



Programa de Ensino de Física – IF – UFRJ

18/09/12

Refração e a garrafa de coca-cola

Eric B. Lopes

Orientador: Carlos Eduardo Aguiar



لانه ان ماتته عليها سطح مستوي غيره فلان هذا السطح يقطع
قطعة ب فلان بد من ان يقطع احد خطي ب ن بص فليكن
ب ن والفصل المشترك بين هذا السطح وبين سطح قطع ق ر
بلان هذا السطح يات من بسيط ب على نقطة ب ن فخط
ب ن يقطع ق ر على نقطة ب ن ونلك خط ب ن يقطع
فلان يات من بسيط ب ن على نقطة ب ن

Resumo

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções sobre propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n
O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Resumo

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n
O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Óptica geométrica e ensino de física

“[...] uma boa teoria não é uma teoria definitivamente irrefutável e absolutamente verdadeira: é uma teoria coerente e que possui certa eficácia nas condições vigentes.”

Pierre Thuillier

“[...] não é fundamental para a compreensão dos fenômenos ondulatórios.”

Currículo mínimo SEEDUC-RJ (2012)

Óptica geométrica e ensino de física

- Modelo físico para a luz
 - Conceito básico: **raio de luz**
 - Leis básicas: **reflexão e refração**
- A forma mais simples de representar e analisar o comportamento da luz (dentro de certos limites)
- Inúmeras aplicações práticas e fenômenos do cotidiano

Óptica geométrica e ensino de física

Deveria ser fácil ensinar...

→ Geometria básica

→ Fenômenos são “vistos”

Óptica geométrica e ensino de física

Mas não é...

- Ideias pré-existentes e crenças baseadas no dia-a-dia geram concepções equivocadas.
- Problemas na compreensão da noção de “raio de luz” e sua representação gráfica (diagramas)
- Pouca importância dada no ensino ao papel do observador e do campo visual (relação entre os diagramas de raios e o que é visto)

Resumo

A glass of water with a red straw. The straw is bent at the water surface, demonstrating the refraction of light. The part of the straw in the air is straight, while the part in the water is bent towards the normal.

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções sobre propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n

O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Resumo

A clear glass filled with water, with a red straw inserted diagonally. The straw appears bent at the water surface due to refraction. The background is white.

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz

Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola

Medidas de n

O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Concepções em óptica geométrica

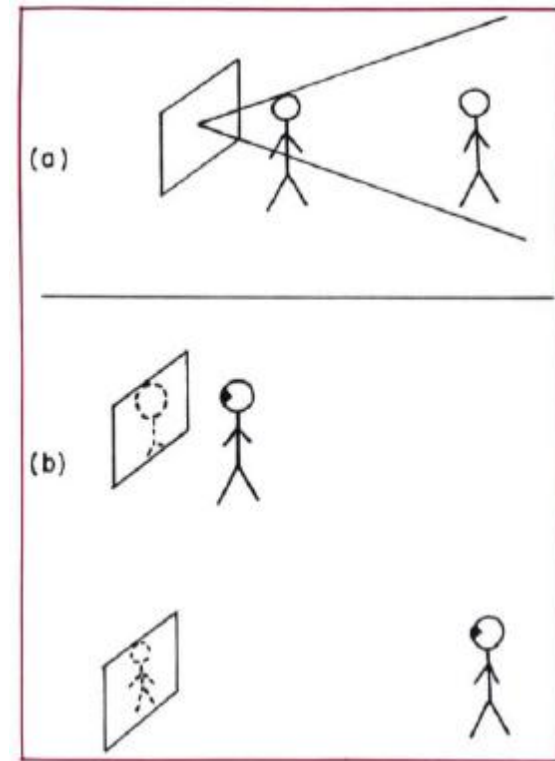
Arons (1997)

- Concepções equivocadas persistentes
- Instrução convencional concentrada nos aspectos quantitativos
- Estudantes não aprendem a interpretar observações qualitativas e fenômenos

Concepções em óptica geométrica

Goldberg & McDermott (1986)

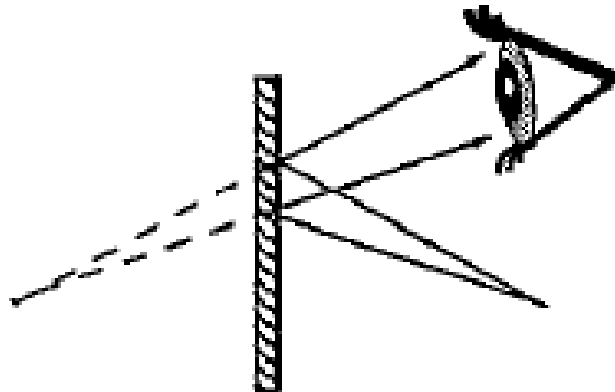
Estudantes pós-instrução não reconhecem o diagrama de raios como uma representação dos princípios da óptica geométrica



Concepções em óptica geométrica

Ronen & Eylon (1993), p.52:

“ [...] a habilidade de aplicar os conceitos e princípios a uma situação real depende do entendimento da correspondência entre a representação formal simbólica e o evento real.”

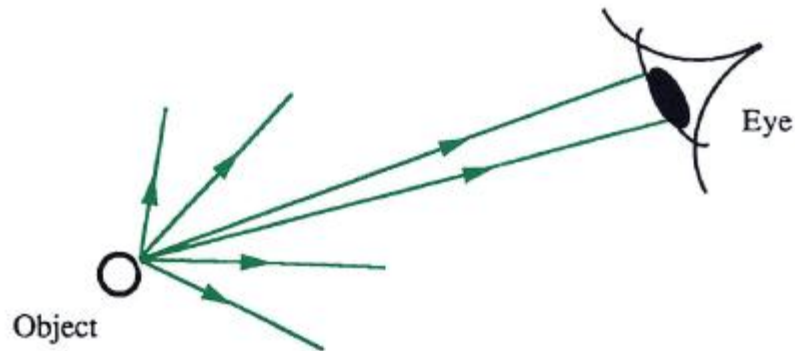


Concepções em óptica geométrica

Galili, Goldberg & Bendall (1991)

Galili & Hazan (2000)

Entender óptica geométrica requer entender como a luz reflete e refrata e *como um observador “vê” objetos e imagens.*



Concepções em óptica geométrica

Keawkhong et al (2010)

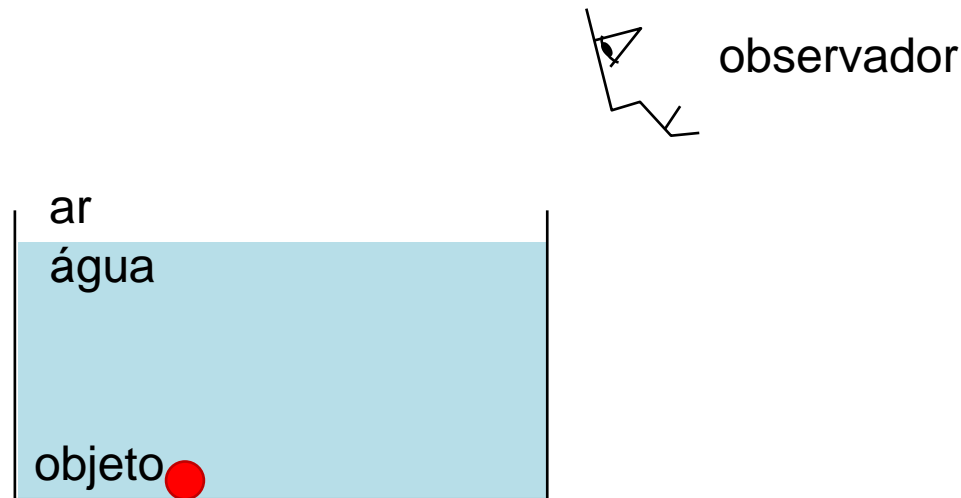
Estudo das concepções sobre refração da luz numa superfície plana.

