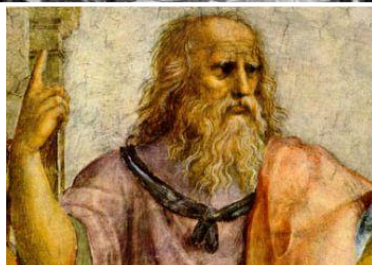


FÍSICA
FRENTE III
Professor Danilo



3 ANO DO ENSINO MÉDIO
Turmas Platão e Sócrates

Consulte nova versão após 15/Mar/2022 em

<http://fisica.professordanilo.com/>

ÍNDICE

PRIMEIRO BIMESTRE	6
1. INTRODUÇÃO À FRENTE 2	6
a) AVALIAÇÃO	6
b) CONTEÚDO	6
2. INTRODUÇÃO À FÍSICA E À FRENTE 2	6
3. INTRODUÇÃO À ÓTICA	7
4. ARCO-ÍRIS, MEIOS, FENÔMENOS E CORES	9
a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS	9
b) TIPOS DE MEIOS	10
c) FENÔMENOS ÓPTICOS	10
d) COR DE UM CORPO POR REFLEXÃO	11
5. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA	15
a) SOMBRA E PENÚMBRA	15
b) CÂMARA ESCURA	16
c) A LUA	16
d) ÂNGULO VISUAL	17
6. LEIS DA REFLEXÃO (ESPELHOS PLANOS)	19
PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO	19
SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO	19
a) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE PLANA	19
b) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE CURVA	20
7. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS	20
a) IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS	20
b) IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS	23
8. TAMANHO MÍNIMO DE UM ESPELHO PARA SE VER POR COMPLETO	25
9. CAMPO VISUAL	25
10. TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO	26
11. ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO	31
12. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS	31
13. OS ESPELHOS ESFÉRICOS	34
a) RAIOS NOTÁVEIS	35
RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO	35

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO	36
b) LOCALIZANDO O FOCO SECUNDÁRIO	37
c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA	41
d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS	43
i – O REFERENCIAL DE GAUSS.....	43
ii – PADRÕES IMPORTANTES.....	43
iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:.....	44
iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL	44

NOTA DO AUTOR AOS LEITORES

Este material foi desenvolvido como notas de aula para o ensino médio do colégio Elite Col, Campinas, SP.

O Conteúdo deste material é livre para ser utilizado por qualquer pessoa para fins educacionais. A cópia e divulgação é livre.

O presente arquivo é a terceira edição (primeira em 2018, segunda em 2019, terceira em 2021 e agora estamos na quarta edição), que está sendo revisada, revista e reformulada ao longo de todo ano e você pode contribuir com isso enviando e-mail para o professor Danilo para:

danilo@professordanilo.com

Se você viu alguma figura com direitos autorais sem as devidas referências, por gentileza, envie e-mail para o endereço acima que providenciarei o quanto antes a adequação do material.

Campinas, 01 fevereiro de 2022.

NOTA DO AUTOR AOS ALUNOS

O material de 2022 não será idêntico ao material de 2021 devido à algumas mudanças no cronograma, portanto, acompanhe a edição deste arquivo ao longo do ano bem como anote todo o conteúdo apresentado na aula: ao copiar você irá estudar e treinar fazer alguns desenhos, por exemplo.

Ao longo do ano, conforme as aulas forem sendo dadas, o professor irá modificar este material, adicionando links, figuras e textos que antes não tinham bem como melhorando ou corrigindo o conteúdo deste arquivo. Você poderá visualizar as melhorias semanais deste material acessando o link:

fisica.professordanilo.com

Erratas e contato com o professor: danilo@professordanilo.com

Campinas, 01 fevereiro de 2022.

PRIMEIRO BIMESTRE

1. INTRODUÇÃO À FRENTE 2

a) AVALIAÇÃO

↳ Prova

b) CONTEÚDO

↳ Parte 1: ótica

→ Lentes, espelhos, microscópio, lunetas, olhos humanos, problemas da visão etc.

↳ Parte 2: termologia, calorimetria e dilatação

→ Escalas de temperaturas, como o calor altera a temperatura, fusão, ebulição, variação de comprimento, área e volume em função da temperatura etc.

2. INTRODUÇÃO À FÍSICA E À FRENTE 2

● Física

→ Do grego *physis*: natureza

→ A Física trata do mundo real

→ O descrevemos usando a Matemática

→ Modo de estudo

● Princípios

⇒ Assume-se como verdade sem poder ser demonstrado

● Teoremas

⇒ Podem ser demonstrados

● Leis

⇒ Podem ser Princípios ou Teoremas

↳ Ótica

→ Do grego *optiké*: visão

● O termo ótica (sem “p”) está relacionado ao ouvido (exemplo: otite) mas a grafia ótica muitas vezes é empregada como sinônimo de óptica

→ Divisões

● Óptica geométrica

⇒ O que estudaremos neste semestre

⇒ Trata a luz como raio

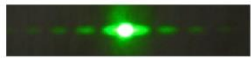
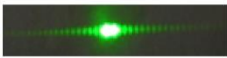
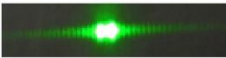

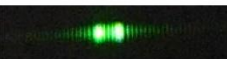
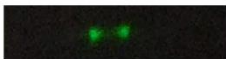
⇒ Ferramenta principal: Geometria

● Óptica ondulatória

⇒ Veremos no ano que vem

⇒ Trata a luz como uma onda

⇒ Explica a difração da luz (se você apontar um laser verde para um fio de cabelo irá obter as figuras a seguir)

a) Fio de cabelo	b) Grafite 0,3 mm	c) Grafite 0,5 mm
		
d) Grafite 0,7 mm	e) Grafite 0,9 mm	f) Grafite 2 mm
		

Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v37n4//0102-4744-rbef-37-4-4311-gf04.jpg>

● Óptica física

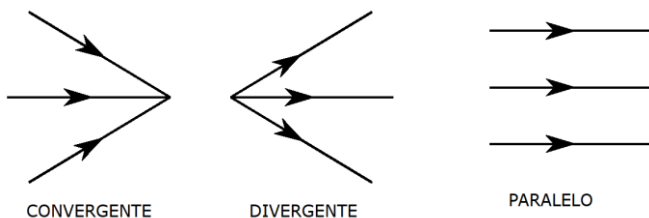
- ⇒ Vocês verão no ano que vem, mas com outro professor
- ⇒ Trata a luz como partícula
- ⇒ Explica por que quando a luz com determinada cor consegue retirar elétrons de alguns metais (efeito fotoelétrico)

3. INTRODUÇÃO À ÓTICA

↳ Conceitos fundamentais

→ Raios de luz:

→ Linhas orientadas que representam o caminho percorrido pela luz, indicando também o sentido



↳ Veja na figura a seguir diversos tipos de pontos que serão muito importantes para entendermos o que é imagem e objeto reais, virtuais ou impróprios. Siga a legenda abaixo para melhor entender o que está na figura:

→ POR

● Ponto objeto real

→ POV

● Ponto objeto virtual

→ PIR

● Ponto imagem real

→ PIV

● Ponto imagem virtual

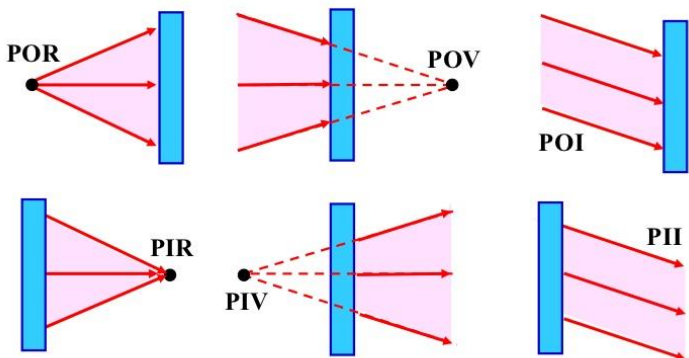
→ POI

● Ponto objeto impróprio

→ PII

● Ponto imagem imprópria

Ponto Objeto e Ponto Imagem



↳ Fontes de luz

- ➡ Primárias (emitem luz como o Sol, lâmpadas, estrelas etc.)
- ➡ Secundárias (que refletem luz como a Lua, o caderno, os planetas etc.)

↳ A luz pode ser

- ➡ Simples ou Monocromática (uma só cor)
- ➡ Composta ou Policromática (duas ou mais cores superpostas – a luz do Sol é a mistura de todas as cores visíveis)

↳ Velocidade da luz

- ➡ No vácuo é $3 \cdot 10^8$ m/s e representado pela letra c .
 - ➡ Uma **ano-luz** é a distância percorrida pela luz em um ano.
- Isto é:

$$\text{sendo } v = c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta s = c \cdot \Delta t$$

Substituindo os dados:

$$1 \text{ a.l.} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \text{ s} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Ou

$$1 \text{ a.l.} \approx 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} \approx 240.000.000 \text{ de voltas na Terra}$$

Você também pode pensar que ao dizer anos-luz (sem o artigo “por”, como em metros **por** segundo) então temos uma multiplicação:

$$1 \text{ a.l.} = 1 \text{ ano} \times c.$$

Mapa mental do que acabamos de ver

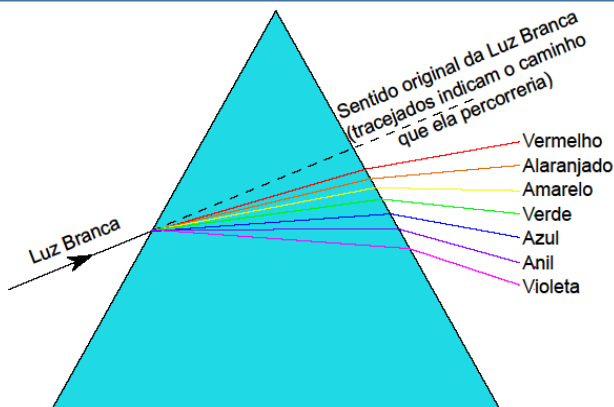


4. ARCO-ÍRIS, MEIOS, FENÔMENOS E CORES

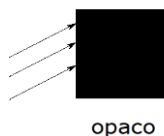
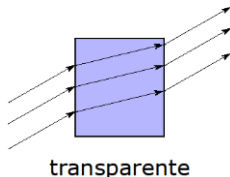
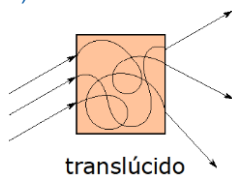
a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS

↳ DECORE:

Vermelho, alaranjado, Amarelo, Verde, Azul, Anil, Violeta
VAAVAV



b) TIPOS DE MEIOS



↳ Exemplos de meios

→ Translúcidos

● Vidro canelado, papel de seda etc.

