. Por exemplo, quando a luz sai do ar e entra na água; ou quando sai da água e entra no ar; ou quando sai do ar e se



propaga no vidro, etc. O que acontece quando a luz muda de meio é que sua velocidade é alterada. A luz possui diferentes velocidades em meios diferentes. Vamos dedicar uma atenção especial a esse fenômeno.



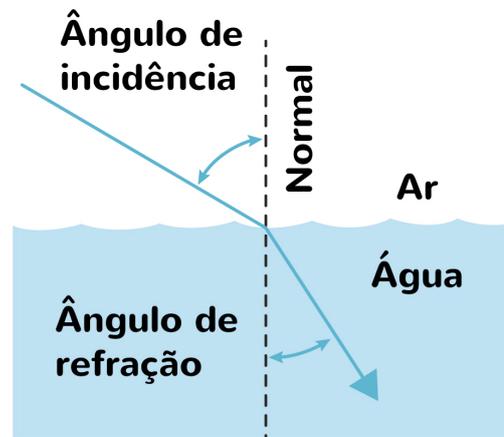
Você lembra qual é o valor da velocidade da luz no vácuo? Ela vale 300.000.000 m/s, no SI. Em notação científica: 3×10^8 m/s. Quando a luz muda de meio, sua velocidade é alterada e o raio de luz pode sofrer um desvio (uma mudança de direção). Você já notou que quando se coloca uma colher dentro de um recipiente transparente com água, a colher aparenta estar “quebrada”?

Qualquer objeto que você colocar na água e tiver uma parte para fora, no ar, por exemplo, parecerá quebrado. É o princípio da refração que está atuando: a luz refletida pela colher, quando sai da água, muda de direção, causando a impressão de que metade da colher está em outra posição.



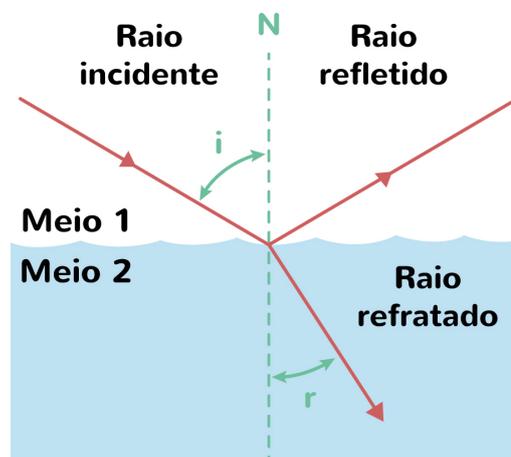
LEIS DA REFRAÇÃO

► **Primeira Lei:** o raio incidente, o raio refletido, o raio refratado e a normal estão no mesmo plano.



A normal corresponde à reta normal imaginária. Ela recebe esse nome porque é normal (forma 90°) com a superfície.

► **Segunda Lei (Lei de Snell-Descartes):** o ângulo de incidência e o ângulo de refração (ambos medidos em relação à normal) são diferentes. Isso ocorre por causa da alteração da velocidade da luz em diferentes meios: cada meio material possui uma densidade diferente.



Considere na imagem o meio 1 e o meio 2. No meio 2, o raio refratado está mais próximo da normal porque possui menor ângulo. Esse ângulo (r) é menor que o ângulo de incidência (i) porque o meio 2 é mais **refringente** que o meio 1. Ser mais refringente significa que o meio 2 é mais denso do que o meio 1. A luz se propaga mais devagar em meios mais densos do que em meios menos densos.

O conceito de refringente está ligado ao **índice de refração**. Cada meio tem um índice de refração diferente, que está relacionado à sua densidade.

Em quanto a velocidade da luz em determinado meio difere da sua velocidade no vácuo?



Esse valor é calculado pela relação entre o índice de refração (**n**), a velocidade da luz no vácuo (**c**) e a velocidade da luz no meio (**v**):

$$n = \frac{c}{v}$$

Essa equação nos diz que quanto maior for a velocidade **v** da luz no meio em questão, menor é o índice de refração (e menos denso é o meio).

