

Demostudo

Por: João Vitor de Souza Fradique Corrêa

Apostila de Óptica

2020

Sumário

1	Roteiro de Estudos	3
1.1	Conteúdo	3
1.2	Sugestões para complemento do estudo	3
1.3	Ações a serem tomadas	3
2	Óptica Geométrica	4
2.1	Introdução à Óptica Geométrica	4
2.2	O Comportamento das Cores e Como são Expressadas	6
2.3	Princípio de Propagação da Luz e Suas Comprovações	7
2.3.1	Eclipses	8
2.3.2	Câmara Escura de Orifício	9
2.4	Princípio da Reversibilidade e da Independência dos Raios de Luz:	10
3	Reflexão da Luz e Espelhos Planos	11
3.1	Leis da Reflexão	11
3.2	Imagens em um Espelho Plano	11
3.3	Campo de Visão de um Espelho Plano	13
3.4	Translação e Rotação de um Espelho Plano	14
3.5	Imagem entre Dois Espelhos Planos	15
3.6	Imagem de um Objeto Extenso Assimétrico	15
4	Espelhos Esféricos	16
4.1	Espelhos Esféricos de Gauss	18
4.1.1	Propriedades dos Espelhos Esféricos de Gauss	19
4.2	Construção de Imagens	20
4.3	Análise dos Espelhos Esféricos	22
4.3.1	Aumento Linear Transversal	23
5	Refração Luminosa	24
5.1	Índices de Refração e Refringência	25
5.2	Leis da Refração	25
5.3	Ângulo Limite e Reflexão Total	26
5.4	Dióptro Plano	27
5.5	Lâmina de Faces Paralelas	28
5.6	Prismas	29
5.6.1	Prismas de Reflexão Total	30
5.6.2	Dispersão Luminosa	31
6	Lentes Esféricas Delgadas	31
6.1	Comportamento Óptico das Lentes	33
6.2	Propriedades das Lentes Delgadas	34
6.3	Construção de Imagens nas Lentes Esféricas	35
6.4	Análise das Lentes Esféricas	37
6.4.1	Distância Focal (f) e Vergência das Lentes (D)	37
7	Instrumento Ópticos	38
7.1	Lupa	39

8	Microscópio Composto	39
8.1	Luneta Astronômica	40
8.2	Projeter de Slides	40
9	Lista de Exercícios	41
10	Gabarito	48

1 Roteiro de Estudos

1.1 Conteúdo

Óptica

1.2 Sugestões para complemento do estudo

Sugestões de Vídeo - aulas:

- Princípios Fundamentais da Óptica Geométrica (24 min) - <https://youtu.be/QKPj0f3mN5c?list=PLzjR7HXQnrcejt6bCK57Wxnwa6K9rqt3X>
- Translação de Espelhos (9 min) - <https://youtu.be/D83vkAstQi4>
- Espelhos Esféricos (16 min) - <https://youtu.be/9Qs6fKLJeYo>
- Lentes (5 min) - <https://youtu.be/DYVye0ByJkQ>
- Instrumentos Ópticos (5 min) - https://youtu.be/pH_JhlFSrN8

1.3 Ações a serem tomadas

- I. Ler o material abaixo.
- II. Fazer a lista de exercícios após o material.
- III. Conferir o gabarito e as resoluções.
- IV. Realizar as sugestões acima.

2 Óptica Geométrica

Em primeiro lugar, a óptica geométrica tem como principal objetivo, estudar diversos fenômenos ópticos, que na maioria das vezes, estão presentes em nosso cotidiano. Antes de entrarmos a fundo nestes fenômenos, temos que entender alguns conceitos básicos.

2.1 Introdução à Óptica Geométrica

O primeiro desses são os **raios de luz/luminosos**, que são linhas imaginárias que representam a direção e o sentido da propagação da luz. Um conjunto de raios luminosos é chamado de **feixe de luz**. Esse pode ser convergente, divergente ou paralelo, como demonstra a imagem abaixo:

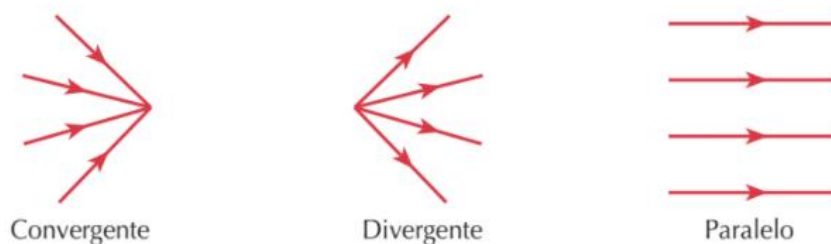


Figura 1: Propagação da Luz
Fonte:[1]

Atualmente, sabe-se que nossos olhos possuem lentes que captam a luz que é incidida neles, e que os objetos que vemos refletem a luz que eles recebem. A partir disso, pode-se concluir que os corpos que emitem luz são chamados de **corpos luminosos** e **fontes primárias**, enquanto aqueles que a refletem são os **corpos iluminados** e **fontes secundárias**. Para um observador visualizar um objeto, a luz produzida, ou refletida, por esse deve chegar ao olho do observador. Desse modo, e de acordo com a imagem abaixo pode-se concluir que os **meios transparentes** e **translúcidos** permitem a propagação da luz, enquanto os **meios opacos** não.

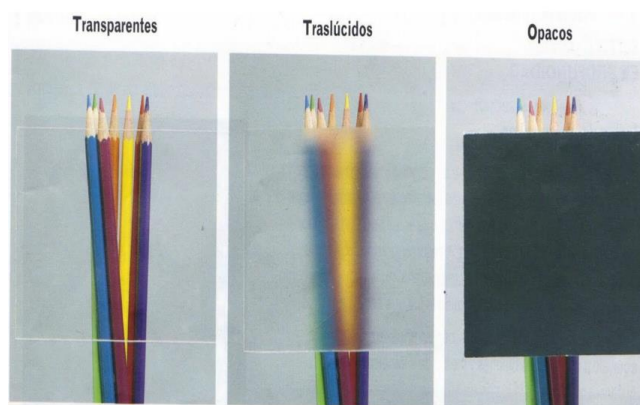


Figura 2: Tipos de Meios de Propagação da Luz
Fonte:[2]

Fenômenos ópticos

Leve em consideração, um feixe de luz paralelo propagando-se de um meio 1, para um meio 2, separados por uma superfície plana S. Dependendo das características do meio 2 e da superfície S, os fenômenos podem ser de: reflexão regular e difusa, refração e absorção da luz.

- **Reflexão regular ou especular**

É a reflexão que ocorre em espelhos e outras superfícies polidas. A reflexão regular ocorre quando o feixe de luz paralelo se propaga no meio 1, se choca com a superfície S e retorna ao meio 1 com uma direção bem definida.

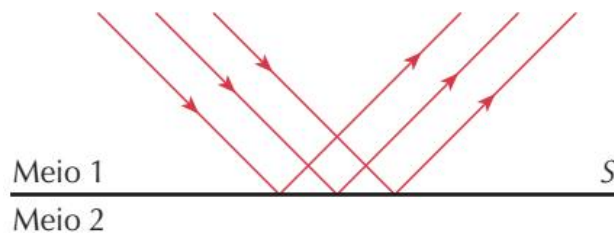


Figura 3: Exemplo de Reflexão Regular
Fonte:[1]

- **Reflexão Difusa**

Ocorre quando, assim como na regular, um feixe de luz paralelo se propaga no meio 1, incide sobre a superfície S, e retorna ao meio 1. Entretanto, essa volta ocorre com raios em diversas direções, ou seja, não estão mais paralelos.

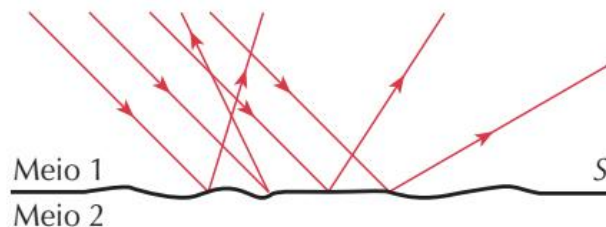


Figura 4: Exemplo de Reflexão Difusa
Fonte:[1]

- **Refração da luz**

Se sucede quando um feixe de luz paralelo se propaga no meio 1, passa pela superfície S e se propaga no meio 2. Um exemplo comum de refração da luz é quando a luz incide sobre a água de uma piscina. Se o meio 2 for translúcido, a refração será difusa. Esse fenômeno óptico será explicado mais detalhadamente no **tópico 3**.

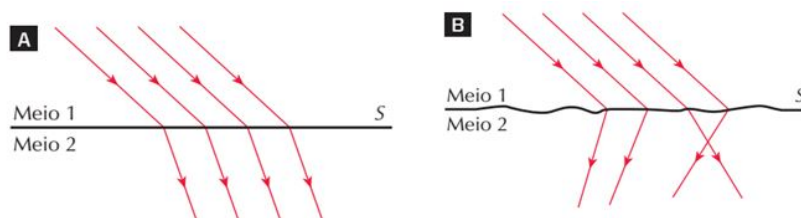


Figura 5: Exemplo de Refração da luz. (A)Regular e (B)Difusa
Fonte:[1]

- **Absorção da luz**

Acontece quando um feixe de raios se propaga no meio 1 e é absorvido na superfície S, não retornando nem para o meio 1 e 2.

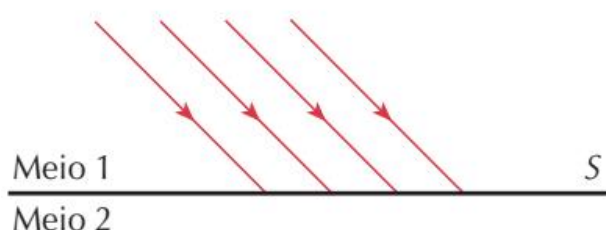


Figura 6: Exemplo de Absorção da Luz
Fonte:[1]

Agora, que já falamos sobre os principais fenômenos ópticos, podemos entrar a fundo no comportamento das cores durante esses.

2.2 O Comportamento das Cores e Como são Expressadas

A princípio, a cor de um corpo é determinada pela luz que ele reflete/transmite. Desse modo, um corpo é verde, pois ao ser iluminado por uma luz branca, reflete somente a cor verde e absorve as demais cores. A luz branca é constituída por diversas cores, que podem ser divididas em sete principais: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Essas cores são mais conhecidas por comporem os arco íris, como demonstra a imagem abaixo.



Figura 7: Divisão das Cores
Fonte:[3]



Figura 8: Espectro Visível
Fonte:[4]

A partir da imagem abaixo, pode-se concluir que, quando um corpo, reflete todas essas cores, a cor expressa por ele é branca. Entretanto, quando ele reflete somente uma cor, a cor expressa é a que foi refletida. Além disso, vale ressaltar que quando um corpo absorve todas as cores, ele é negro.

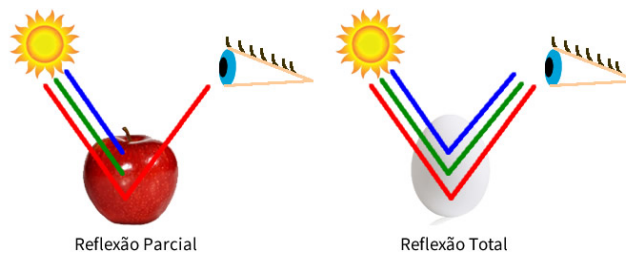


Figura 9: Reflexão das Cores
Fonte:[5]

Por fim, é importante lembrar, que nas suposições acima, foi considerado que os corpos possuem **cores puras**, ou seja, refletem somente uma cor e absorvem as outras ou refletem todas ou absorvem todas. No entanto, objetos podem refletir algumas cores e absorver outras. A cor do objeto será então a combinação das cores refletidas.

2.3 Princípio de Propagação da Luz e Suas Comprovações

Inicialmente, é importante constatar que, o **princípio de propagação da luz** afirma que:

A luz em meios homogêneos e transparentes, se propaga em linha reta.

Devido a este princípio, diversos experimentos e fenômenos naturais começaram a ser explicados. Na imagem abaixo, é possível ver a formação de uma sombra, sendo F uma fonte de luz, C um corpo opaco, que impede a passagem da luz, e um anteparo onde ocorre o surgimento da sombra S. A semelhança geométrica entre a sombra S e o corpo C é explicado pelo princípio da propagação retilínea da luz.

Por fim, as Figuras 12 e 13 são fotos reais dos eclipses estudados.



Figura 12: Imagem Real de um Eclipse Lunar
Fonte:[7]



Figura 13: Imagem Real de um Eclipse Solar Total
Fonte:[7]

2.3.2 Câmara Escura de Orifício

Além dos eclipses e de uma sombra projetada em um anteparo, a câmara escura de orifício pode ser utilizada para demonstrar o princípio de propagação retilínea da luz. Para isso, um objeto luminoso ou iluminado é posto em frente a câmara. O resultado disso pode ser visto no esquema abaixo, onde a imagem $M'N'$ é semelhante a vela MN , porém é invertida.

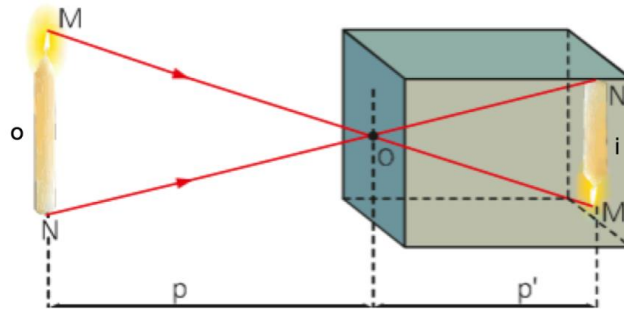


Figura 14: Experimento da Câmara Escura de Orifício
Fonte:[8]

A partir desse experimento, pode-se obter a seguinte relação entre o (altura do objeto), i (altura da imagem), p (distância entre o objeto e a câmara) e p' (comprimento da câmara):

$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'} \quad (1)$$

2.4 Princípio da Reversibilidade e da Independência dos Raios de Luz:

Além do princípio da propagação da luz, existem outros que também são extremamente importantes para uma melhor compreensão da óptica como área de estudo.