→ Transparentes

● Lâmina de água limpa, vidro liso, ar etc.

→ Opacos

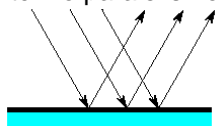
● Cimento, lousa, madeira etc.

c) FENÔMENOS ÓPTICOS

↳ REFLEXÃO: quando a luz incide em um objeto e volta para o meio de propagação original, como quando incidimos uma luz laser no espelho.

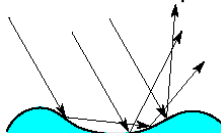
→ Reflexão regular

● Feixe paralelo incidente em uma superfície plana e polida mantém o paralelismo

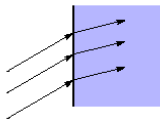


→ Reflexão difusa

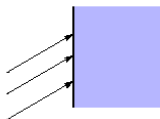
● Feixe de raios paralelos incidentes em uma superfície não mantém o paralelismo



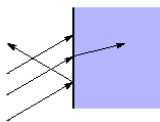
↳ REFRAÇÃO: quando a luz incide em um meio e o atravessa.



↳ ABSORÇÃO: quando a luz, ao incidir em um meio, não é refletida e não é refratada dizemos que o meio absorveu a luz.



↳ TODOS OS TRÊS FENÔMENOS ACIMA PODEM OCORRER SIMULTANEAMENTE



d) COR DE UM CORPO POR REFLEXÃO

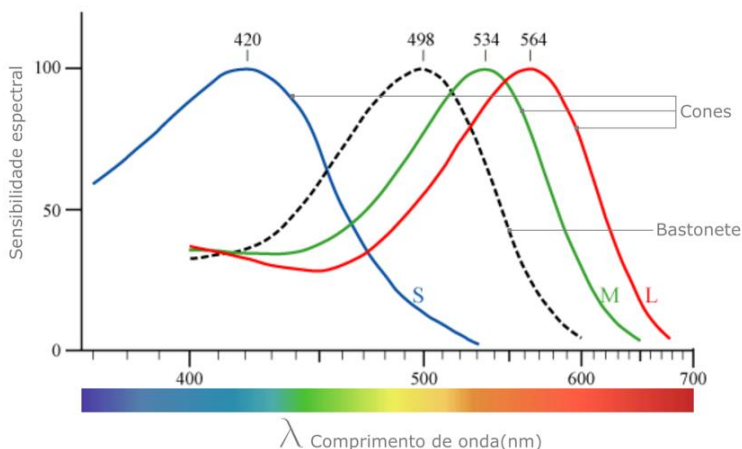
↳ Células da visão

→ Bastonetes

- Células mais finas e responsáveis por detectar presença e ausência de luz, independentemente da cor
- Em ambientes mais escuros somente usamos estas células
- Por isso enxergamos branco e preto no escuro

→ Cones

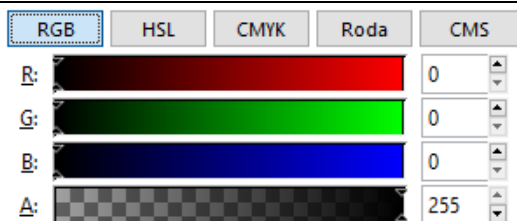
- Três tipos
- Responsáveis por vermos cores
- Menos sensíveis: por isso só enxergamos cores quando há maior intensidade luminosa (mais luz)
- Maior sensibilidade nas cores *Red* (Vermelho), *Green* (Verde) e *Blue* (Azul)
- Por isso televisores, celulares e projetores utilizam apenas estas três cores, cujo padrão é chamado de RGB (*Red, Green, Blue*)



Fonte: <https://muralcientifico.files.wordpress.com/2017/10/000.jpg>

↳ Cores primárias aditivas

- São chamadas de aditivas por se tratar da soma das cores adicionando luz
- Chamamos de cores primárias aditivas estas três cores (RGB) que sensibilizam os cones
- Se misturarmos todas elas obtêm o branco
- Disco de Newton ([vídeo YouTube](#))
- *Inkscape* (download e explicações pelo programa)



Acima vemos o print das opções de cores de um programa de desenho: Inkscape. Note a opção de escolha baseada nas cores RGB.

A é o fator Alfa que representa a transparência do desenho.

→ Cores primárias subtrativas

→ É chamada subtrativa porque a tinta absorve (subtrai) cores

→ Consideraremos as cores da impressora

● Cyan (Ciano)

⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Azul e Verde

● Magenta (Magenta)

⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Azul e Vermelho

● Yellow (Amarelo)

⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Vermelho e Verde

● black (Preto – Key)

⇒ Absorve Todas as cores

● Abreviando: CMYK

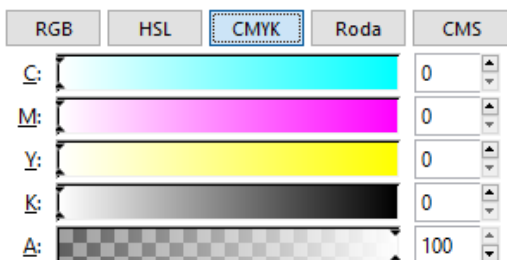
→ Note que se misturarmos:

● CIANO e MAGENTA as cores Vermelho e Verde serão absorvidas, restando apenas o AZUL

● MAGENTA e AMARELO as cores Verde e Azul serão absorvidas, restando apenas o VERMELHO

● CIANO e AMARELO as cores Vermelho e Azul serão absorvidas, restando apenas o VERDE

● Se misturarmos todas as cores, então o Vermelho, o Verde e o Azul serão absorvidos, resultando em preto.

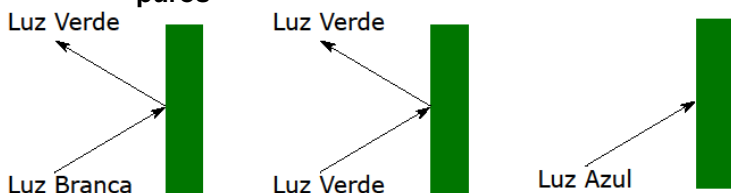


Acima vemos o print das opções de cores de um programa de desenho: Inkscape. Note a opção de escolha baseada nas cores CMYK. A é o fator Alfa que representa a transparência do desenho. Note também que é apresentado um número hexadecimal que se refere às cores escolhidas usando o padrão RGBA, sendo A o fator Alfa. Cada dois dígitos representa a intensidade da cor indo de 00 até ff. Os primeiros números hexadecimais são: 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 0a, 0b, 0c, 0d, 0e, 0f, 10, 11 etc.

→ Pigmentos Puros

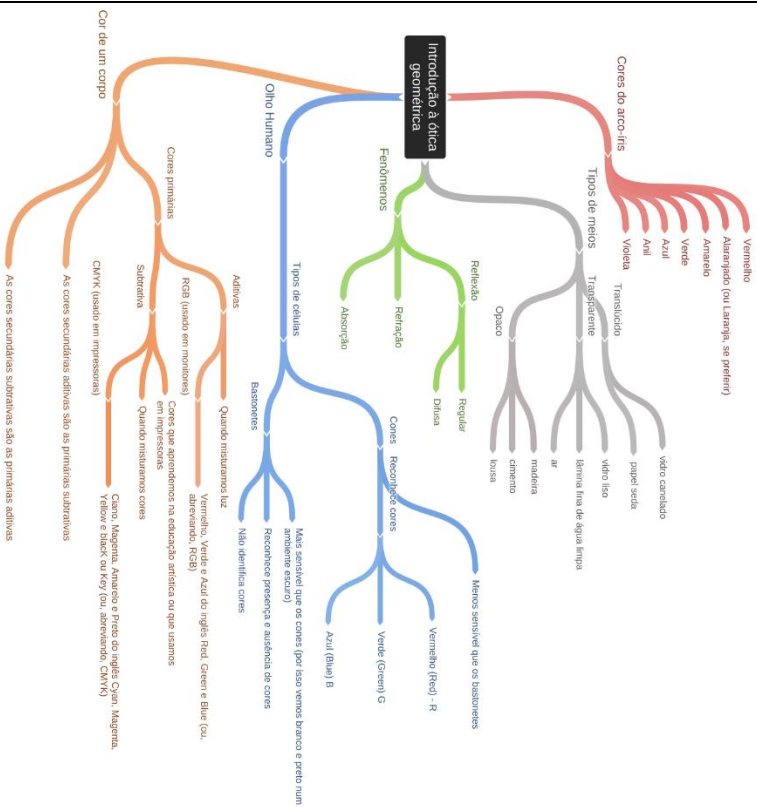
→ Pigmentos puros são pigmentos ideais que absorvem todas as cores, menos uma: a que ele reflete ou permite que atravesse o material

● Uma superfície é verde porque ela reflete somente a cor verde se a substância for feita de **pigmentos puros**



● Isso vale para as demais cores

Mapa mental do que acabamos de ver



Da lista, Introdução ao Estudo da Ótica, comece fazendo os exercícios 2 ao 8, 10 e 13 ao 22.

5. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

↳ Princípio da propagação retilínea da luz

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

↳ Princípio da reversibilidade dos raios de luz

Se a luz percorre um caminho ao ir de um ponto A para um ponto B, então ao ir do ponto B para o A ela fará o mesmo caminho.

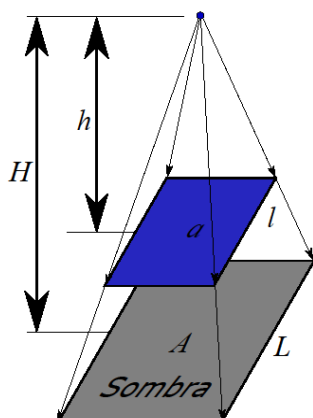
↳ Princípio da independência dos raios luminosos

Quando raios de luz se cruzam, eles se interferem mutuamente apenas na região onde se cruzam, mas cada um segue seu caminho como se os demais não existissem.

