

Aula 3

ÓPTICA GEOMÉTRICA OU ÓPTICA DE RAIOS

META

- Fazer com que o estudante pense no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;
- Fazer com que os alunos percebam, através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples, e que física é uma ciência aplicada e que pode ser aprendida através da observação de vários dispositivos do nosso cotidiano;
 - Fazer com que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano;
 - Mostrar que existem muitas animações virtuais sobre o tema, e que ensinar e aprender física podem ser uma atividade divertida e interessante.

OBJETIVOS

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
- estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;
- Que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;
- Que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática;
- Devem ter compreendido que a óptica geométrica é um ramo fundamental da física com aplicações tecnológicas e de ciência básica (Astronomia, por exemplo);
 - Que se ensinar através de exemplos reais (experimentais) pode ser muito mais interessante, assimilativo e divertido;
 - Estes devem estar cientes que é possível explorar vários recursos de multimídias e de experimentos de baixo custo em sala de aula.

PRÉ-REQUISITOS

Os alunos deveram ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C..

Vera Lucia Martins de Mello

INTRODUÇÃO

O tópico “Óptica Geométrica” não é abordado no curso de física da UFS, mas é parte integrante do currículo do ensino médio e matéria preferida nos vestibulares. Assim, se faz necessário que o abordemos em detalhes no nosso curso de Instrumentação IV. Além do mais, esse tópico é muito rico em exemplos de fácil execução e muito abordado em sites de ensino. Devido a óptica geométrica ser baseada em geometria, temos uma gama muito grande de simulações envolvendo este tema.

Como o objetivo central das disciplinas de Instrumentação é o de desenvolver todo tipo de material didático e paradidático para o ensino de física, vamos aproveitar o máximo os recursos disponíveis para o tema “Óptica Geométrica” dividindo este assunto em duas partes. Neste, vamos abordar as questões básicas começando com ótica de raios, indo até espelhos planos. Deixaremos o tema “espelhos curvos e lentes” para a próxima aula.

Desenvolvimento

O texto que segue foi inteiramente baseado no material preparado para o e-física [10], sobre notas do Professor Gil da Costa Marques.

LUZ

Os fenômenos associados com a luz estão entre aqueles com os quais o ser humano tem uma relação mais íntima e constante ao longo da sua existência. A luz está presente em todas as atividades do dia a dia do homem. Muitos são os fenômenos associados às propriedades da luz. Alguns, como a formação de sombras e de penumbras é corriqueira. Comuns são também os fenômenos da reflexão e da refração da luz. Por exemplo, a nossa imagem em um espelho é o produto da reflexão da luz. Abaixo, vemos os raios da Lua refletidos nas águas do mar. Como veremos, a Lua é uma fonte secundária de luz. Ela reflete a luz proveniente do Sol. Também vemos como a imagem de uma caneta é distorcida pela água de um copo (refração da luz).



Figura 1 - <http://efisica.if.usp.br/optica/basico/luz/demonstracao>



Figura 2 - <http://efisica.if.usp.br/optica/basico/luz/cotidiano/>

Fenômenos envolvendo a luz podem ser menos comuns e, às vezes, requer aparatos especiais para serem observados. Dentre esses podemos citar a interferência e a difração da luz. Outros fenômenos são bem mais sutis de serem observados e interpretados, como o efeito fotoelétrico ou o espalhamento Raman.

A área da óptica é um campo de estudos fascinante. De maneira simplificada, podemos dizer que ela é o ramo da Física que estuda a propagação da luz e sua interação com a matéria.

Em muitas áreas da ciência e tecnologia, o entendimento de determinados conceitos pode ser difícil porque seus efeitos não são facilmente visualizados. Na óptica, entretanto, o simples uso de um laser permite a visualização de um dado efeito como função de vários parâmetros, facilitando o aprendizado. Isto se deve principalmente à coerência (mesma fase de onda), monocromaticidade (mesma frequência) e colimação da luz proveniente deste instrumento, que permite a observação de fenômenos tais como interferência e difração, nos quais a natureza ondulatória da luz se manifesta claramente. Entretanto, para se chegar ao desenvolvimento deste dispositivo, e de vários outros que são importantes no nosso cotidiano, um longo caminho foi percorrido e este percurso gerou um histórico bastante rico. Alguns aspectos que merecem destaque estão ligados às ideias sobre a natureza da luz e aos caminhos paralelos que a óptica e o eletromagnetismo trilharam durante séculos. Para se entender um pouco mais sobre estes fatos, pode-se verificar no e-livro *óptica básica* [1], uma breve revisão histórica do desenvolvimento dos conceitos principais ligados à óptica.

A óptica é a área da Física que estuda a Luz: sua natureza, suas propriedades e suas aplicações. A óptica se propõe também a estudar a interação da luz com a matéria.

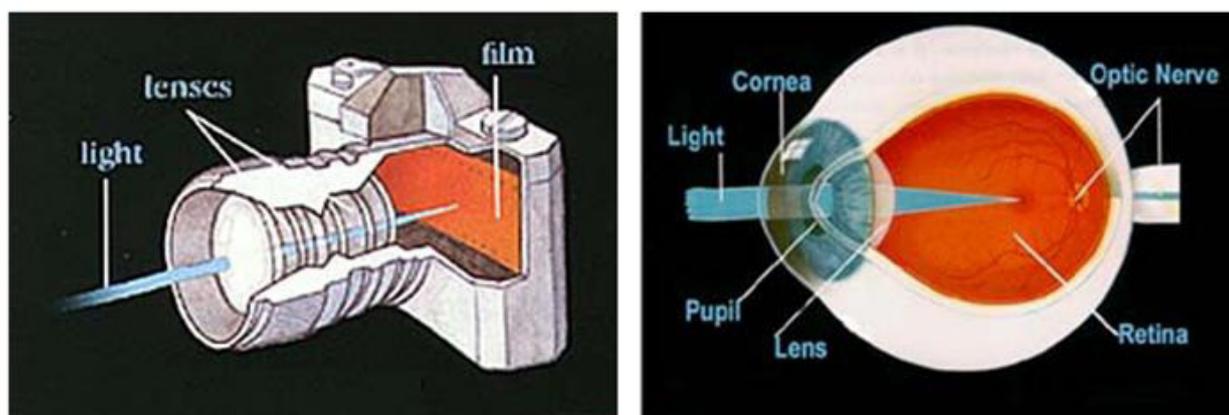


Figura 3 – Disponível em: http://www.pasadenaeye.com/faq/faq15/faq15_text.html.

ATIVIDADES

- Q1 – Cite três instrumentos ópticos.
- Q2 – O que é uma lente antirreflexo?
- Q3 – O que são as artes visuais?

Óptica Geométrica ou Óptica de Raios

Ao tratarmos o tópico “Óptica de Raios”, também conhecida como “Óptica Geométrica”, não levamos em consideração o caráter ondulatório da luz, nem sua polarização. Nestas condições, efeitos tais como difração e interferência não se evidenciam.

Do ponto de vista da óptica entende-se como meio homogêneo aquele no qual, o índice de refração não depende da posição, sendo, portanto, constante. Note que, o meio pode ser simultaneamente homogêneo e anisotrópico, caso comum em cristais, para os quais o índice de refração tem valores diferenciados para distintas direções de propagação da luz. Já no meio não homogêneo, o índice de refração é dependente da posição, em geral, devido às flutuações de densidade, temperatura, ou composição química do material.

PROPAGAÇÃO DA LUZ EM MEIOS HOMOGÊNEOS

Os trabalhos realizados até a primeira metade do século XVII estabeleceram que quando um raio de luz se propaga, obedece aos seguintes princípios:

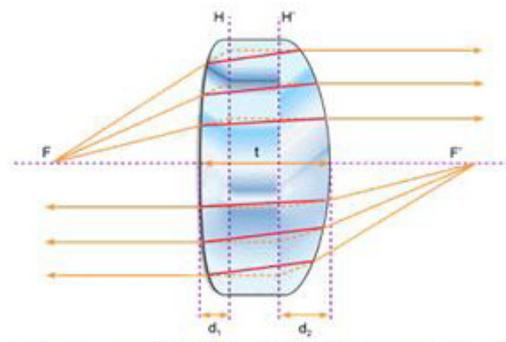


Figura 4 - Propagação Retilínea da Luz. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/optica/basico/geometrica/principios/>

a) nos meios homogêneos a propagação é retilínea, como mostra a figura acima.

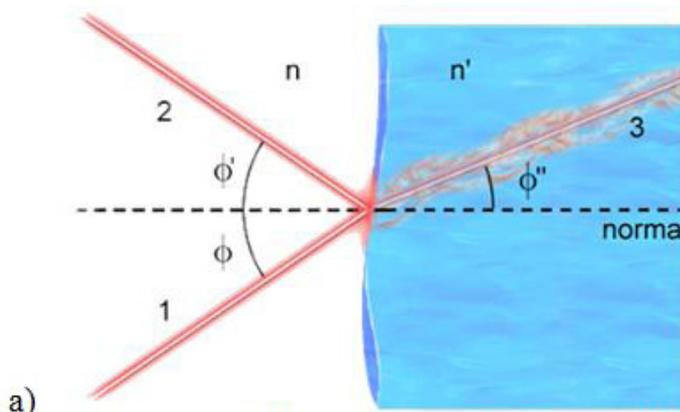


Figura 5 - Reflexão e refração de um raio luminoso numa interface dielétrica. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/raios/propagacao>.

b) quando um raio (raio 1) atinge a interface que separa dois meios distintos temos uma fração refletida (raio 2) e outra refratada (raio 3), conforme mostra a figura 5.

Como discutido por Huygens, cada meio é caracterizado por um parâmetro chamado índice de refração, n , que determina a velocidade com que o raio se propaga naquele meio. A direção seguida pelos raios 2 e 3 não é arbitrária, eles obedecem as seguintes regras:

os raios 1, 2 e 3 estão todos num mesmo plano, o qual é chamado de plano de incidência;

o ângulo de incidência é igual ao da reflexão: $\phi = \phi'$;

$n \sin \phi = n' \sin \phi''$ (lei de Snell).

Estas leis são muito importantes para o traçado dos raios ópticos na presença de interfaces dielétricas. Note que pela expressão, quando um raio penetra num meio de índice de refração maior ($n' > n$) ele se aproxima da normal.

Questões:

Q4 – Tome uma caneta laser, um espelho e um transferidor e verifique as regras i e ii acima.