O primeiro que será explicado é o da reversibilidade da luz. Esse afirma que, nos fenômenos de reflexão e refração, a trajetória da luz independe do sentido de sua propagação. Esse conceito pode ser exemplificado pela Figura 15.

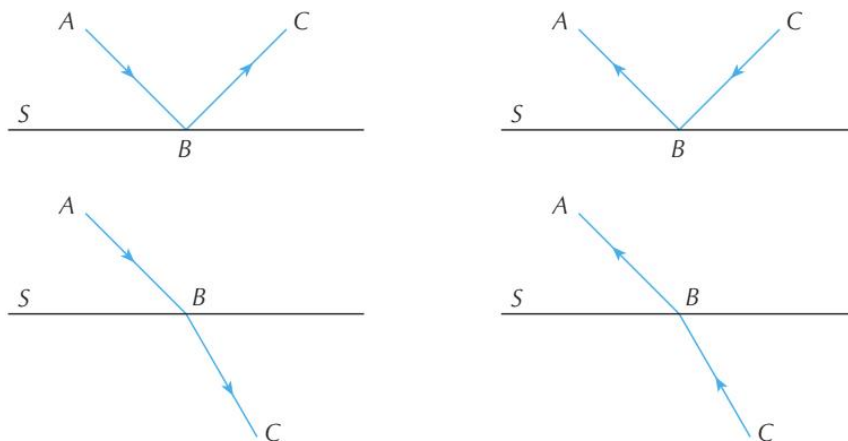


Figura 15: Exemplo da Reversibilidade dos Raios de Luz
Fonte:[1]

Já o princípio da independência dos raios de luz estipula que, quando raios de luz se cruzam, cada um deles não interfere na trajetória do outro, fazendo com que cada raio siga seu trajeto individualmente. A Figura 16 demonstra a aplicação desse conceito no cotidiano.

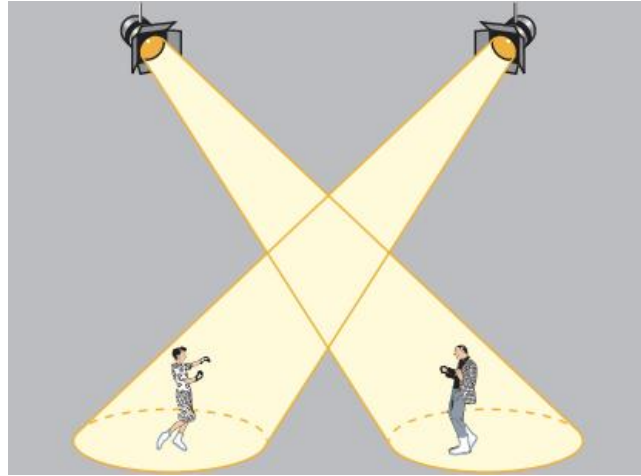


Figura 16: Exemplo de Independência dos Raios de Luz
Fonte:[1]

3 Reflexão da Luz e Espelhos Planos

A reflexão da luz ocorre quando o meio 2 é opaco e a superfície de separação S é polida, sendo chamada de superfície refletora ou espelho, que pode ser plano ou esférico. Esse fenômeno óptico possui duas leis que facilitam o seu entendimento. Na Figura 17, RI é o raio incidente, RR é o raio refletido, N é a reta normal e i , r representam os ângulos de incidência e de reflexão, respectivamente.

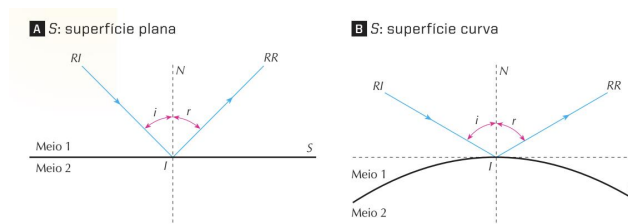


Figura 17: Exemplo de Reflexão da Luz
Fonte:[1]

3.1 Leis da Reflexão

A primeira lei afirma que, numa reflexão, o raio refletido (RR), a normal (N) e o raio incidente (RI) estão no mesmo plano. Esse conceito é importantíssimo para o entendimento da segunda lei da reflexão. Essa declara que o ângulo de reflexão (r) é igual ao ângulo de incidência (i):

$$r = i \quad (2)$$

A partir dessas leis, é mais fácil compreender as imagens em um espelho plano.

3.2 Imagens em um Espelho Plano

Em um espelho plano, as imagens podem ser formadas de acordo com os raios incidentes e refletidos. Levando em consideração que, P é um ponto luminoso ou iluminado que foi posto

de frente a um espelho plano E, observe a Figura 18.

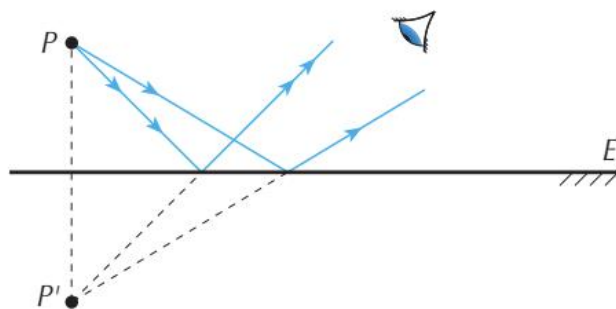


Figura 18: Espelho Plano
Fonte:[1]

Com base no esquema da Figura 18, pode-se perceber que os pontos P e P' possuem a mesma distância para o espelho E. Portanto, os prolongamentos dos raios refletidos, originados pelo ponto P, passam pelo ponto P', criando uma relação de simetria. Essa relação entre esses dois pontos também pode ser observada quando há reflexão de um feixe de luz, como demonstra a Figura 19.

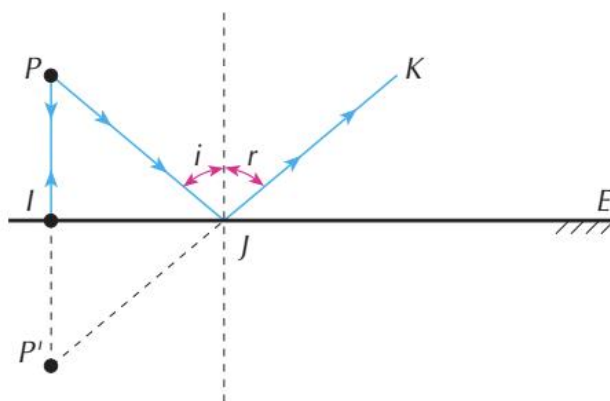


Figura 19: Esquema de Espelho Plano
Fonte:[1]

Baseado na figura acima, é possível afirmar que o ponto P' é o **ponto imagem**, pois é determinado pela interseção dos raios refletidos. Já o ponto P é o **ponto objeto**, porque é estabelecido pelo encontro dos raios incidentes. Além dessas definições, os pontos também podem ser **reais** ou **virtuais**. Enquanto os **reais** são definidos pela interseção **efetiva** dos raios luminosos, os virtuais são marcados pelo cruzamento de **prolongamentos** dos raios luminosos. Na Figura 19 o ponto P é objeto real e o ponto P' é imagem virtual.

Entretanto, isso não significa que não possa ter um ponto objeto virtual ou imagem real. No esquema da Figura 20, pode-se ver exatamente o que foi dito, sendo P' um ponto imagem real e o ponto P objeto virtual. A princípio, desconsidere a lente na figura.

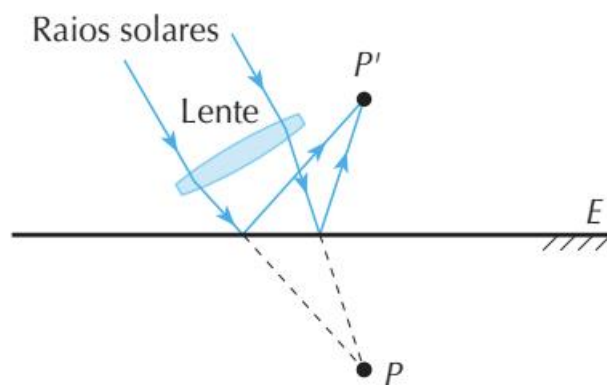


Figura 20: Esquema de Espelho Plano
Fonte:[1]

Por fim, quando um feixe de luz for paralelo, os pontos objeto e imagem são **impróprios**.

Após o entendimento das imagens possíveis a serem formadas em espelhos planos, pode-se seguir para a discussão do conceito de campo de visão.

3.3 Campo de Visão de um Espelho Plano

Durante o cotidiano, é bem comum as pessoas se mexerem com o intuito de alterar o que está sendo visto por elas. Um exemplo disso é o retrovisor interno de um carro. Se uma pessoa muda de posição entre os bancos de passageiros, ela conseguirá ter diferentes campos de visão, e desse modo, conseguirá ver partes diferentes de dentro do carro.

Tendo isso em conta, imagine um observador na frente de um espelho plano. Seu campo de visão será a região localizada entre as retas incidentes e acima do plano do espelho, como demonstra a Figura 21.

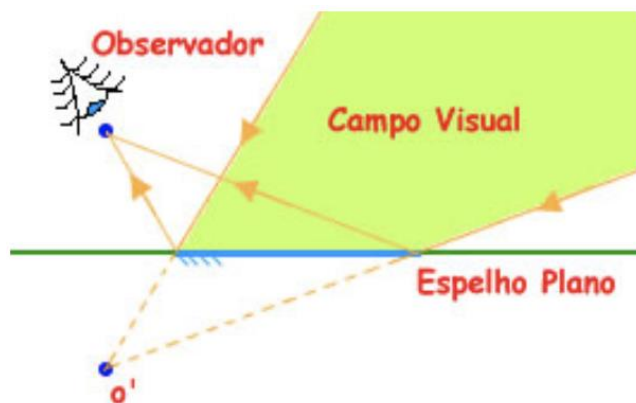


Figura 21: Exemplo de Campo de Visão de um Espelho Plano
Fonte:[9]

Ademais, mudanças também são vistas quando há a movimentação do próprio espelho, como o movimento de translação ou rotação.

3.4 Translação e Rotação de um Espelho Plano

Caso um espelho plano, passe por uma translação de distância d , a imagem projetada irá sofrer um deslocamento D , que será duas vezes maior que d , como demonstra a equação e a Figura 22, onde A e B são as posições do espelho e P1, P2 são as posições da imagem de P:

$$D = 2d \quad (3)$$

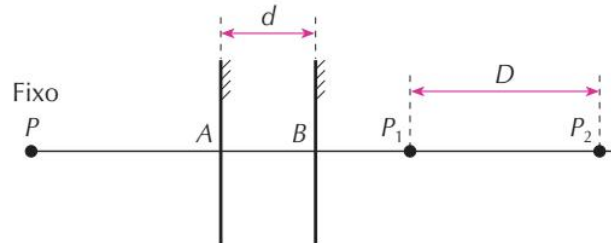


Figura 22: Exemplo de Translação em um Espelho Plano

Fonte:[1]

Além disso, um espelho plano também pode rotacionar, fazendo com que uma nova reta normal apareça e o raio incidente corresponder a outro raio refletido. Na Figura 23, é possível perceber a variação desses termos pelos ângulos de rotação do espelho (α), do raio refletido (Δ) e da normal, que também é representada por α .

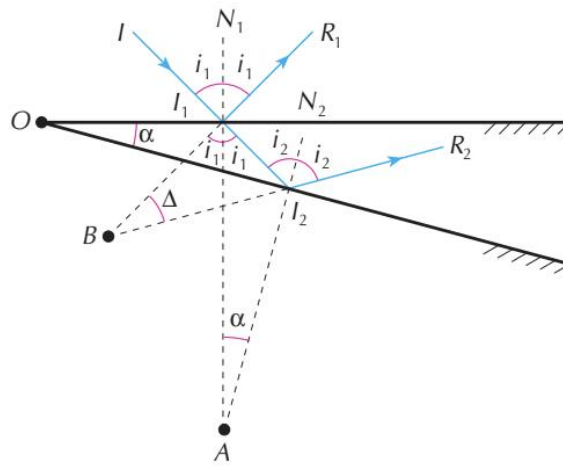


Figura 23: Exemplo de Rotação em um Espelho Plano

Fonte:[1]

Um ponto importante na imagem acima é a relação entre α e Δ . A partir de algumas deduções, se resulta na seguinte equação:

$$\Delta = 2\alpha \quad (4)$$

Depois de se compreender processos de movimentação do espelho e como esses afetam a formação da imagem, segue-se no próximo tópico para a discussão de uma imagem formada entre dois espelhos planos.

3.5 Imagem entre Dois Espelhos Planos

Ao colocar um ponto iluminado ou luminoso P entre dois espelhos pode-se obter um número variado de imagens, que depende do ângulo α entre os espelhos. A Figura 24, mostra que quando os espelhos estão a 90 graus, ocorre a formação de três imagens, I_1 , I_2 e I_{12} .

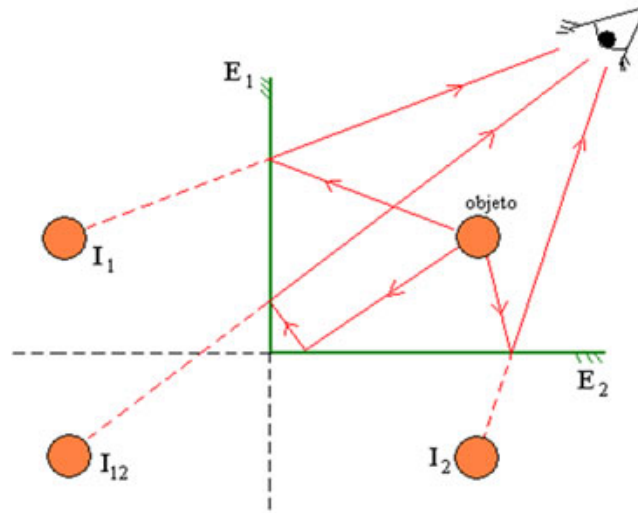


Figura 24: Exemplo de Imagem entre Dois Espelhos Planos
Fonte:[10]

O número de imagens, N , formada por um objeto entre dois espelhos planos pode ser calculada pela seguinte equação:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1 \quad (5)$$

PERGUNTA

? Você sabe a diferença entre o ângulo α presente na rotação dos espelhos planos e o que aparece na equação do número de imagens entre dois espelhos planos?