APLICAÇÕES DO PRINCÍPIO DA PROPAGAÇÃO RETILÍNEA DA LUZ:

a) SOMBRA E PENÚMBRA

↳ Fonte pontual



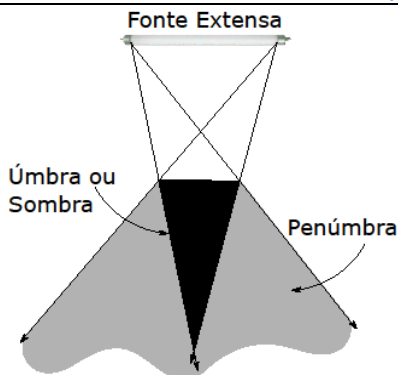
Semelhança de triângulos

$$\frac{l}{L} = \frac{h}{H} = k$$

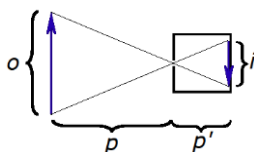
Há uma relação também para as áreas:

$$\frac{a}{A} = k^2$$

↳ Fonte extensa



b) CÂMARA ESCURA



↳ Novamente semelhança de triângulo

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

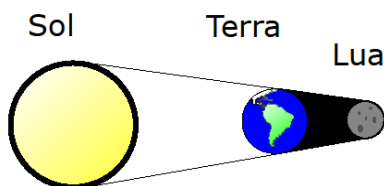
↳ Veja um vídeo sobre isso feito pelo professor Danilo:

<https://youtu.be/zlGH3LrsKMc>

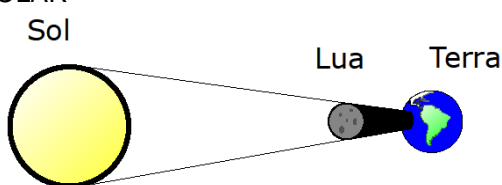
c) A LUA

↳ ECLIPSES

→ LUNAR



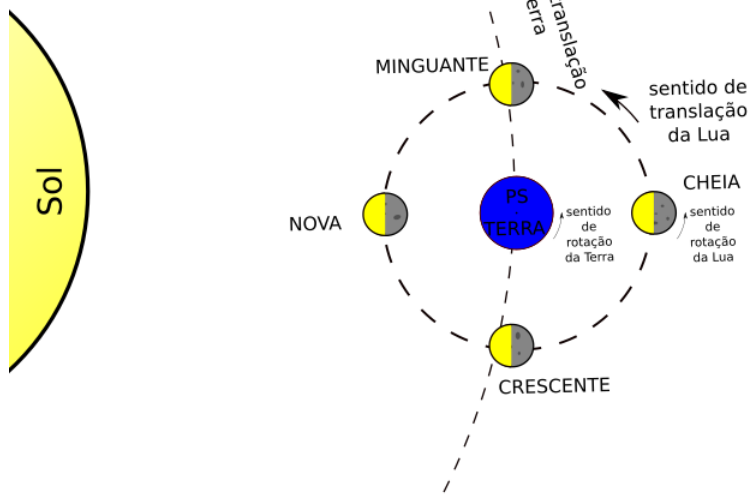
→ SOLAR



↳ FASES DA LUA

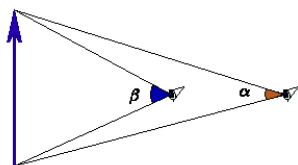
→ O sentido de rotação da Terra em torno do próprio eixo, da Lua em torno do próprio eixo, de translação da Terra em torno do Sol e o de translação da Lua em torno da Terra são os mesmos

→ Usando a “regra da mão direita” você pode determinar este sentido de rotação apontando seu dedo para o norte geográfico

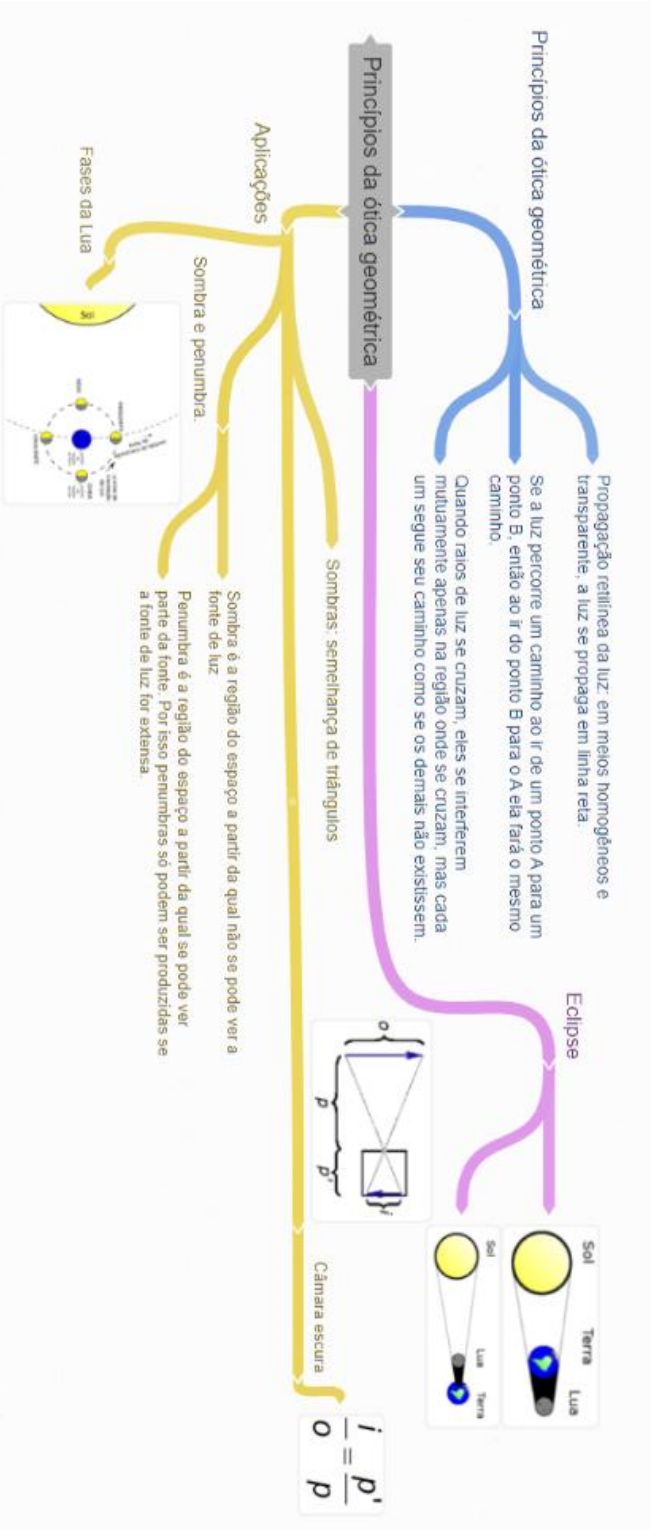


d) ÂNGULO VISUAL

↳ Ângulo formado entre os raios que saem das extremidades do objeto e atingem o observador



No SisQ, toda a lista de nome
“Introdução ao estudo da
óptica” podem ser resolvidos



6. LEIS DA REFLEXÃO (ESPELHOS PLANOS)

PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO

O raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.

SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO

O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

↳ Vamos ver alguns vídeos sobre o assunto.

➡ Se você gosta de game, que tal dar uma olhada em como os espelhos são criados em jogos eletrônicos

<https://youtu.be/Vb7wFW4u7zs>

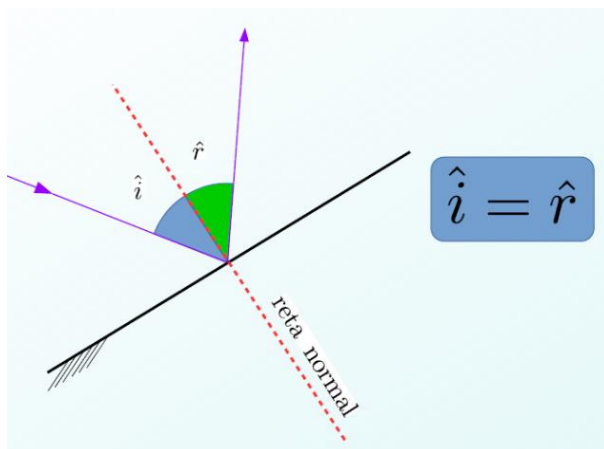
➡ Ainda nesta linha de games, veja um pouco sobre Ray Tracing

<https://youtu.be/IGZaBwk-o0M>

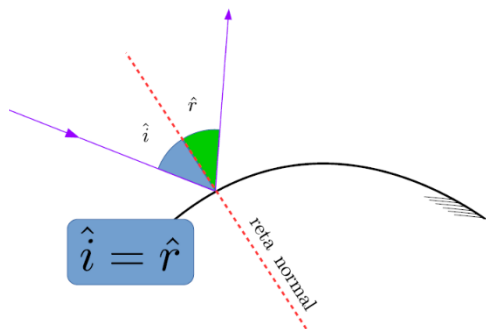
➡ Veja agora um vídeo do professor Danilo onde ele mostra, na prática, as leis da reflexão

<https://youtu.be/8bgNJmZw5dE>

a) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE PLANA



b) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE CURVA



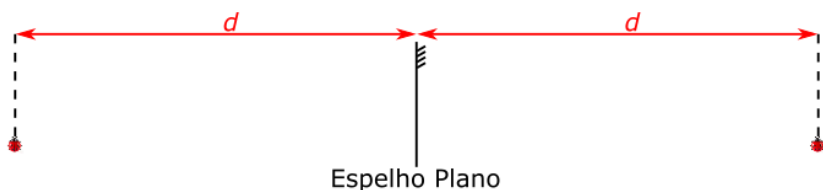
No SisQ, faça os exercícios de 1 à 27 da lista "Os Espelhos Planos".

7. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS

a) IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS

↳ Vamos aprender um método geométrico para obtermos a imagem de um objeto real e pontual à frente de um espelho plano

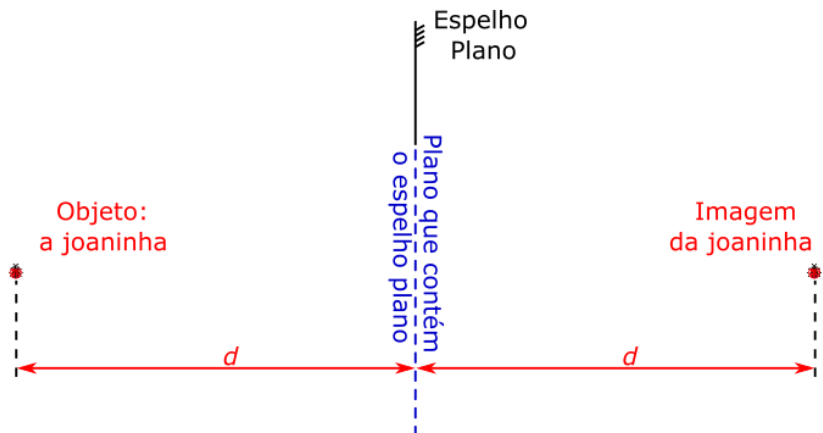
→ Como exemplo, imaginemos uma pequena joaninha à frente de um espelho plano



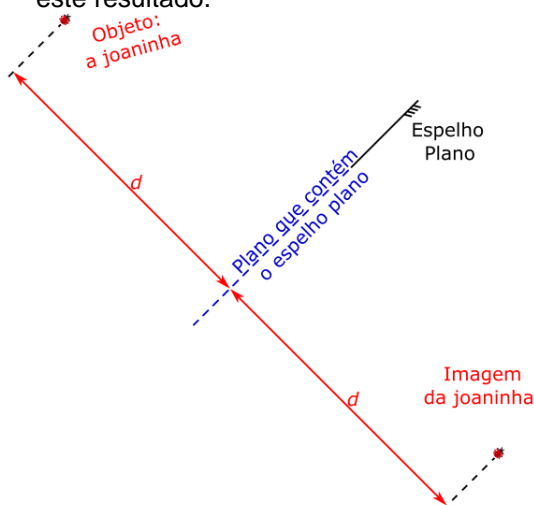
→ Basta medirmos a distância até o plano que contém o espelho e replicarmos esta distância atrás do plano: veja isso na figura acima.