As grandezas velocidade da luz no meio (**v**) e índice de refração (**n**) são inversamente proporcionais: enquanto um aumenta, o outro diminui. Outro detalhe sobre o índice de refração: como temos uma divisão de velocidades, que possuem a mesma unidade, estas acabam se simplificando, e não sobra unidade nenhuma. Por esta razão, o índice de refração é uma grandeza adimensional.

Perceba que o menor valor possível para o índice de refração é 1, pois se fosse menor do que 1, o valor de **v** deveria ser maior que **c**, e como sabemos, nada na natureza pode ser maior que **c**. Então, concluímos que o meio menos refringente, ou seja, menos denso, é o vácuo, que possui índice de refração 1, onde a luz se propaga com velocidade **c**.

A velocidade da luz em outros meios sempre será menor do que no vácuo! Em meios materiais, a luz encontra partículas que são capazes de desacelerá-la.

A tabela a seguir mostra alguns valores de índice de refração para o vácuo e alguns meios materiais:

Meio material	Índice de refração
Vácuo	1
Ar	1,00029
Água	1,3
Glicerina	1,47
Vidro	1,5
Diamante	2,42

A partir desses valores fornecidos na tabela, você pode calcular a velocidade da luz nesses meios materiais, utilizando a equação $n = \frac{c}{v}$.

Finalmente, vamos para a Lei de Snell-Descartes em sua forma de equação:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2)$$

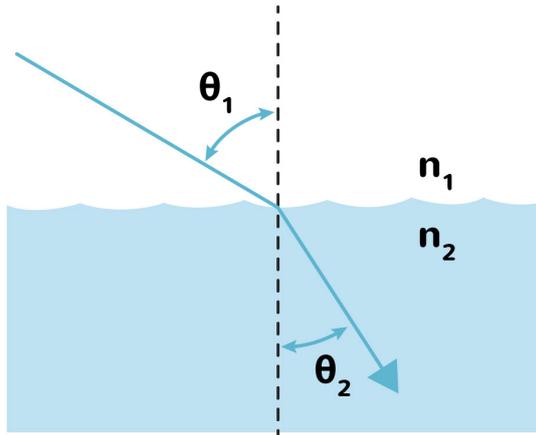
Onde n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios existentes de cada lado da superfície delimitadora, e θ_1 e θ_2 são os respectivos ângulos de incidência e de refração. Se três desses valores são conhecidos, o quarto pode ser calculado a partir dessa relação.



Refração da Luz

Note que, se $\theta_1 = 0^\circ$, θ_2 também deverá ser 0° para manter a igualdade (lembre-se de que o seno de 0° é 0). Ou seja, se um raio de luz incidir perpendicularmente à superfície, ele passará para o outro meio sem sofrer desvio!

Para $\theta_1 = 0^\circ$, a luz sofre refração sem sofrer desvio. Por conta disso, uma dica valiosa é lembrar da refração como um fenômeno em que a luz tem sua velocidade alterada ao mudar de meio. Pode ser que ocorra um desvio, mas isso só ocorrerá quando a incidência não for perpendicular.



A refração se relaciona aos índices de refração de acordo com a lei de Snell-Descartes

CONTINUIDADE ÓPTICA

Veja a imagem de um experimento realizado com uma garrafa de vidro:



No primeiro copo, forma colocadas água e uma garrafa de vidro parcialmente submersa nela. Vemos a garrafa desviada pela refração. Beleza. Agora, no segundo copo, há glicerina e a mesma garrafa de vidro parcialmente submersa. Vemos a parte de cima da garrafa que está contida no ar, mas não vemos a parte de baixo que está contida na glicerina. Como você pode ver na tabela de índice de refração, os índices da glicerina e do vidro são muito próximos, quase iguais. Quando esses dois materiais entram em contato, eles parecem ser um só. Daí, não vemos a garrafa. Isso é chamado de **continuidade óptica**.