R: Enquanto na rotação dos espelhos planos, o α está relacionado ao ângulo de rotação do espelho e da reta normal, na imagem entre dois espelhos planos, o α é o ângulo entre os dois espelhos planos em estudo.

Tendo dito isso, volta-se à discussão de apenas uma imagem. No próximo tópico, no entanto, estas serão de objetos extensos assimétricos

3.6 Imagem de um Objeto Extenso Assimétrico

Um ponto extremamente importante sobre os espelhos planos é a maneira com que eles formam a imagem de um objeto extenso não simétrico. Quando uma pessoa para na frente de um espelho plano sua imagem não se sobrepõe ao seu corpo. Ao invés disso, sua imagem fica de forma contrária, também chamada de figura enantiomorfa. Esse efeito também acontece em objetos do cotidiano, por exemplo: se um indivíduo olhar um para um relógio por um espelho, seus ponteiros vão percorrer uma trajetória anti-horária e seus números vão estar ao contrário, como na Figura 25:



Figura 25: Relógio
Fonte:[11]

Por fim, vale ressaltar que é **incorreto** dizer que um espelho plano inverte imagens, ele apenas deixa as formas do objeto ao contrário. Uma imagem invertida ocorre quando ela está de cabeça para baixo, ao ser comparada com o seu respectivo objeto.

4 Espelhos Esféricos

Os espelhos esféricos são formados quando uma esfera é cortada por um plano, criando duas **calotas esféricas**, como demonstra a Figura 26.

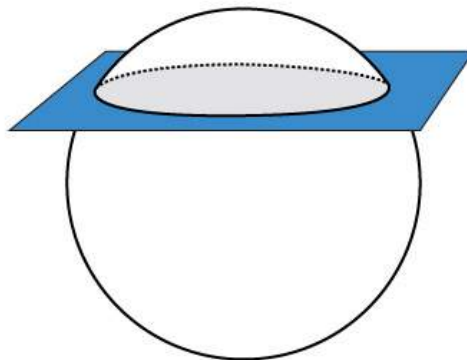


Figura 26: Espelhos Esféricos
Fonte:[12]

Portanto, pode-se afirmar que um **espelho esférico** é uma calota esférica, onde uma de suas superfícies é refletora. Quando essa superfície é interna, o espelho é **côncavo**, já quando é externa, ele é **convexo**.

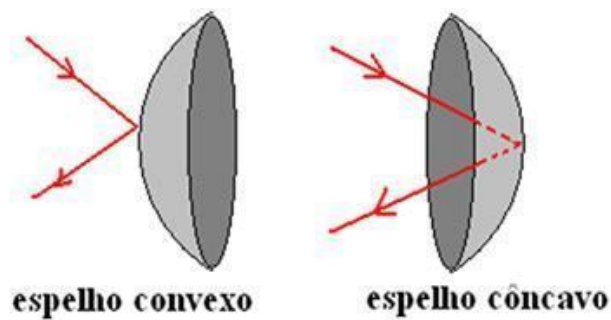


Figura 27: Esquema de Espelho Côncavo e Convexo
Fonte:[13]

Esses tipos de espelhos esféricos podem ser vistos em uma colher, onde sua superfície interna faz o papel de um espelho côncavo, e sua superfície externa comporta-se como um espelho convexo



Figura 28: Exemplo de Espelho de Côncavo e Convexo
Fonte:[1]

Além disso, existem diversos elementos que caracterizam um espelho esférico:

- O **centro de curvatura (C)** é o centro da esfera que, ao ser fatiada, origina uma calota esférica e, conseqüentemente, um espelho esférico.
- O **vértice (V)** é o ponto da calota esférica que passa seu eixo de simetria.
- O **eixo principal** é a reta que passa pelo centro de curvatura (C) e pelo vértice (V).
- O **raio de curvatura (R)** é o raio das esferas que originam os espelhos esféricos.
- O **eixo secundário** é qualquer reta que passa pelo centro de curvatura (C), mas não passa pelo vértice (V).
- A **abertura do espelho (α)** é o ângulo determinado pelas retas que passam em dois pontos opostos A e B na extremidade da calota esférica, como na figura abaixo.

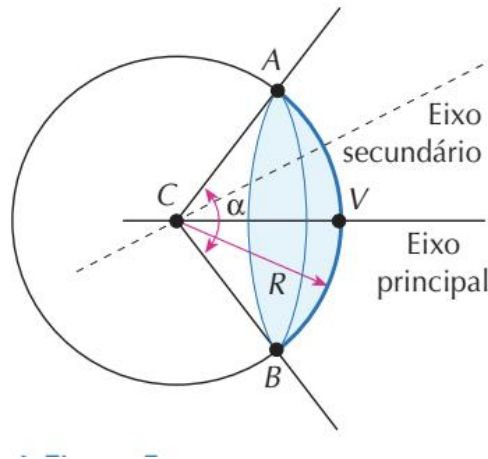


Figura 29: Esquema de Espelhos Esféricos
Fonte:[1]

4.1 Espelhos Esféricos de Gauss

Ao olhar diante de um espelho esférico, como uma colher, é muito comum que as imagens providas desse espelho sejam borradas, com uma certa deformação, e sem nitidez. Por meio de experimentos, Gauss estipulou as condições para que as imagens geradas de um espelho esférico sejam nítidas. De acordo com Gauss, para isso acontecer, os raios incidentes devem ser paralelos ou possuir uma pequena inclinação em relação ao eixo principal, o que ocorre em espelhos onde o ângulo de abertura α é muito pequeno (menor que 10°).

Levando isso em conta, pode-se considerar os espelhos esféricos, que possuem raios incidentes obedecendo as condições de Gauss, como **espelhos esféricos de Gauss**. Durante esta apostila, esses são únicos espelhos esféricos que serão estudados de maneira mais específica.

Em primeiro plano, é importante identificar a presença do **foco (F)** nos espelhos côncavos e convexos. Quando um raio incidente é paralelo ao eixo primário, ele é refletido de tal maneira que ele sempre irá passar pelo foco, que é retratado como um ponto no eixo principal. Ademais, os focos, assim como os pontos dos espelhos planos, podem ser virtual ou real. Como demonstra a Figura 30, **quando o espelho for côncavo, o foco é real, já nos convexos, o foco é virtual**.

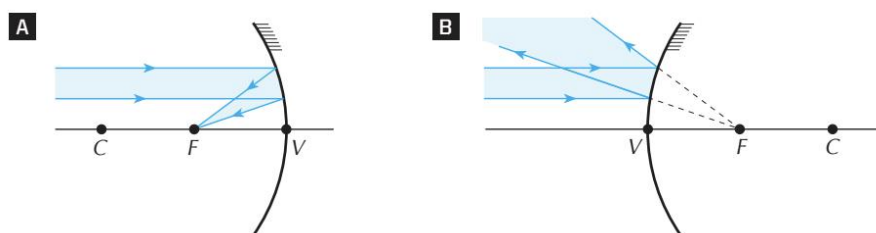


Figura 30: Esquema de Espelhos Esféricos de Gauss
Fonte:[1]

Além disso, quando um feixe de luz paralelo incide em um espelho esférico paralelamente a um eixo secundário, esse feixe passa por um **foco secundário (F_s)**, como manifesta a Figura 31:

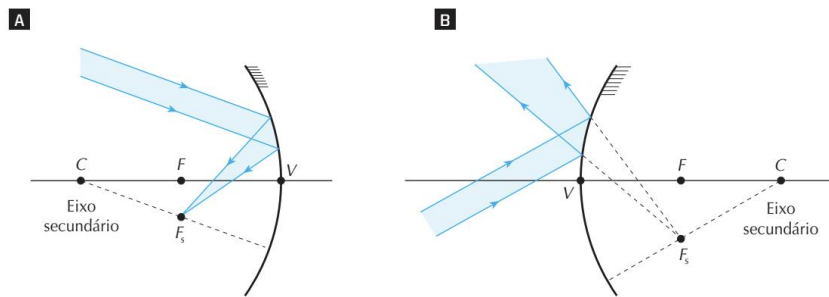


Figura 31: Esquema de Espelhos Esféricos de Gauss
Fonte:[1]

Com isso em mente, será visto alguns padrões que acabaram se tornando regras para os espelhos esféricos de Gauss.

4.1.1 Propriedades dos Espelhos Esféricos de Gauss

- Todo raio incidente que é paralelo ao eixo principal é refletido em uma direção que passa pelo foco principal (F).

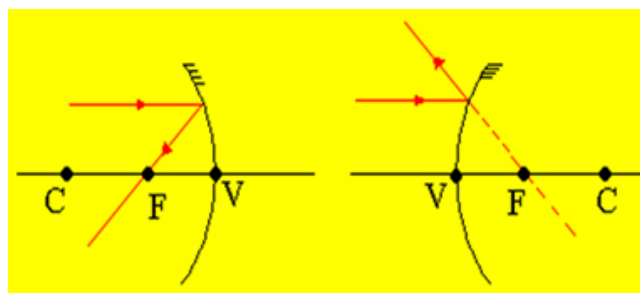


Figura 32: 1º Esquema de Espelho Esféricos de Gauss
Fonte:[14]

- A partir do que foi dito acima, pode-se concluir que quando um raio incide passando pelo foco principal (F), ele é refletido paralelamente ao eixo principal.

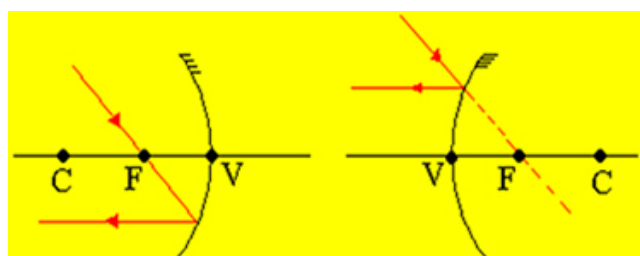


Figura 33: 2º Esquema de Espelho Esféricos de Gauss
Fonte:[14]

- Todo raio de luz incidente que passa pelo centro de curvatura (C), é refletido sobre si mesmo.

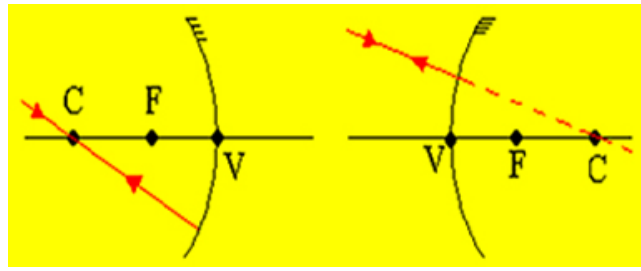


Figura 34: 3º Esquema de Espelho Esféricos de Gauss
Fonte:[14]

Todo raio de luz que incide no vértice (V), reflete simetricamente ao eixo principal.

4.2 Construção de Imagens

As imagens providas de um espelho esférico podem mudar dependendo da distância do objeto ao espelho e do tipo do espelho. Quando o espelho é convexo, somente um estilo de imagem é formada, já no côncavo, cinco estilos de imagem são gerados.

Nos espelhos convexos, para qualquer distância do objeto ao espelho, a imagem será **virtual, direita e menor do que o objeto**, como exhibe a Figura 35.

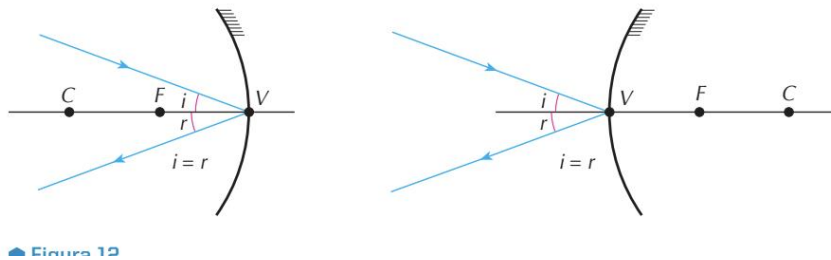


Figura 35: Esquema de Imagem Virtual
Fonte:[1]

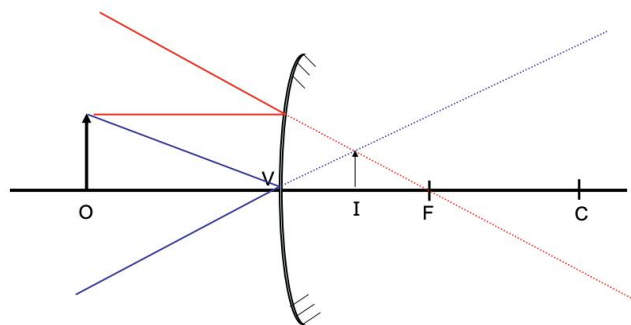


Figura 36: Esquema de Imagem Virtual, Direita e Menor
Fonte:[1]

Quando dizemos que uma imagem é **direita**, a altura dessa (i) possui o **mesmo sinal** que a altura do objeto (o). Já a imagem invertida possui a altura (i) com **sinal oposto** a altura do objeto (o).

Já o espelho côncavo possui uma série de tipos de imagens. Quando o objeto está além do centro de curvatura C , a imagem será **real, invertida e menor que o objeto**.

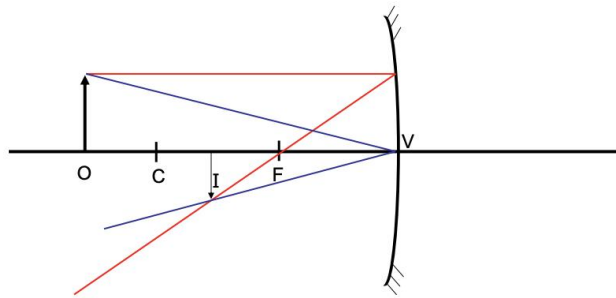


Figura 37: Esquema de Imagem Real, Invertida e Menor
Fonte:[1]

Já, no momento em que o objeto está em cima do centro de curvatura C , a imagem será **real, invertida e de mesmo tamanho** que o objeto.