Q5 – Pegue um copo

$$\phi = \arcsen\left(\frac{n'}{n} \text{sen } \phi'\right)$$

2. PRINCÍPIO DA INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS

Admitimos que os fótons não interajam entre si. Isto é, os fótons, ao se aproximarem ou ao se cruzarem não são influenciados por outros fótons. Os fótons são, portanto, independentes entre si. Segue daí que os raios luminosos são independentes.

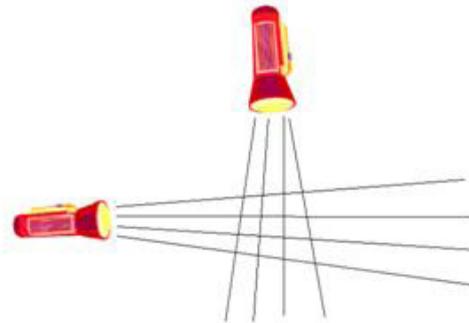


Figura 6 - Cruzamento de Raios de Luz

3. PRINCÍPIO DA REVERSIBILIDADE DA LUZ

Finalmente, salientamos que se a trajetória dos fótons (e, portanto, da luz) for percorrida num certo sentido, o sentido oposto é também possível. Por exemplo, se a luz seguir uma série de segmentos de reta ao longo dos segmentos AB, BC, CD da figura abaixo, então o percurso ao longo dos segmentos DC, CB e BA é igualmente possível.

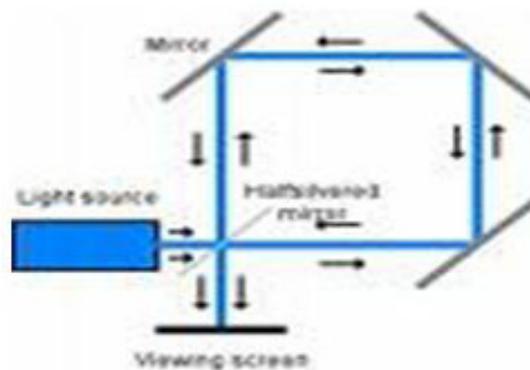


Figura 7 - Princípio da Reversibilidade. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/optica/basico/geometrica/principios>.

Isso quer dizer que se um raio de luz seguir uma trajetória num certo sentido e se esse raio for refletido passando por uma parte da trajetória, ele fará a trajetória inteira. Essa é base do princípio da reversibilidade da luz. Qualquer sentido de trajetória de um raio luminoso é possível.

Questões:

Q6 – Pegue duas lanternas e um espelho e confirme as leis 2 e 3 acima.

Q7 – Por que uma colher parece estar quebrada quando a olhamos através de um copo cheio de água?

Q8 – Pegue um conjunto de espelhos planos e verifique o princípio da reversibilidade da luz.

A REFLEXÃO E A REFRAÇÃO DA LUZ

A reflexão da luz é um dos fenômenos mais comuns envolvendo a propagação da luz. A reflexão ocorre quando a luz incide sobre a superfície de separação entre dois meios com propriedades distintas.

A reflexibilidade é a tendência dos raios de voltarem para o mesmo meio de onde vieram.

Quando a luz incide sobre uma superfície separando dois meios, podem ocorrer dois fenômenos distintos: reflexão da luz e refração da luz. Parte da luz volta e se propaga no mesmo meio no qual a luz incide (a reflexão da luz). A outra parte da luz passa de um meio para o outro propagando-se nesse segundo. A esse último fenômeno, no qual a luz passa de um meio para o outro, dá-se o nome de refração da luz.

Os dois fenômenos acima ocorrem concomitantemente, e pode haver predominância de um fenômeno sobre o outro. O fenômeno que predominará vai depender das condições da incidência e da natureza dos dois meios.

Se a superfície de separação entre os dois meios for plana (por exemplo, a superfície de um metal) e polida (uma superfície regular) então a um feixe incidente de raios luminosos paralelos corresponderá a um feixe refletido igualmente paralelo. A reflexão nesse caso será denominada de regular.

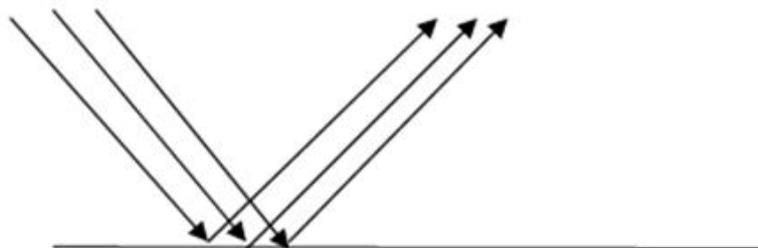


Figura 8 - Reflexão Regular

Se a superfície de separação apresentar rugosidades a reflexão será difusa. A luz será espalhada em todas as direções. Se considerarmos um feixe de raios luminosos incidentes paralelos, os raios refletidos irão tomar as mais diversas direções. A grande maioria dos objetos reflete a luz de uma maneira difusa. Isso nos permite vê-lo de qualquer posição que nos situarmos em relação a ele.

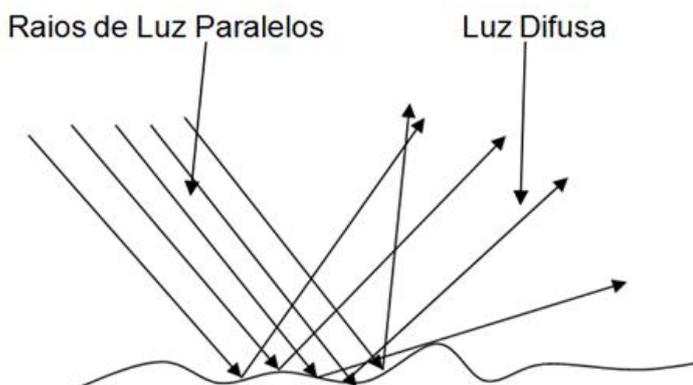


Figura 9 - Reflexão de luz por superfície irregular

Parte da luz é absorvida pelo objeto. Diferentes materiais absorvem luz de forma diferente e por isso vemos objetos das mais variadas cores.

AS LEIS DA REFLEXÃO

Para entendermos as leis que regem o fenômeno da reflexão precisamos introduzir as definições de planos de incidência da reflexão e ângulos de incidência. Quando o raio de luz incidir sobre a superfície de separação entre dois meios, ela o fará num ponto P sobre a superfície. Por um ponto qualquer de uma superfície podemos fazer passar uma reta perpendicular a ele e que o atravessa. Essa é a reta N, normal à superfície.

O ângulo formado pelo raio (i) incidente e a reta normal (N) é o ângulo de incidência (representado por \hat{i}).

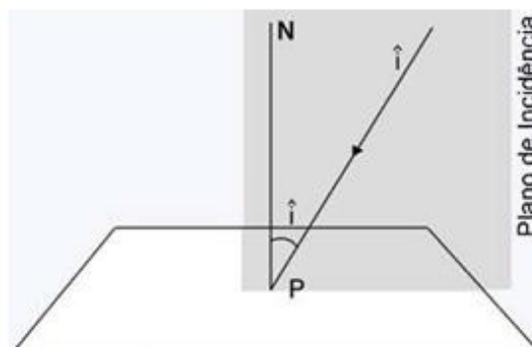


Figura 10 - Plano de Incidência

O ângulo de reflexão (r) é o ângulo formado pelo raio refletido e a reta normal N .

O plano formado pelo raio incidente (ou a reta que o contém) e a reta normal, é o plano de incidência. Analogamente, o plano de reflexão é o plano que contém o raio refletido r e a reta normal N .

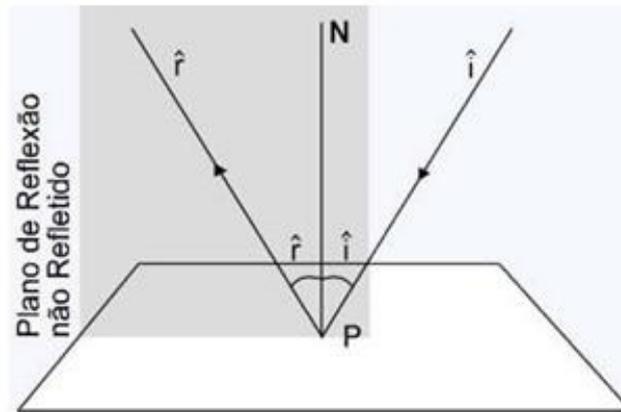


Figura 11 - Plano de Reflexão

O fenômeno da reflexão é descrito por duas leis. Tais leis tem uma base empírica, isto é, elas seguem de inúmeras observações do fenômeno.

1ª LEI - O plano de incidência coincide com o plano de reflexão

Dito de outra forma essa lei estabelece que "O raio de incidência a reta normal e o raio refletido estão contidos no mesmo plano".

2ª LEI - O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão

Na verdade essas duas leis, essencialmente empíricas, podem ser entendidas a partir da natureza corpuscular da luz. De fato, podemos pensar na reflexão como resultado de colisão dos fótons com a superfície de separação entre dois meios.

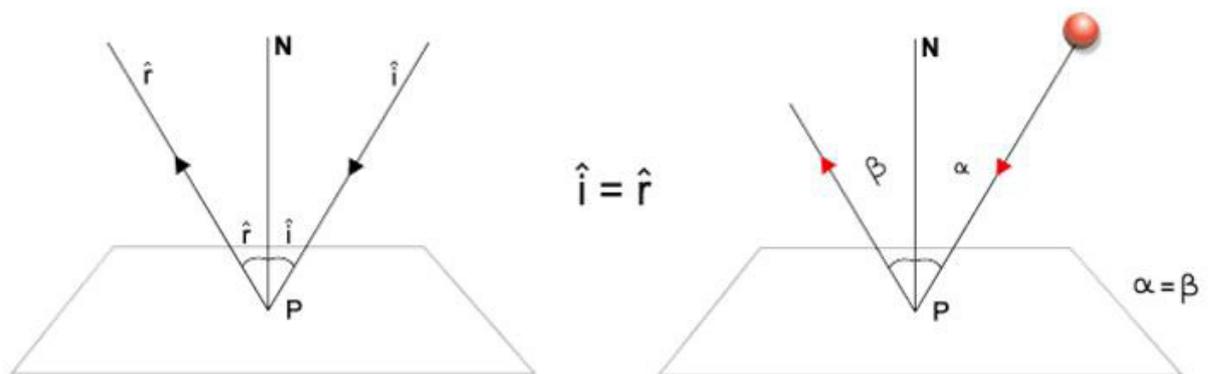


Figura 12 - Ângulo de Incidência e Reflexão

Questão:

Q9 – Pegue uma luz laser e um espelho e confirme estas leis.