→ E se o objeto não estiver diante do espelho?

● Prolongue o espelho para encontrar o plano que contém o espelho e repita o método acima.



- Note que a imagem existe mesmo que o objeto, imagem e espelho não estejam todos alinhados.
- Observe também que o método é o mesmo no caso de inclinarmos o espelho. A figura a seguir apresenta este resultado.

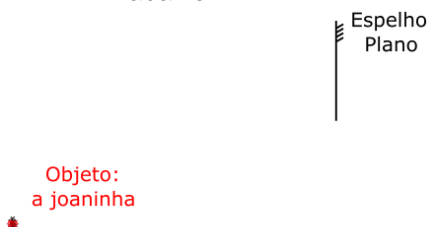


➔ Veja um vídeo onde o professor Danilo mostra a formação da imagem de um objeto e a sua simetria

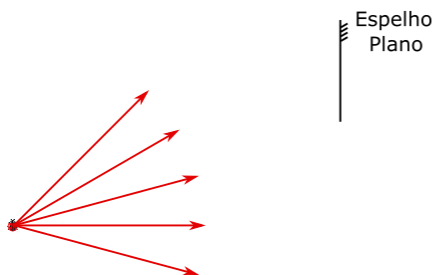
<https://youtu.be/4-oKwSKkLMU>

➔ Vamos verificar que as duas leis da reflexão, vistas acima, levam à esta conclusão.

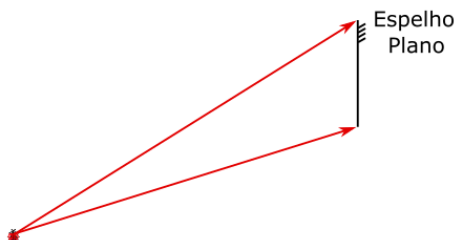
- Por simplicidade, comecemos com o caso da joaninha não logo adiante do espelho, mas um pouco abaixo



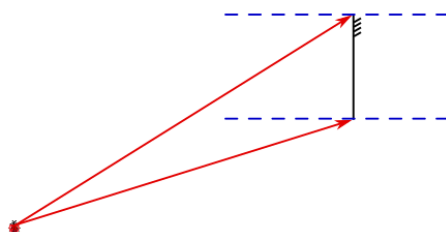
- A joaninha é um objeto real, portanto, vamos tratá-la assim, representando alguns raios de luz que partiram dela:



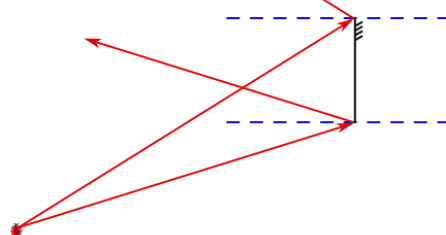
● Dentre estes raios, vamos escolher dois que atingem as extremidades do espelho:



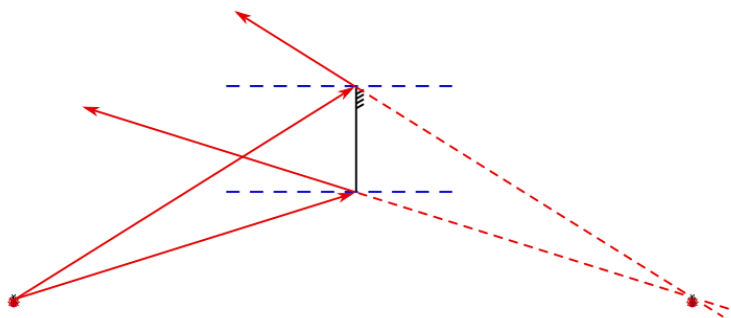
● Vamos desenhar as normais ao espelho nos pontos onde estes raios o atingem:



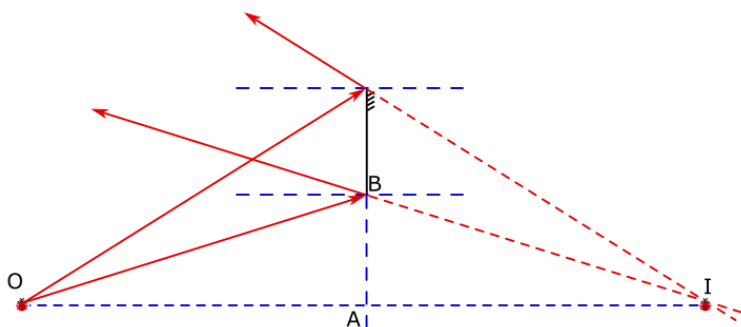
● Agora, desenhemos os raios refletidos:



● Observe que os raios refletidos não se encontram. Portanto, para encontrarmos a imagem formada por este espelho devemos prolongar os raios refletidos. O ponto de encontro destes prolongamentos é onde se encontra a imagem da joaninha.



● Por fim, observe que se prolongarmos o espelho e desenharmos um segmento de reta que liga objeto e imagem, teremos dois triângulos semelhantes: $\triangle OAB$ e $\triangle IAB$:



● Portanto, concluímos que:

$$\overline{OA} = \overline{IA} = d$$

sendo d a distância entre objeto e o plano que contém o espelho, como havíamos considerado no início deste item.

➔ Agora você sabe: para encontrar a imagem de um objeto pontual, siga os seguintes passos:

- prolongue o espelho;
- meça a distância entre o objeto pontual e o plano que contém este espelho;
- replique esta distância outro lado do espelho;
- A imagem está contida na normal do plano do espelho que contém objeto e imagem (na figura acima, \overline{OI}).

b) IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS

↳ Para determinar a imagem de um objeto extenso, podemos escolher um dos três métodos abaixo:

➔ Método 1:

- desenhe diversos pontos no objeto;

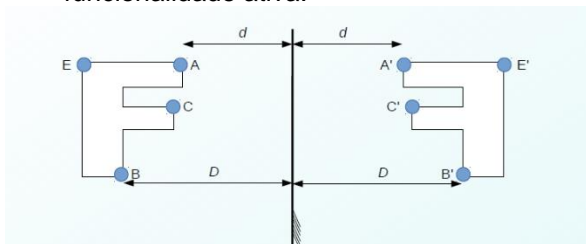
- localize a imagem de cada ponto do objeto utilizando o método aprendido no item acima (imagens de objetos pontuais) e ligue-os.

→ Método 2:

- se o que você tem é um desenho numa folha de papel, você pode olhar no verso do papel para saber como fica a imagem.
- Uma alternativa é dobrar o papel exatamente ao longo do espelho e passar com a caneta por cima do desenho com força. Quando você abrir o papel novamente, o decalque que fica corresponde exatamente à imagem que você procura.

→ Método 3:

- Parece bobo, mas que tal colocar o objeto diante do espelho e ver como ele fica?
- Você também pode verificar se o aplicativo da câmera de seu celular tem a funcionalidade “espelhar”. Normalmente a câmera frontal já vem com esta funcionalidade ativa.

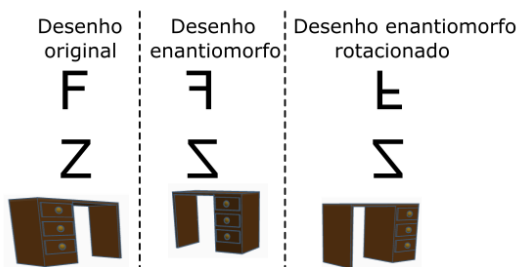


↳ A imagem fica com uma inversão estranha.

→ O nome disto é enantiomorfo.

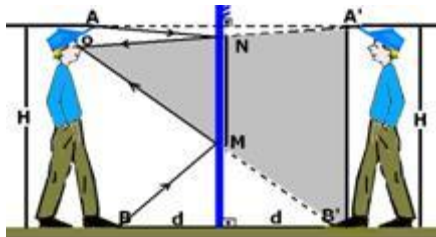
- Se um desenho é enantiomorfo em relação a outro, significa que você não pode recuperar o desenho original utilizando apenas simples rotações.

⇒ A exceção seria um desenho simétrico



→ A imagem de uma imagem (espelho plano) recupera a imagem original. Portanto, você pode olhar no espelho para saber se seu desenho está certo, pois ele, visto no espelho, deve voltar a ser como era.

8. TAMANHO MÍNIMO DE UM ESPELHO PARA SE VER POR COMPLETO



↳ Sabe-se que você tem altura H e está a uma distância d do espelho.

→ Qual o tamanho mínimo de um espelho para que você possa se ver por completo? O tamanho do espelho depende da distância d ?

$$\frac{H}{MN} = \frac{2d}{d} \Rightarrow MN = \frac{H}{2}$$

● O tamanho mínimo do espelho é metade da sua altura

● O tamanho mínimo do espelho não depende da distância entre o observador e o espelho (d)

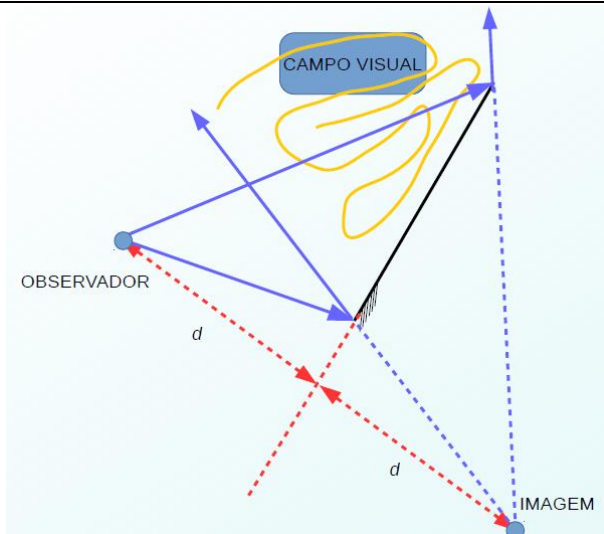
→ E qual a distância que o espelho deve ficar do chão? Sabe-se que a altura dos seus olhos é h .

$$\frac{h}{MC} = \frac{2d}{d} \Rightarrow MC = \frac{h}{2}$$

● O espelho deve ficar com sua base à uma distância do chão que corresponde à metade da altura dos seus olhos.

