

Material teórico – Óptica Geométrica III

Refração e sistemas ópticos (Parte 2)

Segundo Ano do Ensino Médio

Autor: Thales Azevedo

Revisor: Lucas Lima



**Portal
da Física
OBMEP**

1. Introdução

Para concluir nossos estudos sobre o fenômeno da refração da luz, faremos neste texto uma breve discussão sobre a **dispersão da luz** branca através de um **prisma**. Começaremos definindo o que é um prisma e investigando o que nossos conhecimentos sobre a refração permitem-nos dizer sobre a trajetória de um raio luminoso (monocromático) que atravessa um dado prisma. Depois, aplicaremos nossos resultados a raios luminosos de diferentes cores, chegando naturalmente ao fenômeno da dispersão óptica.

Finalmente, daremos uma breve explicação sobre a **formação do arco-íris**, fenômeno ligado à dispersão que é bastante comum no nosso dia a dia.

2. Prismas

Em Óptica, um *prisma* é definido como *um conjunto de três meios homogêneos e transparentes à luz, separados por duas superfícies não paralelas*. Nas aplicações mais comuns, o que faz o papel do prisma é um objeto de vidro ou plástico com o formato de um sólido geométrico composto por duas faces paralelas e congruentes (bases), ligadas por segmentos de reta denominados arestas (ou seja, o formato de um prisma como definido na Geometria Espacial). A figura abaixo traz o exemplo de um prisma de plástico de base triangular.

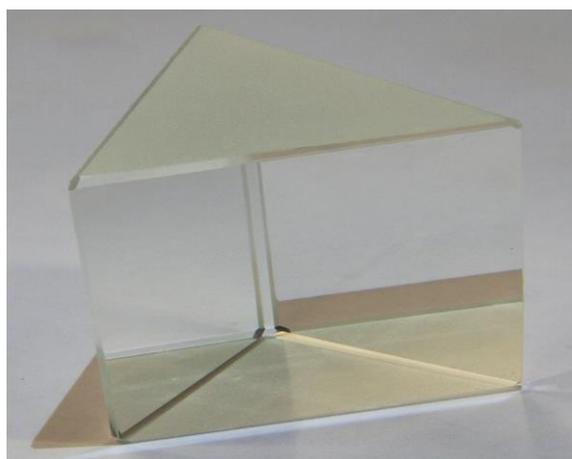


Figura 1: Um prisma de plástico de base triangular.

Quando um raio luminoso incide sobre uma das faces de um prisma, ele em geral sofre duas refrações, como ilustra a figura a seguir. (Note que, na figura, estamos supondo que o índice de refração do material de que é feito o prisma é maior que o índice de

refração do meio no qual ele está inserido. Esta é a situação mais comum, mas isso não é necessário.)

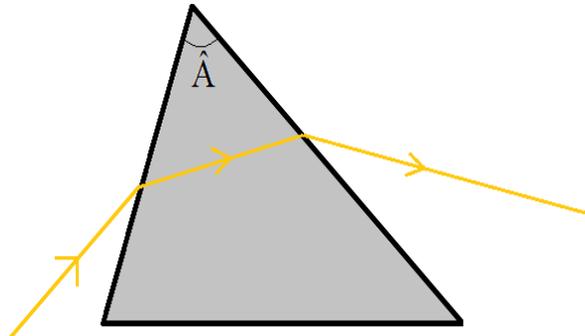


Figura 2: Raio luminoso incidindo sobre um prisma. Esse raio incide paralelamente às bases do prisma, de modo que é suficiente mostrar a seção principal.

Podemos encontrar uma relação entre a direção de propagação do raio incidente e aquela do raio emergente, dadas as características do prisma, ou seja, o índice de refração e o *ângulo de refração* (o ângulo \hat{A} na figura 2). Para isso, considere os ângulos representados na figura 3. Observe que o ângulo β tem a mesma medida do ângulo \hat{A} . (A razão para isso é que as retas que formam os dois ângulos são perpendiculares entre si.) Logo, temos $\hat{A} = \beta = \theta_2 + \theta_3$, já que β é ângulo externo ao triângulo. Assim, dados o ângulo de refração e o índice de refração do prisma, podemos em princípio calcular o ângulo de transmissão θ_4 através de sucessivas aplicações da lei de Snell–Descartes.

