

Aula 12

Óptica geométrica

Prof. Vinícius Fulconi

Sumário

Apresentação	6
Introdução	8
1- Introdução à luz	9
1.1 – Velocidade de propagação.....	9
1.2 – Fontes de luz.....	9
1.2.1 Fontes primárias.....	9
1.2.2 Fontes secundárias.....	9
1.2.3 Fontes puntiformes.....	10
1.2.4 Fontes extensas.....	10
1.3 – Meios de propagação.....	10
1.3.1 Meios transparentes.....	10
1.3.2 Meios translúcidos.....	10
1.3.3 Meios opacos.....	11
1.3.4 Meios isotrópicos.....	11
1.3.5 Meio ordinário.....	11
1.4 – Frente de luz.....	11
1.4.1 Frente de luz.....	11
1.4.2 Raio de luz.....	12
1.5 Pincel de luz.....	13
1.5.1 Feixe cônico divergente.....	13
1.5.2 Feixe cônico convergente.....	13
1.5.3 Feixe cilíndrico.....	13
2 – Princípios da óptica geométrica	14
2.1 – Princípio da independência.....	14
2.2 – Princípio da propagação retilínea.....	14
2.3 - Princípio da reversibilidade.....	14
2.5 - Sombra e penumbra.....	15
2.5.1 Penumbra.....	15
2.5.2 Sombra.....	15
2.6 – Ponto objeto e ponto imagem.....	17
2.6.1 Ponto objeto.....	17



2.6.2 Ponto imagem	18
2.7 – Projeções de imagens.....	21
2.8 – Reflexão e refração.....	21
2.9 – Interpretação das cores.....	23
3- Leis da óptica geométrica	24
3.1 Primeira lei da reflexão	24
3.2 – Segunda lei da reflexão	25
4 – Espelho planos	25
4.1 – Formação da imagem em espelhos planos.....	26
4.1.1 Características das imagens.....	26
4.2 – Campo visual	27
4.3 – Associação de espelhos planos.....	28
4.3.1 Zona Morta	29
4.3.2 Número de imagens	29
5 – Espelhos esféricos	30
5.1 Introdução e nomenclatura.....	30
5.1.1 Espelho côncavo	30
5.1.2 Espelhos convexos.....	30
5.1.3 Nomenclatura	30
5.1.4 Raios para-axiais	31
5.1.5 Posição do foco.....	31
5.1.6 Referências na distância	31
5.2 – Raio notáveis	32
5.3 – Equação de Gauss	34
5.4 – Aumento linear do espelho esférico.....	35
5.4.1 Convenções.....	35
5.5 – Posição das imagens	36
5.5.1 Espelho côncavo	36
5.5.2 Espelhos convexos.....	37
6 - Refração	40
6.1 – Índice de refração absoluto.....	41



6.2 – Leis da refração	41
6.2.1 Primeira lei da refração	41
6.2.2 Segunda lei da refração	41
6.3 – Lâmina de faces paralelas	43
6.4 – Reflexão total e ângulo limite	44
6.5 – Arco-íris e miragem	45
6.5.1 Posição aparente dos astros	45
6.5.2 Miragens e o efeito Fata Morgana	46
6.5.3 Arco-íris.....	47
6.6 - Prismas	48
6.6.1 Equações do prisma.....	49
7 – Lentes esféricas.....	51
7.1 – Nomenclatura e principais elementos geométricos.....	51
7.2 – Comportamento óptico	52
7.3 – Raios notáveis nas lentes esféricas	53
Lentes convergentes.....	53
7.3.1 Primeiro raio para convergentes	53
7.3.2 Segundo raio para convergentes	53
7.3.3 Terceiro raio para convergentes.....	53
7.3.4 Primeiro raio para divergentes	54
7.3.5 Segundo raio para divergentes.....	54
7.3.6 Terceiro raio para divergentes	54
7.4 – Equação de Gauss para lentes	55
7.5 – Aumento linear do espelho esférico	56
5.4.1 Convenções.....	56
7.6 – Posição das imagens	56
7.7 – Vergência da lente.....	57
8 – Óptica da visão.....	60
8.1 – Estudo do globo ocular.....	60
8.2 – Acomodação visual.....	61
8.3 Defeitos da visão	62
8.3.1 Miopia.....	62



8.3.2 Hipermetropia	63
8.3.3 Presbiopia	63
8.3.4 Astigmatismo	64
8.3.5 Estrabismo	64
Lista de Questões	65
Gabarito	79
Lista de Questões Resolvidas e Comentadas	80
Considerações Finais.....	105
Referências.....	106



Apresentação

Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!