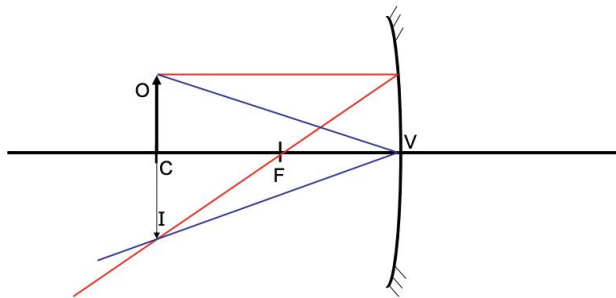


Figura 38: Esquema de Imagem Real, Invertida e Mesmo Tamanho
Fonte:[1]

Quando o objeto está entre o centro de curvatura C e o foco principal F a imagem é **real, invertida e maior** que o objeto.

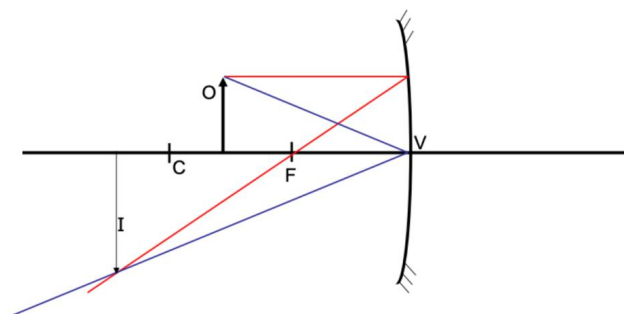


Figura 39: Esquema de Imagem Real, Invertida e Maior
Fonte: [1]

Quando o objeto está entre o centro de curvatura C e o foco principal F a imagem é **real, invertida e maior** que o objeto.

Por outro lado, quando o objeto é localizado em cima do foco principal de um espelho côncavo, a imagem é **imprópria**, sendo projetada no infinito.

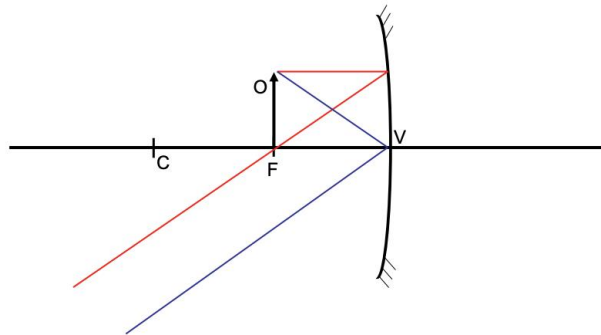


Figura 40: Esquema de Imagem Real, Invertida, Maior e Imprópria
Fonte: [1]

Por último, o objeto pode estar entre o foco principal F e o vértice V , o que irá formar uma imagem **virtual, direita e maior** que o objeto.

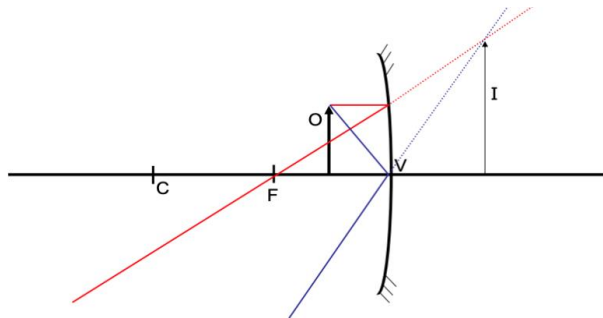


Figura 41: Esquema de Imagem Virtual, Direita e Maior
Fonte: [1]

4.3 Análise dos Espelhos Esféricos

Ao estudar a fundo os espelhos esféricos, pôde-se destacar seu sistema de coordenadas com as seguintes características, que aparecem na Figura 42:

- A Origem fica no mesmo local que o vértice (V) do espelho.
- O eixo das abscissas (eixo X) tem a mesma direção que o eixo principal é o sentido contrário ao da luz incidente.
- O eixo das ordenadas (eixo Y) tem a direção perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente

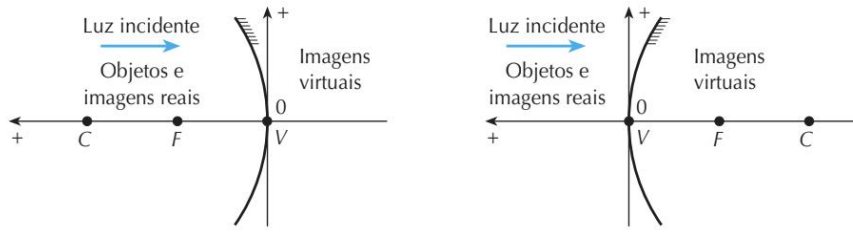


Figura 42: Esquema de Espelhos Esféricos

Fonte: [1]

Levando isso em conta, e sendo p e p' , respectivamente, as abscissas do objeto e da imagem, podemos concluir que:

- Todo objeto tem p maior que 0, pois são reais.
- As imagens reais possuem p' maior que zero.
- As imagens virtuais possuem p' menor que zero.

Ademais, a abscissas do foco principal (F) é mais conhecida como a distância focal do espelho (f), que representa o espaço entre o foco principal (F) e o vértice (V).

A partir disso, pode-se estabelecer uma relação entre o foco principal F e o raio R do centro de curvatura (a distância entre o vértice V e o centro de curvatura (C) que é determinada pela seguinte equação:

$$f = \frac{R}{2} \quad (6)$$

Além disso, existe uma relação entre a distância focal (f), a abscissas o objeto (p) e a abscissas da imagem (p'), que é chamada de equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (7)$$

A partir dessas duas equações pode-se deduzir que:

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (8)$$

4.3.1 Aumento Linear Transversal

Além das relações envolvendo as posições do foco, do objeto e da imagem, o aumento linear transversal (A) é a relação das ordenadas i e o , que representam, respectivamente, a posição da imagem e do objeto no eixo Y. Essa relação pode ser entendida pela seguinte equação:

$$A = \frac{i}{o} \quad (9)$$

A partir da semelhança entre os triângulos ABV e A'B'V na figura abaixo, pode-se compreender que:

$$-\frac{p'}{p} = \frac{i}{o} \quad (10)$$

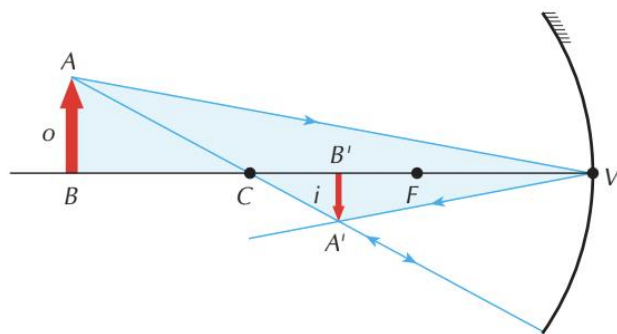


Figura 43: Esquema de Espelhos Esféricos com Aumento Linear Transversal
Fonte: [1]

Portanto:

$$A = -\frac{p'}{p} = \frac{i}{o} \quad (11)$$

Quando A é maior que zero, i e o possuem o mesmo sinal e p e p' tem sinais opostos, fazendo com que o **objeto seja real** (p maior que zero) e **imagem direita e virtual** (p' menor que zero). Entretanto, quando A é menor que zero, i e o possuem sinais opostos e p e p' tem sinais iguais, sendo assim o objeto é real (p maior que zero) e a imagem é invertida e real (p' maior que zero).

Agora que os espelhos esféricos já foram detalhados, pode-se explicar de maneira mais aprofundada, o fenômeno de refração luminosa.

5 Refração Luminosa

A princípio a refração luminosa ocorre quando a luz passa de um meio para outro, com uma **alteração em sua velocidade de propagação**. Quando a luz incide de maneira oblíqua, essa mudança de velocidade resulta em um desvio. Já quando ela incide perpendicularmente, **não** ocorre desvio.

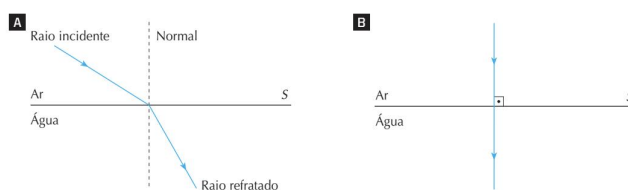


Figura 44: Esquema de Refração Luminosa
Fonte: [1]

Na Figura 45, devido ao fenômeno óptico da refração, a colher aparenta estar quebrada. Entretanto essa impressão é causada pelo desvio da luz que se propaga obliquamente.



Figura 45: Exemplo de Refração Luminosa
Fonte: [15]

Levando isso em conta, pode-se explicar que esse fenômeno ocorre por causa dos índices de refração e refringência.

5.1 Índices de Refração e Refringência

O índice de refração absoluto (n) de um meio, para uma luz monocromática, é representado pela seguinte equação, onde c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade da luz no meio analisado:

$$n = \frac{c}{v} \quad (12)$$

Com base na equação acima, vale ressaltar que n é uma adimensional, não possui grandeza de medida, sendo maior que 1 para qualquer meio que não seja o vácuo ($n_{\text{vacuo}} = 1$).

Quando dois meios são comparados pelos seus índices de refração, o termo **refringência** é muito utilizado. O meio com maior índice de refração é aquele que possui a **maior refrefringência**, sendo **mais refringente**. Ou seja, a refrefringência é o índice de refração relativa entre dois meios. Quando os dois meios apresentam o mesmo índice de refração e, consequentemente, a mesma refrefringência, se diz que entre esses meios ocorre uma **continuidade óptica**.

A partir desse conceito, podem-se entender as leis da refração.

5.2 Leis da Refração

Existem duas leis da refração, principais que se baseiam nos termos que aparecem na Figura 46:

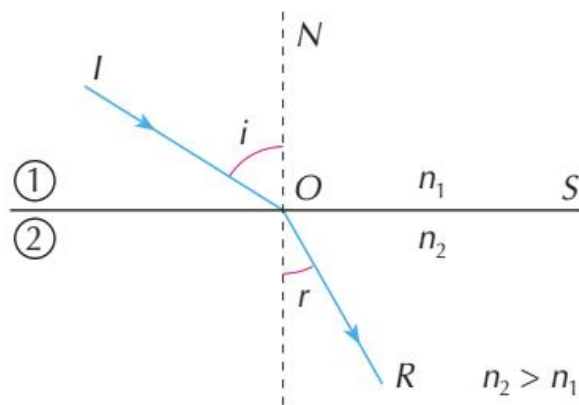


Figura 46: Esquema das Leis da Refração
Fonte: [1]

A primeira delas afirma que o raio incidente (I), o raio refratado (R) e a reta normal (N) estão em um mesmo plano. Essa lei é basicamente uma condição para a segunda lei da refração que é mais conhecida como a **lei de Snell-Descartes**. Essa retrata uma relação constante pela seguinte equação, onde n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios 1 e 2; e i , r são, respectivamente, os ângulos de incidência e refração:

$$n_1 \cdot \sin(i) = n_2 \cdot \sin(r) \quad (13)$$

Levando em conta a equação acima, pode-se deduzir os seguintes fatos:

- Quando a luz passa de um meio **menos** refringente para outro com um índice de refração **maior**, o raio de luz **se aproxima** da reta normal.
- Quando a luz passa de um meio **mais** refringente para outro com um índice de refração **menor**, o raio de luz **se afasta** da reta normal.

Além disso, é possível calcular o **índice de refração relativo** que é representado por n_{21} :

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (14)$$

Quando mudamos os ângulos de incidência dos raios de luz, chega-se ao conceito de **ângulo limite**.

5.3 Ângulo Limite e Reflexão Total

Quando o ângulo de incidência tende a 90° , o ângulo de refração começa a tender ao valor máximo de L , que é chamado de **ângulo limite**, como é demonstrado na Figura 47.

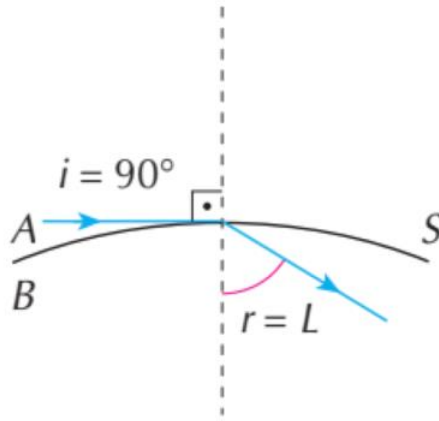


Figura 47: Ângulo Limite e Reflexão Total
Fonte: [1]

Ao aplicar a lei de Snell-Descartes, quando $i = 90^\circ$ e $r = L$, a seguinte equação pode ser deduzida:

$$\sin(L) = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \quad (15)$$

Se invertemos o caminho da luz, fazendo incidir do meio mais refringente para o menos refringente com um ângulo $i \geq L$ não haverá luz refratada para o meio menos refringente, sendo toda a luz refletida de volta para o meio mais refringente.

A partir desse conceito, pode-se entender como ocorre uma reflexão total, quando nenhuma parcela da luz é refratada e sim refletida. Para isso ocorrer é preciso que haja duas condições:

- A luz tem que se propagar de um meio mais refringente para outro menos refringente.
- O ângulo de incidência tem que ser maior que o ângulo limite. A Figura 48 demonstra uma reflexão total.

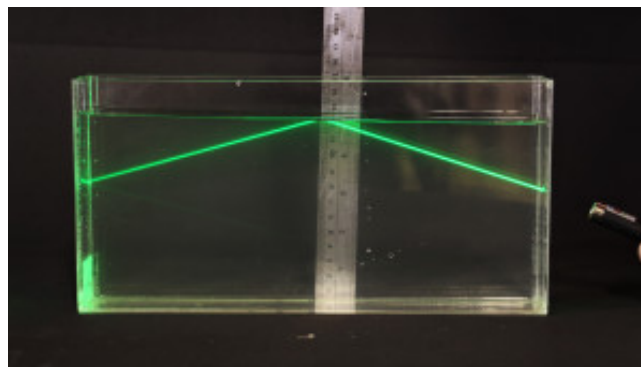


Figura 48: Exemplo de Reflexão Total
Fonte: [16]

5.4 Dióptro Plano

Dióptro plano é o conjunto de dois meios homogêneos com uma superfície S , que gera, ao observador, uma ilusão relacionada a altura de um objeto. Um exemplo de dióptro plano é a

água de um lago e o ar, separados pela superfície do líquido. Quando um pescador olha para um peixe dentro da água, na verdade, ele está observando o peixe acima da sua posição real. Isso ocorre, pois os raios oblíquos são refratados antes de chegarem aos olhos do observador. Essa situação é manifestada na imagem abaixo, onde H é a altura real do peixe até a superfície da água e h é a altura aparente.