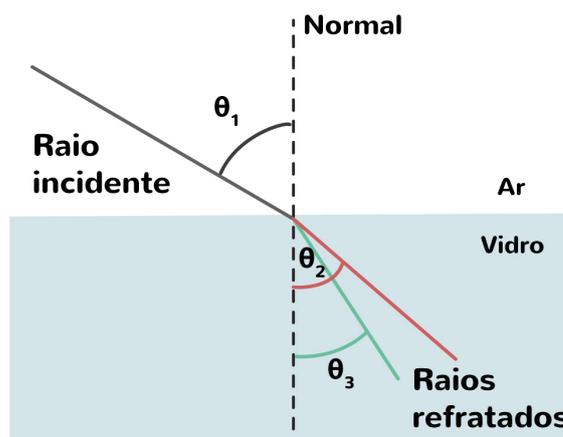
FENÔMENOS EXPLICADOS PELA REFRAÇÃO

► Arco-Íris

O arco-íris é explicado pela dispersão da luz. Quando um raio de luz vermelha (monocromática = uma única cor) incide no vidro com um ângulo de incidência θ_1 , obtém-se um ângulo de refração θ_2 . Quando uma luz verde incide no mesmo vidro com o mesmo ângulo de incidência θ_1 , o raio se refrata com um ângulo θ_3 , ligeiramente



menor do que θ_2 . Pode-se concluir que a luz verde, ao se refratar, sofre maior desvio do que a luz vermelha.



Esse fato indica que o vidro apresenta um índice de refração maior para a luz verde do que para a luz vermelha. Essas diferenças são muito pequenas, como se pode ver na tabela a seguir.

Índice de refração do vidro para diversas cores	
Cor	n
Vermelho	1,513
Amarelo	1,517
Verde	1,519
Azul	1,528
Violeta	1,532

Qualquer meio apresenta comportamento semelhante ao do vidro, isto é, tem um índice de refração diferente para cada cor (frequência).

Essa separação da luz em cores dispostas segundo a frequência é chamada de dispersão.

Para um arco-íris ser visto, o Sol deve estar brilhando numa parte do céu e as gotas de água existentes numa nuvem, ou caindo na forma de chuva, devem estar presentes na parte oposta do céu. Quando viramos nossas costas para o Sol, vemos o espectro das cores formando um arco.

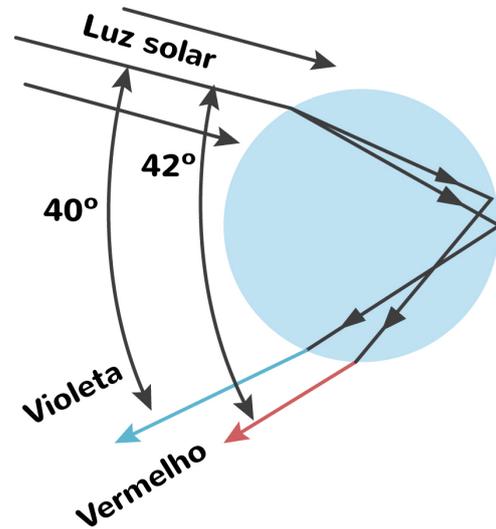


Visto de um avião voando durante o meio-dia, os arcos formam um círculo completo. Todos os arco-íris seriam completamente redondos se o chão não estivesse no caminho.

As belas cores de um arco-íris são dispersadas a partir da luz solar por milhões de minúsculas gotículas esféricas de água.