9. CAMPO VISUAL

↳ É a região que um observador pode ver através de um espelho. Note que tudo o que está no campo visual é visto pelo observador e, devido ao princípio da reversibilidade dos raios luminosos, qualquer observador no campo visual de alguém pode ver este alguém.



10. TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

↳ Seja um espelho e um observador que podem se mover APENAS NA DIREÇÃO NORMAL do espelho plano

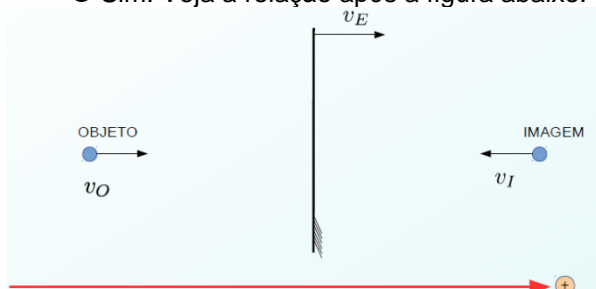
→ v_E é a velocidade do espelho medida num referencial perpendicular ao espelho, isto é, ela pode ser positiva (para direita, de acordo com o referencial da figura abaixo) ou negativa (para a esquerda, no mesmo referencial abaixo).

→ v_O é a velocidade do objeto, medida no mesmo referencial utilizado para a velocidade do espelho.

→ v_I é a velocidade da imagem, também medida neste referencial.

→ Existe alguma relação matemática entre estas velocidades?

● Sim. Veja a relação após a figura abaixo.



$$v_E = \frac{v_O + v_I}{2}$$

↳ Vamos aprofundar este assunto a seguir. Esta discussão não será feita em sala de aula.

TRANSLAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

Vamos estudar a relação da velocidade da imagem de um objeto com a velocidade do espelho e a velocidade do objeto. Para isso, podemos analisar o problema de duas maneiras: uma vetorial, tal como foi feito em sala de aula, e outra geométrica.

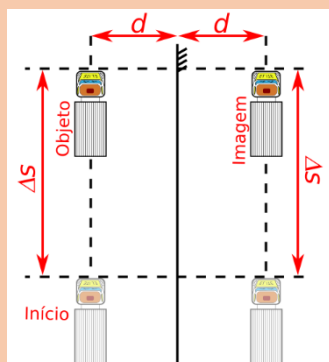
Para apresentar uma outra maneira, talvez mais simples, vamos apresentar aqui apenas a análise geométrica.

ANÁLISE GEOMÉTRICA

Vamos dividir o problema estudando o movimento somente do objeto e depois somente da imagem e por fim compor o movimento final que considera o movimento do objeto e do espelho.

OBJETO SE MOVENDO PARALELAMENTE AO ESPELHO

Imagine um caminhão de frente do espelho e se move ao longo do espelho. Nesse caso, a velocidade da imagem é igual à velocidade do objeto, pois a distância percorrida pelo objeto é igual à distância percorrida pela sua imagem. Veja isso em dois instantes diferentes:



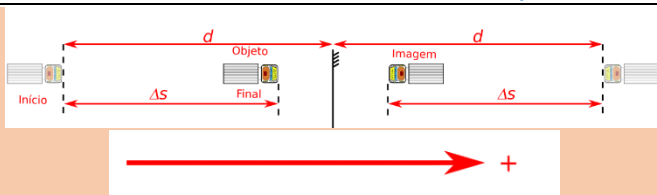
Observe que se o objeto se desloca ΔS , a imagem se desloca da mesma quantidade ΔS . Logo concluímos que:

$$V_{// \text{ objeto}} = V_{// \text{ imagem}} \quad (1)$$

O símbolo “//” representa “paralelo”, isto é, $V_{// \text{ objeto}}$ é a velocidade do objeto paralela ao espelho e $V_{// \text{ imagem}}$ é a velocidade da imagem paralela ao espelho.

OBJETO SE MOVENDO PERPENDICULARMENTE AO ESPELHO

Seja este mesmo caminhão agora se aproximando do espelho. Nesse caso, a velocidade da imagem é igual ao módulo da velocidade do objeto, pois a distância percorrida pelo objeto é igual à distância percorrida pela sua imagem. Veja isso em dois instantes diferentes:



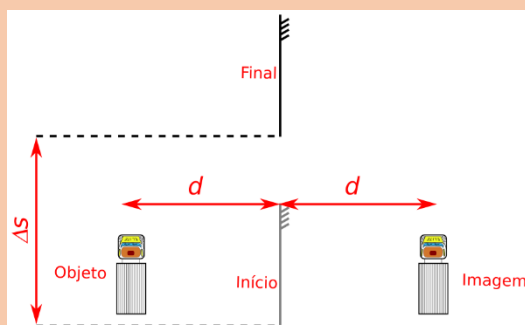
Observe que se a imagem se desloca ΔS , a imagem se desloca da mesma quantidade ΔS . Podemos dizer então que:

$$V_{\perp \text{ objeto}} = -V_{\perp \text{ imagem}} \quad (2)$$

Aqui, o símbolo “ \perp ” quer dizer “perpendicular ao espelho”, assim a velocidade do objeto na direção perpendicular ao espelho é $V_{\perp \text{ objeto}}$ e a velocidade da imagem, na direção perpendicular ao espelho, é $V_{\perp \text{ imagem}}$. Observe também que, em módulo, a velocidade da imagem é igual à do objeto, porém elas estão em sentidos opostos, por isso há um sinal negativo na equação (2).

ESPELHO SE MOVENDO PARALELAMENTE AO SEU PRÓPRIO PLANO

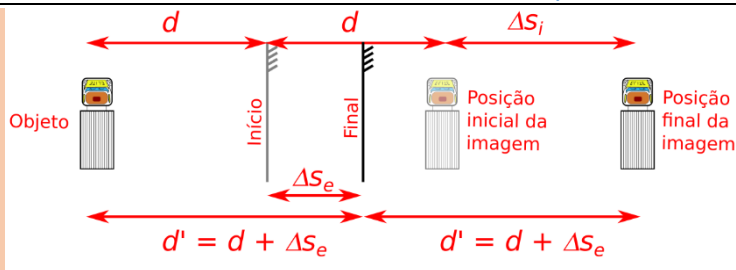
Ainda pensando no esquema anterior, pense no caminhão parado e o espelho se movendo com velocidade $V_{\parallel \text{ espelho}}$. O que acontece com a imagem do caminhão?



A resposta é: NADA. Ou seja, a imagem do caminhão não muda sua posição quando o espelho se move na direção indicada, assim o movimento do espelho ao longo de seu plano não influencia na posição da imagem.

ESPELHO SE MOVENDO PERPENDICULARMENTE AO SEU PRÓPRIO PLANO

Agora suponha que o espelho esteja indo para a direita $V_{\perp \text{ espelho}}$. O que acontece com a imagem do caminhão?



Observe a imagem acima e note que:

$$\begin{aligned} d + d + \Delta s_i &= d' + d' \Rightarrow \\ 2d + \Delta s_i &= 2d' \Rightarrow \\ 2d + \Delta s_i &= 2(d + \Delta s_e) \Rightarrow \\ \Delta s_i &= 2\Delta s_e \end{aligned}$$

Com isso podemos dizer que a velocidade da imagem é o dobro da velocidade do espelho, portanto:

$$V_{\perp \text{ imagem}} = 2V_{\perp \text{ espelho}} \quad (3)$$

Note que não há sinal negativo na relação, como na equação (2), isso porque a velocidade da imagem é na mesma direção e sentido que a velocidade do espelho.

SOBREPONDO TODOS OS EFEITOS

Agora, imagine que tanto objeto como espelho se movam. Podemos fazer uma composição de movimento:

1. Considere que o objeto possui velocidade $V_{// \text{ objeto}}$ paralela ao espelho e $V_{\perp \text{ objeto}}$ a velocidade perpendicular ao espelho. Isso implica que a velocidade da imagem é $V_{// \text{ imagem}} = V_{// \text{ objeto}}$ paralela ao espelho e $V_{\perp \text{ imagem}} = -V_{\perp \text{ objeto}}$.

2. Se o espelho se move com velocidade $V_{\perp \text{ espelho}}$ na direção perpendicular ao seu plano, a velocidade da imagem será $V_{\perp \text{ imagem}} = 2V_{\perp \text{ espelho}}$.

3. Por superposição, a velocidade da imagem deve ser a soma das velocidades da imagem devido aos movimentos do espelho e do objeto, assim a velocidade da imagem será:

$$V_{// \text{ imagem}} = V_{// \text{ objeto}} \quad (4)$$

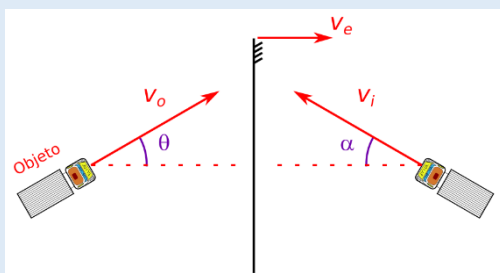
e

$$\begin{aligned} V_{\perp \text{ imagem}} &= 2V_{\perp \text{ espelho}} - V_{\perp \text{ objeto}} \Rightarrow \\ V_{\perp \text{ espelho}} &= \frac{V_{\perp \text{ imagem}} + V_{\perp \text{ objeto}}}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Note que a velocidade do espelho ao longo de seu plano, isto é, $V_{// \text{ espelho}}$, não é relevante neste caso.

Vamos para um exemplo:

Seja um caminhão se aproximando com velocidade de 30 m/s na direção indicada na figura abaixo com $\theta = 30^\circ$. O espelho se move para a direita com 10 m/s. Determine:



- $V_{// \text{ objeto}}$ e $V_{\perp \text{ objeto}}$.
- $V_{// \text{ imagem}}$.
- $V_{\perp \text{ imagem}}$.
- O ângulo α .
- o módulo da velocidade da imagem.

