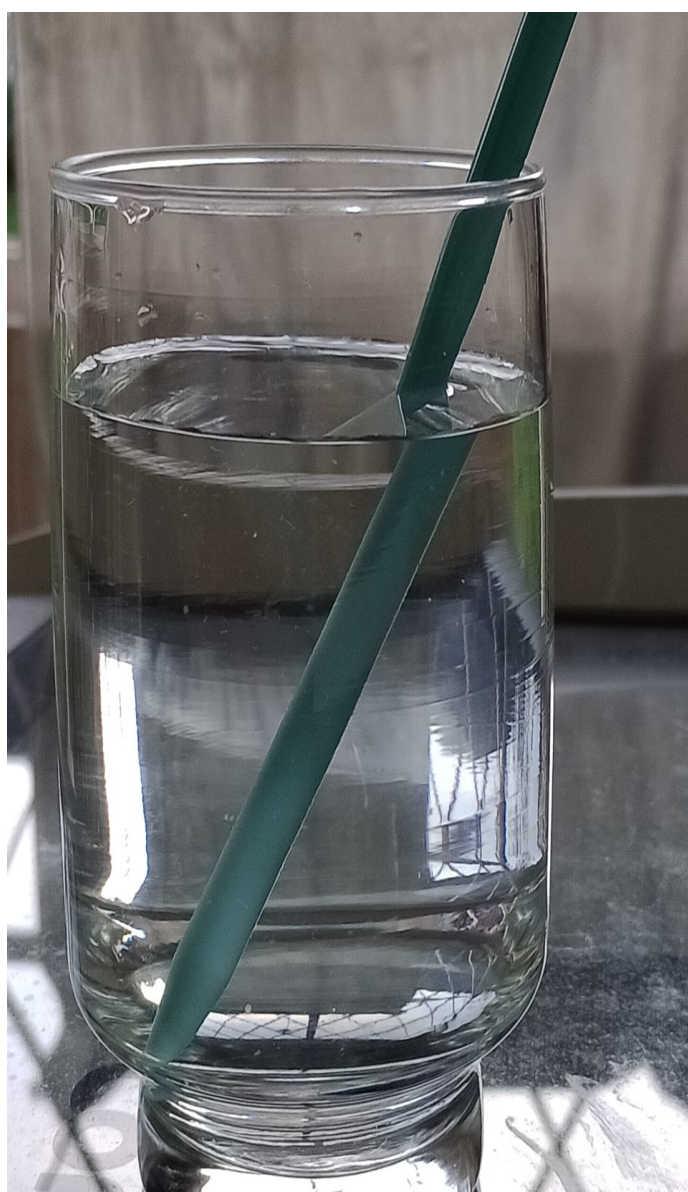


## ***O QUE É REFRAÇÃO ?***

Muitas vezes os livros de física nos explicam a refração com uma imagem parecida com esta:



*Ilustração 1: (c) 2023 - Instituto Imbuhy.*

Na imagem vemos uma agulha de tricô dentro de um copo com água. A agulha parece quebrada dentro da água. Aí os livros explicam esse fenômeno como uma coisa chamada *refração*. Acontece que a refração tem a ver com a velocidade da luz num meio transparente. Os programas de popularização científica nos dizem que:

1. A velocidade da luz no vácuo é 300.000 Km/s;
2. Nada pode se mover mais rápido que a luz.

Acontece que os itens 1 e 2 não são verdades absolutas. Primeiramente, a velocidade na luz no vácuo é de 299.792.458 m por segundo ou aproximadamente 300 mil km/s. Mas num diamante a velocidade da luz é de 123.906.645 m/s - quase 124.000 Km por segundo. Na água, a velocidade da luz é de uns 225.000 Km/s. Isso é 75% da velocidade da luz no vácuo ! Para explicar as diversas velocidades da luz em diversos meios transparentes, precisamos entender a natureza da propagação da luz. Ela é uma radiação eletromagnética. E, mais ainda, a luz branca é a combinação de diversas frequências de ondas eletromagnéticas ou, traduzindo, de diversas cores. Sabemos disso graças a experiência do prisma:

*"O cientista responsável por realizar a primeira experiência conhecida de decomposição da luz branca com um prisma foi Sir Isaac Newton. Em 1666, Newton realizou uma série de experimentos com a luz branca do Sol, passando-a através de um prisma de vidro triangular. Ele observou que a luz branca era separada em um espectro contínuo de cores, formando um arco-íris. Esse experimento revelou as cores componentes da luz branca e demonstrou que a luz branca é composta por diferentes comprimentos de onda, cada um correspondendo a uma cor específica. Essa descoberta foi fundamental para o desenvolvimento da compreensão moderna da óptica e da natureza da luz."*

**ChatGPT**



Ilustração 2: Copyright (c) 2021  
ONYXprj/Shutterstock.

