

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN

RELATÓRIO FINAL

INTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO

REFLEXÃO DA LUZ EM ESPELHOS ESFÉRICOS



ALUNO: FELIPE DA FONTOURA (feefontouraXgmail.com)
RA: 073059

ORIENTADOR: JORGE MEGID NETO (megidXunicamp.br)

COORDENADOR: J.J. LUNAZZI

RESUMO DO PROJETO

O experimento tem por fim auxiliar na compreensão do aluno de ensino médio, que agora está estudando as propriedades da luz, tal como a reflexão em espelhos planos e espelhos esféricos.

Cada dia que passa ensinar física fica mais complicado, em virtude da grande diferença na proposta dos materiais didáticos e em virtude, principalmente, dos aspectos sociais nos quais estamos inseridos.

A deficiência na formação mais os aspectos sociais que se somam negativamente contribuem para que toda uma sala de alunos, principalmente os da rede pública, tenha o menor interesse pela disciplina que podemos esperar vindo deles. Tornando assim, o trabalho do docente muitíssimo complicado de executar e o aprendizado dos alunos, extremamente corrompido.

A partir daí, analisei as situações de ensino nas quais estava envolvido e resolvi montar um experimento a fim de simular a reflexão de uma fonte luminosa em um espelho esférico, afinal a ótica é um ramo bastante complicado de se lidar em sala de aula.

O experimento proporciona investigar o que ocorre com a luz quando encontra esse meio refletor chamado espelho.

Aplicamos o experimento em mais de uma aula, podendo se estender até o final dos estudos sobre espelhos.

Começando com a propagação da luz em linha reta até encontrar o primeiro espelhinho plano, incidindo e verificando a reflexão para esse caso.

Fazendo vários raios de luz saindo de um mesmo ponto objeto, verificamos a reflexão em cada espelho e por fim, verificamos a imagem formada respectiva a esse ponto.

Aferindo as dimensões de distancia do objeto e da imagem ao centro do espelho, a distancia do ponto objeto e do ponto imagem em relação ao eixo que sai do centro do espelho e, naturalmente, a distancia focal proporcionada por esse espelho, verificamos as equações e todas as propriedades relacionadas a reflexão da luz em espelhos esféricos, postuladas por Gauss, subjetivadas no item a seguir.

MONTAGEM E RESULTADOS

MATERIAL UTILIZADO

- prancha de madeira;
- blocos de madeira;
- imã de metro;
- cacos de espelho plano;
- pequenos aros metálicos;
- elásticos de costura;
- pregos;
- lasers;
- lanterna de LED;
- papel metro de reciclagem;
- placa metálica.

MONTAGEM

Nessa primeira foto visualizamos a prancha, a placa metálica revestida com papel

reciclado, uma madeira com pregos fixados em intervalos de 1cm, os 7 blocos de madeira cada um com um caco de espelho plano fixado em sua lateral e pregos fixados em cima.



Notamos que cada espelho plano possui a mesma direção de todos os outros, ou seja, estão todos sobre um arco de circunferência e apontando para o centro dessa circunferência que os contém.



Assim, faço a aproximação de uma série de espelhos planos para um espelho esférico e, a partir daí, começaremos o processo de investigação.

Munido agora da lanterna de LED, posiciono-a de frente ao espelho curvo e paralelo ao fio branco, que sai desde o objeto (simulado pelos pregos centimetrados) e vai até o centro do espelho formado.

Notamos que sempre que posicionamos a lanterna paralela ao fio branco, que chamaremos de eixo principal, os raios de luz que incidem nessa direção refletem no espelho e convergem pra um só ponto. Este ponto chamamos de foco.



Agora se fizermos o raio de luz passar sobre o foco e colidir com o espelho, o raio refletido voltará paralelo ao eixo principal. Satisfazendo o princípio da reversibilidade do raio de luz.



Mais uma posição de incidência é quando pegamos o feixe de luz e fazemos ele refletir no ponto do espelho que se encontra com o eixo principal, ou seja, no centro desse pedaço de espelho. Notamos que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, tal que o raio que incide nesse ponto volta para um ponto simétrico ao qual ele partiu.



Com o auxílio do laser, fica mais fácil notar isso.

Note que se afastamos muito a fonte de luz, mesmo que ela não esteja alinhada com o eixo principal, os raios de luz refletidos convergirão também para o foco. Assim, utilizo o flash da câmera pra mostrar o efeito. Essa foto foi tirada a cerca de 5 metros dos espelhos, com o zoom.



Por que isso acontece? Pois quando afastamos demais o ponto do objeto que está refletindo a luz para o espaço e, por consequência, para o espelho, o ângulo de abertura entre os raios é praticamente zero, fazendo com que a fonte de luz emita raios tal que sua incidência seja sempre paralela ao eixo principal, logo, os raios refletidos convergem para o foco.

Note também que se posicionarmos a fonte de luz sobre um certo ponto do interior dessa circunferência, os raios de luz convergirão para esse mesmo ponto. Posicionei a lanterna numa posição tal que os raios refletidos estavam voltando para o local onde a lanterna estava. Ficou complicado capturar isso com a câmera.