RESOLUÇÃO:

a) Decompomos a velocidade do objeto:

$$V_{// \text{ objeto}} = v_o \sin \theta \Rightarrow V_{// \text{ objeto}} = 30 \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$V_{// \text{ objeto}} = 15 \text{ m/s}$$

Agora para a outra direção:

$$V_{\perp \text{ objeto}} = v_o \cos \theta \Rightarrow V_{\perp \text{ objeto}} = 30 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$V_{\perp \text{ objeto}} = 15\sqrt{3} \text{ m/s}$$

b) A velocidade da imagem, paralela ao espelho, é igual à velocidade do objeto na direção paralela ao espelho:

$$V_{// \text{ imagem}} = V_{// \text{ objeto}} = 15 \text{ m/s}$$

c) Para calcular $V_{\perp \text{ imagem}}$, usamos a equação (5):

$$V_{\perp \text{ espelho}} = \frac{V_{\perp \text{ imagem}} + V_{\perp \text{ objeto}}}{2} \Rightarrow 10 = \frac{V_{\perp \text{ imagem}} + 15\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$V_{\perp \text{ imagem}} = 5(4 - 3\sqrt{3}) \text{ m/s}$$

d) Vamos usar a tangente de α :

$$\tan \alpha = \frac{v_{y \text{ imagem}}}{v_{x \text{ imagem}}} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{|V_{// \text{ imagem}}|}{|V_{\perp \text{ imagem}}|} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{15}{5(3\sqrt{3} - 4)} \Rightarrow$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{3}{3\sqrt{3} - 4}\right)$$

Note que como $3\sqrt{3} > 4$, o módulo de $V_{\perp \text{ imagem}}$ é $5(3\sqrt{3} - 4)$.

e) Por fim, para determinarmos a velocidade da imagem utilizamos o Teorema de Pitágoras:

$$v_i^2 = v_{//\text{imagem}}^2 + v_{\perp\text{imagem}}^2 \Rightarrow v_i^2 = 15^2 + (5(4 - 3\sqrt{3}))^2 \Rightarrow v_i^2 = 225 + 25(4 - 3\sqrt{3})^2 \Rightarrow$$

$$v_i^2 = 225 + 25(16 - 12\sqrt{3} + 27) \Rightarrow v_i^2 = 225 + 400 - 300\sqrt{3} + 675 \Rightarrow$$

$$v_i = 1300 - 300\sqrt{3} \Rightarrow \boxed{v_i = 10\sqrt{13 - 3\sqrt{3}} \text{ m/s}}$$

Não entendeu? Perguntaê: danilo@professordanilo.com

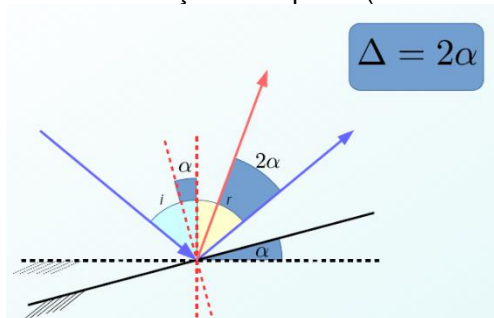
11. ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

↳ Seja um raio de luz incidindo em um espelho plano.

→ Seja a normal n a reta perpendicular ao espelho no ponto onde o raio atinge o espelho.

→ Seja r a reta perpendicular à esta normal, contida no plano deste espelho.

→ Se o espelho plano girar de um ângulo α em torno da reta r , o raio refletido girará 2α em torno da mesma reta r e no mesmo sentido de rotação do espelho (horário ou anti-horário).



↳ Veja mais um vídeo do professor Danilo sobre rotação de um espelho plano

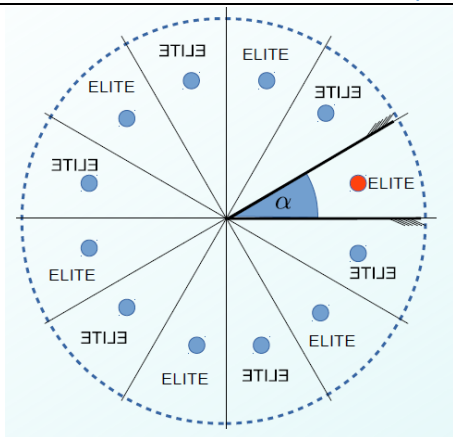
<https://youtu.be/nIP4tjTyhjw>

12. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS

↳ Sejam dois espelhos planos que formam um setor circular α .

Quantas imagens serão formadas?

→ Utilizaremos a figura a seguir. Portanto, a cada item lido, volte à esta figura para entender, aos poucos, sua construção.



→ Para responder à esta pergunta, vamos primeiramente determinar quantos setores circulares, como o formado pelos dois espelhos, serão necessários para formar uma circunferência inteira.

$$\text{número de setores circulares} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

→ Imagine um objeto colocado no setor circular formado por estes dois espelhos. Imagine um letreiro onde está escrito a palavra ELITE.

→ Note, na figura, que o número de setores corresponde à soma do número de imagens mais o objeto. Portanto, sendo n o número de imagens, este pode ser calculado por:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

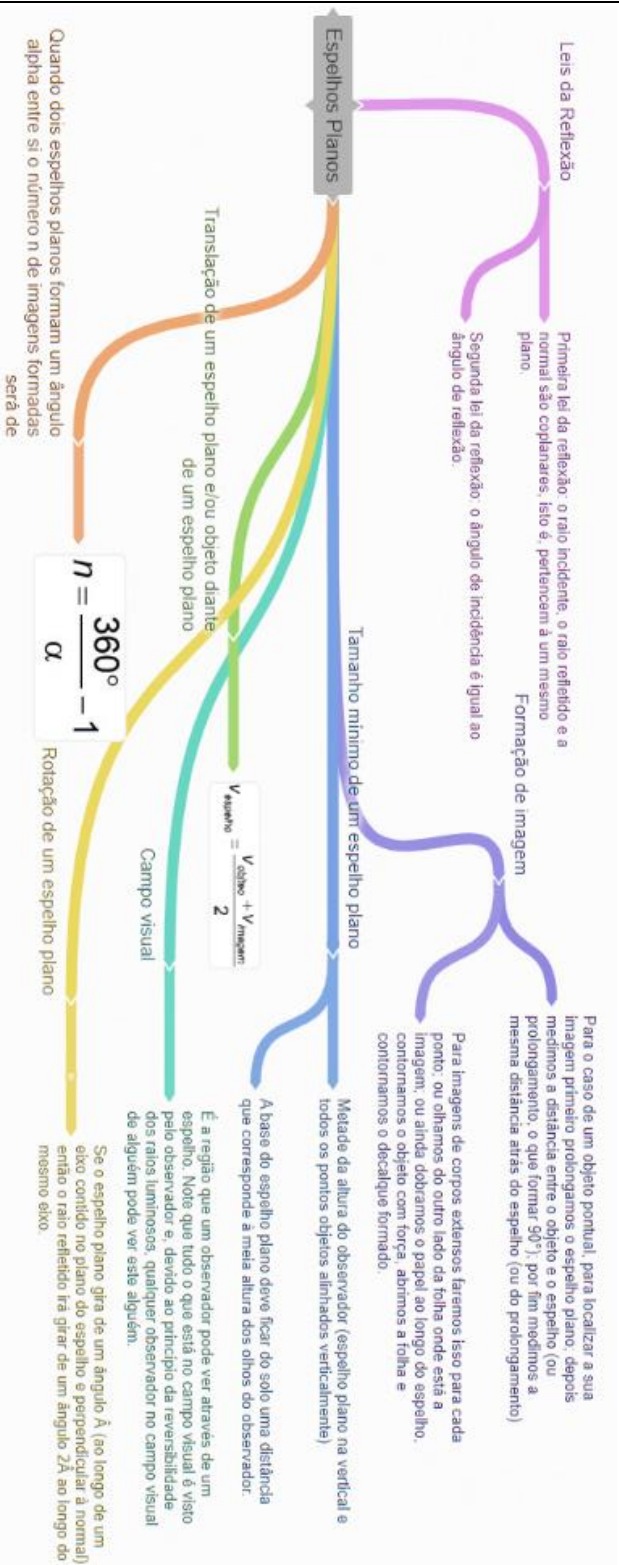
→ Neste sentido, quais imagens são enantiomorfas e quais não são?

- Observe a figura, novamente, e perceba que a palavra ELITE alterna com sua forma enantiomorfa ETILƎ. Veja que isso ocorre pois temos imagens de imagens, conforme visto em sala de aula.

↳ Veja vídeo do professor Danilo sobre este assunto:

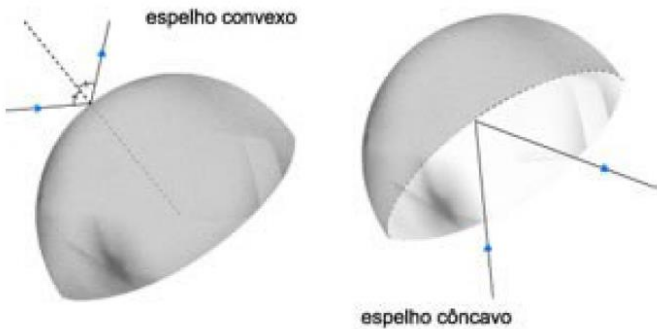
<https://youtu.be/u4yzLhi3ryk>

No SisQ, a lista “Os Espelhos Planos”, pode ser feita por completo.

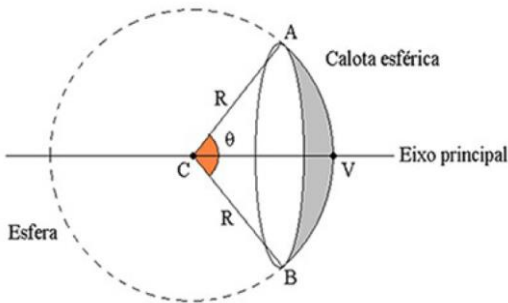


13. OS ESPELHOS ESFÉRICOS

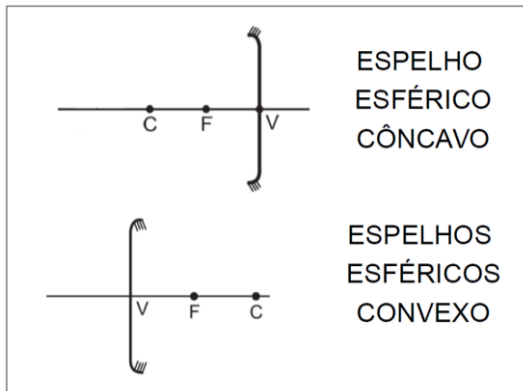
- Definição



- Elementos do espelho esférico



- Representação usual



- O ponto C é o centro do espelho
- O ponto V é a intersecção entre o eixo principal e o espelho (vértice)
- O foco (F) é o ponto médio entre o vértice (V) e o centro (C) do espelho
- Quando θ é muito pequeno ($\theta < 15$ graus) dizemos que o espelho é gaussiano

a) RAIOS NOTÁVEIS

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO

<https://youtu.be/4-MXnlosUtY> (vídeo mostrando os raios notáveis do espelho esférico côncavo)

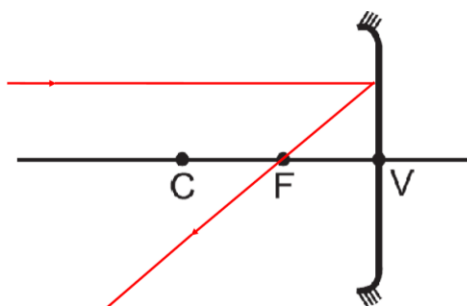


Figura 1: raio incidindo paralelamente ao eixo principal e saindo passando pelo foco

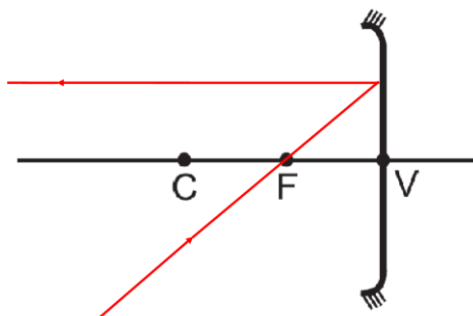


Figura 2: raio incidindo no foco e saindo paralelo ao eixo principal.