Sou o professor **Vinícius Fulconi**, tenho vinte e quatro anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Militares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você **nunca vai passar no ITA!*** Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiriam! Entretanto, eu preferi negritar e gravar “**Você vai passar no ITA!**”

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! **Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial** e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em umas das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Militares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na



minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: **O que é necessário para começar esse curso?**



ALERTA!

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**

Introdução

Nessa aula faremos o estudo da **Óptica geométrica**. Pela maior ocorrência nas provas para as quais nos preparamos, estudaremos somente sobre os principais tópicos nesse capítulo.

Dessa forma, começaremos apresentando os conceitos iniciais de luz e os espelhos planos e esféricos. Logo em seguida veremos o tópico da refração e todas as suas aplicações. Logo, para finalizar essa aula, focaremos nos estudos de lentes esféricas e a aplicação na Óptica da visão.

Enunciando assim pode parecer um estudo muito teórico mas, veremos muitos exemplos e exercícios práticos!

Então, vamos começar? 😊



1- Introdução à luz

A luz é uma energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas que, atuando nos órgãos visuais, produz sensação de visão.

1.1 – Velocidade de propagação

A velocidade de propagação da luz é uma constante para o vácuo, que vale aproximadamente:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Nos meios materiais, a velocidade da luz (v) é sempre menor que no vácuo (c). Definimos como ano-luz a distância percorrida pela luz durante um ano terrestre. Assim, um ano-luz é equivalente a:

$$1 \text{ ano luz} = c \cdot \Delta t \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot 1 \text{ ano (em segundos)} \cong 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

$$1 \text{ ano luz} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

Perceba que **ano-luz é uma medida de distância** e não de tempo, como as pessoas costumam acreditar.



Esse conceito é regularmente pedido nas provas militares 😊

1.2 – Fontes de luz

As Fontes de luz são corpos que podem emitir ou refletir luz. Podemos classificar essas fontes de algumas maneiras distintas:

1.2.1 Fontes primárias

São corpos que emitem luz própria. Por exemplo: a chama de uma vela, o Sol, as lâmpadas elétricas quando acessas etc.

1.2.2 Fontes secundárias

São corpos que recebem a luz e a retransmite por difusão, sofrendo reflexão ou refração. Por exemplo: a Lua, as nuvens etc.



1.2.3 Fontes puntiformes

As dimensões das fontes puntiformes são desprezíveis em comparação as dimensões dos objetos que compõem o problema. Uma estrela observada da Terra comporta-se como fonte puntiforme, pois suas dimensões se tornam desprezíveis devido à distância entre a Terra e a estrela. Tenha em mente que estrelas, de um modo geral, são corpos de grandes dimensões.

1.2.4 Fontes extensas

As dimensões da fonte são comparáveis às dimensões dos corpos no problema estudado.

1.3 – Meios de propagação

1.3.1 Meios transparentes

São meios que permitem a propagação regular da luz. Toda a luz que incide neste meio é transmitida à frente. Não há reflexão nas superfícies de fronteira deste meio. O vácuo é o único meio perfeitamente transparente. Nenhum outro meio é perfeitamente transparente.

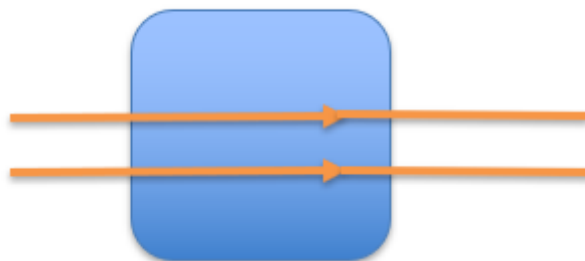


Figura 1: Meio transparente.