- 199 estudantes (109 escola A e 90 escola B)
- Todos cursaram óptica introdutória
- Professores “tradicionais”
- Aulas sem experimentos
- Questionário

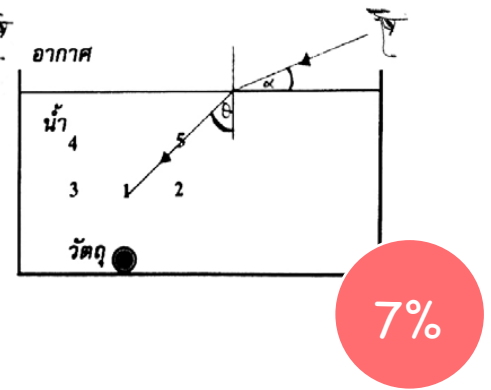
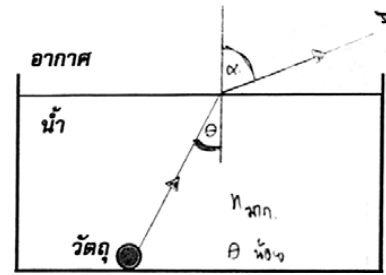
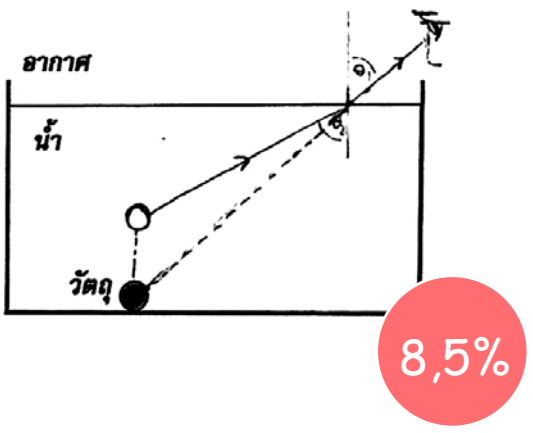
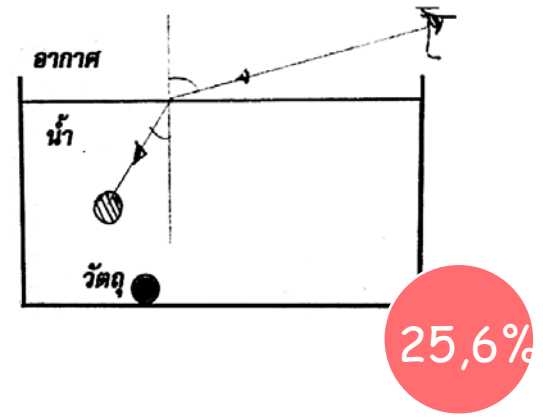
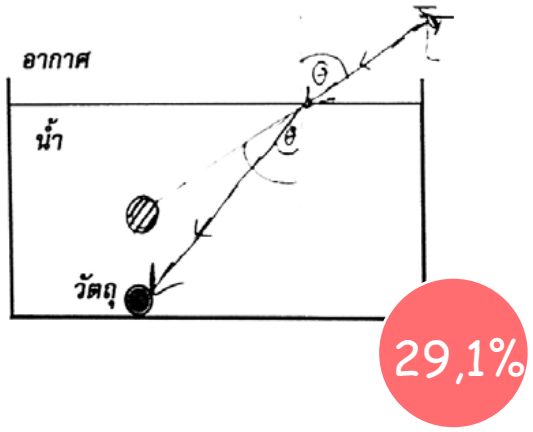
Concepções em óptica geométrica

Questão 1: (trad. livre)

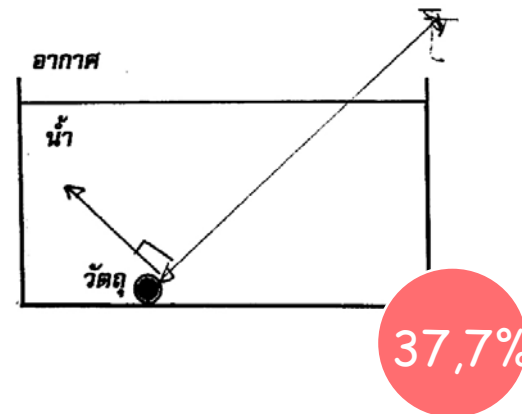
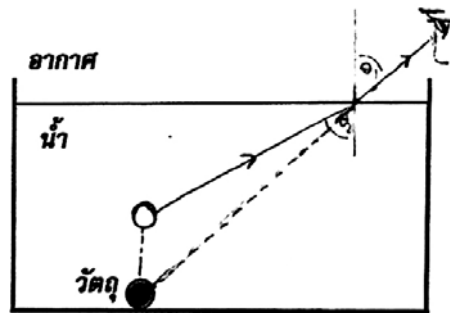
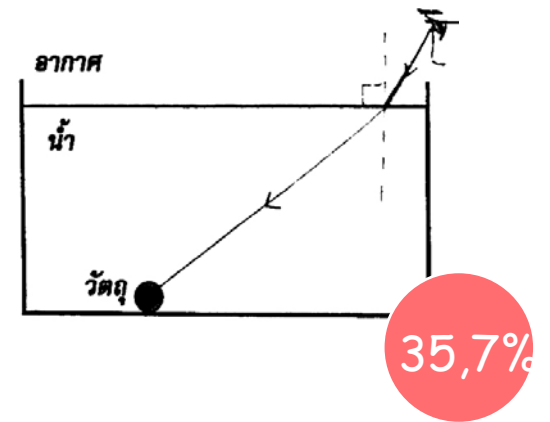
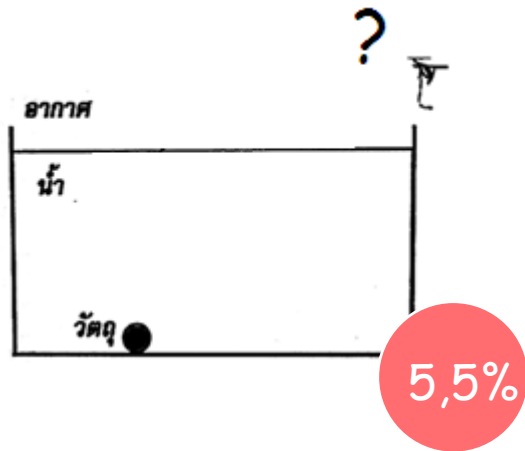
Desenhe um diagrama de raios para representar a propagação da luz que permite que um observador possa ver um objeto no fundo de um tanque com água. Explique as ideias que você usou para desenhar seu diagrama.



Concepções sobre propagação da luz



Concepções sobre refração



Resumo

A glass of water with a red straw. The straw is bent at the water surface, illustrating the concept of refraction. The text is overlaid on the image.