Note que se usarmos o princípio da reversibilidade dos raios de luz concluímos que o que é representado na figura 1 corresponde ao que é apresentado na figura 2.

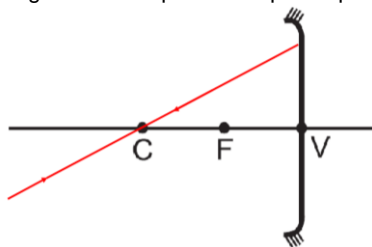


Figura 3: raio incidindo passando pelo centro do espelho e voltando pelo mesmo caminho

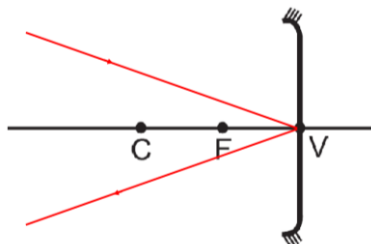


Figura 4: raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO

<https://youtu.be/0kFHhT5ZFMk> (vídeo mostrando os raios notáveis do espelho esférico côncavo)

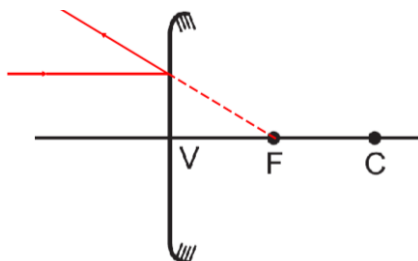


Figura 5: raio incidindo paralelamente ao eixo principal sairá na direção do foco. Note que o raio refletido não pode passar sobre o foco.

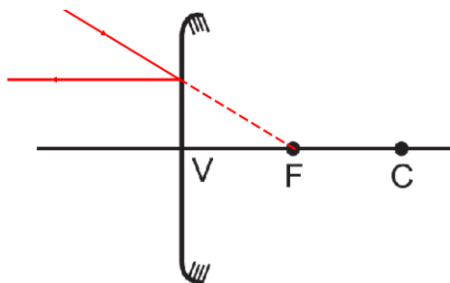


Figura 6: raio incidindo na direção do foco do espelho sai paralelamente ao eixo principal

Novamente, pelo princípio da reversibilidade dos raios de luz podemos concluir que a figura 5 e a figura 6 são equivalentes.

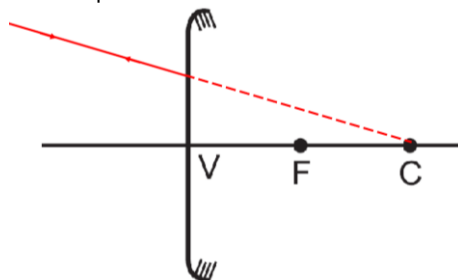


Figura 7: raio incidindo na direção do centro de curvatura volta pelo mesmo caminho que chegou

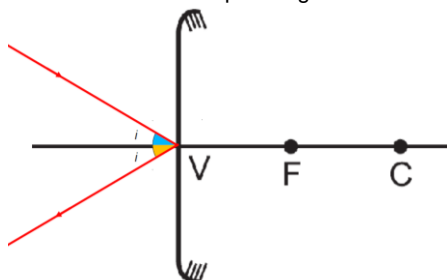


Figura 8: raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

b) LOCALIZANDO O FOCO SECUNDÁRIO

ESPELHO CÔNCAVO

Seja um raio incidente num espelho esférico côncavo tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber, a priori, para onde o raio vai.

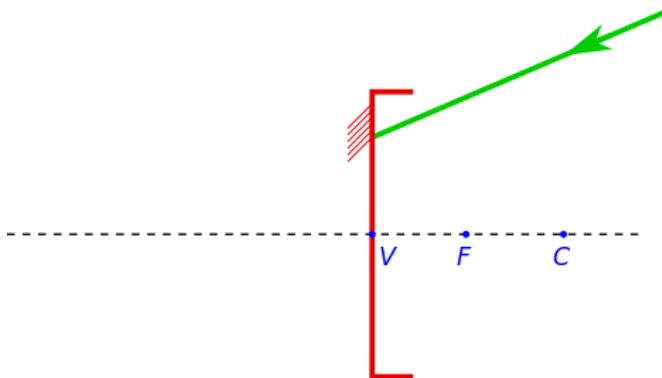


Figura 9: Raio incidindo em um espelho esférico côncavo. O raio não é nenhum dos casos de raio notável.

Para sabermos onde este raio vai utilizamos um eixo secundário e determinamos um foco secundário, assim o raio passará pelo foco secundário. Vamos ao método:

- Trace uma linha tracejada paralela ao raio incidente passando pelo centro C do espelho, conforme figura 10, assim você terá obtido o eixo secundário;
- Trace uma linha também tracejada perpendicular ao eixo principal passando pelo foco. O encontro das duas retas é o local onde se encontra o foco secundário, conforme figura 11.
- Por fim, o raio incidente irá passar pelo foco secundário assim obtido, conforme figura 12.

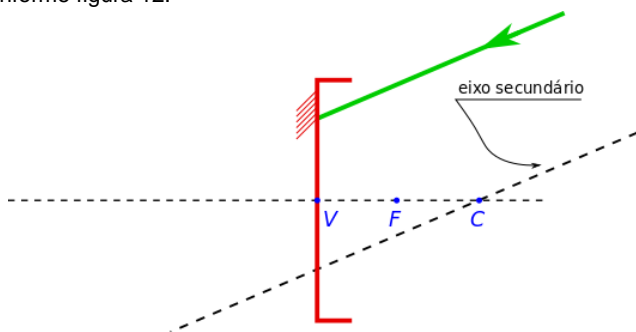


Figura 10: A linha tracejada passando pelo centro de curvatura do espelho e é paralela ao raio incidente corresponde ao eixo secundário.

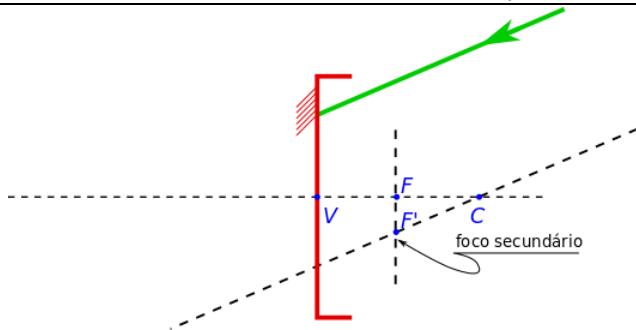


Figura 11: Ao traçarmos a linha vertical obtemos o foco secundário, pois este é a interseção entre o eixo secundário e essa reta vertical.

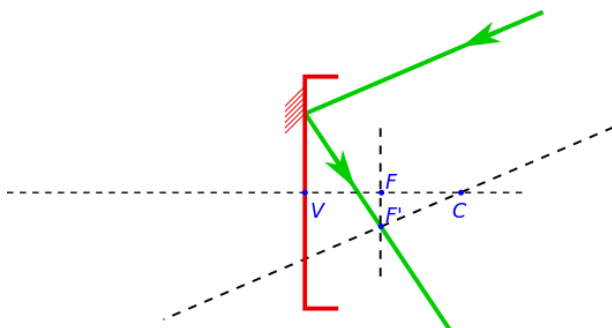


Figura 12: O raio incidente, que é paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido irá passar pelo foco secundário.

Chamamos de F' o foco secundário localizado no eixo secundário do espelho esférico côncavo.

ESPELHO CONVEXO

O processo é praticamente o mesmo, mas vamos repeti-lo.

Seja um raio incidente num espelho esférico tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber a priori para onde o raio vai.

Seja um raio incidente num espelho esférico tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber a priori para onde o raio vai.

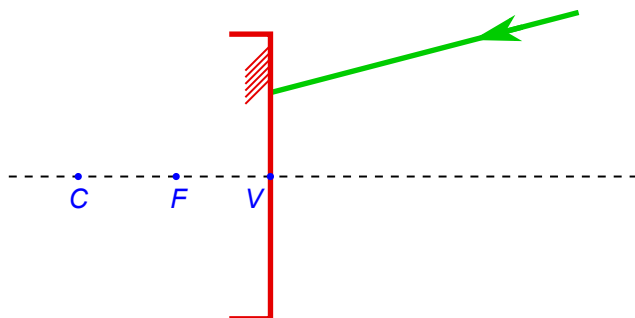


Figura 13: Raio incidindo em um espelho esférico côncavo. O raio não é nenhum dos casos de raios notáveis.

Para sabermos onde este raio vai utilizamos um eixo secundário e determinamos um foco secundário, assim o raio passará pelo foco secundário. Vamos ao método:

- Trace uma linha tracejada paralela ao raio incidente passando pelo centro C do espelho, conforme figura 14, assim você terá obtido o eixo secundário;
- Trace uma linha também tracejada perpendicular ao eixo principal passando pelo foco. O encontro das duas retas é o local onde se encontra o foco secundário, conforme figura 15.
- Por fim, o raio incidente sairá na direção do foco secundário assim obtido, conforme figura 16.

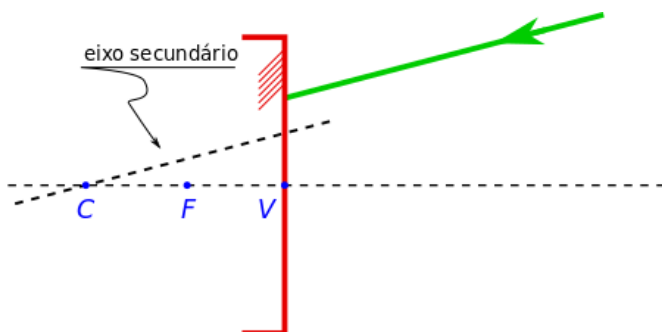


Figura 14: A linha tracejada passando pelo centro de curvatura do espelho e é paralela ao raio incidente corresponde ao eixo secundário.