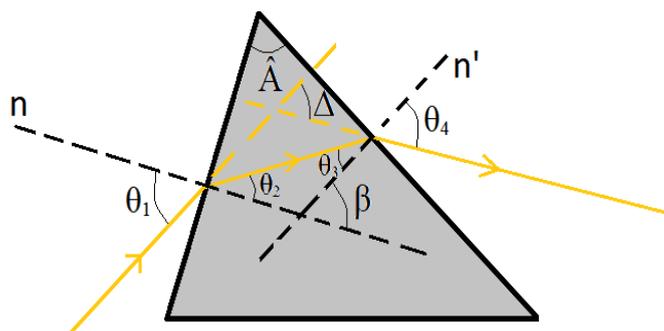


Figura 3: Detalhes geométricos da situação representada na figura 2.

Já o ângulo Δ é o chamado *desvio angular total* sofrido pelo raio incidente, ou seja, uma medida de o quanto o raio incidente muda sua direção ao atravessar o prisma. Para relacionar Δ com os dados do problema, vamos contar com o auxílio da figura 4, que é uma ampliação da região central da figura 3.

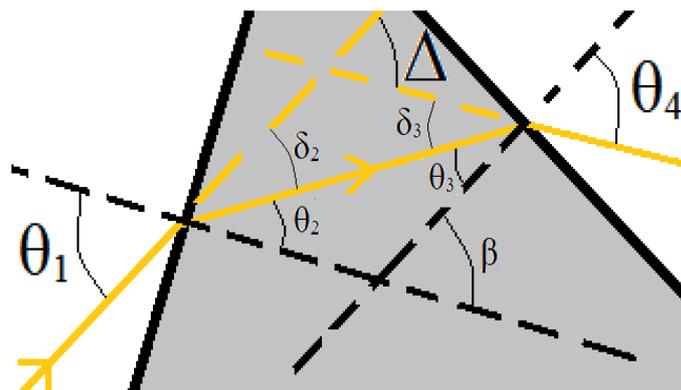


Figura 4: Ampliação da região central da figura 3.

A partir da figura, vemos que, pelo mesmo motivo que $\beta = \theta_2 + \theta_3$, temos $\Delta = \delta_2 + \delta_3$ (tanto β como Δ são ângulos externos aos respectivos triângulos). Além disso, por serem ângulos opostos pelos respectivos vértices, temos $\theta_1 = \theta_2 + \delta_2$ e $\theta_4 = \theta_3 + \delta_3$, ou seja, $\delta_2 = \theta_1 - \theta_2$ e $\delta_3 = \theta_4 - \theta_3$. Finalmente, juntando tais informações, chegamos a

$$\begin{aligned}\Delta &= \delta_2 + \delta_3 \\ \Delta &= (\theta_1 - \theta_2) + (\theta_4 - \theta_3) \\ \Delta &= \theta_1 + \theta_4 - (\theta_2 + \theta_3) \\ \Delta &= \theta_1 + \theta_4 - \hat{A},\end{aligned}$$

que é a relação buscada.

3. Dispersão óptica e formação do arco-íris

Até aqui, em toda análise que fizemos, nós supusemos implicitamente que os raios luminosos estudados eram *monocromáticos*, ou seja, continham apenas luz de uma determinada cor. (Mais precisamente, tratamos de ondas eletromagnéticas de uma determinada frequência.) De fato, a experiência mostra que o índice de refração depende não só do meio de propagação, mas também da cor (frequência) da luz. Isso implica que o desvio angular total Δ , calculado na seção anterior, vai depender da cor do raio luminoso, uma vez que o ângulo de transmissão θ_4 depende do índice de refração (já que tal ângulo é calculado através da lei de Snell–Descartes).

Em 1666, Isaac Newton mostrou que a luz branca era, na verdade, composta por todas as outras cores. Ele usou um prisma para fazer a decomposição de um feixe de luz branca, obtendo algo parecido com o exposto na figura 5.