Toda vez que isso acontecer, percebemos que estamos então sobre o CENTRO dessa circunferência, e notamos ainda que a distancia entre o centro da circunferência e o espelho é o dobro da distancia entre o foco e o espelho, fazendo assim $F = R/2$, ou seja, a distancia focal é metade do raio da esfera que deu origem ao espelho.

Com isso, concluímos que:

- Todo raio de luz que incide paralelo ao eixo principal de um espelho esférico reflete nesse espelho e converge para o foco.
- Todo raio de luz que passa sobre o foco e incide no espelho, reflete nesse espelho e volta paralelo ao eixo principal (reversibilidade da luz).
- Todo raio de luz que incide sobre o ponto central do espelho, ou o ponto em que o espelho encontra o eixo principal (chamaremos de vértice) faz um ângulo de incidência igual ao de reflexão e volta simétrico ao ponto do qual saiu.

A partir de agora, já que o espelho está montado, utilizaremos os elásticos a fim de representar os raios de luz que estão saindo do objeto posicionado na régua com pregos. Chamaremos a distancia da régua ao espelho, ou seja, a distancia do objeto ao espelho, de **P**. Chamaremos o tamanho do objeto, facilmente medido pela régua, de **O**.

Vamos para os raios materializados.

Escolhemos um ponto sobre a régua a fim de representar o objeto.

No caso o objeto tem 25cm de altura e distancia-se 124cm do espelho.

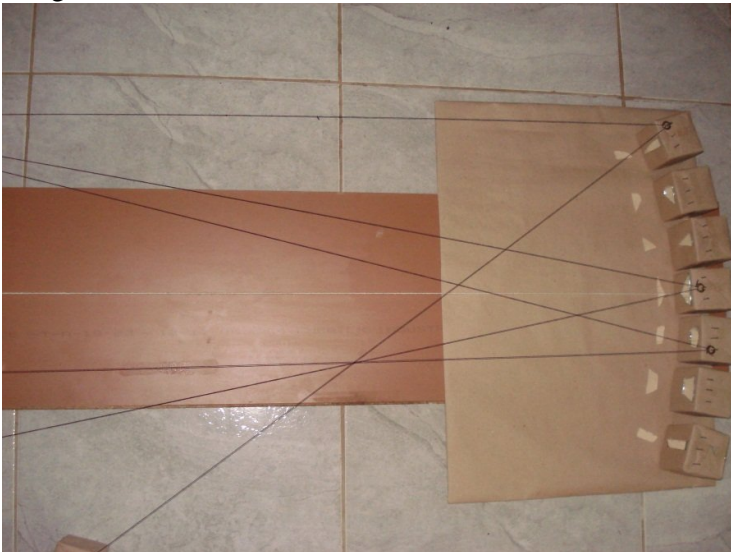
Pegaremos o raio **a**.



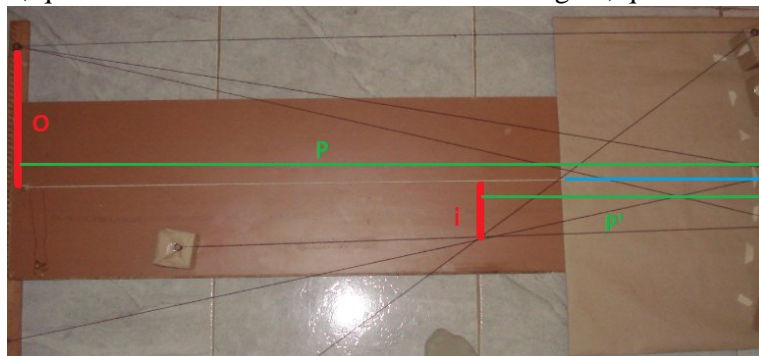
Em seguida o raio **c**.



E logo o raio **b**.



Notamos que esses três raios, que partem do mesmo ponto do objeto, refletem no espelho e se encontram num certo ponto, que é onde a imagem desse ponto desse objeto está se formando. Com o auxílio de uma régua, podemos medir a distancia entre a imagem e o espelho, que chamaremos de **P'** e o tamanho da imagem, que chamaremos de **I**.



Muito embora tenhamos em mãos dados como a distancia focal, a distancia do objeto e a distancia da imagem ao espelho, o objetivo do experimento não é deduzir a equação de Gauss, mas simplesmente auxiliar o aluno a compreende-la, já que o tópico encontra-se presente em quase todos os guias didáticos.