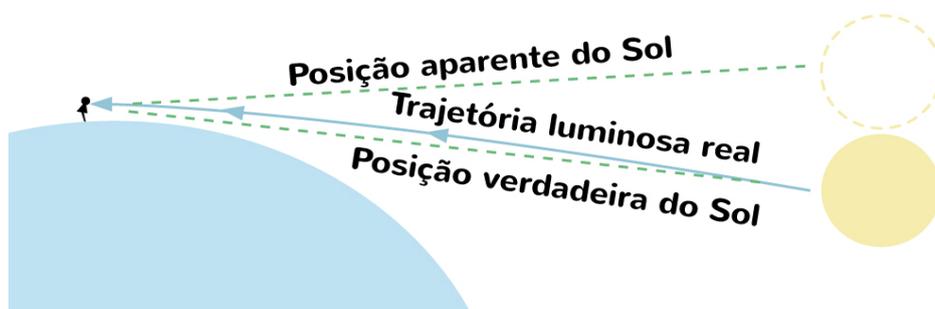


Você pode compreender isso melhor considerando uma única gota individualmente. Siga o raio luminoso quando ele entra na gota próximo à sua superfície superior. Parte da luz é refletida ali (não mostrada) e a restante é refratada pela água. Nesta primeira refração, a luz é dispersa nas cores de seu espectro, o violeta sendo a mais desviada e o vermelho, a menos desviada das cores. Alcançando o lado oposto da gota, cada uma das cores é parcialmente refratada para o ar exterior (não mostrada) e parcialmente refletida de volta para a água. Chegando à superfície inferior da gota, cada cor é de novo parcialmente refletida (não mostrada) e refratada para o ar. Essa segunda refração é análoga à correspondente refração em um prisma (mais adiante, veremos isso de forma mais detalhada), onde a refração na segunda superfície aumenta a dispersão já produzida pela primeira superfície. Duas refrações e uma reflexão podem de fato resultar em que o ângulo entre o raio incidente e os raios que saem da gota esteja compreendido entre 0° e 42° . Existe uma forte concentração na intensidade luminosa, entretanto, próxima ao ângulo máximo de 42° .



► Pôr do Sol

Sempre que assistimos a um pôr do sol, vemos o disco solar por vários minutos após ele ter descido além do horizonte. A atmosfera terrestre é rarefeita no topo e densa no fundo. Como a luz se propaga mais rápido no ar rarefeito do que no ar mais denso, a luz vinda do Sol consegue nos alcançar mais rapidamente se, ao invés de seguir em linha reta, ela evitar o ar mais denso tomando um caminho alternativo mais elevado e mais comprido a fim de penetrar na atmosfera de maneira mais íngreme.



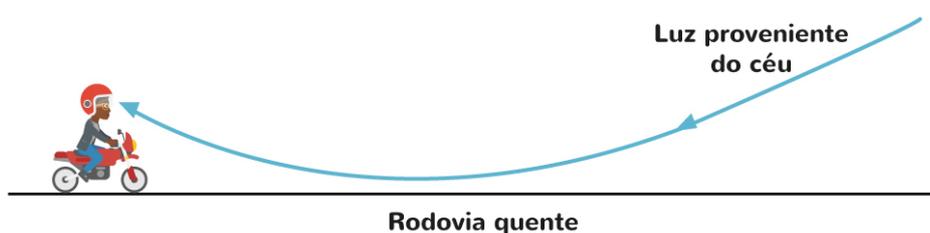
Como a densidade da atmosfera muda gradualmente, a luz é gradualmente desviada, descrevendo uma trajetória final curva. Curiosamente, esse caminho nos fornece um período diurno maior a cada dia do que se a luz se propagasse sem encurvar.



► Miragens

Todos estamos familiarizados com miragens que vemos numa rodovia que está muito quente. Partes distantes da rodovia parecem estar molhadas, mas quando chegamos lá, a rodovia está seca. Qual é a razão para isso?

O ar está muito aquecido logo acima do pavimento da rodovia, e frio mais acima. A luz se propaga mais rapidamente na fina camada de ar quente rarefeito do que no ar frio mais denso que está por cima do ar quente. Assim, a luz, em vez de nos alcançar, vinda do céu, seguindo trajetórias retilíneas, tem sua trajetória encurvada para cima ao penetrar nas regiões de ar mais aquecido próximo ao pavimento da rodovia, antes de alcançar nossos olhos.



Onde vemos “molhado”, estamos na verdade vendo o céu. Ao contrário do que muita gente erroneamente pensa, uma miragem não é uma “ilusão mental”. Ela é formada por raios luminosos reais e pode ser fotografada.



Quando olhamos para um objeto que se encontra sobre uma rodovia muito quente, percebemos um efeito tremeluzente e ondulante. Isso se deve aos diversos caminhos luminosos existentes para a luz se propagar através de regiões do ar com uma variedade de temperaturas e, conseqüentemente, de densidades. As estrelas parecem “pisca” por causa de um fenômeno análogo que ocorre no céu, onde a luz atravessa camadas instáveis de nossa atmosfera.

DIOPTRO PLANO

Dioptra é um sistema constituído por dois meios transparentes de diferentes refrações, que fazem entre si fronteira regular. Se a fronteira for plana, teremos o dioptra plano. Se for esférica, teremos o dioptra esférico.