ESPELHOS

Quando a superfície de separação entre dois meios permitir que a maior parte da luz seja refletida e essa reflexão for regular, dizemos que a superfície entre os dois meios se constitui num espelho.

Se essa superfície for plana (se ela se constituir num plano), então o espelho é dito plano. Se a superfície for esférica, o espelho é dito esférico.

FORMAÇÃO DE IMAGENS

Uma das utilidades dos espelhos é facilitar a observação de objetos que não estejam diante de nossos olhos. Permitem-nos, por exemplo, ver o que está atrás de nós. Esse é um dos usos dos espelhos retrovisores colocados nos veículos automotores.

O uso do espelho é possível como consequência da reflexão da luz pela superfície do espelho. Para entendermos o processo de formação das imagens em espelhos começaremos pela análise da imagem de um ponto. Isto é, começaremos a discussão de formação da imagem de um objeto muito pequeno. Tão pequeno que sua dimensão possa ser considerada desprezível.

IMAGEM DE UM OBJETO PUNTIFORME

Um objeto muito pequeno de dimensões desprezíveis pode ser representado como uma fonte de luz puntiforme. Consideremos esse ponto (ponto P) a uma distância d do espelho. Tal fonte emite luz em todas as direções. Analisemos o que acontece quando um desses raios incide sobre um espelho plano.

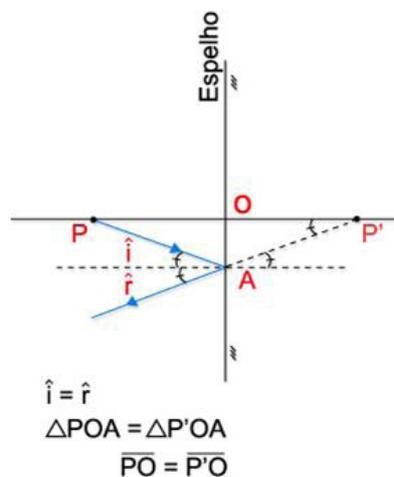


Figura 13 - Raio incidente sobre um espelho plano Figura 13

Ele vai refletir de tal modo que os ângulos \hat{i} e \hat{r} sejam iguais. Desse modo, se projetarmos o raio \vec{r} esse atingirá o ponto P' igualmente distanciado do espelho como P .

Verificaremos agora, o que acontece com outros raios luminosos provenientes de P . Consideremos o prolongamento de todos os raios luminosos refletidos. Eles se encontram num ponto P' . Tal ponto está à mesma distância d do espelho. Os pontos P e P' são simétricos em relação ao espelho.

O ponto P' é o ponto imagem do ponto P .

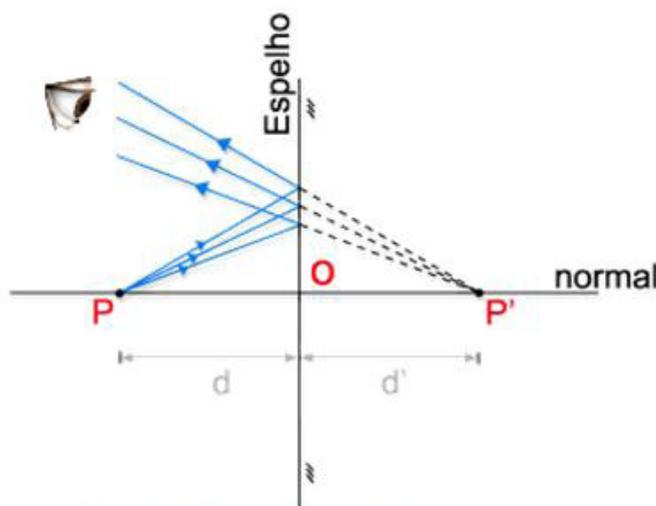


Figura 14 - Ponto objeto e ponto imagem.

Um observador em frente a um espelho verá a imagem do objeto localizado no ponto P' . Por que isso acontece? O olho humano opera de tal forma que o que ele "vê" é aquilo que está na direção dos raios luminosos que atingem o olho.

IMAGEM DE UM OBJETO EXTENSO

Consideremos a imagem de um objeto extenso na frente de um espelho plano. Usemos a construção mental de que um objeto extenso é constituído de um grande número de pontos. Tudo que devemos fazer é analisar a imagem de cada um desses pontos. O conjunto das imagens dos pontos dá a imagem do objeto.

Em primeiro lugar, é bom saber que a imagem de cada ponto é simétrica em relação ao plano do espelho. O objeto e a imagem serão, portanto, simétricos em relação ao plano do espelho. Como consequência, o tamanho da imagem será igual ao tamanho do objeto.

A distância de cada ponto do espelho ao objeto é igual à distância da imagem ao espelho. Daí resulta a simetria em relação ao espelho.

Outra coisa interessante a respeito dos espelhos é que a imagem de um objeto nem sempre é igual a imagem real do objeto. Em geral a imagem não se sobrepõe ao objeto. O espelho troca a direita pela esquerda e vice-versa, por exemplo, se você escreve com a mão direita, sua imagem escreve com a esquerda. Diz-se em linguagem científica que o objeto e sua imagem são figuras enantiomorfas (formas opostas).

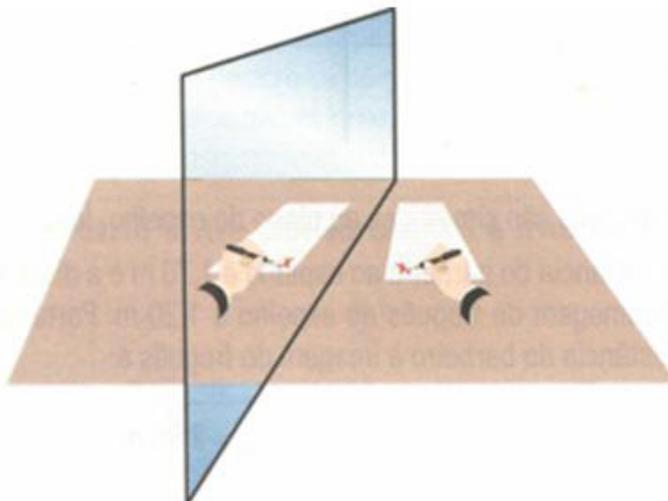


Figura 15 - Imagem refletida.

IMAGENS REAIS E VIRTUAIS

Quando se forma uma imagem no processo de reflexão, essa imagem pode ser real ou virtual. Denominamos a imagem obtida no processo de reflexão de real quando esta imagem é obtida mediante o encontro dos próprios raios luminosos refletidos. Uma imagem é virtual quando ela é formada pelo processo de prolongamento dos raios luminosos refletidos (e não dos próprios raios).

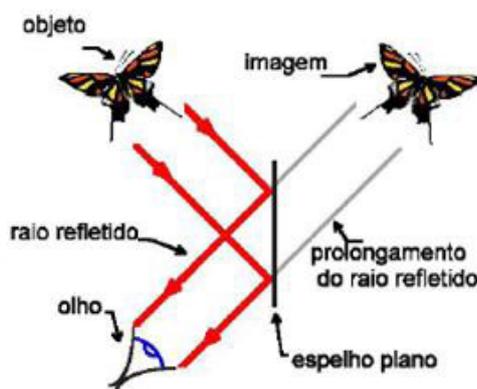


Figura 16 - Imagem virtual gerada por um espelho plano.

A imagem de um objeto diante de um espelho plano é uma imagem virtual.

Imagens reais podem ser obtidas quando se usa espelho côncavo ou convexo.

CAMPO VISUAL DE UM ESPELHO PLANO

Um espelho tem um campo visual restrito para um dado observador. O campo visual é a região do espaço dentro do qual todos os objetos nela situados serão vistos. Objetos fora dessa região não são observados. O campo visual depende do tamanho do espelho, da distância do observador ao espelho e da localização do espelho em relação ao observador. A razão da existência do campo visual é que os raios luminosos provenientes dos objetos devem ser refletidos pelo espelho e devem chegar até o olho humano. Consideremos um ponto próximo de um espelho. Ele será acessível ao observador (na figura representada pelo olho do mesmo) se os raios luminosos refletidos atingirem o olho.

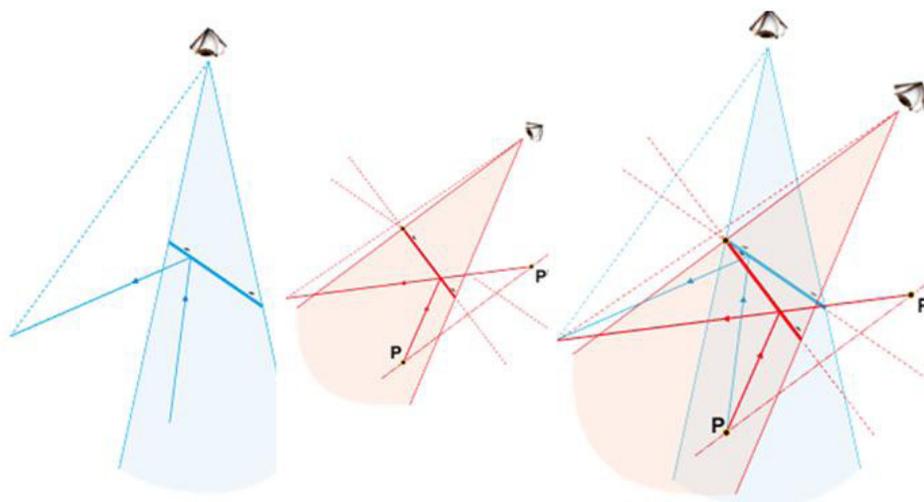


Figura 17 - Campo visual de um espelho plano.

Para determinarmos o campo visual consideremos a imagem do olho no espelho. A partir da imagem do olho traçamos duas retas as quais interceptarão o espelho pelas duas extremidades. A região do espaço compreendida entre as duas retas e o espelho é o campo visual do mesmo.

Note que o campo visual depende da posição do observador em relação ao espelho e das dimensões do mesmo.