Ao analisarmos a situação anterior com uma régua percebemos que a distancia da imagem ao espelho é muito próxima da esperada pela equação de Gauss, que relaciona a distancia focal, a distancia do objeto e a distancia da imagem em relação ao espelho da seguinte forma:

$$1/F = 1/P + 1/P' \text{ (Lei de Gauss)}$$

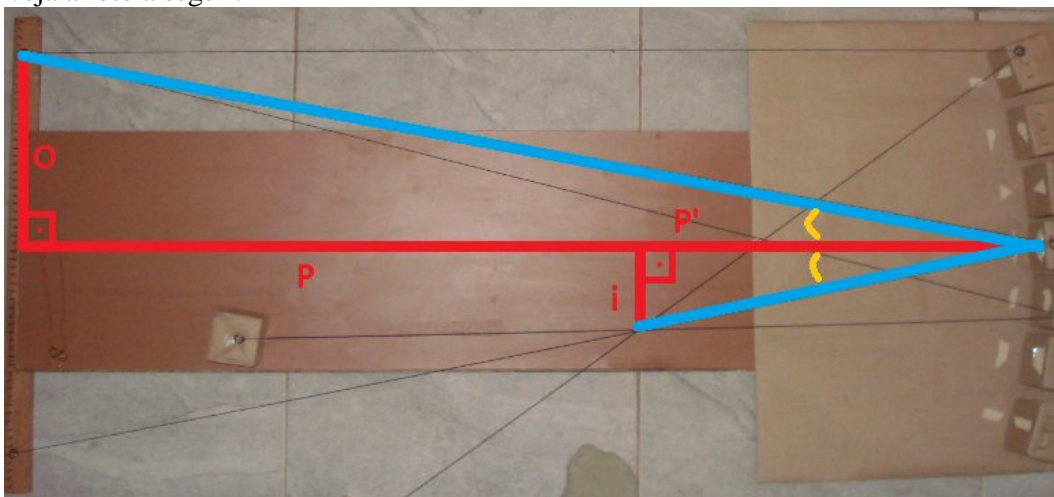
Aplicando na equação os valores $P = 124 \text{ cm}$ e $F = 25 \text{ cm}$, obtemos $P' = 48 \text{ cm}$.

A medição pela régua indicou 50 cm . Então, o resultado obtido chega realmente muito próximo do que a teoria prediz pras condições utilizadas.

Com isso, podemos dizer que o espelho obedece a condição de nitidez para espelhos esféricos de Gauss.

Conseguimos também transpor didaticamente o conceito de aumento linear transversal, que relaciona o tamanho da imagem formada, com o tamanho do objeto original, indicando o quanto que esse sistema ótico consegue, em proporção, aumentar ou diminuir o tamanho da imagem, em relação ao tamanho do objeto, em função, por exemplo, da distancia em que se deseja gerar a imagem de um objeto num anteparo. Com o auxilio da matemática é fácil notar que existem dois triângulos semelhantes no problema e eles nos ajudarão a encontrar uma relação bastante importante.

Veja a foto a seguir.



Percebemos que a altura da imagem junto com a distancia dela em relação ao espelho podem ser considerados os dois catetos de um triângulo retângulo, cuja hipotenusa é o raio de luz refletido no vértice, bem como a altura do objeto junto com sua distancia em relação ao espelho podem ser considerados dois catetos de um triângulo retângulo cuja hipotenusa é o raio incidente no vértice do espelho. Como o ângulo que o raio incidente faz com o eixo principal é igual ao ângulo refletido, temos que os triângulos são semelhantes.

Portanto, a altura da imagem está para a altura do objeto assim como a distância da imagem está para a distância do objeto.

Logo, $I/O = P'/P$. assim, isso tudo pode ser chamado de uma constante A, conhecida como Aumento Linear Transversal. Assim: $A = I/O = P'/P$.

Agora, com a nova informação de que o tamanho da imagem é de 10 cm , conferimos majestosamente a equação do aumento linear deduzida há pouco, fazendo:

$10/25 = 50/125$ e conferindo a igualdade.

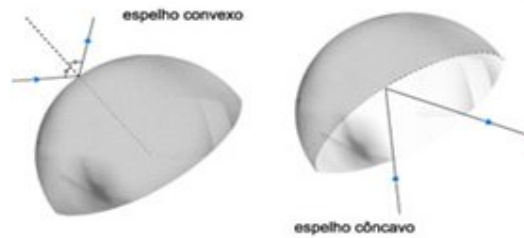
Pesquisa

Uma simples busca no google por espelhos esféricos nos trás uma série de materiais extremamente remodelados por cada um que resolve escrever à sua maneira sobre o assunto, havendo muita perda de conteúdo, didática e significado nesse processo. Encontrei praticamente um artigo sobre espelhos planos feito na USP onde todos os detalhes estão apresentados da maneira mais sutil e significativa que pude encontrar por ai. Todo o texto teórico que segue, inclusive as ilustrações, foi retirado do endereço: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/espelhos-esfericos/espelhos-esfericos-2.php#ixzz1vi0RO1Dw>, mas no qual não está indicada a autoria. Então segue:

“Tem-se grande interesse no estudo de uma situação na qual a luz atravessa dois meios cuja superfície de separação é uma superfície esférica (ou uma parte dela - uma calota esférica). Ao passar de um meio para outro pode ocorrer tanto a reflexão quanto a refração.

No caso em que a superfície esteja polida exibindo uma reflexão regular, uma calota esférica se constitui num espelho esférico. Uma calota polida de um carro pode ser pensada como um exemplo de um tal espelho (desde que a calota seja esférica). A esfera da qual a calota faz parte tem duas faces.