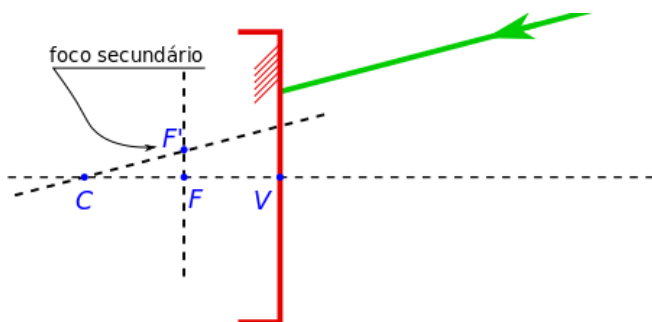


Figura 15: Ao traçarmos a linha vertical obtemos o foco secundário, pois este é a interseção entre o eixo secundário e essa reta vertical.

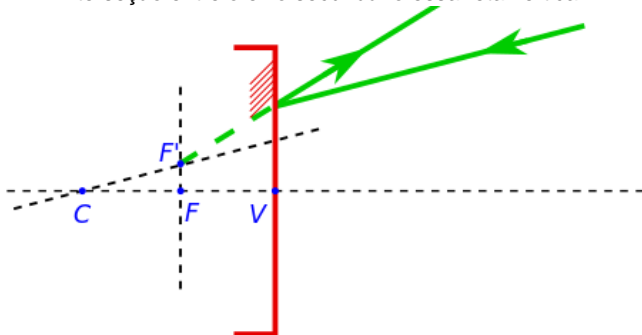


Figura 16: O raio incidente, que é paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido irá sair na direção do foco secundário, uma vez que é um espelho esférico convexo.

Chamamos de F' o foco secundário localizado no eixo secundário do espelho esférico convexo.

RESUMINDO

Note que podemos ter novos raios notáveis. Resumindo para o caso dos espelhos côncavos:

- Um raio que incide paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido, sai passando pelo foco secundário;
- Um raio que incide passando pelo foco secundário sai paralelo ao eixo secundário.

Agora para espelhos convexos:

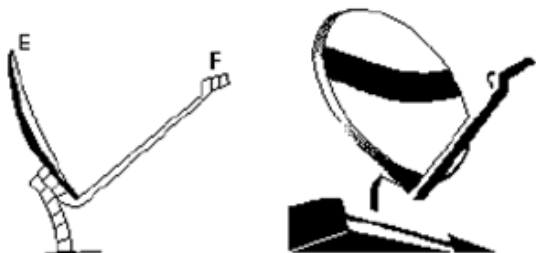
- Um raio que incide paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido, sai na direção do foco secundário;
- Um raio que incide na direção do foco secundário, ao ser refletido, sai paralelo ao eixo secundário.

Note que o “centro de curvatura secundário” continua sendo no mesmo lugar, como tinha que ser.

Por fim, lembre-se que estamos falando de um espelho esférico gaussiano, ou seja, válido apenas para a aproximação paraxial (ângulos pequenos).

CAIU NO VESTIBULAR

(UFSCAR) Os refletores das antenas parabólicas funcionam como espelhos esféricos para a radiação eletromagnética emitida por satélites retransmissores, localizados em órbitas estacionárias, a cerca de 36.000 km de altitude. A figura à esquerda representa esquematicamente uma miniantena parabólica, cuja foto está à direita, onde E é o refletor e F é o receptor, localizado num foco secundário do refletor.



a) Copie o esquema da figura da esquerda e represente o traçado da radiação eletromagnética proveniente do satélite retransmissor que incide no refletor E e se reflete, convergindo para o foco secundário F (faça um traçado semelhante ao traçado de raios de luz). Coloque nessa figura uma seta apontando para a posição do satélite.

b) Nas miniantenas parabólicas o receptor é colocado no foco secundário e não no foco principal, localizado no eixo principal do refletor, como ocorre nas antenas normais. Por quê?

(Sugestão: lembre-se que a energia captada pelo refletor da antena é diretamente proporcional à área atingida pela radiação proveniente do satélite.)

c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA

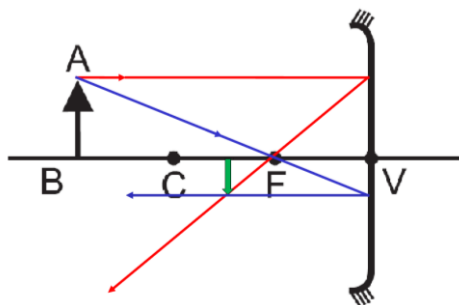


Figura 17: objeto além do centro de curvatura C no espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: menor.]

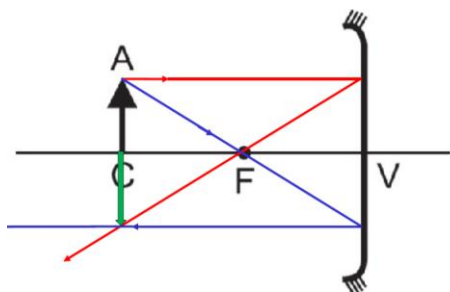


Figura 18: objeto localizado exatamente sobre o centro de curvatura C do espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: igual]

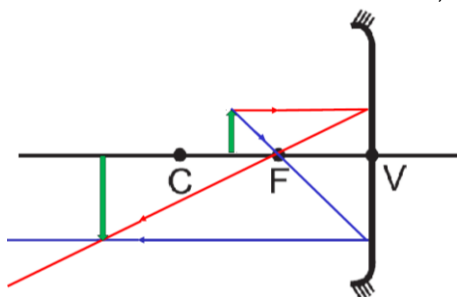


Figura 19: objeto entre o centro de curvatura C e o foco F de um espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: maior.]

IMPORTANTE: se o objeto estiver sobre o foco, os raios que saírem de um ponto do objeto e atingirem o espelho sairão todos paralelos entre si, portanto não há encontro dos raios e, com isso, não haverá formação de imagem.

Com isso dizemos que a imagem é imprópria.

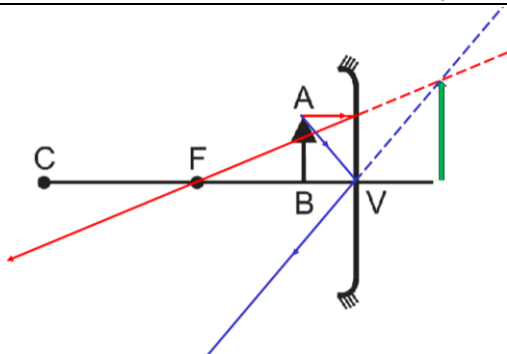


Figura 20: objeto entre o foco e o vértice V de um espelho esférico côncavo. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: maior.]

Perceba que até o momento só vimos os casos de formação de imagem para espelhos esféricos côncavos. A seguir, o único caso relevante, de formação e classificação de imagens, para o espelho esférico convexo.

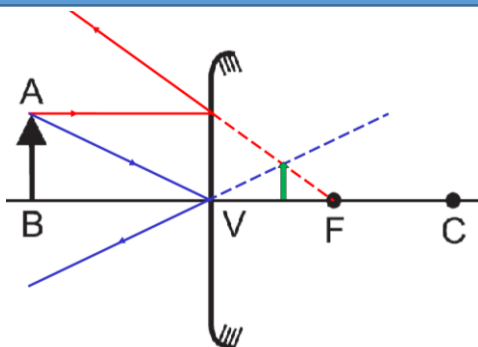


Figura 21: objeto diante de um espelho esférico convexo. Todos os casos de formação de imagem para um objeto em frente à um espelho esférico convexo serão iguais. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: menor.]

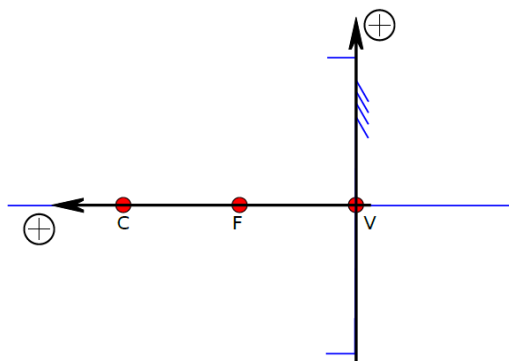
IMPORTANTE: perceba que toda imagem real é invertida e toda imagem virtual é direita

No SisQ, faça os exercícios de 1 a 23 da lista "Os Espelhos Esféricos".

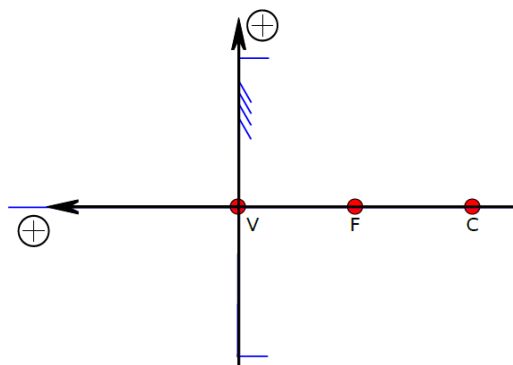
d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS

i – O REFERENCIAL DE GAUSS

Espelho
côncavo:



Espelho
convexo



ii – PADRÕES IMPORTANTES

p : abscissa do objeto

p' : abscissa da imagem

$y = o$: ordenada do objeto

$y' = i$: ordenada da imagem

f : abscissa do foco

$2f$: abscissa do centro do espelho

$p > 0$: Objeto Real

$p' > 0$: Imagem Real

$p < 0$: Objeto Virtual

$p' < 0$: Imagem Virtual

Se i e o tiverem o mesmo sinal, então a imagem é direita, já se tiverem sinais opostos ela é invertida. Segue então que:

$i \cdot o > 0$: Imagem Direita

$i \cdot o < 0$: Imagem Invertida

Com relação ao tipo de espelho:

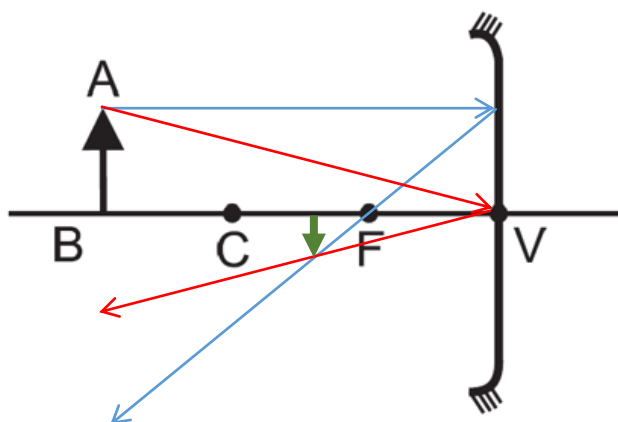
$f > 0$: Espelho Côncavo

$f < 0$: Espelho Convexo

iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:

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

iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL



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

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

No SisQ, faça os exercícios de 24 a 52 da lista “Os Espelhos Esféricos”. O 51 é um bom desafio.