TRANSLAÇÕES E ROTAÇÕES DE UM ESPELHO PLANO

Quando fazemos uma translação de um espelho plano, isto é, o afastamos ou o aproximamos mantendo-o paralelo ao original, verificamos que a forma da imagem é preservada. No entanto, a distância da imagem do espelho se altera no mesmo valor da distância de aproximação ou afastamento do espelho.

Assim, se um espelho se deslocar de um valor d (uma distância d) a imagem se deslocará em relação ao espelho, pelo mesmo valor d . O deslocamento da imagem em relação ao observador será de $2d$.

Se um objeto se aproximar ou afastar correndo em direção a um espelho com velocidade v sua imagem também se aproximará ou afastará do espelho com velocidade v , mas com sentido contrário. Portanto, a velocidade da imagem em relação ao objeto será $2v$.

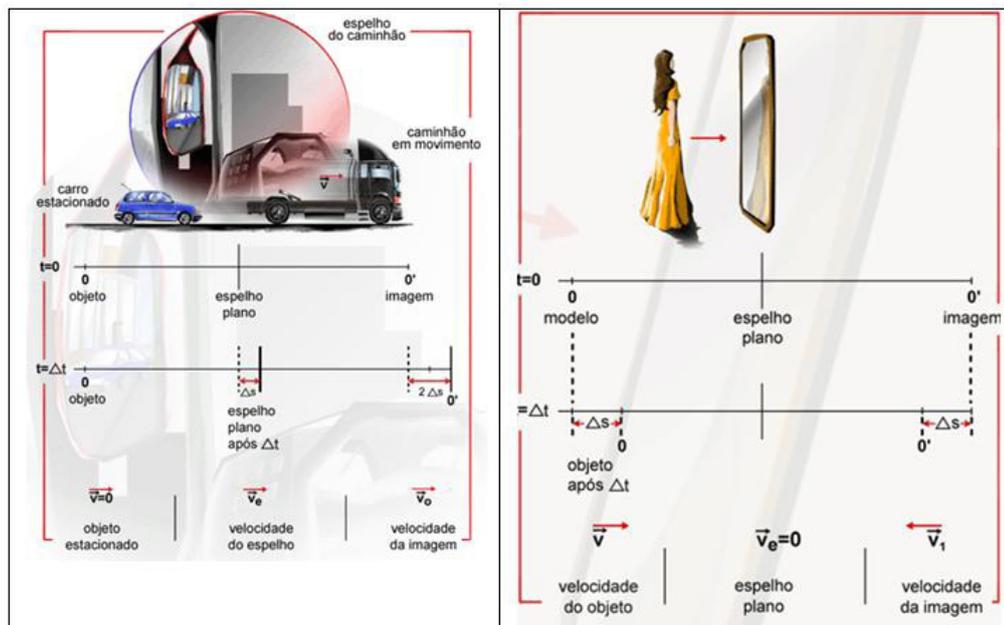
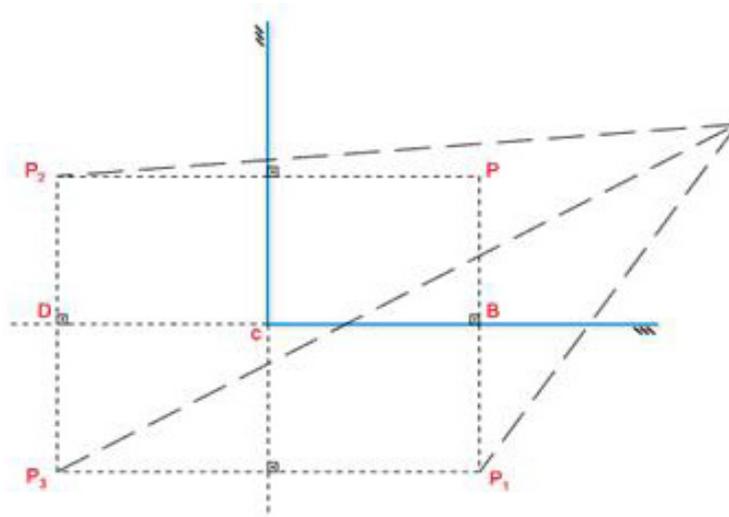


Figura 18 - Translação e rotação de espelhos.

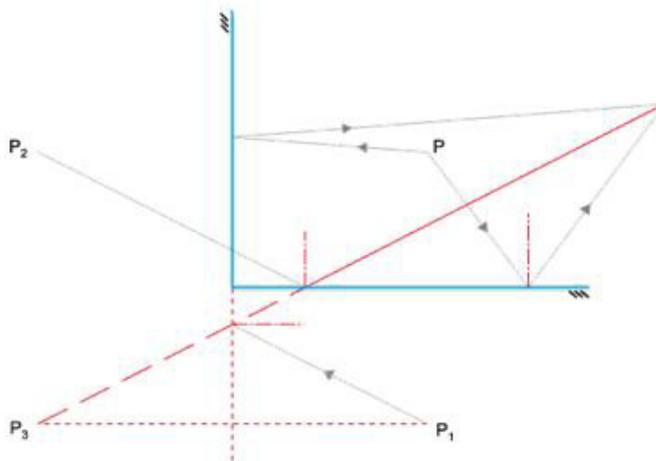
SISTEMAS DE ESPELHOS PLANOS

Às vezes empregamos um sistema de espelhos. Alguns arranjos produzem efeitos muito interessantes. Com eles podemos obter muitas imagens de um objeto, simulando situações impressionantes. Outras vezes, estamos apenas interessados em construir sistemas ópticos simples. Consideremos dois espelhos colocados perpendicularmente um em relação ao outro. É fácil verificar que nesse caso são formadas três imagens. À medida que o ângulo aumenta, o número de imagens diminui, valendo o contrário também. À medida que o ângulo diminui o número de imagens aumenta. Uma

situação curiosa é aquela na qual os espelhos são dispostos paralelamente um ao outro, formando infinitas imagens.



Por que as imagens se multiplicam? Isso ocorre porque as imagens na frente de um espelho se comportam como objetos na frente deles mesmos produzindo uma nova imagem. Quando a imagem de um espelho se colocar na frente do outro espelho o processo se repete.

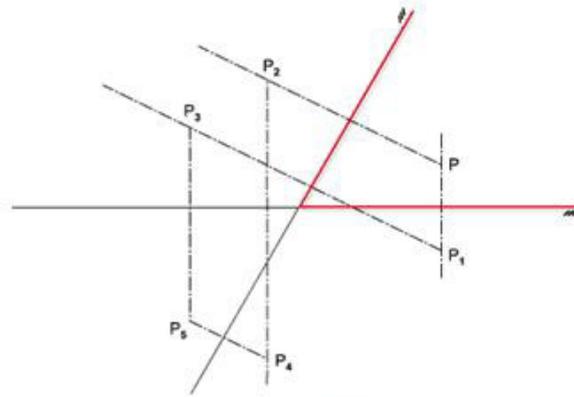


Quantas imagens se formarão? Sendo θ o ângulo (medido em graus) entre os espelhos, então, se $360/\theta$ for um número inteiro par, o número de imagens será dado por:

$$M = \frac{360}{\theta} - 1$$

Se $360/\theta$ for um número ímpar a expressão acima só valeria para objetos localizados no plano bissetor de θ . No caso anterior, em que $360/\theta = 4$, obtemos o número correto de imagens, isto é,

Se o ângulo for 60° o número de imagens será 5.



Questões

Q10 – Abra a modelagem “dois_espelho” e verifique a lei acima.

Q11 – Faça a experiência com uma moeda e dois espelhos.

Notas

bola azul = ponto objeto
 bolas vermelhas = imagem primária
 bolas amarelas = imagem das bolas vermelhas

A partir de que ângulo as imagens secundárias desaparecem?

Notas de construção do modelo

- 1 - A imagem inferior está ligada pelo vetor 2
- 2 - vetor 1 está ligado à partícula 1
- 3 - vetor 4 está ligado ao vetor 2
- 4 - vetor 3 está ligado ao vetor 1

3 - PROPAGAÇÃO DA LUZ EM MEIOS NÃO HOMOGÊNEOS

A motivação para o estudo da propagação de raios em meios não homogêneos encontra-se nas diversas aplicações práticas e situações que ocorrem no nosso cotidiano. Dentre os vários exemplos que podem ser citados, destacamos os seguintes:

3.1 - TURBULÊNCIA ATMOSFÉRICA

Ao olharmos para as estrelas numa noite de céu claro, notamos que elas tremem ou piscam. Isto se deve às turbulências atmosféricas, tais como, flutuações de pressão e densidade, que levam à formação de correntes de vento e variações do índice de refração do ar. Como consequência, o caminho percorrido pelo raio de luz não é estável, levando a dificuldades para as observações astronômicas de corpos celestes distantes, o que obriga o uso de satélites, como por exemplo, o Hubble, ou o emprego de óptica adaptativa. Na óptica adaptativa emprega-se um laser de corante para excitar átomos de sódio existentes na camada superior da atmosfera. Isto gera uma mancha circular brilhante devido à luminescência do sódio, que devido as flutuações atmosféricas é visto de uma forma distorcida pelo telescópio. Um sistema servo-mecânico corrige então a curvatura de um dos espelhos do telescópio, de maneira a eliminar estas distorções. O tempo de resposta deste sistema de correção é da ordem de 0.1s.

3.2 - EFEITO MIRAGEM

O aquecimento do ar próximo à superfície da Terra modifica seu índice de refração e isto faz com que a luz execute uma trajetória não retilínea. Este efeito é claramente observado nas transmissões de corridas de carros pela TV. O ar, aquecido pelo contato com o asfalto, realiza um movimento convectivo ascendente fazendo tremer as imagens dos carros, como se houvesse uma tênue fumaça diante deles. O efeito do desvio da luz é ainda mais evidente para os raios rasantes, como quando viajamos de carro e observamos a imagem do céu e nuvens refletidas no asfalto, dando a impressão de poças d'água. Nesta situação, os raios rasantes são desviados pelo ar aquecido localizado próximo ao asfalto e atingem o olho do observador. Este efeito, conhecido como miragem, é comum em desertos, mas também pode ocorrer no mar, só que neste caso, a água resfria o ar e a imagem é invertida.