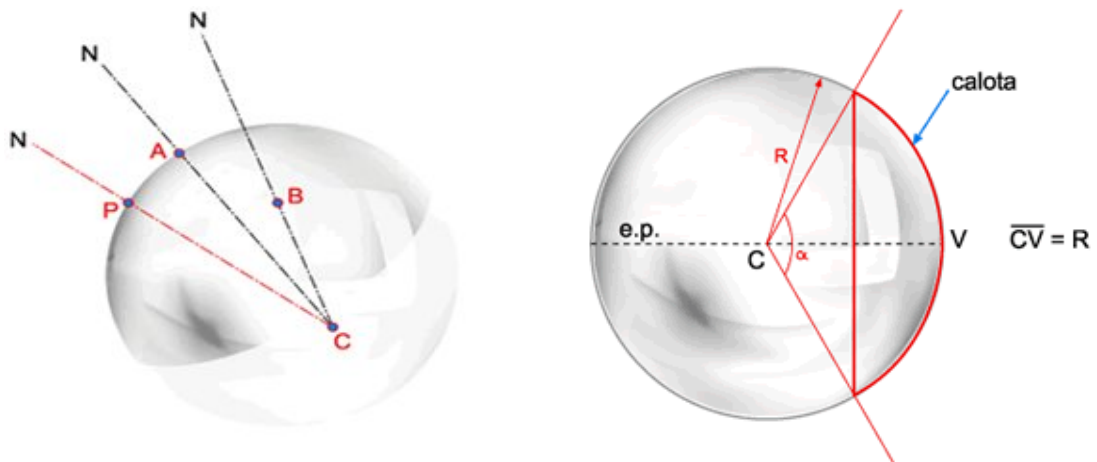
Uma interna e outra externa. Quando a superfície refletiva for a interna, o espelho é côncavo. Quando a superfície refletora for a externa, o espelho é dito convexo.



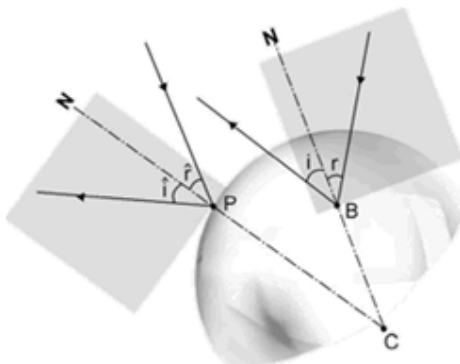
Reflexão da luz em espelhos esféricos

Para os espelhos esféricos valem igualmente as já enunciadas leis da reflexão. É importante, no entanto, entender o significado geométrico dos ângulos de incidência e reflexão nesse caso. Em primeiro lugar, os ângulos de reflexão e de incidência são medidos a partir da normal à superfície (a regra é geral). Assim, a primeira providência ao determinarmos a direção do raio refletido num ponto qualquer sobre o espelho é traçarmos a normal à superfície passando por esse ponto.

Como a superfície é esférica, a normal é uma reta passando pelo ponto P e pelo centro da esfera (C) da qual a calota se originou. A regra vale para qualquer ponto sobre a esfera. A figura a seguir mostra a normal N para três situações distintas (pontos A, B e P).



O ângulo de incidência (\hat{i}) é sempre igual ao ângulo de reflexão $\hat{i} = \hat{r}$ onde esses ângulos são sempre medidos a partir da normal. A figura abaixo mostra as direções de incidência e de reflexão quando aplicamos essas leis para raios incidentes em posições e ângulos diferentes.



Note-se que se um raio passa pelo centro de curvatura, o ângulo de incidência é nulo. Portanto, o ângulo de reflexão também o será. Portanto, o raio volta na mesma direção de onde veio se ele incidir passando pelo centro de curvatura (ou tem seu prolongamento) passando pelo centro de curvatura. Essa situação é ilustrada na figura a seguir tanto para um espelho côncavo (no qual o raio passa, de fato, pelo centro) quanto no caso do espelho convexo. Nesse último caso, o raio de luz incidente tem apenas o seu prolongamento passando pelo centro da curvatura.

Aspectos geométricos dos espelhos esféricos

Para analisarmos o processo da formação da imagem de um objeto em frente a um espelho devemos recorrer a algumas grandezas de natureza geométrica associadas a um espelho esférico, como mostra a figura, e conforme as definições abaixo:

O centro de curvatura (C), como já vimos antes, é o centro da esfera que deu origem à calota.

O raio de curvatura (R) da esfera é a distância do centro da esfera até qualquer ponto sobre a mesma.

O vértice do espelho (V) é o ponto equidistante de qualquer ponto sobre as extremidades da calota (o seu polo).

O eixo principal (e.p.) é aquele que passa pelo vértice do espelho e pelo seu centro de curvatura.

Eixo secundário: é qualquer reta paralela ao eixo principal.

Plano frontal: é qualquer plano perpendicular ao eixo principal.

Plano meridiano é qualquer plano que corta a calota passando pelo eixo principal (plano do papel é um plano meridiano).