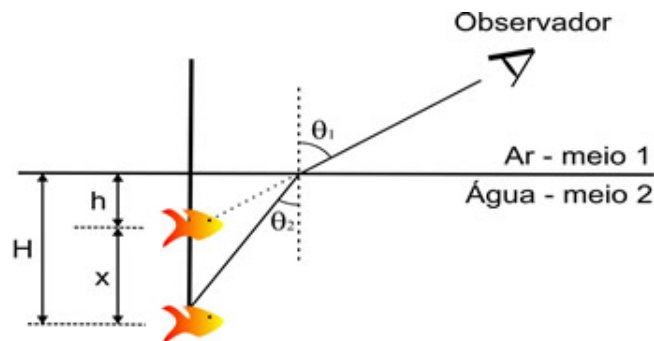


Figura 49: Exemplo de Dióptro Plano

Fonte: [17]

Nos casos relacionados a dióptro plano, o valor da altura aparente h depende dos índices de refração dos meios 1 e 2. Levando isso em conta, a seguinte relação é válida para os casos de dióptro plano:

$$\frac{H}{h} = \frac{n}{n'} \quad (16)$$

Vale ressaltar que na equação acima, n é o índice de refração do meio de incidência, e n' é o índice de refração do meio de emergência.

5.5 Lâmina de Faces Paralelas

A lâmina de faces paralelas é formada por um meio homogêneo transparente, que com duas superfícies planas e paralelas. Quando os meios externos são idênticos, o raio de luz não sofre desvio angular, mas sim desvio lateral, como aparece na Figura 50, onde os raios R e R' são paralelos:

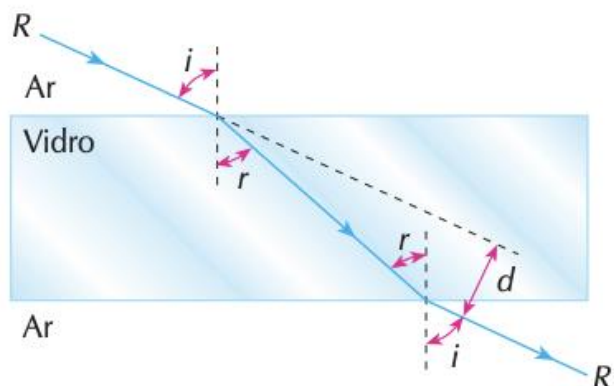


Figura 50: Exemplo de Faces Paralelas

Fonte: [1]

Caso os meios externos não sejam idênticos, os raios emergentes não serão paralelos aos raios incidentes.

5.6 Prismas

Um prisma, assim como a lâmina de faces paralelas, é composto de um meio homogêneo e transparente. Em um prisma, os fenômenos ópticos são analisados na seção principal, que é retratada na Figura 51, onde o ângulo A é chamado de ângulo de refração.

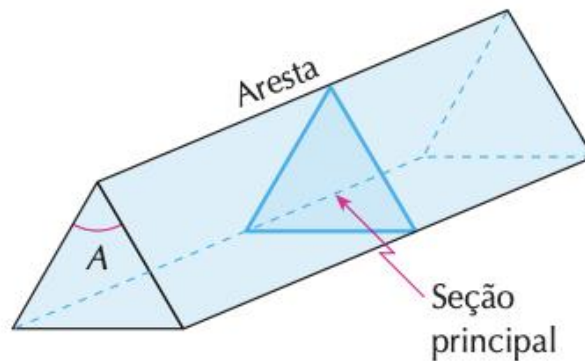


Figura 51: Exemplo de Prismas
Fonte: [1]

Na Figura 52, pode-se observar um prisma de vidro, que é colocado no ar, sendo atravessado por um raio de luz.

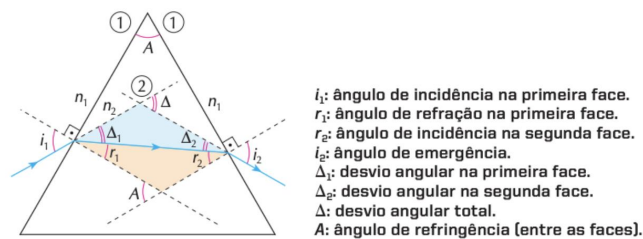


Figura 52: Exemplo de Prisma de Vidro
Fonte: [1]

Com suporte da Figura 52, pode-se chegar em duas relações geométricas do prisma:

$$A = r_1 + r_2 \quad (17)$$

$$\Delta = i_1 + i_2 + A \quad (18)$$

A segunda relação em função do desvio angular total é chamada de **equação do desvio**.

Além disso, quando os ângulos de incidência i_1 e i_2 são iguais, o desvio angular total da luz tem um valor **mínimo** δ , fazendo com que as relações métricas do prisma sejam alteradas:

$$A = 2r \quad (19)$$

$$\delta = 2i - A \quad (20)$$

5.6.1 Prismas de Reflexão Total

Os prismas são utilizados, em sua maioria, para desviar raios de luz por meio da refração. Apesar disso, alguns prismas de vidro são utilizados para reflexão total, substituindo o papel dos espelhos. Os modelos mais utilizados para reflexão total são aqueles que possuem uma seção principal com o formato de um **triângulo retângulo isósceles**. Os principais destes modelos são os **prismas de Amici** e os **de Porro**.

No prisma de Amici, muito usado em telescópios, periscópios, células de leituras de CDs/DVDs, mouses ópticos e outros instrumentos, os raios incidentes sofrem um desvio de 90 graus, incidindo perpendicularmente em uma das faces dos catetos, e sofrendo uma reflexão total na face da hipotenusa, como pode ser observado na Figura 53.

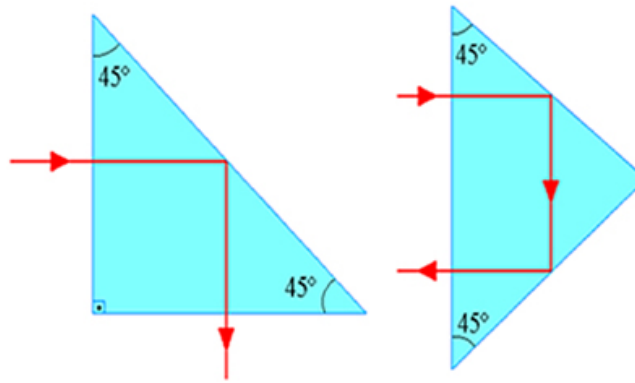


Figura 53: Exemplo de Prisma de Reflexão Total

Fonte: [18]

Já no prisma de Porro, muito usado em binóculos, sinalizações de trânsito, refletores de segurança e outros instrumentos, os raios incidem perpendicularmente na face da hipotenusa e sofrem dois desvios de 90 graus nas faces dos catetos, fazendo com que o raio emergente seja paralelo ao raio incidente, com um desvio de 180 graus.

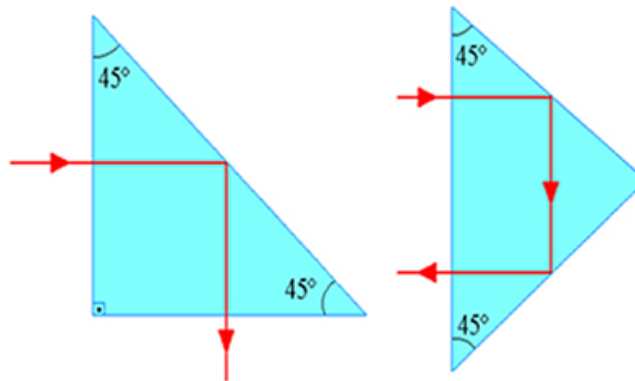


Figura 54: Exemplo de Prisma de Reflexão Total com Desvio

Fonte: [18]

5.6.2 Dispersão Luminosa

O índice de refração de um meio depende da cor da luz que se propaga. Essa dependência ocorre o índice de refração é **inversamente proporcional** a velocidade de propagação da luz, que muda dependendo de sua cor. Enquanto a luz vermelha é a que possui a maior velocidade, a luz violeta é a de menor velocidade.

A partir disso, pode-se introduzir o conceito de **decomposição de uma luz policromática**. Quando uma luz policromática sofre refração, suas cores vão sofrer uma dispersão, onde a cor que mais se aproxima da normal é a violeta, e a que menos se desvia é a vermelha, pois o índice de refração se aproxima de 1.

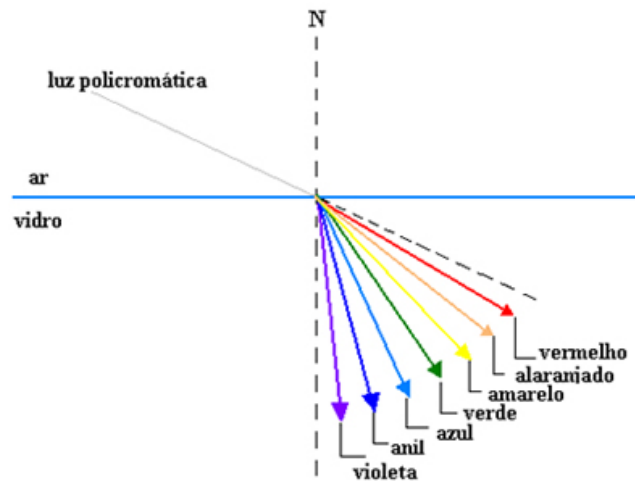


Figura 55: Dispersão da Luz
Fonte: [19]

Além disso, a dispersão das luzes pode ser intensificada, quando ocorrem em um prisma, pois a luz passa por duas refrações, como exemplifica a Figura 56.

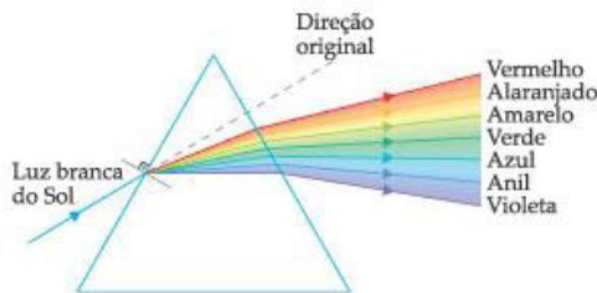


Figura 56: Dispersão da Luz em um Prisma
Fonte: [20]

6 Lentes Esféricas Delgadas

As lentes esféricas são sistemas ópticos formados por três meios homogêneos e transparentes divididos por ou uma superfície esférica e outra plana, ou duas superfícies esféricas. Os principais elementos geométricos da lente são:

- Centro curvatura das faces da lente (O_1 e O_2).
- Raios de curvatura das faces da lente (R_1 e R_2).
- Eixo principal (O_1O_2)
- Vértices das faces (V_1 e V_2)
- Espessura da lente (e)

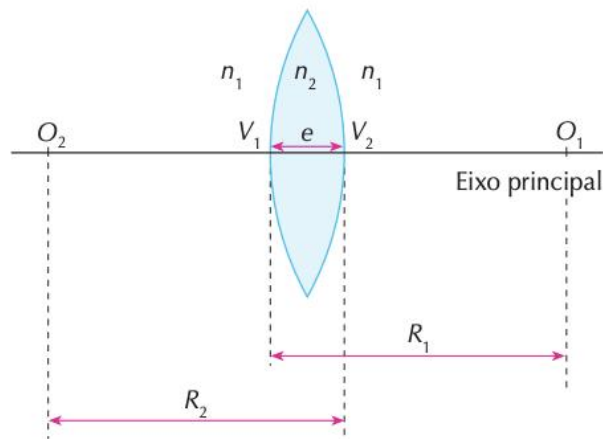


Figura 57: Esquema de Lentes Esféricas Delgadas
Fonte: [1]

Além disso, é importante demonstrar dois modelos de lentes, as de bordas finas ou delgadas e as de bordas grossas ou espessas, que estão destacadas na Figura 58.

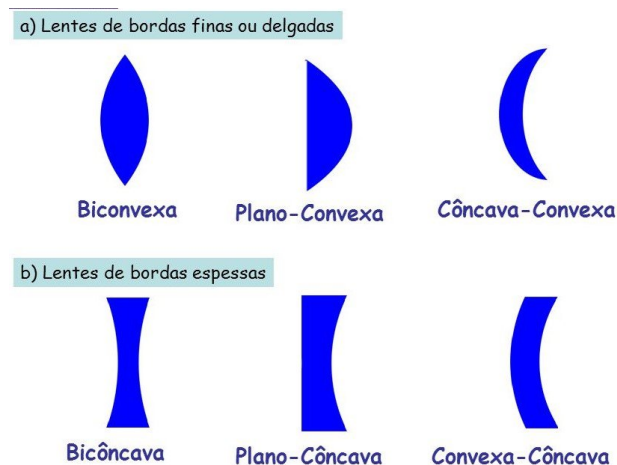


Figura 58: Tipos de Lentes Esféricas Delgadas
Fonte: [21]

Agora que já foi visto as principais características das lentes, será explorado seu comportamento óptico.

6.1 Comportamento Óptico das Lentes

A partir de agora, só as lentes delgadas serão estudadas. Elas são caracterizadas por uma espessura pequena quando comparada aos raios de curvatura de suas faces esféricas.

Ademais, elas podem ser divididas em dois tipos quando relacionadas a seu comportamento óptico: **convergente e divergente**. Uma lente é convergente quando os raios refratados que incidem de forma paralela ao eixo principal, se convergem a um mesmo ponto. Pelo outro lado, uma lente é divergente quando os raios refratados se divergem, partindo todos de um mesmo ponto, mas não possuindo um ponto final comum. Ambas as lentes, de bordas finas e grossas, podem se comportar como convergentes ou divergentes. Esse comportamento depende dos índices de refração da lente e do meio onde ela está inserida.