Eu estou falando da luz do Sol, mas poderia estar falando da luz em geral: o vácuo é “gentil” com a luz. Ele não impede a propagação de qualquer frequência da luz. E sabemos disso porque a luz que nos chega do Sol é branca. Ela não é azulada - o que indicaria a absorção de baixas frequências. Ela não é avermelhada - o que indicaria a absorção de altas frequências<sup>1</sup>.

Somente quando a luz chega a nossa atmosfera é que ela sofre um processo chamado de *dispersão Rayleigh*. Há elementos em nosso ar (N e O<sub>2</sub>) que dispersam melhor a luz de mais alta frequência do Sol (tons azulados) e tornam o céu azul - mas por enquanto vamos fingir que nunca percebemos isso. O que nos interessa é a refração - ou seja - um possível atraso da velocidade da luz em relação à velocidade que ela tem no vácuo. Felizmente para a vida da Terra, a diminuição da velocidade da luz na nossa atmosfera é muitíssimo pequena - podemos quase considerar que ela não existe. A luz que chega do espaço vinda do Sol *quase* não sofre “freada” na atmosfera terrestre, ela só diminui razoavelmente a velocidade quando alcança a superfície de um lago, por exemplo. A diferença de velocidade vai depender da temperatura do lago, da composição da água e até das cargas elétricas no meio. Por favor lembre: a velocidade da luz só é máxima no vácuo. Se a luz estiver, por outro lado, viajando dentro de um diamante a sua velocidade será algo em torno de 124 mil Km por segundo. Isso é cerca de 0,4 vezes a velocidade da luz no vácuo – uma sensível diferença.

---

<sup>1</sup> Na verdade, a gravidade intensa pode causar desvios e deformações da luz. Mas isso fica para a relatividade discutir.

Agora chegamos ao assunto da **refração**:

*"Refração é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz passa de um meio para outro meio com diferentes velocidades. Ela ocorre quando a luz ultrapassa a interface desses meios".*

A velocidade da luz em um meio é calculada multiplicando-se a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) pelo inverso do índice da refração desse meio. É uma maneira meio besta, digamos assim, de dizer que :

$$v = c / r$$

onde:

$v$ : é a velocidade da luz no meio;

$c$ : é a velocidade da luz no vácuo;

$r$ : é o índice de refração no meio.

No caso do diamante que descrevi há pouco, o índice de refração é aproximadamente 2,42. Então a velocidade da luz no diamante é igual a:

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

ou

$$\frac{299.792.458 \text{ m/s}}{2,42}$$

... ou quase 124.000 Km por segundo<sup>2</sup>.

---

2 O estudante esperto só precisará dividir 299 mil por dois...

## PARANDO A LUZ ?

Quando eu pensava neste nesse assunto, uma pergunta veio naturalmente: - É possível que certos materiais transparentes consigam diminuir a velocidade da luz a 10% do seu valor no vácuo? A resposta é sim ! Esses materiais não existem na natureza mas podem ser fabricados - e são chamados de materiais de índice de refração negativo ou meta materiais. Eles poderiam ser usados em aplicações da optoeletrônica, em redes de computadores - quem sabe como memórias temporárias de roteadores ópticos de alta velocidade !

Como esse conhecimento ajuda no ENEM ? Veja o exercício abaixo:

### Exercício 1:

Um raio de luz solar incide sobre um lago. Calcule a velocidade da luz na água sabendo que<sup>3</sup>:

- a) O índice de refração da luz no ar é 1,0003;
- b) O índice de refração da luz no lago é 1,33.

---

3 Coloquei as informações inúteis em vermelho. Você só precisa decorar a velocidade da luz !

**Solução 1:**

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

Da informação (a) vamos considerar o índice de refração da luz no ar igual a 1, porque não faz muita diferença.