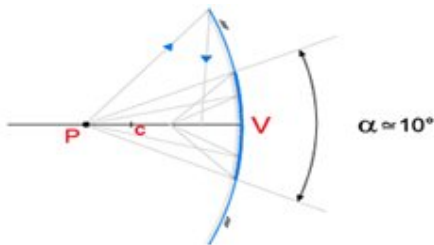
Abertura do espelho (α) é o maior ângulo sobre a calota medido a partir do centro da curvatura (o ângulo associado às extremidades da calota).

Na análise da localização da imagem de um objeto qualquer o foco de um espelho desempenha um papel importante.

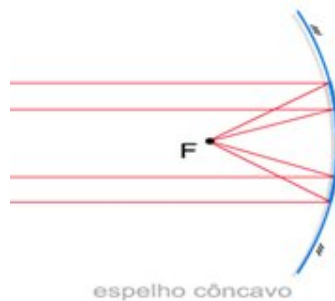
Um sistema óptico, o qual consegue conjugar a um ponto objeto, um único ponto como imagem é dito *estigmático*. Os espelhos esféricos só são estigmáticos para os raios que incidem próximos do seu vértice V e com uma pequena inclinação em relação ao eixo principal (condições de Gauss). Um espelho com essas propriedades é conhecido como espelho de Gauss (em homenagem a quem fez essa descoberta).

Um espelho que não satisfaz as condições de Gauss (incidência próxima do vértice e pequena inclinação em relação ao eixo principal) é dito *astigmático*. Um espelho astigmático conjuga a um ponto uma imagem parecendo uma mancha (um borrão).

Um espelho de Gauss deve ter, necessariamente, uma abertura muito pequena ($\alpha \leq 10^\circ$). De agora em diante estudaremos apenas os espelhos de Gauss.

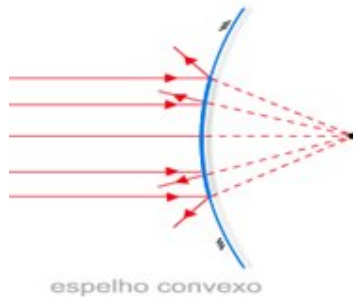


Para os espelhos côncavos de Gauss pode ser verificado que todos os raios luminosos que incidirem ao longo de uma direção paralela ao eixo secundário passam por (ou convergem para) um mesmo ponto F - o foco principal do espelho (ou simplesmente foco do espelho).



espelho côncavo

Para os espelhos convexos uma propriedade análoga aos espelhos côncavos. Nesse caso é a continuação do raio refletido é que passa pelo foco. Tudo se passa como se os raios refletidos se originassem do foco.



espelho convexo

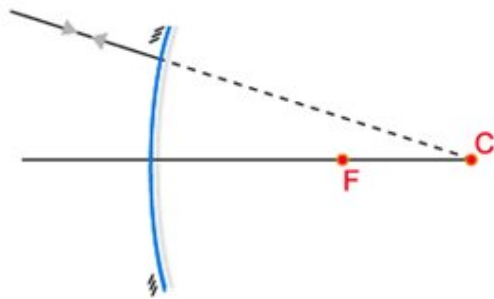
O foco de um espelho de Gauss é um ponto ao longo do eixo principal equidistante do centro de curvatura C e do vértice V.

Determinação de imagens puntiformes - Método gráfico

Para determinarmos a posição da imagem de um ponto que emite raios luminosos (ponto luminoso) colocado numa posição P diante de um espelho esférico devemos analisar o que acontece com os vários raios de luz emitidos pela fonte. Na realidade, o trabalho fica enormemente facilitado ao nos lembrarmos que o ponto imagem é único e ele seria determinado pelo ponto onde se cruzam (ou se interceptam os raios refletidos). Basta, portanto, considerarmos apenas dois raios luminosos. Fica a critério de cada um a escolha desses raios. É mais fácil considerarmos dois dentre os seguintes casos.

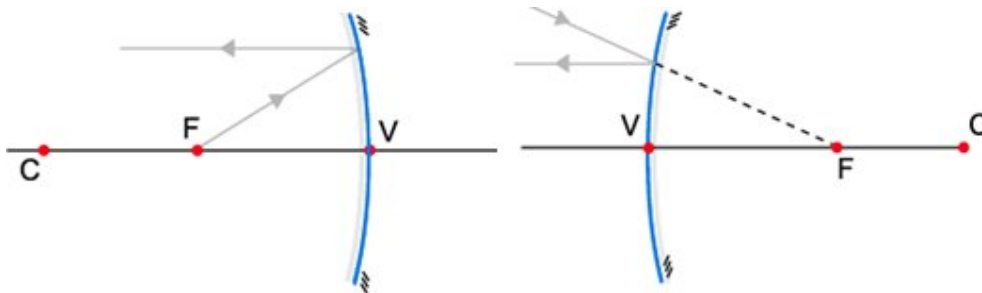
1. Raio de luz passando pelo centro de curvatura

Como todo raio de luz que incidir passando (ou efetivamente ou apenas o seu prolongamento) pelo centro de curvatura volta sobre si mesmo, um dos raios pode ser tomado passando pelo centro da curvatura. O refletido é facilmente determinado.