Quando o índice de refração da lente for **maior** que o do meio ao seu redor, as lentes de **bordas finas** vão se comportar como **convergentes**, enquanto as de **bordas grossas** vão ser **divergentes**. Na Figura 59, o índice de refração do ar é igual a 1, e o do vidro é igual a 1,5.

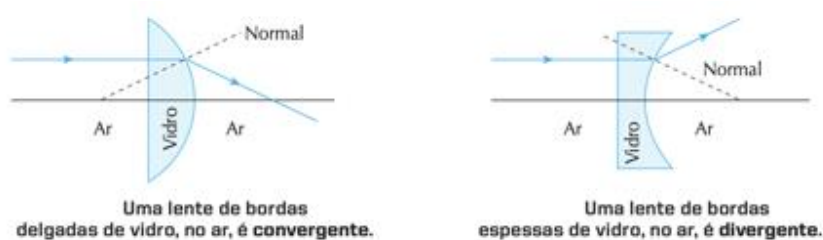


Figura 59: Comportamento das Lentes

Fonte: [1]

Entretanto, quando o índice de refração da lente for **menor** que o do meio ao seu redor, as lentes de **bordas finas** vão se comportar como **divergentes**, enquanto as de **bordas grossas** vão ser **convergentes**. No esquema seguinte, o índice de refração do vidro é 1,5 e o do sulfeto de carbono é igual a 1,7.

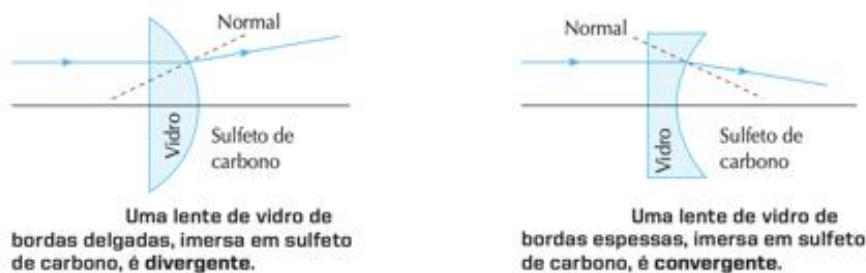


Figura 60: Comportamento das Lentes

Fonte: [1]

Muitas das vezes, as lentes esféricas são representadas por uma reta, ondas as pontas de setas inseridas nas extremidades do segmento indicam se a lente é divergente ou convergente. Na primeira imagem, a lente é convergente, enquanto na segunda a lente é divergente.

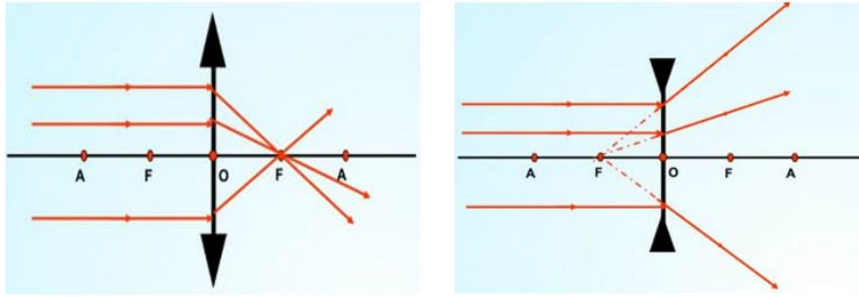


Figura 61: Comportamento das Lentes
Fonte: [22]

Nas figuras acima, a letra O representa o centro óptico, A é o ponto antiprincipal e F é o foco da lente. Assim como nos espelhos esféricos, os focos objeto (F) e imagem (F') mudam de posição caso a lente seja divergente ou . Quando a lente é **convergente**, os focos objeto e imagem são **reais**, e quando ela é **divergente**, ambos os focos principais são **virtuais**.

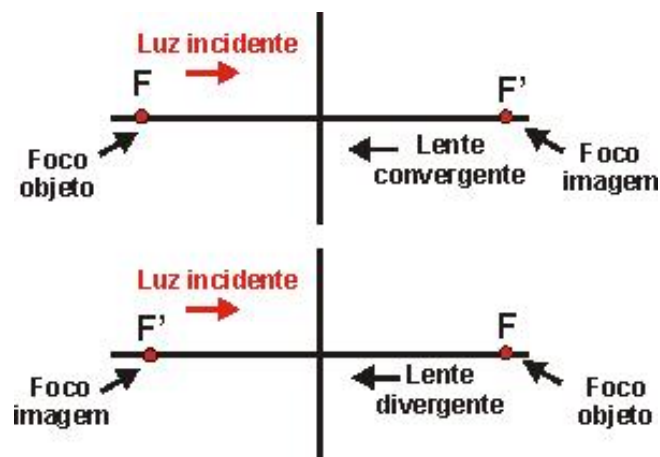


Figura 62: Comportamento das Lentes
Fonte: [23]

A partir disso, podem-se introduzir as propriedades das lentes delgadas.

6.2 Propriedades das Lentes Delgadas

Com base nos conceitos apresentados, pode-se enunciar os seguintes comportamentos dos raios de luz nas lentes delgadas:

- Todo raio de luz que passa pelo centro óptico da lente não sofre desvio ao atravessá-la.
- Todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal da lente, passa pelo foco imagem principal (F')
- Todo raio de luz que passa pelo foco objeto principal (F) emerge paralelamente ao eixo principal.

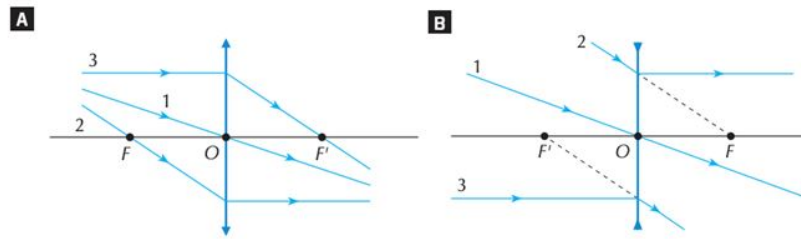


Figura 63: Esquema das Lentes Delgadas
Fonte: [1]

6.3 Construção de Imagens nas Lentes Esféricas

As imagens geradas de uma lente esférica, assim como nos espelhos, podem mudar dependendo da distância do objeto a lente e do tipo de lente. Quando a lente é divergente, somente um estilo de imagem é formada, já quando é convergente, cinco estilos de imagem são gerados. Nas lentes divergentes, a imagem de um objeto real é sempre **virtual, direita e menor que o objeto**.

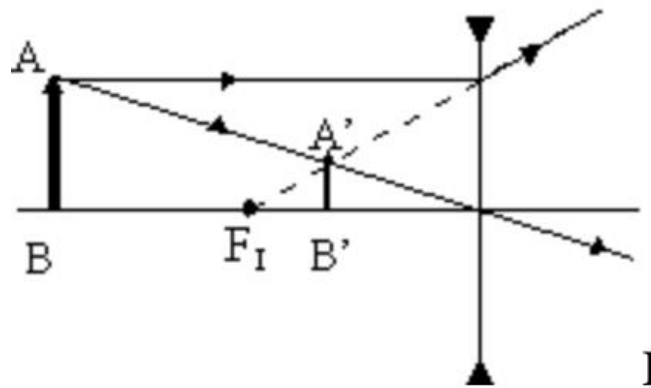


Figura 64: Lente Esférica Virtual, Direita e Menor
Fonte: [24]

Já as lentes convergentes, podem construir várias imagens. Quando o objeto está antes do ponto antiprincipal (A) a imagem é **real, invertida e menor que o objeto**.

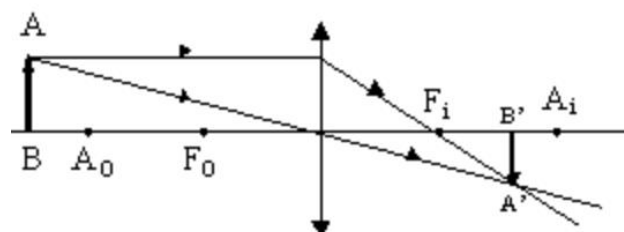


Figura 65: Lente Esférica Real, Invertida e Menor
Fonte: [24]

No momento em que o objeto está sobre o ponto antiprincipal (A), a imagem é **real, invertida e do mesmo tamanho** que o objeto.

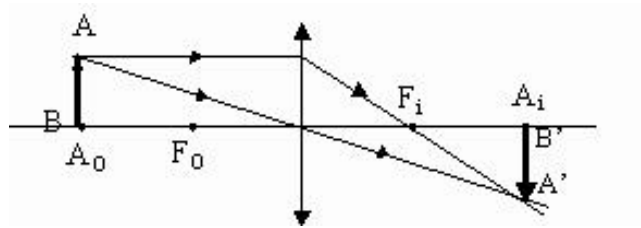


Figura 66: Lente Esférica Real, Invertida e Mesmo Tamanho
Fonte: [24]

Quando um objeto está entre o ponto antiprincipal (A) e o foco principal objeto (F) a imagem é **real, invertida e maior** que o objeto.

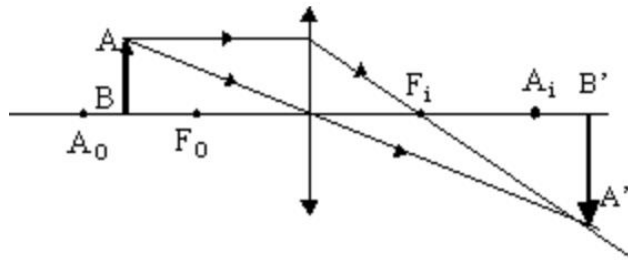


Figura 67: Lente Esférica Real, Invertida e Maior
Fonte: [24]

Na ocasião em que, o objeto está em cima do foco principal objeto (F), a imagem é **imprópria**.

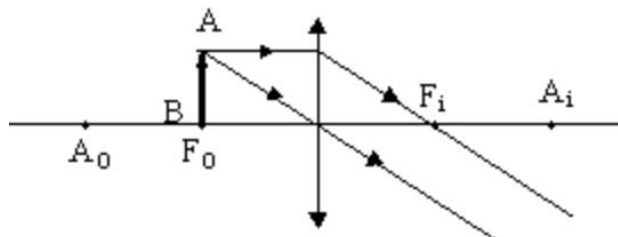


Figura 68: Lente Esférica Imprópria
Fonte: [24]

Por fim, quando o objeto está entre o foco principal (F) e o centro óptico (O), a imagem é **virtual, direita e maior** que o objeto.

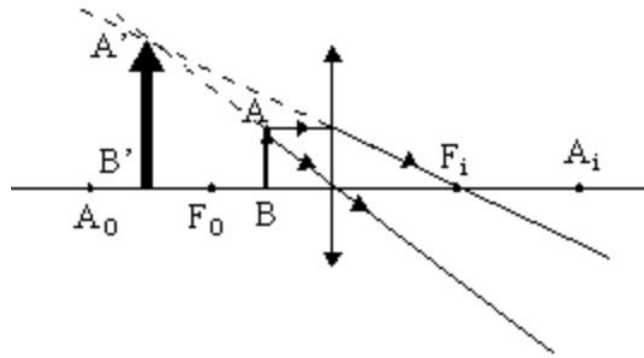


Figura 69: Lente Esférica Virtual, Direita e Maior
Fonte: [24]

6.4 Análise das Lentes Esféricas

O sistema de coordenadas dos fenômenos ópticos nas lentes esféricas é semelhante ao dos espelhos esféricos, como pode-se ver na Figura 70:

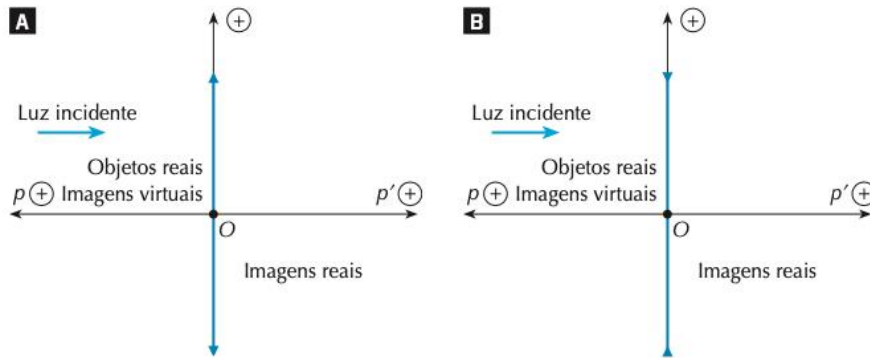


Figura 70: Sistemas de Coordenadas
Fonte: [1]

Assim como nos espelhos esféricos, nesse sistema de coordenadas, os objetos são sempre reais ($p > 0$), e as imagens podem ser reais ($p' > 0$) ou virtuais ($p' < 0$).

A partir disso, os conceitos de distância focal e vergência podem ser introduzidos neste sistema.

6.4.1 Distância Focal (f) e Vergência das Lentes (D)

Nas lentes esféricas, a distância focal (f) muda de sinal caso a lente seja convergente ou divergente. Quando a lente é **convergente**, a distância focal (f) é maior que 0. Já na lente **divergente**, a distância focal é **menor** que 0.

Além disso, as lentes esféricas apresentam o conceito de **vergência** (D), que também pode ser chamado de **convergência**. A vergência (D) de uma lente esférica é definida pelo inverso da distância focal (f), como demonstra a seguinte equação:

$$D = \frac{1}{f} \quad (21)$$

A unidade de vergência é chamada de **dioptria** (di), que é o inverso do metro (m^{-1}). A partir da vergência, pode-se apresentar a equação dos fabricantes de lentes, que é calculada pelos índices de refração dos meios (n_1 e n_2) e raios de curvatura das faces (R_1 e R_2):

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (22)$$

Os sentidos dos raios de curvatura (R_1 e R_2) dependem das faces das lentes. Quando a face é **convexa**, R é **maior** que 0. Já na face divergente, R é **menor** que 0.

Além dessa equação, as lentes esféricas também se aplicam na **equação de Gauss**, e nas **equações de aumento linear transversal**.

PERGUNTA

? Você lembra quais são as equações relacionadas a equação de Gauss e ao aumento linear transversal?