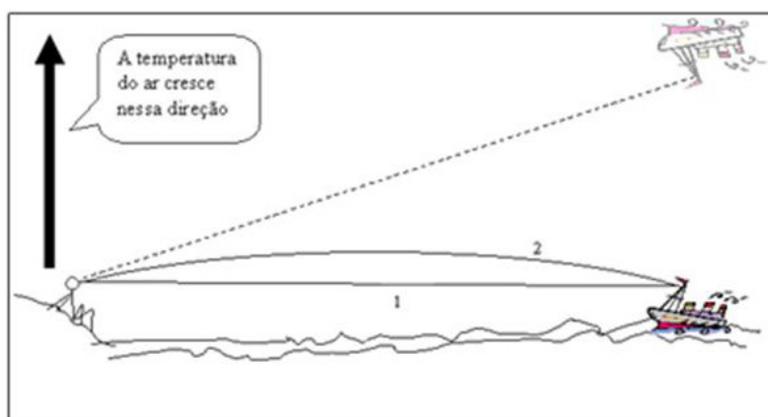


Figura 23 - Efeito Miragem. Disponível em: <http://axpfep1.if.usp.br/~otaviano/miragens.html>.

3.3 - COMUNICAÇÕES ÓPTICAS

Na transmissão de informações com luz, o meio no qual o raio se propaga desempenha um papel importante. Na transmissão de microondas por visada direta, onde o sinal gerado por uma antena parabólica é captado por outra, flutuações na atmosfera produzem ruído no sinal transmitido, devido à instabilidade na trajetória dos raios, que por vezes não atingem perfeitamente a antena receptora. Nas comunicações via fibra óptica, a luz gerada por um laser semiconductor fica confinada principalmente no núcleo, que possui índice de refração maior que a casca. Assim, a variação do índice de refração novamente modifica a propagação dos raios. A própria focalização de luz em fibras ópticas é muitas vezes realizada por uma lente do tipo GRIN (gradient index), cujo índice de refração diminui radialmente, de forma contínua. A propagação de luz nestes meios do tipo lente será discutida após introduzirmos as ferramentas matemáticas necessárias.

ATIVIDADES APPLETS

1 – Analise os applets abaixo:

– Lab/Metro. Site da Universidade Federal de Santa Catarina.

<http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC6422/APPLETS/EspelhoPlano/EspelhoPlano.html>

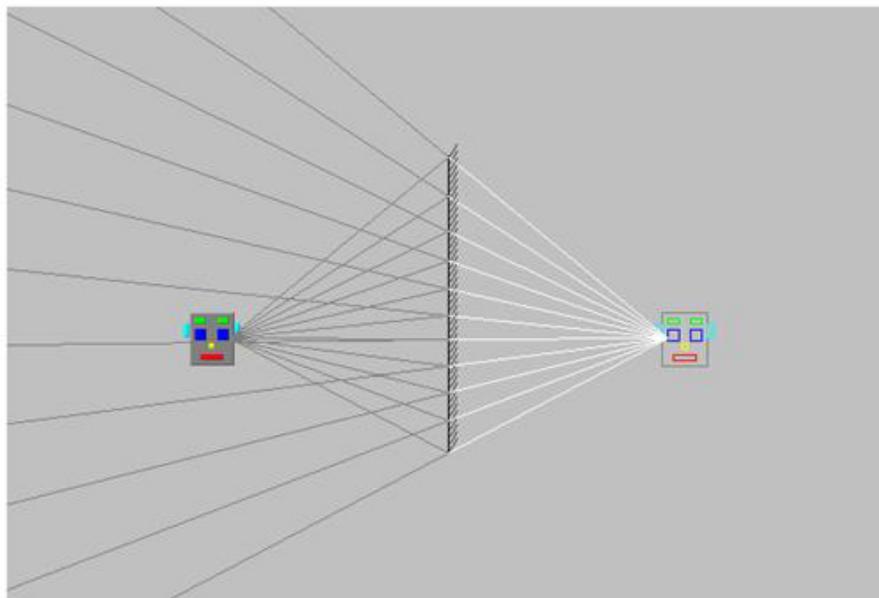


Figura 24 – Disponível em: <http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC6422/APPLETS/EspelhoPlano/EspelhoPlano.html>

1.2 – Refração da Luz. Autor Walter-Fendt.

http://www.walter-fendt.de/ph14br/refraction_br.htm

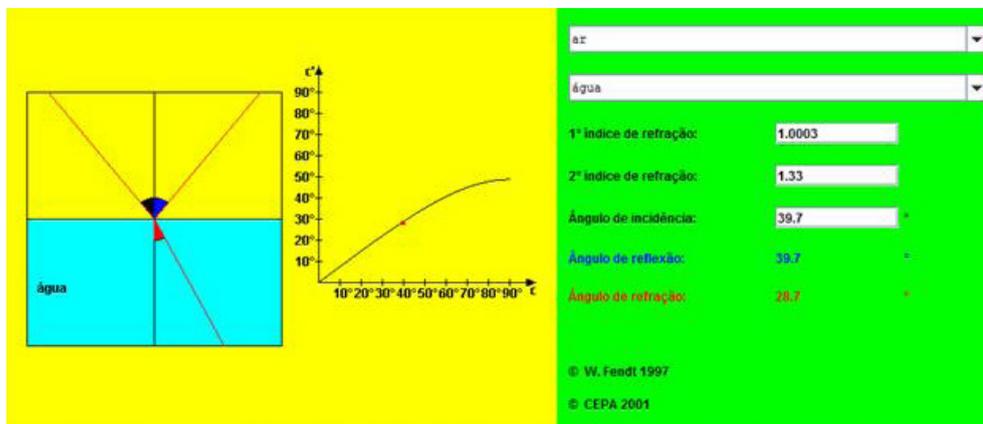


Figura 25 – Disponível em: http://www.walter-fendt.de/ph14br/refraction_br.htm.

1.3 – EducaPlus.org. <http://www.educapplus.org/luz/reflexion.html>

Site com texto em espanhol, mas muito ilustrativo.

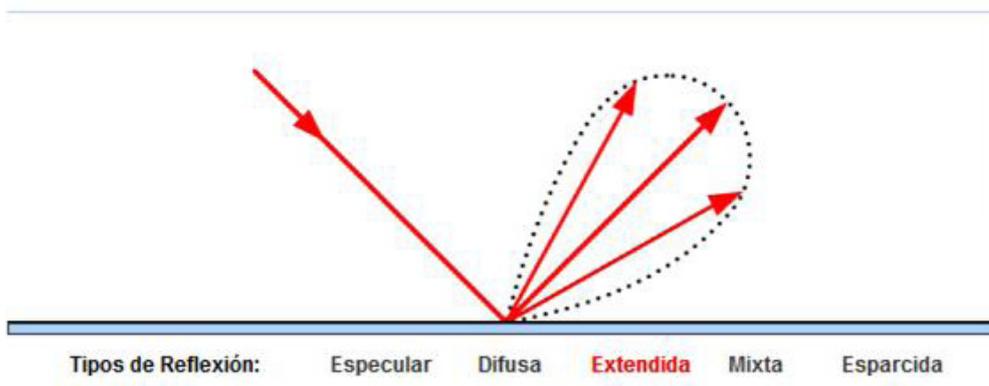


Figura 26 – Disponível em: <http://www.educapplus.org/luz/reflexion.html>.

2 – Analise o site educacional Programa Educar acessando o link <http://educar.sc.usp.br/optica/>

3 – Se acessar o link: <http://zitogiuseppe.com/museo/esp71/Specchio.html> – poderá brincar diretamente. É só arrastar o ponto no lado direito da tela. Esse applet ensina como se desenha uma imagem em frente de um espelho plano (em Italiano).

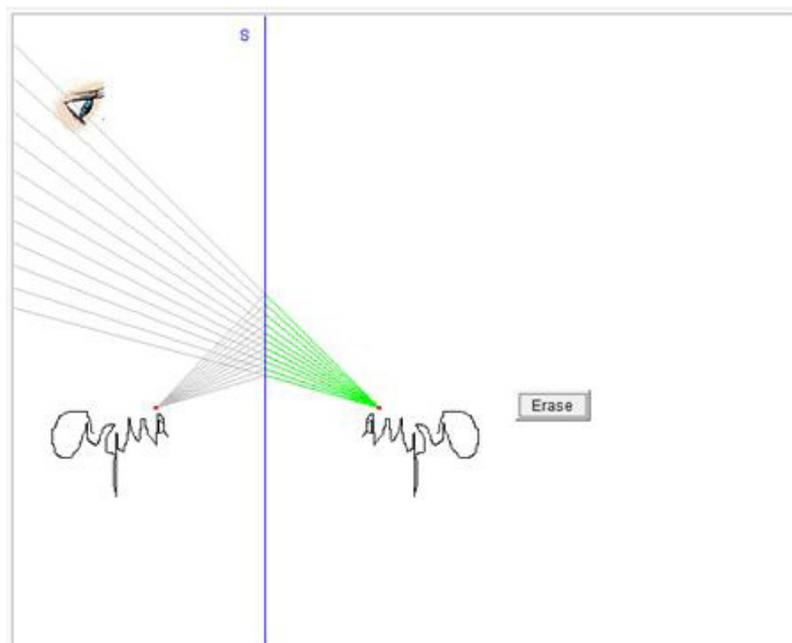


Figura 27 – Disponível em: <http://zitogiuseppe.com/museo/esp71/Specchio.html>.

4 – Projeto Phet. Óptica Geométrica.

http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html

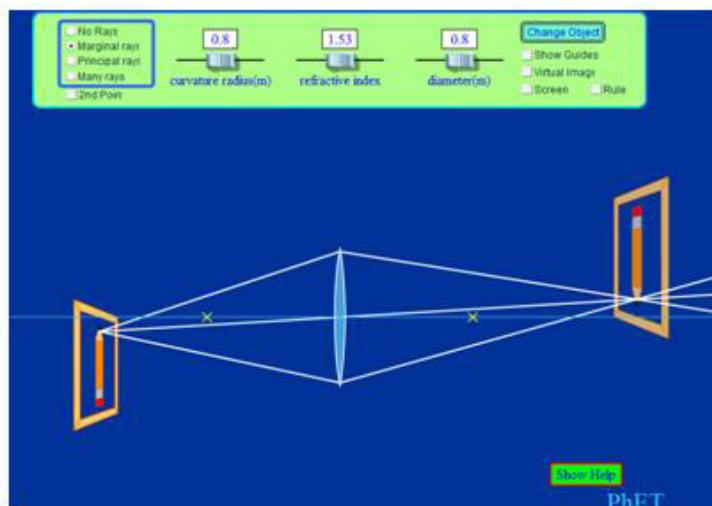


Figura 28 – Disponível em: http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html.

5 – Princípio de Fermat. Fu-Kwun Hwang, Tradução: UFAL.