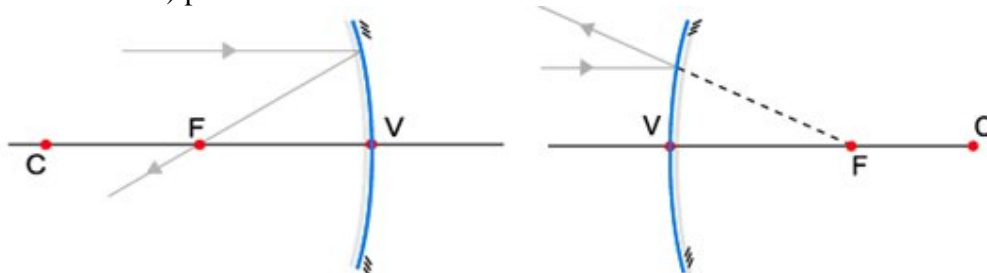
2. Raio luminoso incidente passando (ou sua continuação) pelo foco

Nesse caso, o raio refletido sairá paralelamente ao eixo principal.



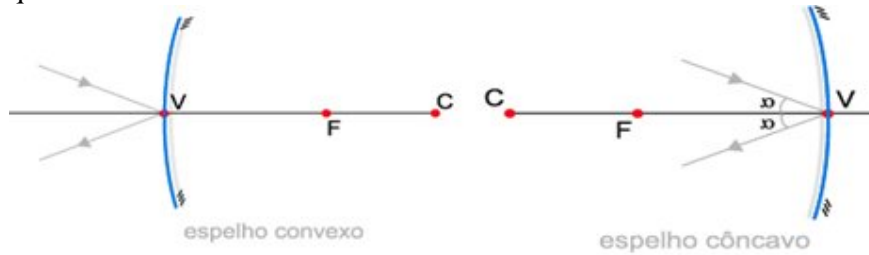
3. Raio de luz incidente paralelamente ao eixo principal

O raio refletido, como argumentado antes, passará (ou sua continuação no caso de espelho convexo) pelo foco.



4. Raio de luz passando pelo vértice

Nesse caso, o raio refletido formará o mesmo ângulo (em relação à normal pelo vértice) que o raio de incidência.



Imagens de objetos extensos - Método gráfico

Nesta seção analisaremos a determinação, utilizando o método gráfico, de imagens de objetos extensos. Nos limitaremos a analisar objetos diante de um espelho esférico e colocados perpendicularmente ao eixo principal.

Como estaremos lidando com espelhos de Gauss (com abertura pequena) o processo descrito a seguir se aplica rigorosamente apenas para objetos pequenos.

As imagens de um objeto podem ser classificadas em imagens reais (quando são formadas diante do espelho) e imagens virtuais (formadas atrás do espelho). Importante lembrar nesse contexto que as imagens reais são formadas quando do encontro dos raios refletidos ao passo que na imagem virtual temos a formação da imagem resultante do encontro do prolongamento desses raios.

Um objeto pode igualmente ser real ou virtual. No caso dos espelhos, dizemos que o objeto é virtual se ele se encontra atrás do espelho. Nesse caso, o próprio objeto é formado pelo prolongamento dos raios luminosos e não pelos próprios.

Um arranjo que permite a formação de um ponto objeto virtual no caso de um espelho esférico pode ser obtido colocando-se diante do espelho esférico uma lente convergente. Nesse caso, os raios luminosos paralelos incidentes levam (como efeito da focalização devido à lente) à formação de um objeto virtual.

No caso de espelhos esféricos a imagem de um objeto pode ser maior, menor ou igual (caso muito raro) ao tamanho do objeto.

A imagem pode ainda aparecer invertida em relação ao objeto. Se não houver sua inversão dizemos que ela é direita. As duas fotos abaixo ilustram algumas dessas características nos casos de espelhos côncavos e convexos.

Pretende-se, nesse estudo, efetuar determinações das características da imagem (sua localização) em relação ao vértice do espelho. O tamanho relativo ao objeto (maior, menor ou igual) se ela é invertida ou não e se é real ou virtual.

Determinar a imagem de uma forma precisa (atribuindo-se valores para o seu tamanho, por exemplo) requer o uso do método analítico. No entanto, para uma determinação apenas das características da mesma basta o uso do método gráfico.

O método gráfico se torna útil e enormemente simplificado ao analisarmos as imagens de apenas dois pontos do objeto em frente ao espelho. Usualmente, tomamos o ponto sobre o eixo principal (ponto A) e o ponto do objeto mais afastado desse (uma das suas extremidades (ponto B)). A análise das imagens desses dois pontos nos permite inferir as características da imagem.

Para exemplificar o procedimento todo, consideremos o caso de um objeto extenso em frente de um espelho esférico localizado entre o foco e o vértice.

Método analítico

O método analítico permite determinar com precisão a localização, o tamanho da imagem, bem como determinar se houve ou não a inversão da mesma. O método é particularmente útil no caso de objetos extensos.

O que é essencial no método analítico é o uso de um sistema de coordenadas cartesianas. Trata-se de um referencial com origem no vértice do espelho esférico. Tomamos os eixos x e y adotando-se a seguinte convenção.