R:

- Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (23)$$

- Equação de aumento linear transversal:

$$A = -\frac{p'}{p} = \frac{i}{o} \quad (24)$$

7 Instrumento Ópticos

Instrumentos ópticos são formados pela combinação de espelhos lentes e prismas; são ferramentas que auxiliam na visualização de objetos muito pequenos ou distantes. Eles podem ser divididos em:

- Instrumentos de observação: fornecem imagens virtuais.

Exemplos: lupa, microscópio composto e luneta astronômica.

- Instrumentos de projeção: fornecem imagens reais.

Exemplos: projetor de slides, câmera fotográfica, e fotocopadora.

Os próximos tópicos apresentarão a formação de imagens em cada um dos instrumentos citados:

7.1 Lupa

É constituída basicamente por 1 lente convergente.

Imagem formada: virtual, maior que o objeto e direita.

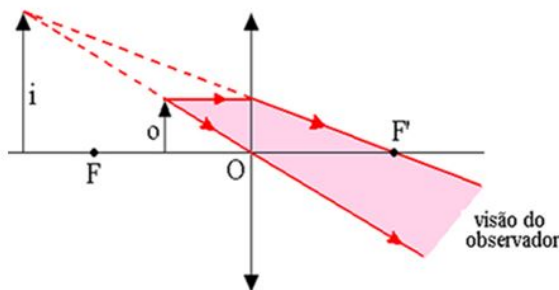


Figura 71: Lupa

Fonte: [25]

PERGUNTA

? Você lembra o que é significam os termos virtual/real e direita/invertida?

R: Uma imagem real é aquela formada pelo encontro dos raios emergentes da lente. A virtual, no entanto, é formada pelo prolongamento dos raios emergentes (eles não chegam a se encontrar de fato). Uma imagem direita está no mesmo sentido do objeto, por outro lado, a invertida, como o próprio nome já diz, apresenta-se no sentido contrário do objeto.

8 Microscópio Composto

É formado por 2 lentes convergentes montadas com seus eixos coincidindo.

Imagem formada: virtual, maior que o objeto e invertida.

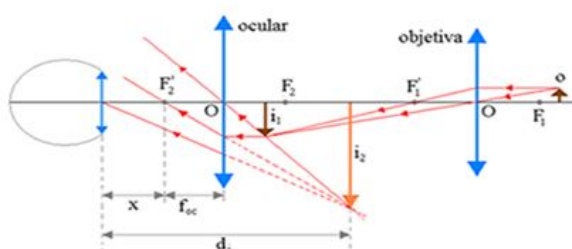


Figura 72: Microscópio Composto

Fonte: [26]

O aumento final (A), linear transversal, do aparelho em si pode ser calculado por meio da multiplicação do aumento das lentes ocular A_{oc} e objetiva A_{ob} .

$$A = A_{oc} \times A_{ob} \quad (25)$$

8.1 Luneta Astronômica

O objeto de observação está tão distante que é considerado estar “no infinito”.

Funciona de modo parecido ao microscópio, a diferença é que a distância focal da lente objetiva é muito maior, na ordem de metros.

Imagem formada: virtual, maior que o objeto e invertida

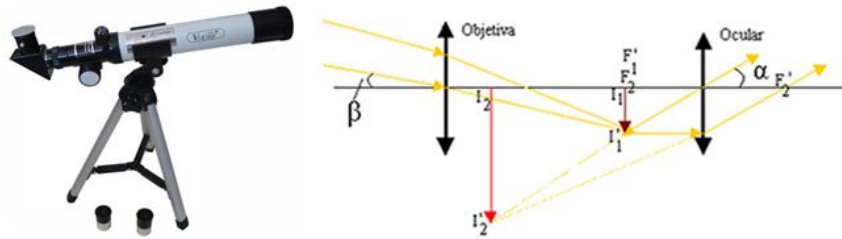


Figura 73: Luneta Astronômica

Fonte: [27]

O aumento angular ou visual G de uma luneta astronômica pode ser calculado por meio da divisão da distância focal da lente objetiva f_1 e da distância focal da ocular f_2 :

$$G = \frac{f_1}{f_2} \quad (26)$$

8.2 Projetor de Slides

Uma lâmpada é colocada no foco de um espelho côncavo, assim o espelho reflete os raios em paralelo, um condensador espalha a luz para formar um quadro luminoso uniforme que ilumina o slide com a imagem gravada, a lente objetiva, que é convergente, projeta a imagem do slide em uma tela.

Imagem formada: real, maior que o objeto e invertida.

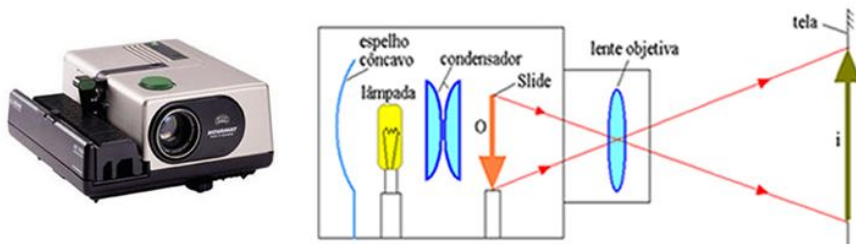


Figura 74: Projetor de Slides

Fonte: [28]

9 Lista de Exercícios

1) (FGV-SP) O professor pede aos grupos de estudo que apresentem à classe suas principais conclusões sobre os fundamentos para o desenvolvimento do estudo da Óptica Geométrica.

GRUPO I – Os feixes de luz podem apresentar-se em raios paralelos, convergentes ou divergentes.

GRUPO II – Os fenômenos de reflexão, refração e absorção ocorrem isoladamente e nunca simultaneamente.

GRUPO III – Enquanto num corpo pintado de preto fosco predomina a absorção, em um corpo pintado de branco predomina a difusão.

GRUPO IV – Os raios luminosos se propagam em linha reta nos meios homogêneos e transparentes.

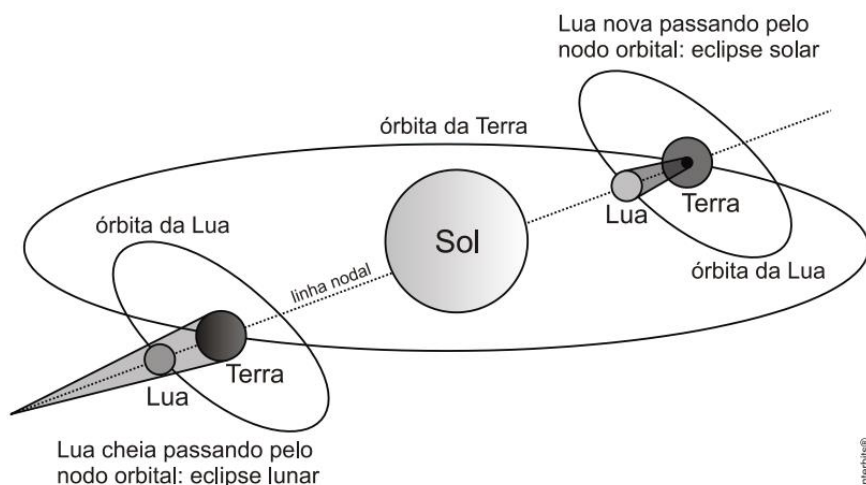
São corretas as conclusões dos grupos:

- (a) I e III, apenas
- (b) II e IV, apenas
- (c) I, III e IV apenas
- (d) II, III e IV apenas
- (e) I, II, III e IV

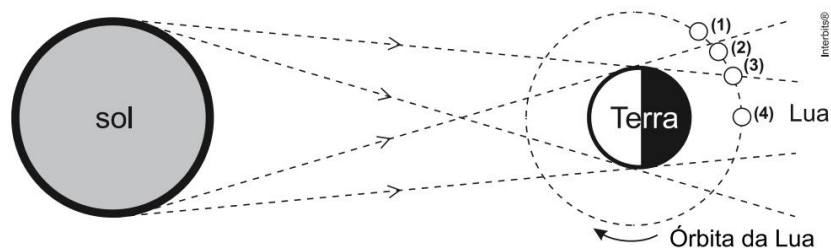
2) (IFSP) Para responder às questões abaixo, leia atentamente o texto a seguir:

Mecanismos do Eclipse

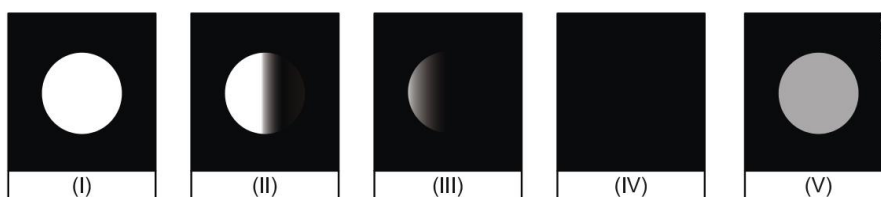
A condição para que ocorra um Eclipse é que haja um alinhamento total ou parcial entre Sol, Terra e Lua. A inclinação da órbita da Lua com relação ao equador da Terra provoca o fenômeno da Lua nascer em pontos diferentes no horizonte a cada dia. Se não houvesse essa inclinação, todos os meses teríamos um Eclipse da Lua (na Lua Cheia) e um Eclipse do Sol (na Lua Nova) [29].



Abaixo vemos a Lua representada, na figura, nas posições 1, 2, 3 e 4, correspondentes a instantes diferentes de um eclipse.



As figuras a seguir mostram como um observador, da Terra, pode ver a Lua. Numa noite de Lua Cheia, ele vê como na figura I.



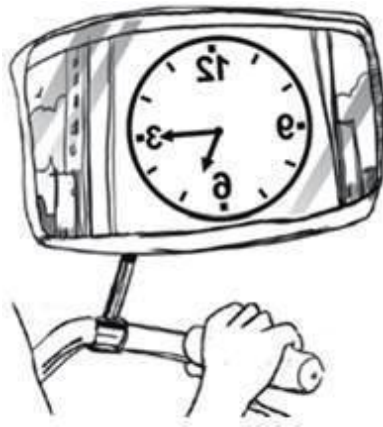
Assinale a alternativa em que haja correta correspondência entre a posição da Lua, a figura observada e o tipo de eclipse.

	Lua na posição	Figura observada	Tipo de eclipse
a)	1	III	Solar parcial
b)	2	II	Lunar parcial
c)	3	I	Solar total
d)	4	IV	Lunar total
e)	3	V	Lunar parcial

3) (UFRGS-RS) O ângulo entre um raio de luz que incide em um espelho plano e a normal à superfície do espelho (conhecido como ângulo de incidência) é igual a 35° . Para esse caso, o ângulo entre o espelho e o raio refletido é igual a:

- (a) 20°
- (b) 35°
- (c) 45°
- (d) 55°
- (e) 65°

4) Benjamim passava pela Praça de Quixajuba, quando viu o relógio da praça pelo espelho da bicicleta, como na figura. Que horas o relógio estava marcando?

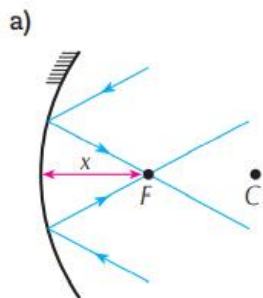


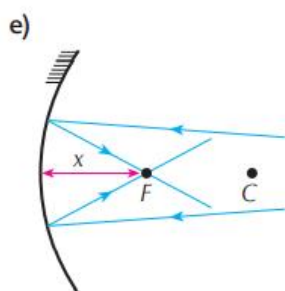
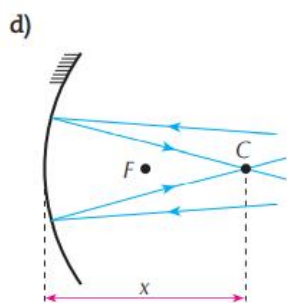
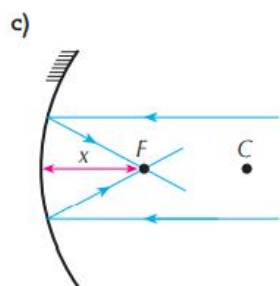
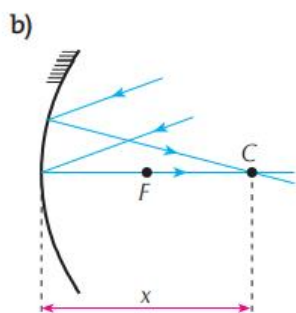
- (a) 5h 15min
- (b) 5h 45min
- (c) 6h 15min
- (d) 6h 45min
- (e) 7h 45min

- 5) **(UFF-RJ)** Um projeto que se beneficia do clima ensolarado da caatinga nordestina é o fogão solar, que transforma a luz do sol em calor para o preparo de alimentos. Esse fogão é constituído de uma superfície côncava revestida com lâminas espelhadas que refletem a luz do sol. Depois de refletida, a luz incide na panela, apoiada sobre um suporte a uma distância x do ponto central da superfície. Suponha que a superfície refletora seja um espelho esférico de pequena abertura, com centro de curvatura C e ponto focal F .

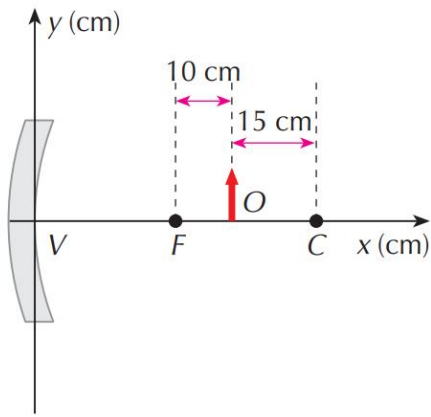


Assinale a opção que melhor representa a incidência e a reflexão dos raios solares, assim como a distância x na qual o rendimento do fogão é máximo.