Texto explicativo: O caminho de um raio de luz entre dois pontos é o caminho que minimiza o tempo de viagem. Esta aplicação java o deixará visualizar a declaração anterior. Há duas regiões com cor diferente (um para o ar e outra para água).

O programa mostrará todos os possíveis caminhos para luz emitida da fonte.

http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/luz_optica/fermat_arquivos/fermat.htm

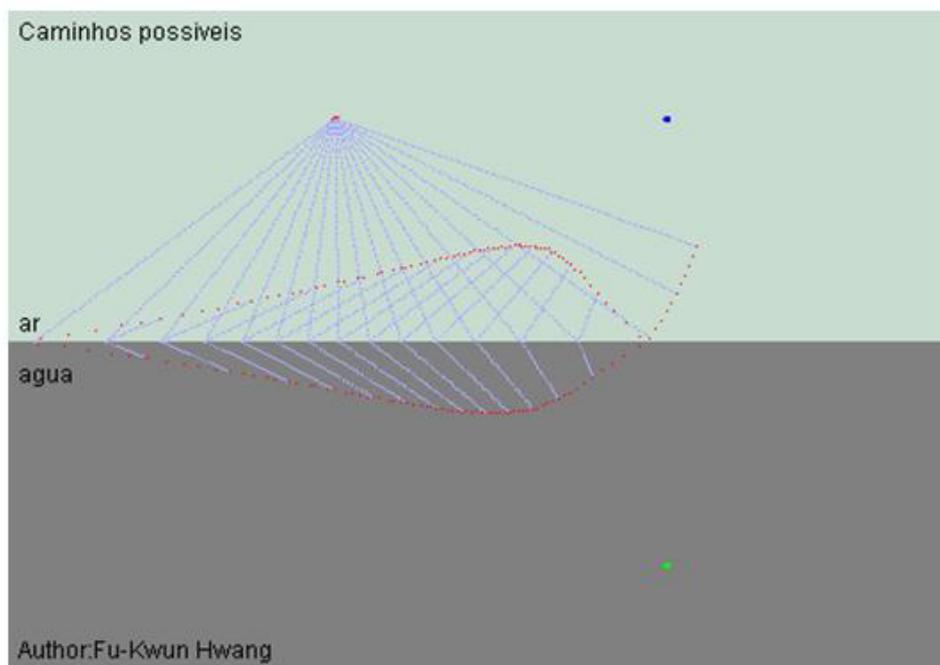


Figura 29 – Disponível em: http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/luz_optica/fermat_arquivos/fermat.htm.

2 - VIDEOS EDUCACIONAIS

Assista o vídeo “Experiência com Espelhos Planos” e repita o experimento.

2.1 - <http://dicasdeciencias.com/2008/09/15/experiencia-com-espelhos-planos/>

No final da apresentação há um outro vídeo muito legal.

2.2 – http://www.youtube.com/watch?v=O_y2UFchpIw&feature=endscreen&NR=1

2.3 – Sei mais Física. Lei da Reflexão.

<http://www.youtube.com/watch?v=GvLMaVIeaA0>

2.4 – Lei da Reflexão e Refração da Luz.

<http://www.youtube.com/watch?v=lwVyy5vix6Y>

2.5 – Telecurso 2000. Óptica Geométrica.

<http://www.youtube.com/watch?v=1IC6TatGcNg&feature=related>

2.6 - Telecurso 2000. Reflexão.

<http://www.youtube.com/watch?v=4WRNfvpvmXc>

2.7 - Telecurso 2000. Refração.

<http://www.youtube.com/watch?v=kgy2T-16eXw>

2.8 - Mago da Física - A Curva da Luz (Efeito Miragem)

<http://www.youtube.com/watch?v=UmHa-RbofVM&feature=related>

3 - LUDOTECAS

3.1 - Formação e posição da imagem nos espelhos planos. Experiência 4.II do projeto portal do professor do MEC [7].

Posição da imagem no espelho plano

1. Disponha, verticalmente, um espelho plano sobre a folha de papel (que deve estar sobre a placa de isopor) com auxílio de 2 alfinetes, presos ao espelho com fita adesiva.



Figura 30 - Montagem para a determinação da posição da imagem. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicaoaimagemnosespelhosplanos.pdf>.

2. Coloque um alfinete, de ponta colorida, de pé, em frente ao espelho, a uma distância de 4cm do mesmo.

3. Com auxílio de outro alfinete, este de ponta comum, atrás do espelho, procure obter a posição coincidente com a posição da imagem do alfinete de ponta colorida. Esta posição é obtida quando não se observar mais paralaxe entre o alfinete de ponta comum (atrás do espelho) e a imagem do alfinete de ponta colorida. Marque então a posição encontrada.

a) Usando a régua, meça a distância entre as posições do espelho e da imagem do objeto. O que se observa?

b) Repetindo algumas vezes os três últimos procedimentos para diferentes distâncias espelho objeto, o que se pode concluir quando a relação entre as distâncias espelho-objeto e espelho-imagem?

Formação da imagem no espelho plano

4. Repita o procedimento do item 1.

5. Espete um alfinete de ponta colorida a 4 cm do espelho (este alfinete será nosso objeto). Procure alinhar os alfinetes (de ponta comum) com a imagem do alfinete de ponta colorida que você vê visando-a de uma posição um pouco a esquerda do espelho.

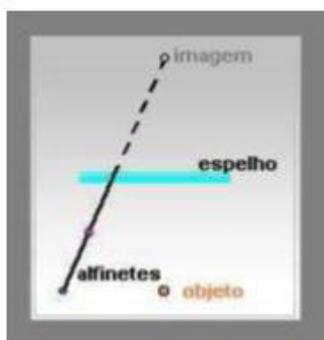


Figura 31 - Alinhando os alfinetes com a imagem observada. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicaoaimagemnosespelhosplanos.pdf>.

6. Agora, alinhe dois alfinetes com a imagem do alfinete de ponta colorida que você vê visando-a de uma posição um pouco à direita do espelho.

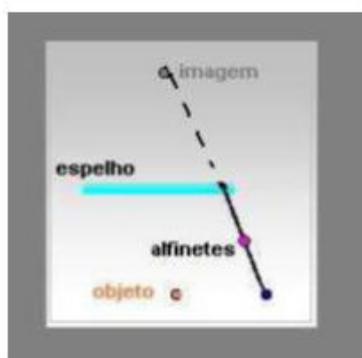


Figura 32 - Alinhando os alfinetes com a imagem em outra posição. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicaoaimagemnosespelhosplanos.pdf>.

7. Retire o espelho, marque sua posição e trace as retas que contém os alfinetes do lado esquerdo com a imagem e os alfinetes do lado direito com a imagem.

8. As duas retas obtidas no procedimento anterior seccionam a posição marcada do espelho em pontos que se denominam de "pontos de incidência". Trace agora duas retas que unam o objeto (alfinete de ponta colorida) aos pontos de incidência. As retas que ligam o objeto ao espelho, ou melhor, ao ponto de incidência do espelho, representam os raios luminosos que chegam ao espelho saindo do objeto - são denominados "raios incidentes". As retas que ligam os alfinetes alinhados com a imagem ao espelho (no ponto de incidência) representam os "raios refletidos".

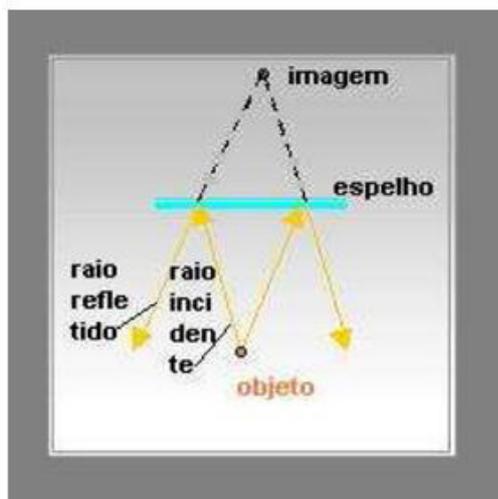


Figura 33 - Representação geométrica dos raios incidentes e refletidos em um espelho plano. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicao-daimagemnosespelhosplanos.pdf>.

Os raios incidentes e refletidos formam com a "normal" (reta perpendicular ao espelho no ponto de incidência), ângulos denominados de incidência (i) e de reflexão (r).

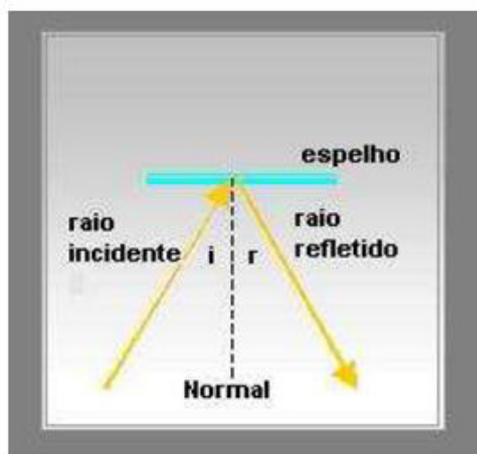


Figura 34 – Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicao-daimagemnosespelhosplanos.pdf>.

9. Mudando a posição do objeto (alfinete de ponta colorida), meça três vezes os ângulos de incidência e seus correspondentes ângulos de reflexão (use o transferidor).

A partir dos resultados obtidos nas medidas dos ângulos de incidência e reflexão, pode-se dizer que existe alguma relação entre eles? Qual?

3.2 - Projeto Ripe Material Simples Para o Estudo da Óptica Geométrica [8]

INTRODUÇÃO

Este texto mostra como construir o material de ótica geométrica que será utilizado em alguns experimentos descritos em textos posteriores.

O material está dividido em dois grupos aquele destinado à reflexão, e o outro que estuda a refração.

Procedimento

I) Material para reflexão.

I.1) Espelhos planos metálicos

Os espelhos comuns são construídos com uma película de material refletor que está apoiada sobre um pedaço de vidro. Dessa maneira, ao efetuarmos experimentos usando um espelho comum, o vidro pode acarretar erros de medida que prejudicam a obtenção dos dados.

A ideia é usar superfícies metálicas polidas em lugar dos espelhos comuns. Assim, lâminas de cobre, alumínio ou latão servem bem para tal fim. Basta polirmos as mesmas com polidor de metal como Kaol, por exemplo.