Eixo X

O eixo das abcissas (o eixo x) é tomado coincidindo com o eixo principal. Ele é orientado no sentido contrário ao da luz incidente.



Eixo Y

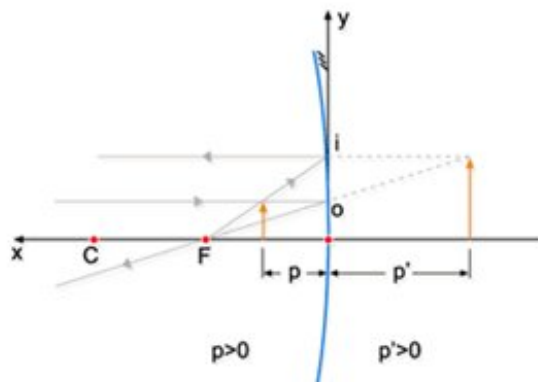
O eixo das ordenadas (o eixo y) é perpendicular ao eixo principal e tem o sentido ascendente.

Um sistema de referência para o qual se adota a convenção para espelhos esféricos acima é conhecido como referencial de Gauss.

Num referencial de Gauss, a cada ponto do objeto ou da imagem corresponde um par de coordenadas (x, y) . Um ponto P do objeto tem como coordenadas (x_p, y_p) .

De grande interesse é o caso em que o objeto é esguio o suficiente (uma vela, por exemplo) para que possamos atribuir apenas um valor para a coordenada x de qualquer ponto do objeto (isto é, válido se ele for suficientemente fino). Nessas circunstâncias podemos falar de uma coordenada x do objeto e outra coordenada para a imagem. Atribuímos os símbolos p e p' para as abcissas do objeto e da imagem. Denominamos ainda de f o valor da abscissa associada ao foco e R o valor da coordenada abscissa associada ao centro de curvatura.

O ponto extremo do objeto é caracterizado pela abscissa p e pela ordenada y . A ordenada y associada ao ponto extremo do objeto damos o nome de i . A ordenada associada ao extremo da imagem é designada por o .



Resumindo

Abcissas

p - coordenada abcissa (coordenada x) do objeto

p' - coordenada ordenada (coordenada x) das imagens

f - coordenada abcissa (coordenada x) do foco

R - coordenada abcissa (coordenada x) do centro de curvatura

Ordenadas

o - ordenada (coordenada y) do extremo do objeto

i - ordenada (coordenada y) do extremo da imagem

Todo referencial de Gauss é tal que objetos em frente ao espelho têm para qualquer ponto sobre o mesmo, abcissas positivas. Objetos atrás do espelho têm abcissas negativas. Em particular, temos

$p > 0$ para objetos reais ($p < 0$ para objetos virtuais)

$p' > 0$ para imagens reais ($p' < 0$ para imagens virtuais)

$f > 0$ para espelhos côncavos ($f < 0$ para espelhos convexos)

$\frac{i}{o} > 0$

se a imagem não for invertida

$\frac{i}{o} < 0$

se a imagem for invertida.

Aumento linear transversal

Denomina-se de aumento linear transversal ao quociente

$$A = \frac{i}{o}$$

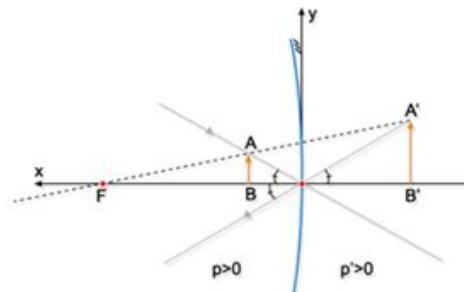
Pode-se relacionar esse quociente ao quociente das abcissas da imagem (p') e do objeto p . Para obter tal relação basta considerar dois triângulos. Um deles é formado pelas duas extremidades do objeto (pontas A e B) e o vértice e o outro pelas extremidades da imagem (pontas A' e B'). Tais triângulos são semelhantes (3 ângulos iguais). Portanto, daí segue que os lados são proporcionais:

$$\frac{\overline{B'A'}}{\overline{BA}} = \frac{\overline{VB'}}{\overline{VB}}$$

(observação sobre a notação: $\overline{B'A'}$ representa a medida do comprimento do segmento B'A').

E, portanto, de acordo com as definições segue:

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$



Equação fundamental dos espelhos esféricos

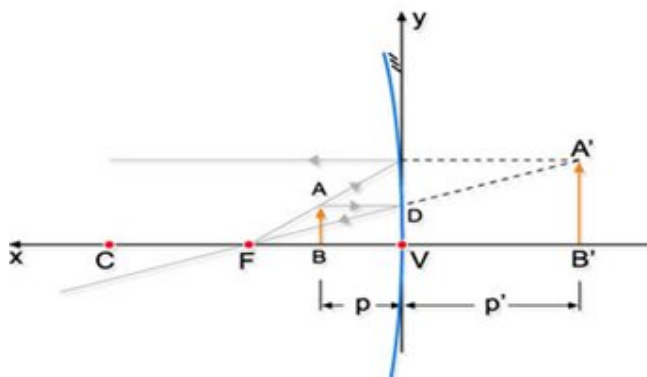
Dadas a distância focal e posição do objeto é possível determinar, analiticamente, a posição da imagem. Sendo f , p e p' as respectivas abcissas, pode-se mostrar que a relação entre essas três grandezas é:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Portanto, uma vez conhecidas duas abcissas, a terceira fica inteiramente determinada.