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz

Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola

Medidas de n

O peixe que “sumiu” no aquário

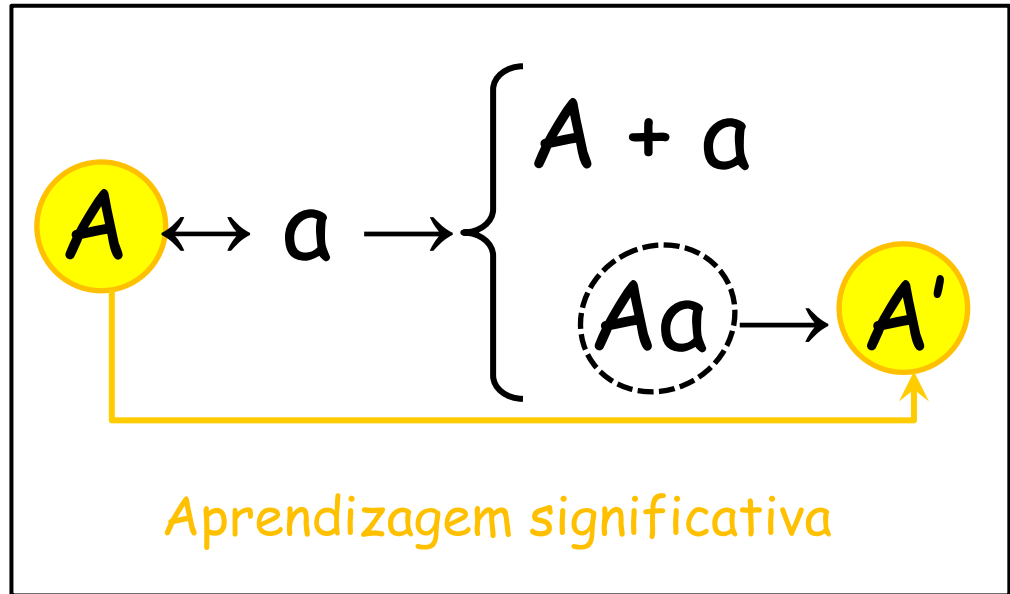
Comentários finais

Aspectos didáticos relevantes

A – conhecimento do estudante (prévio)

a – novo conhecimento

A' – conhecimento do estudante modificado



Condições para
aprendizagem
significativa

- Material potencialmente significativo
- Interesse (disposição afetiva e cognitiva) dos estudantes

Resumo

A glass of water with a red straw. The straw is bent at the water surface, illustrating the refraction of light. The text is overlaid on the glass.

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n
O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Resumo

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola

Medidas de n

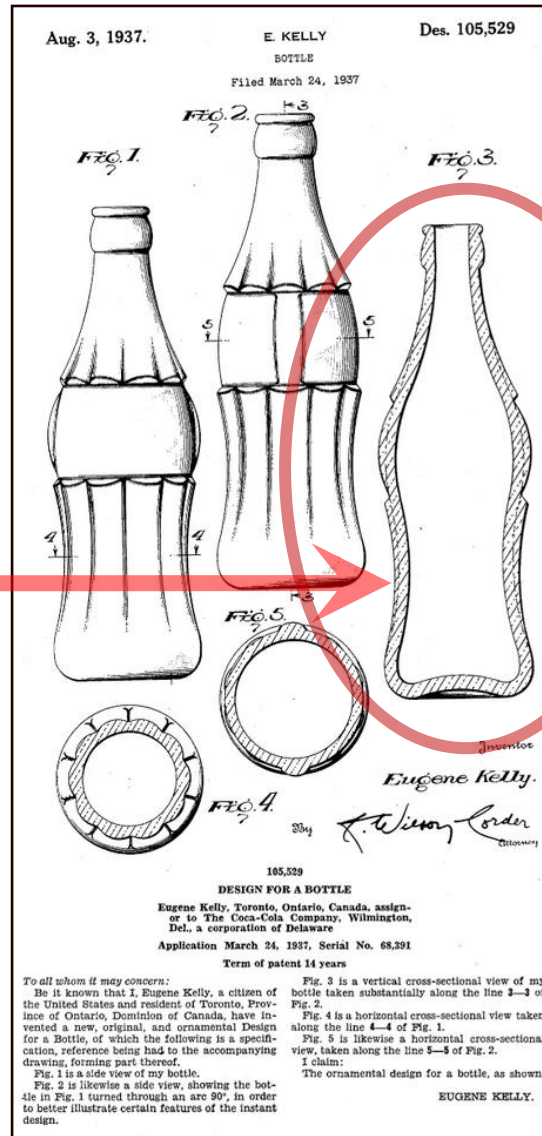
O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Refração e a garrafa de coca-cola!



Cadê o vidro da garrafa?



Patente da garrafa de coca-cola, 1937

Refração e a garrafa de coca-cola!



Como explicar o desaparecimento da parede da garrafa?

Esse efeito acontece qualquer que seja a espessura do vidro?

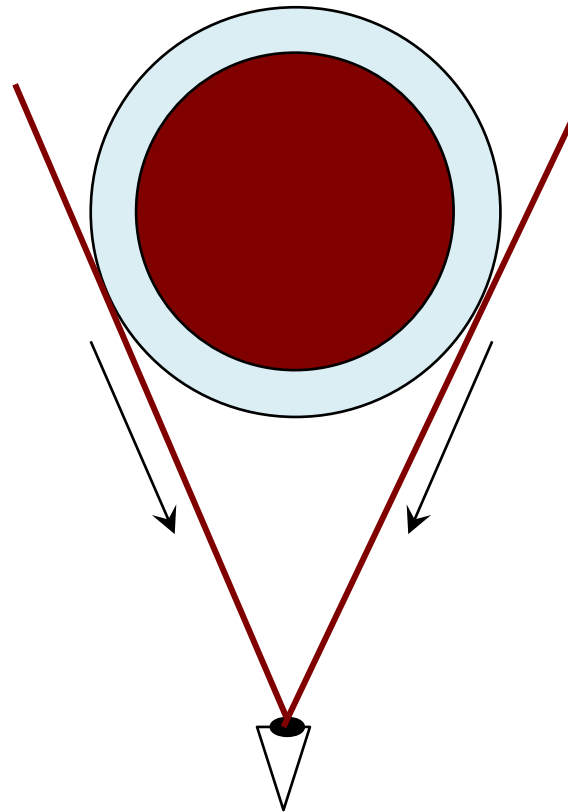
Há um jeito de fazer a parede aparecer?

Cadê o vidro da garrafa?

Refração e a garrafa de coca-cola!