A figura abaixo mostra uma lâmina de microscópio forrada com uma lâmina de alumínio:

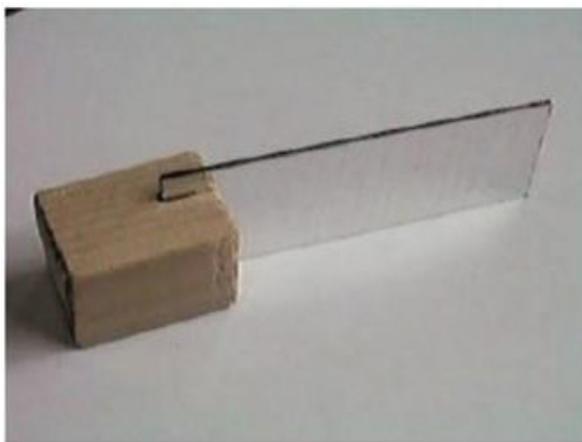


Figura 35 - Modelo de espelho plano. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaestudodaopticageometrica.

Existem, no comércio, lâminas de alumínio autoadesivas. Assim, uma outra maneira seria colar um pedaço dessa fita sobre uma superfície plana. Outra possibilidade é usar um pedaço de perfil de alumínio usado em arremates para cantos de móveis ou paredes. Também neste caso, é necessário polir o alumínio.



Figura 36 - Espelho convexo. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaoestudodaopticaeometrica.

Os espelhos côncavos e convexos também podem ser construídos com alumínio autoadesivo colado em tubo de PVC de diâmetro grande 15cm, por exemplo. Colando o alumínio na parte interna teremos um espelho côncavo e quando colado na parte externa produziremos um espelho convexo. Vale a pena lembrar que o alumínio deve ser sempre polido.

II) Material para refração.

O material para refração como cubas, prismas, lentes, etc., podem ser construídos com PVC plano e transparente (com espessura da ordem de 0,5 mm). Esse material é facilmente colado com cola de PVC ("Tigre", por exemplo). Constrói-se uma caixa que, depois, é preenchida com água.

II.1) A lâmina de faces paralelas.

Trata-se de um prisma com dimensões aproximadas de 3 x 6 x12cm. Para sua construção coloca-se um pedaço de PVC transparente sobre uma folha de papel milimetrado e recorta-se com um estilete uma figura como a que está abaixo:

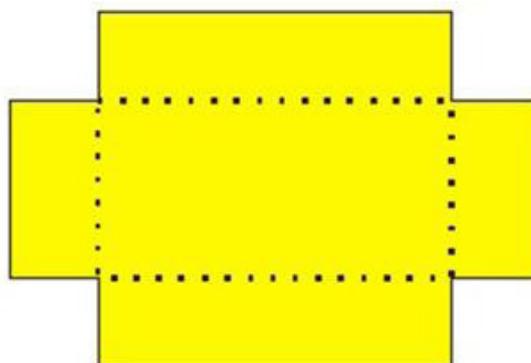


Figura 37 - Modelo de lâmina de faces paralelas construída em PVC. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaoestudodaopticaeometrica.

Nas linhas pontilhadas passa-se um objeto pontiagudo para riscar o PVC para poder dobrá-lo facilmente. Depois de dobrada as faces, o PVC fica com uma forma de caixa aberta nas laterais. Nesses pontos veda-se com cola. Depois de seca faz-se um teste para verificar se não existem vazamentos. Caso ocorram coloca-se mais cola para vedar.

Para o caso da lâmina, existem caixas de plástico transparentes (algumas caixas de bombons) que são excelentes e nada precisa ser feito.

II.2) Outras formas usadas na refração - o prisma.

O prisma é construído da mesma maneira que a lâmina de faces paralelas. Corta-se um pedaço de PVC transparente como está mostrado na figura abaixo, risca-se com um objeto pontiagudo e dobra-se. Em seguida, colam-se as partes abertas com cola Tigre para PVC.

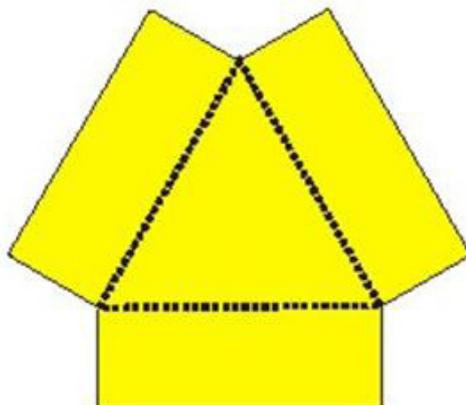


Figura 38 – Prisma. Disponível em: http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaestudodaopticageometrica.

II.3) Outras formas usadas na refração - a cuba semicircular.

Para construirmos a cuba semicircular, devemos, antes, dobrar em forma cilíndrica uma lâmina de PVC transparente.

Para isso, cortamos inicialmente a lâmina e prendemos a mesma, com fita adesiva, numa lata vazia cilíndrica como mostra a figura abaixo:

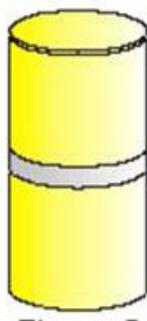


Figura 39 - Disponível em: http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaestudodaopticageometrica.

Em seguida, a lata é preenchida com água fervendo. Aguarda-se algum tempo e solta-se a lâmina.

O plástico fica, dessa maneira, com uma forma parecida com a da lata. Depois recorta-se um pedaço desse plástico para construir a cuba. Todo o conjunto é depois colado numa base de PVC como mostra a figura abaixo:

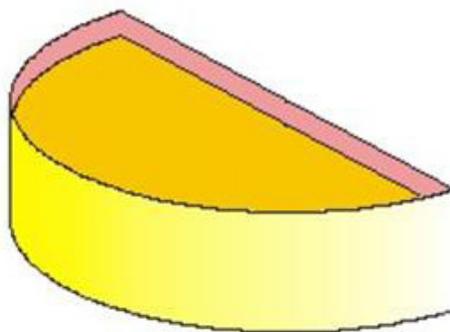


Figura 40 – Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materiaisimplesparaestudodaopticaeometrica.

Dessa maneira também são construídas lentes convergentes e divergentes.

3.3 - Inversão... sim ou não? [6]

I) Um procedimento utilizando artimanha é o da lente cilíndrica para evidenciar a dispersão e inversão. A montagem é simples:

- uma base de madeira;
- um tubo de ensaio cheio de água (uma rolha de borracha);
- suporte de lâmina fina de lata para o tubo.

Deixe uma bolha de ar no tubo. Abaixo ilustramos a montagem:

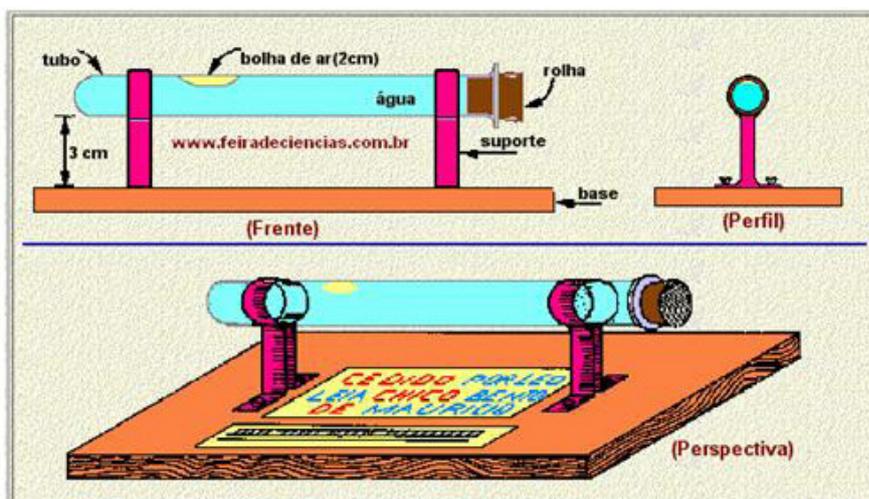


Figura 41 – Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_20.asp.

Na folha de papel colada na base sob a região central do tubo, escreva utilizando canetas esferográficas ou de ponta porosa, o ilustrado abaixo, exatamente como indicado:



Figura 42 – Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_20.asp.

Atenção, no texto proposto, as palavras CEDIDO, CHICO e DE são escritas em vermelho e as palavras POR LÉO, LEIA, BENTO e MAURÍCIO são escritas em azul.

Olhando essas palavras através da lente cilíndrica (tubo de ensaio com água), aquelas escritas em vermelha serão vistas normalmente e as escritas em azul serão vistas invertidas (veja na direita da ilustração acima a linha central).

Por quê? Essa é a pergunta que vem na tirinha de papel, também, colada na base: “Por quê as palavras em azul invertem e as em vermelho não?”

Prepare-se para as respostas do mais profundo teor científico — dispersão, índice de refração diferente para tais cores, desvios diferentes na lente cilíndrica, teoria dos dióptros centrados e outras elucubrações.

Nada disso têm a ver com a proeza, todas invertem, porém, as palavras escritas em vermelho têm simetria horizontal (simetria segundo uma linha horizontal que passa pelo meio da letra); C invertido é C, H invertido é H, I invertido é I etc.

Desse modo, você pode inventar as próprias frases, basta escolher palavras que têm simetria horizontal e outras que não a tenham.

Outra observação curiosa é que quando a bolha de ar passeia lentamente pelo tubo, e você olha as letras através da bolha, todas as palavras são vistas menores e direitas, ou seja, todas são lidas normalmente, reduzidas e sem inversão.

- a) O azul inverte o vermelho também.
- b) O objeto é AB real. O cilindro gera imagem A'B' invertida, logo real (atualmente, é $A'B' < AB$). O processo da paralaxe confirma a posição da imagem.