A equação acima é também conhecida como equação de Gauss e é uma equação fundamental no estudo dos espelhos esféricos.

A demonstração da equação de Gauss faz uso da semelhança de triângulos FVD com $FB'A'$.



Semelhança dos triângulos FVD com $FB'A'$ e lembrando das convenções de sinais. Também

$$\overline{VD} = \overline{BA} = o \text{ e } \overline{B'A'} = i.$$

$$\frac{\overline{VD}}{\overline{B'A'}} = \frac{\overline{FV}}{\overline{FB'}}$$

$$\frac{o}{i} = \frac{\overline{FV}}{\overline{FB'}}$$

$$\frac{o}{i} = \frac{f}{f - p'} \text{ (lembrando que } p' \text{ é } < 0 \text{)}.$$

Por outro lado, como já vimos,

$$\frac{o}{i} = -\frac{p}{p'}$$

assim:

$$\frac{f}{f - p'} = -\frac{p}{p'}$$

$$-fp' = p(f - p')$$

$$-fp' = pf - pp'$$

$$pp' = pf + fp'$$

Dividindo ambos os membros por $f p p'$ teremos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p''}$$

REFERENCIAS

Tendo em vista uma abordagem voltada para o ensino médio, utilizei informações contidas em guias didáticos como:

- OBJETIVO. Ensino Médio, 2ª série. www.objetivo.br;
- COC. Ensino Médio, 2ª série. www.sistamacoc.com.br;
- KAZUHITO, FUKU. Física para o ensino médio. São Paulo. Editora Saraiva, 2010.

E alguns sites da internet, cujas palavras chaves foram:

- Espelho esférico;
- Lei de Gauss.
- Condições de estigmatismo de Gauss.

A pesquisa foi retirada do site a seguir. A fonte que esse site fornece leva a um outro site que não existe mais. A autoria é desconhecida.

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/espelhos-esfericos/espelhos-esfericos-2.php#ixzz1vi0RO1Dw>

COMENTÁRIOS DO ORIENTADOR:

O professor Jorge Megid, meu orientador escreveu o seguinte comentário sobre o trabalho:

“Parecer sobre o Relatório de Felipe da Fontoura – RA 073059

Disciplina Instrumentação para o Ensino – 1º Sem. 2012

O relatório pode ser compreendido em três partes principais: um Resumo inicial que contextualiza a proposta e situa suas origens, a partir da vivência do estudante Felipe enquanto professor de Física em escolas públicas. A seguir, o relatório propriamente dito do Experimento, descrito com fotos e comentários passo-a-passo. Por fim, uma descrição teórico-matemática dos fenômenos envolvidos no experimento.

Quanto ao Resumo inicial, considero que a contextualização da proposta está bem comentada, indicando as dificuldades que o estudante Felipe encontra no exercício da profissão docente e que o levaram a propor o experimento em tela.

Na segunda parte do Relatório encontramos o desenvolvimento do Experimento. Este está bem relatado, com breves explicações entremeadas por fotografias que traduzem ao leitor os resultados do experimento. Esta é uma parte bastante positiva do Relatório, e que mostra a iniciativa própria do estudante Felipe e sua criatividade na formulação do projeto e no relato passo-a-passo do experimento.

Na 3ª parte, a partir do tópico “Pesquisa” e nos tópicos subsequentes, é exposta a teoria subjacente aos fenômenos ópticos explorados no Experimento. Todo o texto e ilustrações foi retirado de um site ou artigo da internet, não sendo de autoria do

estudante. Como se trata de um tratamento teórico relativamente simples, o estudante poderia ter desenvolvido uma abordagem própria, tomando apenas por referência (mas não literal) livros de graduação ou mesmo de ensino médio. De qualquer forma, isto não invalida o objetivo principal do Experimento e do Relatório.

Por fim, gostaria de comentar a proposta específica Experimento. Tenho dúvidas que sua utilização com alunos do ensino médio permita obter a compreensão por parte deles que o estudante Felipe espera. Minha experiência como professor do ensino médio por 16 anos permite-me considerar que há aparatos de baixo custo mais eficientes que este proposto por Felipe para se observar os fenômenos ópticos que pretendeu. Contudo, entendo que a proposta da Disciplina é permitir a iniciativa criativa dos estudantes e, nesse sentido, considero que a proposta do estudante Felipe é **inovadora e criativa**, ainda que seus resultados sejam discutíveis quanto à sua eficácia no ensino-aprendizagem.

Infelizmente, devido ao meu excesso de trabalho neste semestre praticamente em nada pude colaborar com Felipe na proposição de alternativas ao experimento que ele imaginou.

Considero, assim, o Relatório com qualidade suficiente para a **aprovação** do estudante na disciplina.

Jorge Megid Neto, 12 de julho de 2012.

FE-Unicamp”