1.3.2 Meios translúcidos

São meios em que a luz não se propaga de maneira regular. Há muitas reflexões nas superfícies de fronteira e no interior. O espalhamento é o que predomina.

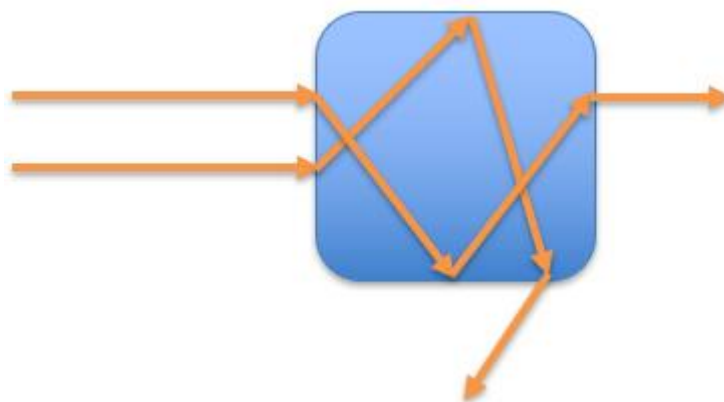


Figura 2: Meios translúcidos.

1.3.3 Meios opacos

Não há propagação da luz nesses meios. Ao se incidir sobre um meio opaco, uma parcela da luz é absorvida, outra parcela é refletida, mas nenhuma é transmitida.

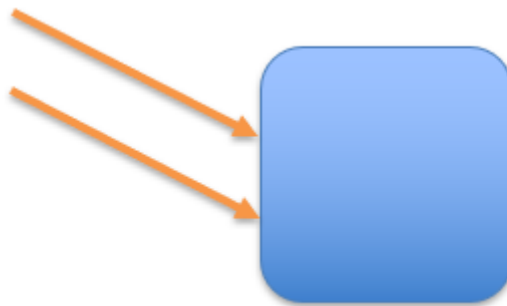


Figura 3: Meios opacos.

1.3.4 Meios isotrópicos

A velocidade de propagação da luz e as propriedades ópticas são independentes da direção que é realizada a medida.

1.3.5 Meio ordinário

É um meio transparente, homogêneo e isotrópico. O vácuo é um meio ordinário.

1.4 – Frente de luz

1.4.1 Frente de luz

É a fronteira entre a região já atingida por um pulso luminoso e a região ainda não atingida.” Para uma fonte puntiforme, as frentes de luz são superfícies esféricas. Considere a fonte primária puntiforme F . As frentes de luz, de um em um segundo, são esferas de raios crescentes. Veja a figura abaixo, representando as frentes de ondas a cada 1 segundo.

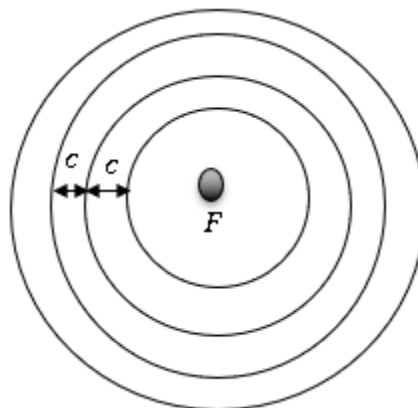


Figura 4: Frentes de luz.

Cada uma das frentes esféricas se movimenta com a velocidade da luz c .

1.4.2 Raio de luz

É um segmento de reta orientado que tem origem na fonte de luz e é perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz mostram a direção e o sentido de propagação da luz em um meio ou sistema óptico.