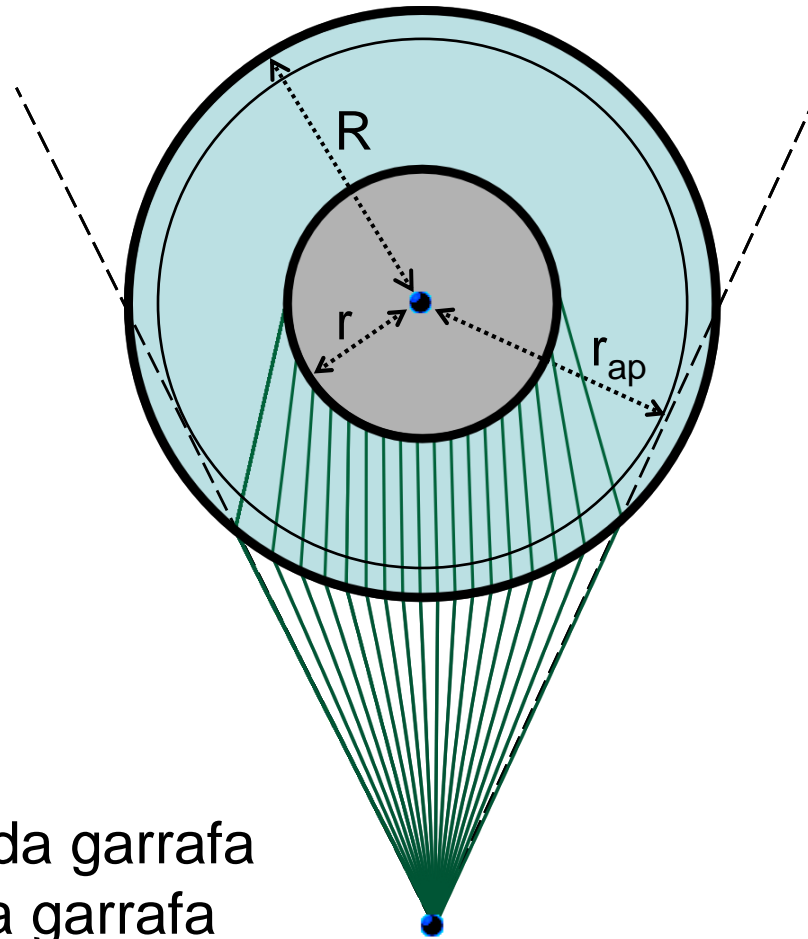


Cadê o vidro da garrafa?



O que o observador vê

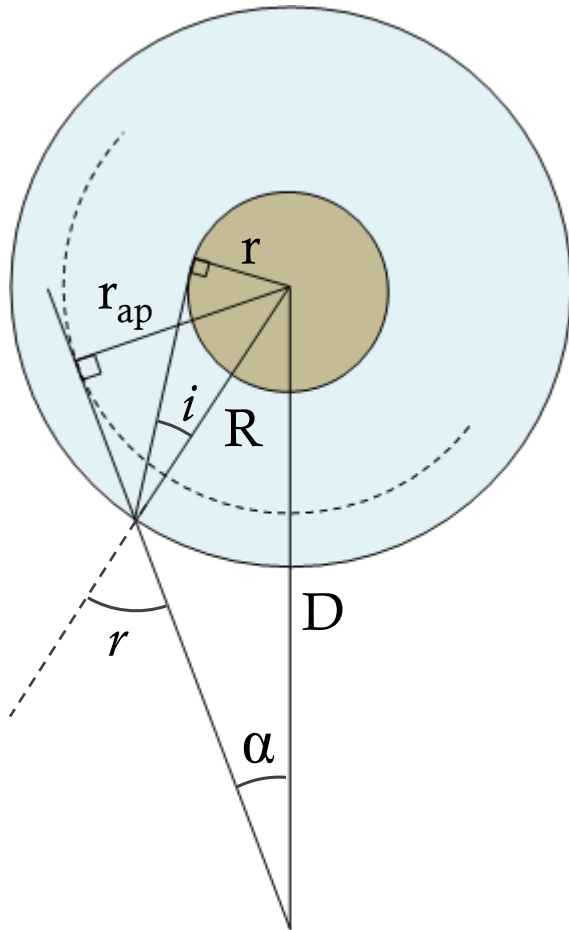
Analizando o problema



R – raio externo da garrafa

r – raio interno da garrafa

Aumento aparente



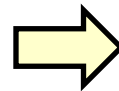
$$r_{\text{ap}} = D \text{ sen}(\alpha)$$

$$r = R \text{ sen}(i)$$

$$\text{Fator de ampliação: } \frac{r_{\text{ap}}}{r} = \frac{D \text{ sen}(\alpha)}{R \text{ sen}(i)}$$

$$\text{Lei de Snell: } \text{sen}(r) = n \text{ sen}(i)$$

$$\text{Lei dos senos: } \frac{\text{sen}(\alpha)}{R} = \frac{\text{sen}(r)}{D}$$



$$\frac{r_{\text{ap}}}{r} = n$$

O efeito coca-cola

$$r_{ap} = n r$$

Se $n r \geq R$ a garrafa desaparece!

Raio crítico: $r_c = R/n$

Se $r \geq r_c$ a garrafa desaparece!

Como fazer a garrafa aparecer?



$$r_c = R/n$$

1,5

(vidro - ar)

1,1

(vidro - água)

Resumo

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola

Medidas de n

O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Medidas de n

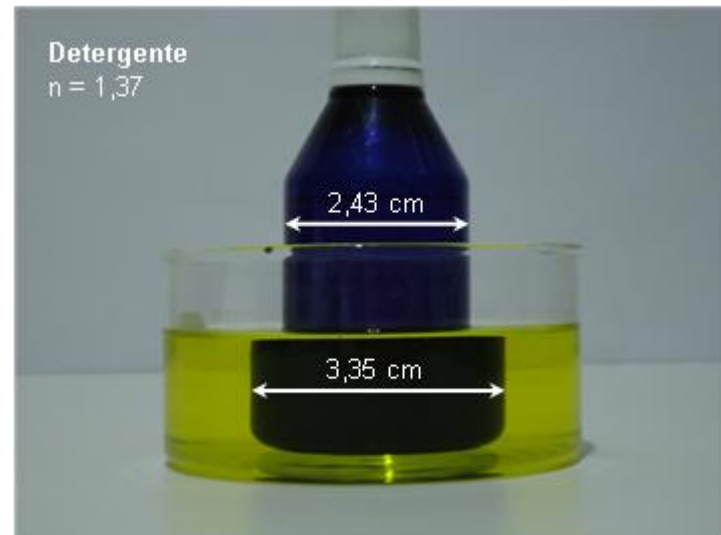
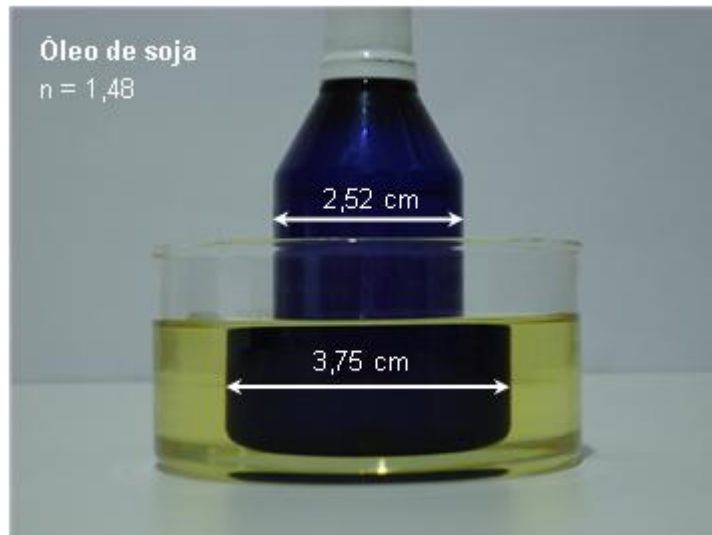
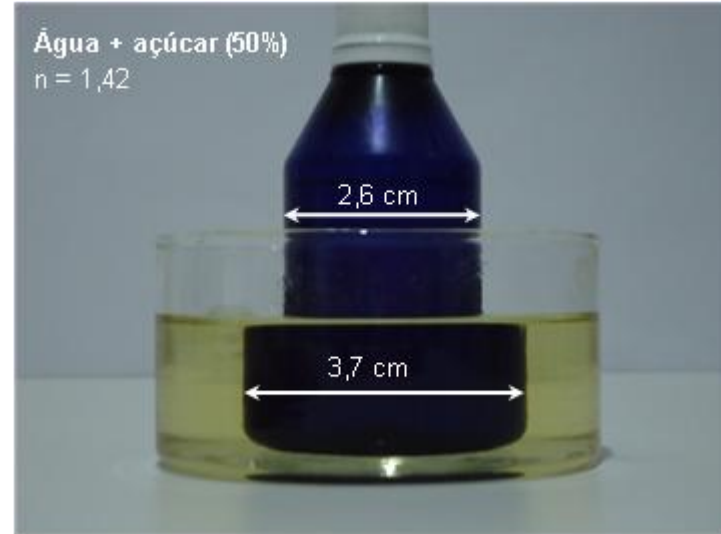
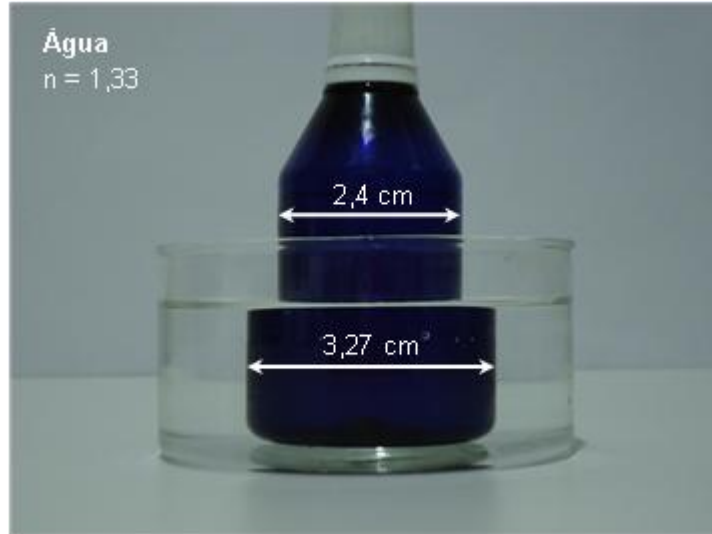
- O índice de refração é uma importante propriedade óptica dos materiais e é basicamente a única estudada no ensino médio
- Os métodos de medida do índice de refração normalmente são trabalhosos e requerem equipamentos especiais.
- Descobrimos um método para medir o índice de refração de líquidos baseado na observação de que objetos imersos num líquido parecem maiores.