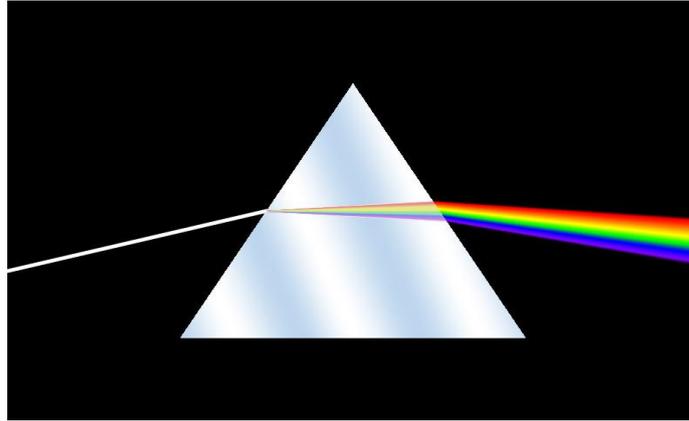


Figura 5: Prisma dispersivo separando as cores da luz branca.

Esse fenômeno recebe o nome de *dispersão óptica*, e ocorre sempre que um feixe policromático (contendo mais de uma frequência) incide sobre um meio no qual a velocidade de propagação da onda depende da sua frequência (tais meios são chamados de *meios dispersivos*).

A dispersão óptica também é o principal fenômeno por trás da formação do arco-íris. De fato, quando chove, as gotículas de água que caem através da atmosfera funcionam como prismas de seção principal, aproximadamente circular. Dessa forma, a luz proveniente do sol, contendo todas as cores do espectro visível, é decomposta ao sofrer refração nas gotículas de água da chuva. O motivo pelo qual nós vemos o arco-íris da maneira usual está esquematizado na figura abaixo. Como o índice de refração é maior para a luz violeta do que para a luz vermelha, os raios luminosos que são refletidos uma vez no interior da gotícula seguem as seguintes trajetórias:

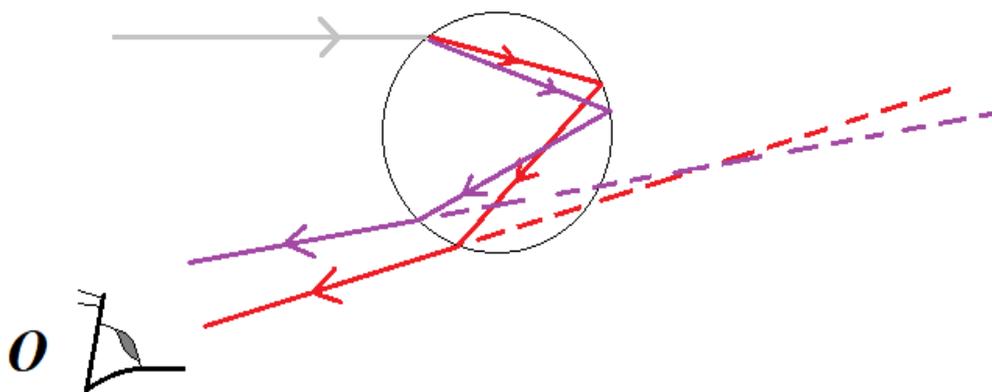


Figura 6: Formação do arco-íris através da dispersão óptica em gotículas de água. A luz (branca) do sol é decomposta em todas as cores do espectro visível no interior da gotícula, que funciona como um prisma. Aqui estão representadas apenas as cores vermelha e violeta. O observador *O* vê o vermelho mais acima, o violeta mais abaixo e todas as cores intermediárias entre as duas.

É claro que, quando um raio luminoso encontra a superfície que separa dois meios distintos, em geral ocorre tanto refração como reflexão. Na figura acima, estamos olhando apenas para uma trajetória possível do raio luminoso incidente, trajetória essa que está associada à formação do arco-íris. Por fim, a figura 6 também nos permite concluir que a cor vermelha sempre estará na parte exterior do arco-íris, enquanto a cor violeta aparecerá na parte interna. Isto ocorre por conta das direções em que enxergamos a luz que emerge das gotículas, representadas na figura pelos prolongamentos dos raios luminosos emergentes. Verifique isso da próxima vez que aparecer um arco-íris na sua região!

4. Referências

[1] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Prism-side-fs_PNr%C2%B00117.jpg (acesso em 12/02/2021)

[2]

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Dispersion_prism.jpg

(acesso em 12/02/2021)