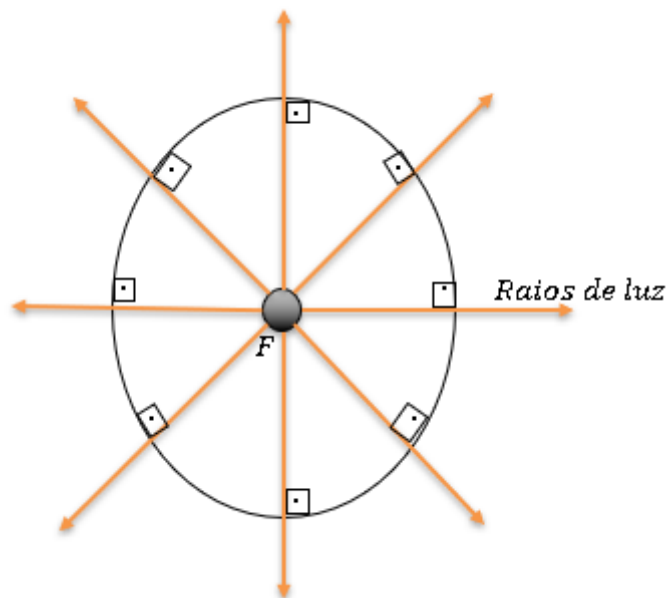


Figura 5: Raios de luz.

NOVIDADE!



OBS: Devido a grande distância entre a Terra e o Sol, os raios de luz são considerados paralelos.



Figura 6: Paralelismo dos raios solares.

1.5 Pincel de luz

Os pinceis de luz são regiões onde há raios de luz se propagando. A reunião de muitos pinceis ,originados de uma mesma fonte, define uma superfície iluminada. Essa superfície possui um determinado ângulo de abertura ou são raios paralelos.

1.5.1 Feixe cônico divergente

Os raios divergem de um ponto F.

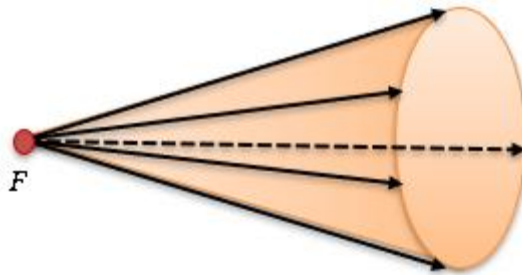


Figura 7: Feixe divergente.

1.5.2 Feixe cônico convergente

Os raios convergem para um ponto F.

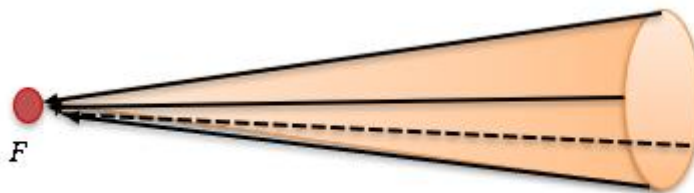


Figura 8: Feixe convergente.

1.5.3 Feixe cilíndrico

O raios de luz são paralelos entre si.

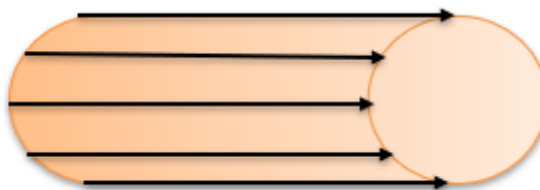


Figura 9: Feixe cilíndrico.

2 – Princípios da óptica geométrica

2.1 – Princípio da independência

Princípio da independência - A propagação de um feixe não é afetada pela propagação de outro feixe na mesma região do espaço.

Após o cruzamento, os raios continuam independentemente seus respectivos caminhos ópticos. Veja a figura 10.

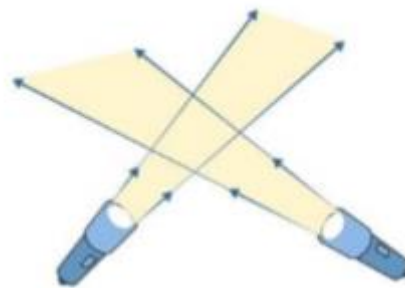


Figura 10: Independência dos raios.

2.2 – Princípio da propagação retilínea.

Propagação retilínea - Nos meios transparentes e homogêneos, a luz se propaga em linha reta.

2.3 - Princípio da reversibilidade

Como consequência dos princípios anteriores, surge a reversibilidade da luz:

Reversibilidade - A trajetória da luz não depende de seu sentido de percurso.