Medidas de n

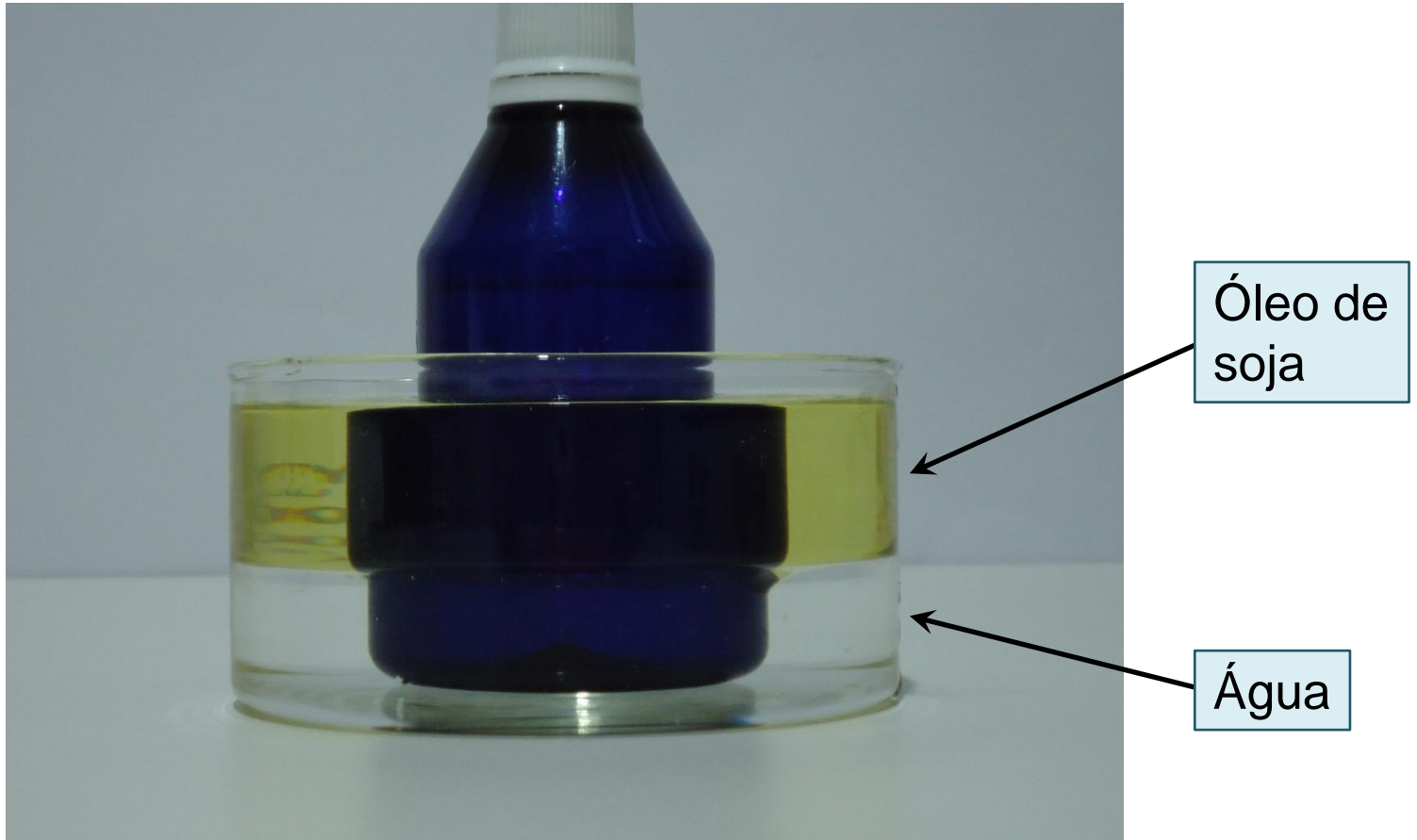


$$\frac{r_{ap}}{r} = n$$

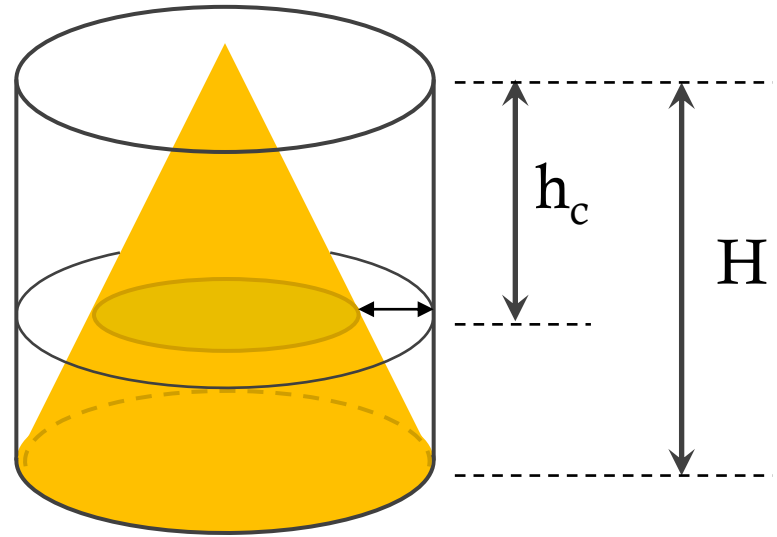
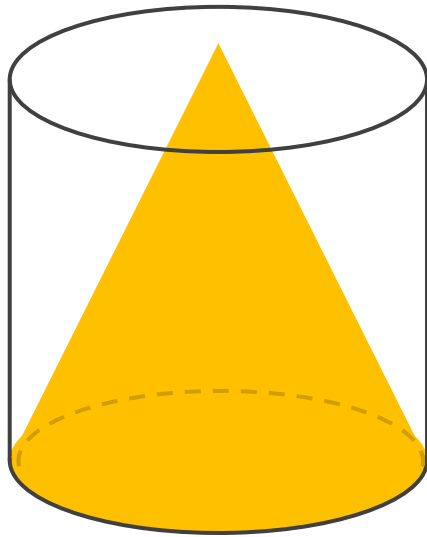
Medidas de n



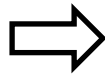
Medidas de n



Medidas de n (*outro método*)

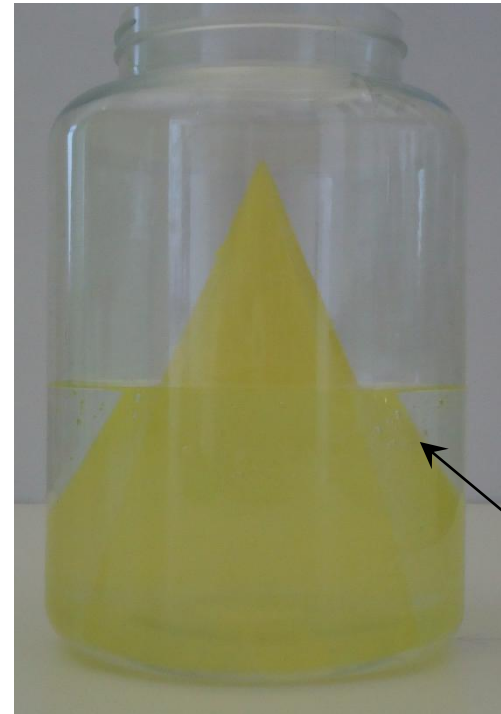


$$\frac{R}{r_c} = \frac{H}{h_c}$$



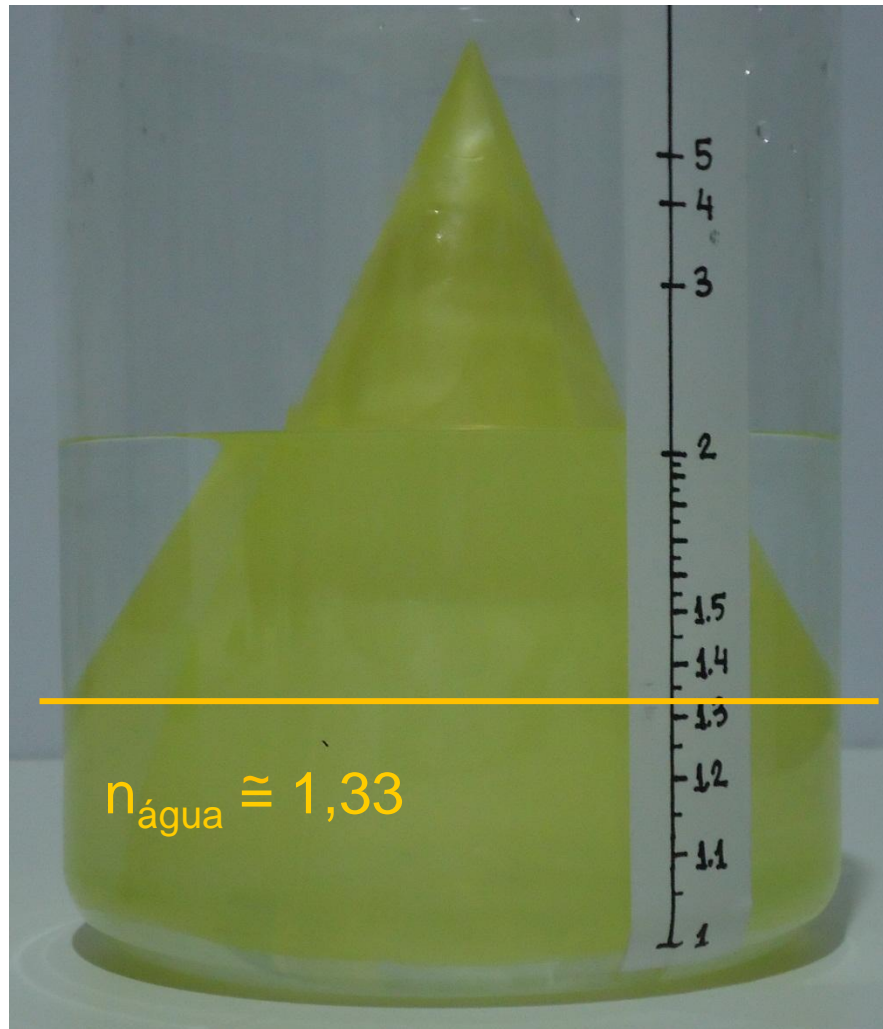