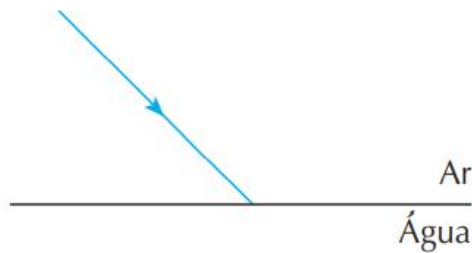


- 6) (Mackenzie-SP) Um objeto real O está diante de um espelho esférico côncavo de Gauss, conforme ilustra a figura abaixo:

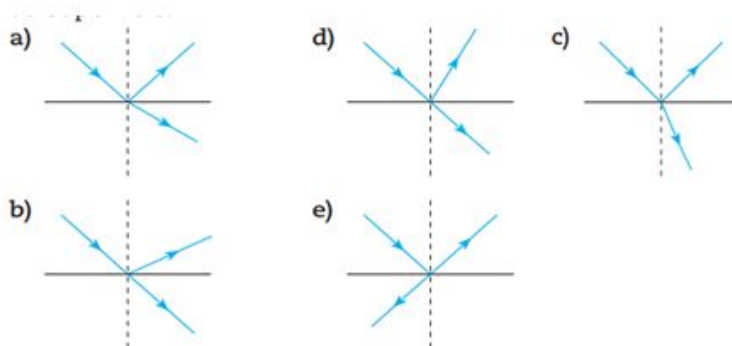


A distância entre esse objeto e sua respectiva imagem conjugada é de:

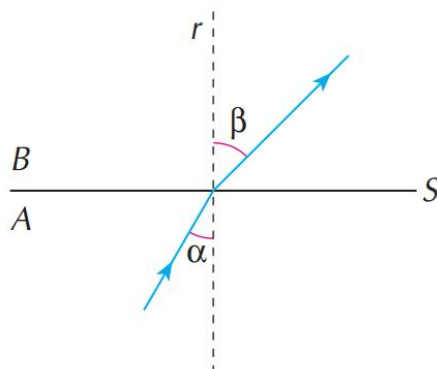
- (a) 25 cm
 - (b) 30 cm
 - (c) 32,5 cm
 - (d) 52,5 cm
 - (e) 7,5 cm
- 7) **(Cesgranrio-RJ)** Um raio luminoso incide sobre a superfície da água, conforme a figura a seguir:



Qual alternativa representa o que acontece com o raio na vizinhança da superfície?



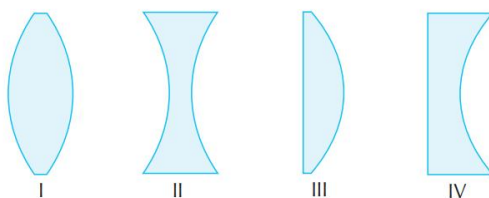
- 8) **(Fuvest-SP)** Um raio de luz monocromática propaga-se em um meio A, incide na superfície S formando um ângulo α com a reta normal r , e emerge no meio B formando um ângulo β com r .



Quando α vale 30° , β vale 45° . Qual o valor de β quando $\alpha = 45^\circ$?

- (a) 15°
- (b) 30°
- (c) 60°
- (d) 75°
- (e) 90°

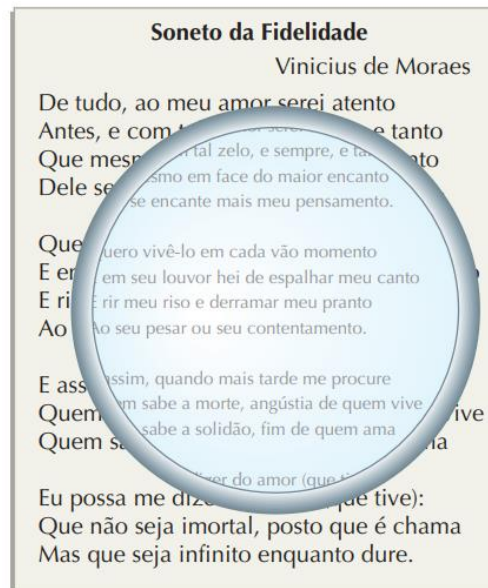
- 9) **(Cesgranrio-RJ)** Um estudante deseja queimar uma folha de papel, concentrando, com apenas uma lente, um feixe de luz solar na superfície da folha. Para tal, ele dispõe de 4 lentes de vidro, cujos perfis são mostrados a seguir:



Para conseguir seu intento, o estudante poderá usar as lentes:

- (a) I ou II somente.
- (b) I ou III somente.
- (c) I ou IV somente.
- (d) II ou III somente.
- (e) II ou IV somente.

- 10) **(Fuvest-SP)** Uma pessoa segura uma lente delgada junto a um livro, mantendo seus olhos aproximadamente a 40 cm da página, obtendo a imagem indicada na figura.



Em seguida, sem mover a cabeça ou o livro, vai aproximando a lente de seus olhos. A imagem, formada pela lente, passará a ser:

- (a) sempre direita, cada vez menor.
 - (b) sempre direita, cada vez maior.
 - (c) direita cada vez menor, passando a invertida e cada vez menor.
 - (d) direita cada vez maior, passando a invertida e cada vez menor.
 - (e) direita cada vez menor, passando a invertida e cada vez maior.
- 11) **(ITA-SP)** Um rapaz construiu uma máquina fotográfica tipo fole, usando uma lente divergente como objetiva. Ao tirar fotografias com essa máquina, verificará que, no filme:
- (a) a imagem será sempre menor que o objeto.
 - (b) a imagem será sempre maior que o objeto.
 - (c) a imagem será maior que o objeto somente se a distância do objeto à lente for maior que $2f$.
 - (d) a imagem será menor que o objeto somente se a distância do objeto à lente for maior que $2f$.
 - (e) não apareceu imagem alguma, por mais que se ajustasse o fole.

10 Gabarito

1) Letra “C”

Explicação: O grupo 2 é o único que está errado, já que os fenômenos de reflexão, refração e absorção podem ocorrer simultaneamente.

2) Letra “D”

Explicação: Na posição 1 não ocorre eclipse, pois a lua é totalmente iluminada (figura 1). Na posição 2 ocorre eclipse parcial, porque a lua não recebe luz de todos os pontos do sol. Ela está na região da penumbra (figura 5). Já na posição 3 ocorre o eclipse parcial, com somente metade da lua na região de sombra (figura 2). Por último, na posição 4 há um eclipse total da lua (figura 4).

3) Letra “D”

Explicação: Considerando que os ângulos de incidência e reflexão (i,r) são iguais, o ângulo de incidência mais o ângulo do raio incidente com o espelho plano será igual a 90° .

Portanto:

$$35^\circ + X = 90^\circ \quad (27)$$

$$X = 55^\circ \quad (28)$$

4) Letra “A”

Explicação: O relógio está sendo visto ao contrário, seus ponteiros se locomovem no sentido anti-horário. Levando isso em conta, pode-se concluir que o ponteiro das horas está no quinto traço, um antes do 6, ou seja, são 5 horas. Já o ponteiro dos minutos está no terceiro traço, ou seja, se passaram 15 minutos. Com isso, o relógio marca um horário de 5h e 15 min.

5) Letra “C”

Explicação: Nessa questão é importante lembrar das propriedades dos espelhos esféricos. Essas propriedades afirmam que para um raio emergir no foco, ele precisa ter incidido no espelho paralelamente ao eixo principal, o que ocorre com os raios solares, uma vez que o Sol está bastante distante, o que não acontece nas letras a, b e e. Além disso, essas propriedades constam que para um raio emergir passando no centro de curvatura ele precisa ter passado pelo centro durante sua incidência, o que não é possível acontecer com os raios solares, uma vez que eles são paralelos, o que não acontece nas letras b e d.

6) Letra “D”

Explicação: Em primeiro lugar, para encontrar a distância entre o objeto e sua imagem é preciso saber a distância desses termos até o vértice (V). Para isso a equação de Gauss será utilizada:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (29)$$

Antes de encontrar os valores de p e p', é preciso encontrar o valor da distância focal (f) por meio da seguinte equação, sendo $R = f + 25$:

$$f = \frac{R}{2} \quad (30)$$

$$2f = f + 25 \quad (31)$$

$$f = 25cm \quad (32)$$

A partir do valor da frequência, pode-se concluir o valor da distância (p) do objeto até o vértice (V).

$$p = f + 10 \quad (33)$$

$$p = 35cm \quad (34)$$

Com isso é possível achar a distância (p') da imagem até o vértice (V).

$$\frac{1}{25} = \frac{1}{35} + \frac{1}{p'} \quad (35)$$

$$\frac{1}{25} - \frac{1}{35} = \frac{1}{p'} \quad (36)$$

$$\frac{7 - 5}{175} = \frac{1}{p'} \quad (37)$$

$$\frac{2}{175} = \frac{1}{p'} \quad (38)$$

$$2p' = 175 \quad (39)$$

$$p' = \frac{175}{2} = 87,5cm \quad (40)$$

Agora, é só subtrair p por p':

$$p' - p = 87,5 - 35 = \mathbf{52,5cm} \quad (41)$$

7) Letra “C”

Sabe-se que o índice de refração da água é maior que o do ar, isso faz com que o raio refratado se aproxime da normal após atravessar o meio. Além disso, sabe-se que toda refração vai acompanhada de certa reflexão. O ângulo de reflexão é igual ao de incidência, logo, as opções com o raio refletido com um ângulo menor ou maior que o de incidência estão erradas. A única opção com o raio de refração mais próximo à normal e o de reflexão com um ângulo igual ao de incidência é a c.

8) Letra “E”

Explicação: Em primeiro lugar, é preciso fazer a lei de Snell Descartes que dita:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\alpha) = n_2 \cdot \text{sen}(\beta) \quad (42)$$

Na primeira situação dada, temos que:

$$\alpha = 30^\circ \quad (43)$$

$$\beta = 45^\circ \quad (44)$$

Assim:

$$n_1 \cdot \text{sen}(30^\circ) = n_2 \cdot \text{sen}(45^\circ) \quad (45)$$

Como:

$$\text{sen}(30^\circ) = \frac{1}{2} \quad (46)$$

$$\text{sen}(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (47)$$

Portanto:

$$n_1 \cdot \frac{1}{2} = n_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (48)$$

$$n_1 = \sqrt{2} \cdot n_2 \quad (49)$$

Agora com essa relação pode-se seguir para o segundo cenário, onde

$$\alpha = 45^\circ \quad (50)$$

Usando a lei de Snell Descartes tem-se que:

$$n_1 \cdot \text{sen}(45^\circ) = n_2 \cdot \text{sen}(\beta) \quad (51)$$

Mas sabe - se que:

$$n_1 = \sqrt{2} \cdot n_2 \quad (52)$$

Assim:

$$n_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{2} = n_2 \cdot \text{sen}(\beta) \quad (53)$$

$$1 = \text{sen}(\beta) \quad (54)$$

Logo:

$$\beta = 90^\circ \quad (55)$$

9) Letra “B”

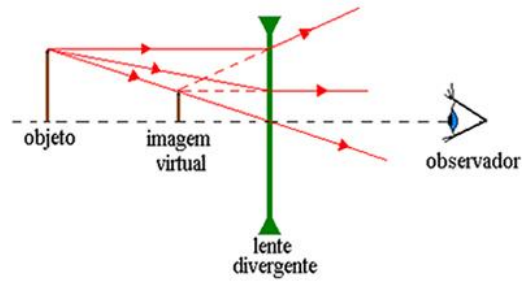
Explicação: Como o estudante deseja concentrar os raios de luz, precisa de uma lente convergente. Considerando que o meio fora da lente seria o ar (com um índice de refração menor que o da lente) ele precisaria de uma lente de bordas finas. Uma lente de bordas grossas seria divergente. Logo, as únicas possíveis seriam a I e a III somente.

10) **Letra “A”**

Explicação: Como a imagem é direita, menor e virtual, pode-se concluir que a lente é divergente. Nesse tipo de lente não há outro tipo de imagem além dessa. Logo, à medida que afastamos a lente do objeto, obteremos uma imagem sempre direita, virtual e cada vez menor.

11) **Letra “E”**

Explicação: Para que o filme registre a imagem é necessário que o filme seja posicionado onde se forma uma imagem real. Como lentes divergentes só formam imagens virtuais não é possível tirar fotos com esta câmera.



Fonte: [30]

Referências

- [1] R. TOLEDO, *Física, os Fundamentos da Física*. São Paulo: Moderna, tenth ed., 2015.
- [2] M. BONANÇA, *Objetos Transparentes, Lúcidos e Opacos*. PhD thesis, UNICAMP, IFGW, 2019.
- [3] Significados, “Significado das cores do arco-íris,” jul 2020.
- [4] E. R. Educação, “Introdução à óptica geométrica,” may 2019.
- [5] R. F. LIMA, “O que determina a cor de um objeto?,” mar 2018.
- [6] R. F. A. Pena, “Eclipse.”
- [7] S. Place, “Lunar eclipses and solar eclipses,” sep 2019.
- [8] G. S. da Silva, “Câmara escura.”
- [9] P. A. Bisquolo, “Espelhos planos (2) - campo visual, translação e associação de espelhos.”
- [10] D. C. M. da Silva, “Imagens de um objeto entre dois espelhos planos.”
- [11] D. Dockhorn, “Transferência na madeira.”
- [12] A. Caiusca, “Esfera,” jan 2019.
- [13] N. Petrin, “Espelhos esféricos,” may 2014.
- [14] D. C. M. da Silva, “Propriedades dos espelhos esféricos.”
- [15] J. S. da Silva Júnior, “O que é refração?.”
- [16] S. de Demonstrações de Física, “Reflexão total,” 1999-2021.
- [17] S. Física, “Dioptro,” 2008-2021.
- [18] D. C. M. da Silva, “Prisma de reflexão total.”
- [19] D. C. M. da Silva, “Dispersão da luz.”
- [20] A. G. TOMÁS, “Como a física explica o arco-íris? dispersão da luz. prisma,” feb 2016.
- [21] R. Pachani, “Lentes esféricas e características.”
- [22] T. Matéria, “Lentes esféricas,” jul 2019.
- [23] A. Connection, “Elementos das lentes esféricas,” 2020.
- [24] UFRGS, “Construção geométrica das imagens.”
- [25] D. C. M. da Silva, “Conhecendo uma lupa.”
- [26] D. C. M. da Silva, “Microscópio composto.”
- [27] D. C. M. da Silva, “Luneta astronômica.”

- [28] D. C. M. da Silva, “Projetores de imagens.”
- [29] S. da Ciência UFC, “Eclipses.”
- [30] Dr.Astro, “Lente,” sep 2019.