$c$  pode ser considerada 300.000 km/s, aproximadamente.

$$r_{\text{água}} = 1,33$$

então:

$$v = \frac{300.000 \text{ Km/s}}{1,33}$$

$$= 225.563,90977443609022556390977444 \text{ Km/s}$$

$$v = 225.000 \text{ Km/s, aproximadamente !}$$

## LEI DE SNELL<sup>4</sup>

Esta lei não é simplesmente uma fórmula do estudo da refração. Ela diz o seguinte:

*"O ângulo de incidência da luz e o ângulo de refração estão relacionados pelos índices de refração dos meios envolvidos."*

Matematicamente falando:

$$n_1 \cdot \text{seno}(\Theta_1) = n_2 \cdot \text{seno}(\Theta_2)$$

onde :

$n_1$  é o índice de refração do meio inicial;

$n_2$  é o índice de refração do meio-final;

$\Theta_1$  é o ângulo de incidência em relação ao normal;

$\Theta_2$  é o ângulo de refração em relação ao normal.

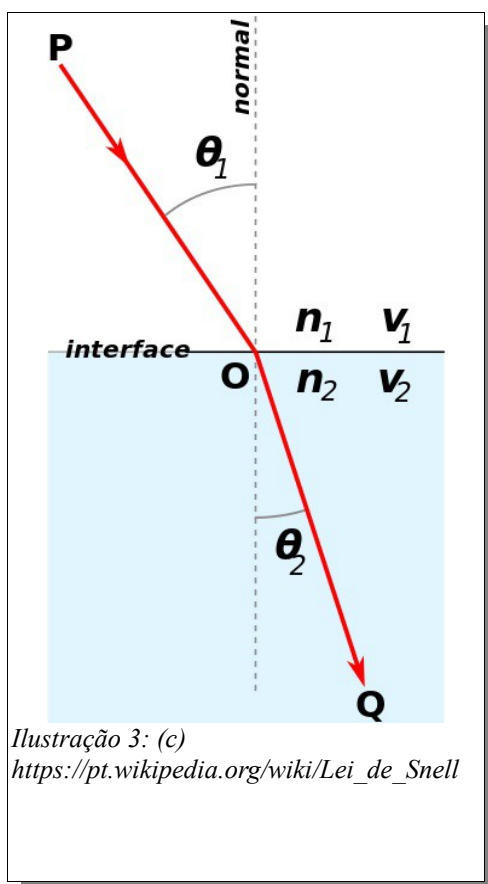
Novamente vamos ver um exercício (qualitativo) que pode cair no Enem:

---

4 Físico holandês.

**Exercício 2:**

Um raio de luz atravessa a atmosfera e incide sobre uma superfície líquida, segundo a ilustração abaixo:



Considere que  $n_1$  e  $n_2$  representam os índices de refração.  $\theta_1$  e  $\theta_2$  representam os ângulos do raio em relação à linha normal.  $v_1$  e  $v_2$  são as velocidades da luz em relação aos respectivos meios. Assinale a alternativa correta:

- a) Se a linha POQ fosse uma única reta, provavelmente  $v_1$  seria maior que  $v_2$ .
- b) Se  $\theta_2$  fosse sempre  $90^\circ$ , o meio 2 seria opaco.
- c) Se  $\theta_2$  fosse  $\theta_1 + 90^\circ$  o meio 2 não seria reflexivo de modo algum.
- d)  $\theta_2$  é o ângulo de incidência em relação à normal.
- e)  $\theta_1$  é o ângulo de refração em relação à normal.



**REFERÊNCIAS:**

1. Lei de Snell. Disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Snell](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Snell)>.
2. Willebrord Snel van Royen. Disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Willebrord\\_Snel\\_van\\_Royen](https://pt.wikipedia.org/wiki/Willebrord_Snel_van_Royen)>.
3. 5 aplicações de metamateriais iguais às capas de invisibilidade. Techmundo.com.br . Disponível em <[https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/45262-5-aplicacoes-de-metamateriais-iguais-as-capas-de-invisibilidade.htm#google\\_vignette](https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/45262-5-aplicacoes-de-metamateriais-iguais-as-capas-de-invisibilidade.htm#google_vignette)>.