$$n = \frac{H}{h_c}$$

Medidas de n (*outro método*)



Água

Medidas de n (*outro método*)



Resumo

A glass of water with a red straw. The straw is bent at the water surface, illustrating the refraction of light. The text is overlaid on the glass.

Óptica geométrica e ensino de Física

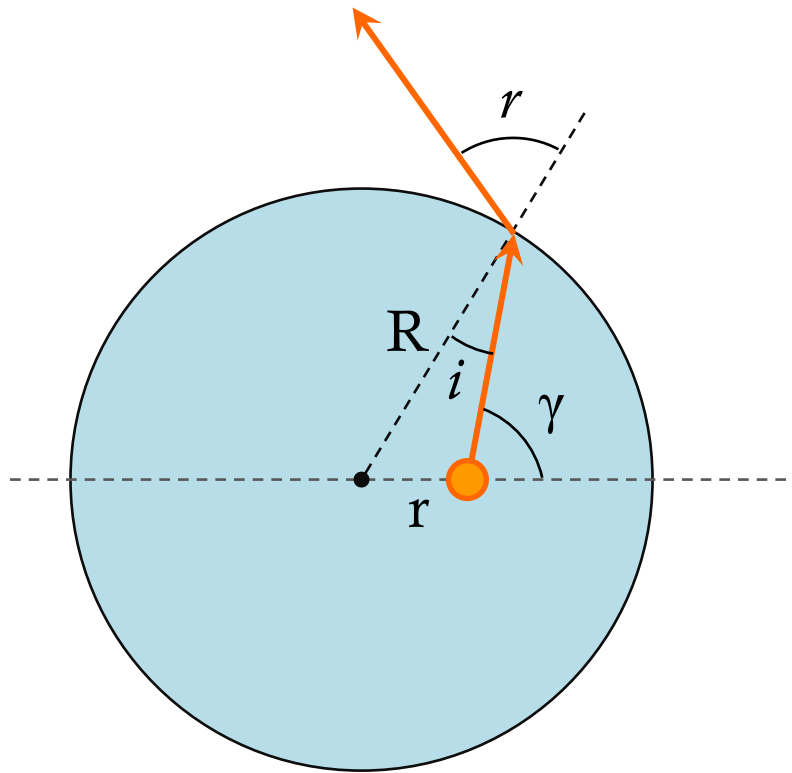
Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n