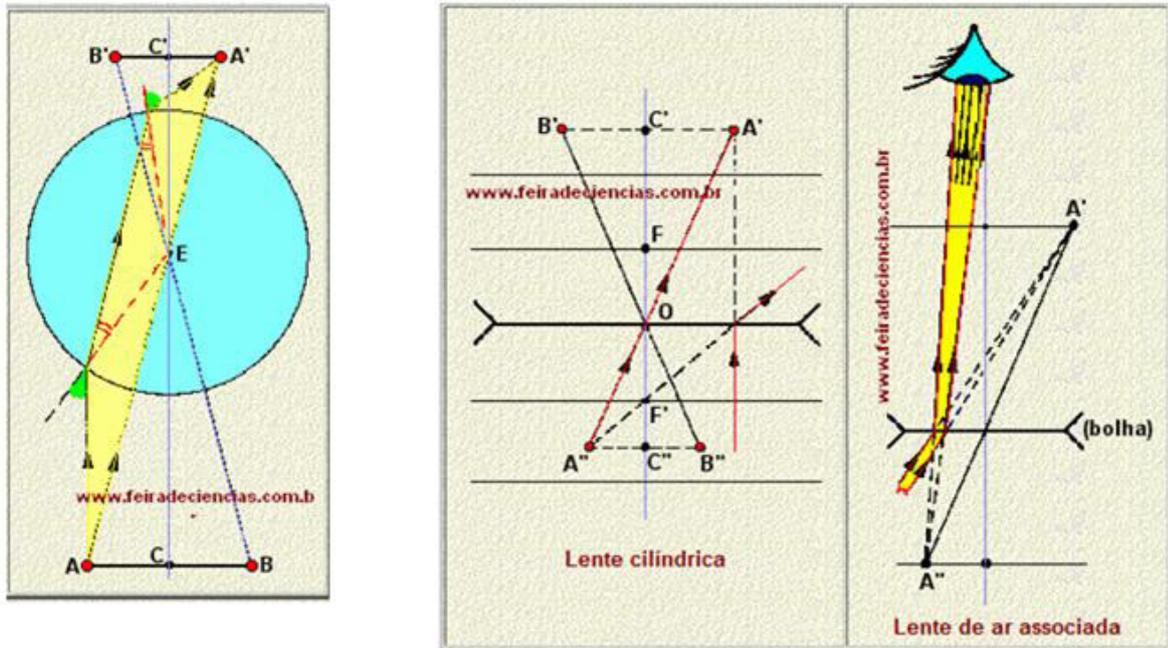


Figura 43 – Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_20.asp.

Embora a distância do olho a C' seja menor que a do olho a C'' , acredita-se ser $A''B'' < A'B'$, para o que é preciso ser $OC' > 2 \cdot |f|$.

Nota: Com $A''B'' > A'B'$, seria $|f| < OC' < 2 \cdot |f|$.

3.4 - ECLIPSES [9]

Material utilizado: lanterna, uma bola de isopor e um anteparo de papelão.

Posiciona-se a bola em cima de algum objeto e, com a lanterna, projeta-se a sombra da bola sobre o anteparo de papelão (vide figura abaixo).

A lanterna representa o Sol e a bola de isopor, a Lua. A sombra e a penumbra formadas no anteparo ilustram o que ocorre nos eclipses totais e parciais do Sol. Na região mais escura ocorre o eclipse total e onde há penumbra, o eclipse parcial.

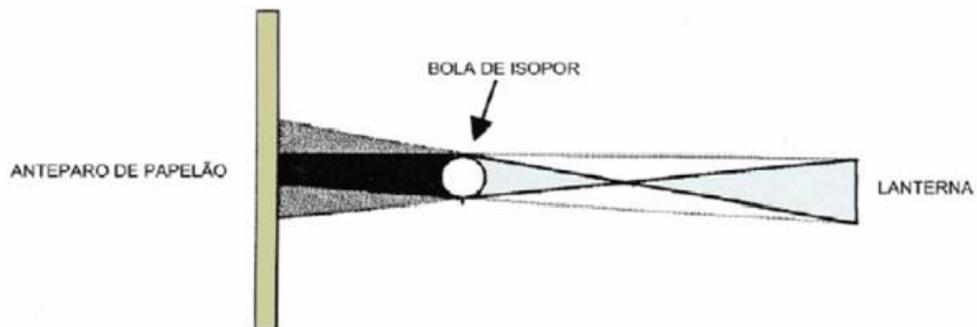


Figura 44 – Disponível em: http://www.ib.usp.br/iec/arquivos/anexo1_33.pdf.

3.5 - MOEDA MÁGICA (REFRAÇÃO) [9]

Material utilizado: um recipiente de plástico, uma moeda, uma garrafa com água e um espeto de churrasco para cada grupo.

Coloca-se a moeda no fundo do recipiente vazio. Os alunos ficam de pé e afastam-se até não conseguirem mais visualizar a moeda. Nesse momento, um aluno joga água no recipiente até os demais conseguirem enxergar a moeda (vide figura abaixo). Depois disso, um dos alunos tenta acertar a moeda com o espeto.

Experimento da moeda mágica. Na figura da esquerda, a posição do observador e a propagação retilínea da luz impedem a visualização da moeda. Quando se adiciona água, como mostra a figura da direita, a luz sofre refração, sendo desviada e permitindo que a moeda seja vista.

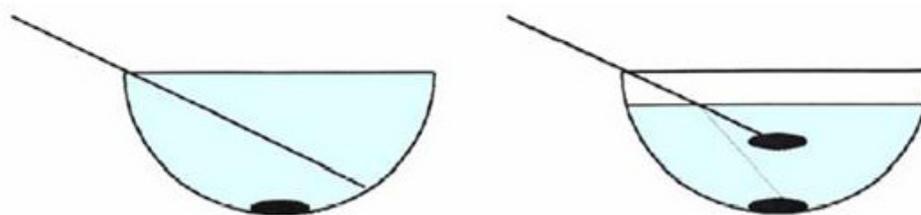


Figura 45 – Disponível em: http://www.ib.usp.br/iec/arquivos/anexo1_33.pdf.

O aluno não conseguirá acertar a moeda, a não ser que mude a direção do espeto. Neste momento cabe levantar a questão de como o índio é capaz de pescar utilizando um arpão. Obviamente ele não conhece os conceitos envolvidos no fenômeno de refração, mas sabe que não pode atirar o arpão exatamente no que ele está vendo.

CONCLUSÃO

O estudante deve concordar que uma aula sobre óptica geométrica é muito interessante e leva os estudantes do segundo grau a gostarem mais da física. Que esse tópico da física possui muitos recursos didáticos e deve ser abordado no ensino médio. Que sempre podemos ilustrar a aula com experiências de demonstração.



RESUMO

Apresentamos, uma aula sobre Óptica Geométrica, sem abordarmos os temas espelhos esféricos e lentes, que deixamos para a próxima aula. Apresentamos várias sugestões de exemplos práticos e experimentos de demonstração ao longo da aula. No final da aula apresentamos alguns exemplos de experimentos de baixo custo, applets de ensino e vídeo aulas. Fizemos algumas animações com o software Modellus.



ATIVIDADES

- 1 – Por exemplo: Binóculo, telescópio, microscópio, lupa, retroprojeter, etc.
- 2 – Lentes antirreflexo são lentes que possuem algum tipo de filme que filtra os reflexos da luz.
- 3 – São as que usam os recursos, características e deficiências dos nossos aparelhos áudio visuais. Exemplo: televisão, teatro, escultura, pintura, cinema, etc.
- 4 – A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.
- 5 - A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.
- 6 - A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.
- 7 – Por que o que vemos são os raios luminosos refletidos pela colher e que chegam até os nossos olhos.
- 8 - A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.
- 9 - A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.
- 10 - Após a realização da modelagem eles devem verificar a validade da lei.
- 11 – A experiência é muito simples. Após a realização da experiência eles devem verificar a validade da lei.

RESPOSTAS ÀS EXPERIÊNCIAS

- Experiência 4.II do projeto portal do professor do MEC [7]:
- 3.a - Observa-se que a distância entre espelho-objeto e espelho-imagem são iguais.
- 3.b - Pode-se concluir que o objeto e sua imagem estão à mesma distância do espelho plano.
9. Variando os valores dos ângulos de raios de incidência e observando o que acontece com o ângulo dos raios refletidos, pode-se observar que o ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Através de um texto preparado para ser inserido em um e-livro (e-física) apresentamos o assunto sobre Óptica Geométrica. Este texto é uma mistura de texto de divulgação e texto didático. Ao longo dele usamos muitas ilustrações e experimentos de baixo custo, de modo que os conceitos introduzidos ficassem bem explicitados.

Complementamos o texto com animações (modelagem) feitas com o software Modellus de modo a tornar alguns tópicos o mais claro possível. Terminamos o texto com algumas explicações de efeitos atmosféricos corriqueiros.

Devido a sua natureza geométrica, encontramos uma grande variedade de applets de ensino, experimentos de baixo custo e vídeo aulas, que anexamos no fim da aula.

Os experimentos de demonstração propostos são muito simples e os estudantes devem ser capazes de realizá-los.

As atividades experimentais são mais elaboradas, mas na sua maioria de fácil realização.

As vídeo aulas e os applets de ensino são muito bons e ilustram o conteúdo desta aula.

REFERÊNCIAS

1. Programa Educar CDCC – USP SC. Ótica para Alunos do Ensino Médio. Reflexão/Espelhos planos: Fundamentos teóricos. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/optica/reflexao.htm#teoria2>>. Acesso em 26/08/2012.
2. Instituto de Química In Foco. Disponível em: <www.unb.br/iq/kleber/cursosvirtuais/>. Acesso em 26/08/2012.

3. Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln. Disponível em: <<http://astro.unl.edu/classaction/animations/telescopes/telescope10.html>>. Acesso em 26/08/2012.
4. Centro de Fusão Nuclear. Laboratório Associado da F.C.T.. Disponível em: <http://www.cfn.ist.utl.pt/~varandas/aulas/aula_11.pdf>. Acesso em 26/08/2012.
5. Universidade Federal de Juiz de Fora. Colégio de Aplicação João XXIII. Disponível em: <http://www.ufjf.br/joaooxxiii/files/2008/12/optica-1-introducao-e-reflexao-da-luz.pdf>. Acesso em 26/08/2012.
6. Feira de Ciências. Prof. Luiz Ferraz Netto. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_20.asp>. Acesso em 26/08/2012.
7. Portal do Professor. MEC. Formação e posição da imagem nos espelhos planos. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/14555/formacaoeposicaodaimagemnosespelhosplanos.pdf>>. Acesso em 26/08/2012.
8. Ciência à mão – Portal de Ensino de Ciências. Atividades e Experimentos Projeto RIPE. Material Simples para o Estudo da óptica Geométrica. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_materialsimplesparaoestudodaopticageometrica>. Acesso em 26/08/2012.
9. Instrumentação para o Ensino de Ciências. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/iec/arquivos/anexo1_33.pdf>. Acesso em 26/08/2012.
10. MARQUES, Gil da Costa. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada - CEPA. e-física. Ensino de Física On-line. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/>>. Acesso em 26/08/2012.