O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

O peixe que “sumiu” no aquário



Lei de Snell:

$$\text{sen}(r) = n \text{sen}(i)$$

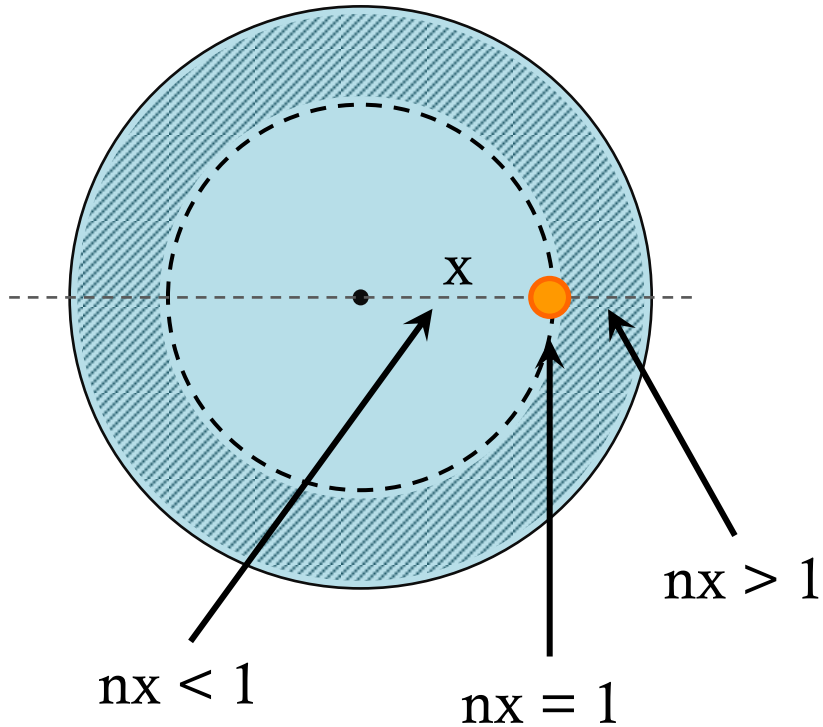
Lei dos senos:

$$\frac{\text{sen}(i)}{r} = \frac{\text{sen}(\gamma)}{R}$$

$$\text{sen}(r) = nx \text{sen}(\gamma), \text{ onde } x = r/R$$

$$nx \text{sen}(\gamma) \leq 1$$

O efeito coca-cola!



Água: $r_c = 3R/4$

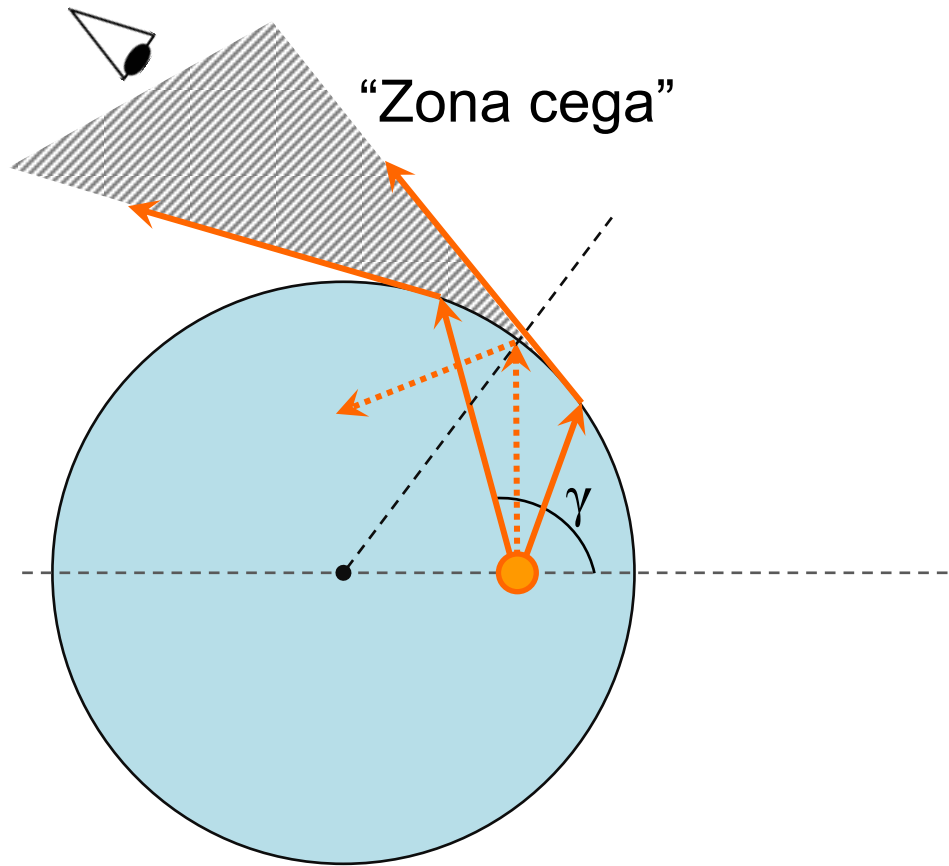
$$n_x \sin(\gamma) \leq 1$$

Intervalo da “zona cega”:

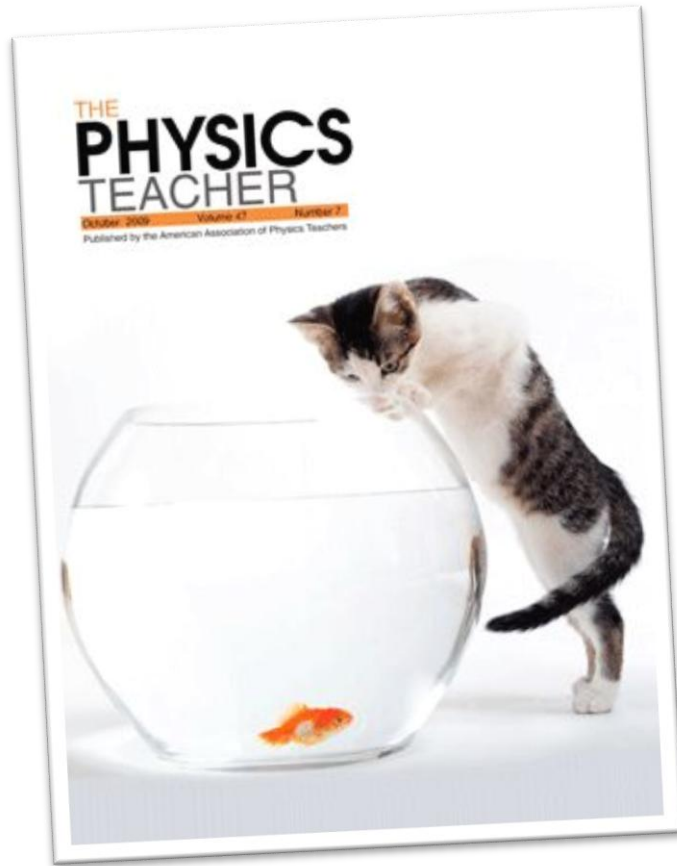
$$\frac{\pi}{2} - \delta < \gamma < \frac{\pi}{2} + \delta$$

$$\delta = \arccos\left(\frac{1}{n_x}\right)$$

A “Zona cega”



Indo um pouco mais longe...

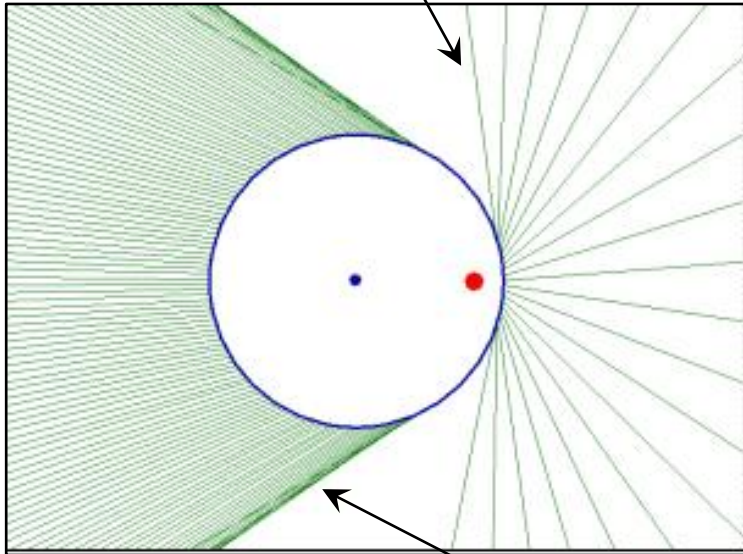


Zhu & Shi (2009) atribuem o Desaparecimento do peixe à reflexão interna total da luz.

Em trabalho recente mostramos que a “zona cega” é limitada de um lado pela reflexão interna total e de outro por um arco-íris

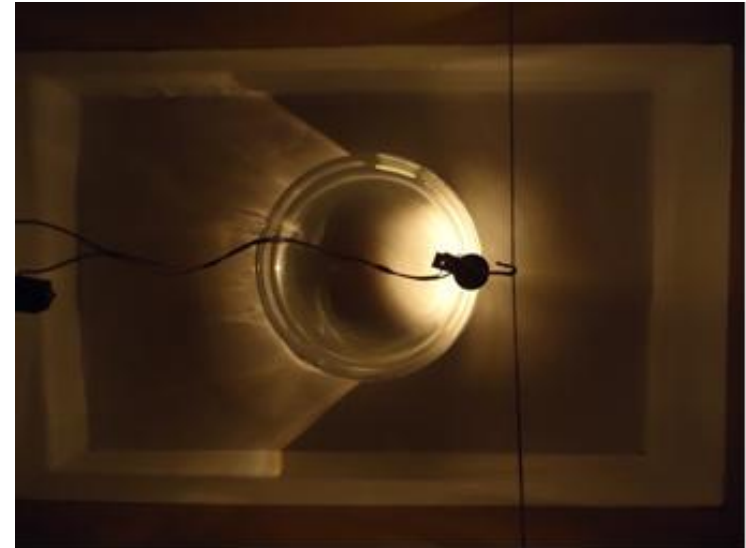
Um arco-íris no aquário

Reflexão interna total

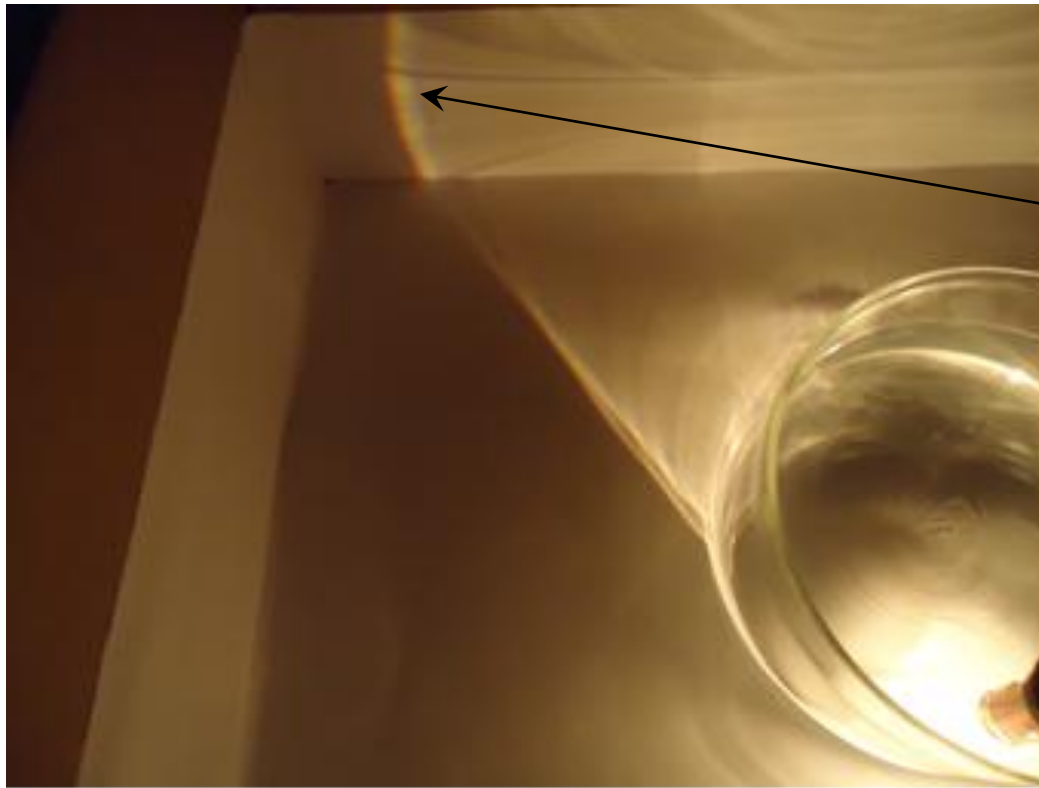


Simulação em Geometria Dinâmica (Tabulæ)

Arco-íris



Um arco-íris no aquário



Arco-íris

Resumo

A glass of water with a red straw. The straw is bent at the water surface, illustrating the refraction of light. The text is overlaid on the image.

Óptica geométrica e ensino de Física

Concepções em propagação e refração da luz
Aspectos didáticos relevantes

Refração e o mistério da garrafa de coca-cola
Medidas de n
O peixe que “sumiu” no aquário

Comentários finais

Comentários finais

- Problema interessante, encontrado no cotidiano (em cima da mesa).
- Vários desdobramentos:
 - Métodos muito simples de medir o índice de refração
 - Peixe no aquário
- Atividades futuras:
 - Desenvolvimento de material didático baseado no efeito coca-cola e seus desdobramentos
 - Aplicação e avaliação desse material

Mais informações

- *The goldfish over the rainbow.* Carlos E. Aguiar, Eric B. Lopes, Antonio Carlos F. Santos, Walter S. Santos. Submetido a The Physics Teacher, 2012.
- *Um método simples para medir o índice de refração de líquidos.* Eric B. Lopes, Carlos E. Aguiar. Submetido ao XX SNEF, 2013.
- *O peixe que sumiu no aquário.* Eric B. Lopes, Carlos E. Aguiar, Antonio Carlos F. Santos, Walter S. Santos. Submetido ao XX SNEF, 2013.