2.5 - Sombra e penumbra

2.5.1 Penumbra

É uma região do espaço parcialmente iluminada. É a transição entre a região iluminada e a região de sombra.

2.5.2 Sombra

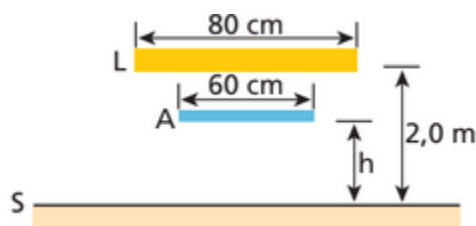
É uma região completamente isenta de iluminação. Ou seja, raios de luz não atingem a região de sombra. Considere uma fonte extensa de luz L. A fonte está acima de uma mesa. Veja a configuração dos feixes de luz.



Figura 11: Fonte extensa causando sombra e penumbra.

A figura acima mostra a configuração de sombra e penumbra para uma fonte extensa de luz.

Exemplo 1: A figura a seguir representa uma fonte extensa de luz L e um anteparo opaco A dispostos paralelamente ao solo (S).

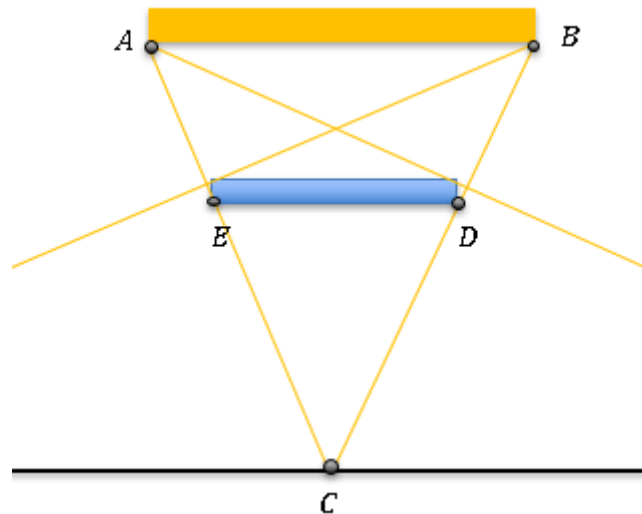


O valor mínimo de h , em metros, para que sobre o solo não haja formação de sombra é:

- a) 2. b) 1,5. c) 0,8. d) 0,6. e) 0,3.

Comentário:

Para que não haja formação de sombra, devemos ter a seguinte configuração para os raios de luz:



Os triângulos ABC e EDC são semelhantes:

$$\frac{h}{60} = \frac{200}{80}$$

$$h = 1,5 \text{ m}$$

Gabarito: B



2.6 – Ponto objeto e ponto imagem

Considere S um sistema óptico qualquer.

2.6.1 Ponto objeto

Ponto objeto é o vértice do pincel luminoso incidente.

(A) Ponto objeto real (POR):

É o vértice de um pincel incidente divergente. Ele é formado por um cruzamento efetivo de raios de luz.

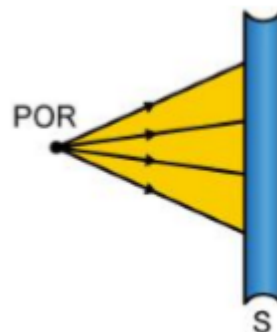


Figura 12: Ponto objeto real.

(B) Ponto objeto virtual (POV):

É o vértice de um pincel incidente convergente. Ele é formado por um cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz.

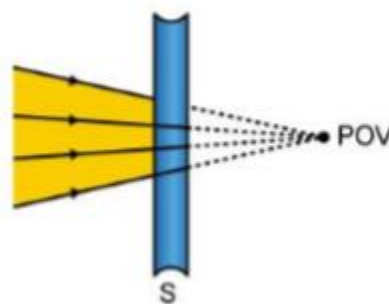


Figura 13: Ponto objeto virtual.

(C) Ponto objeto impróprio (POI):

É o vértice de um pincel incidente cilíndrico. Ele está situado no infinito.

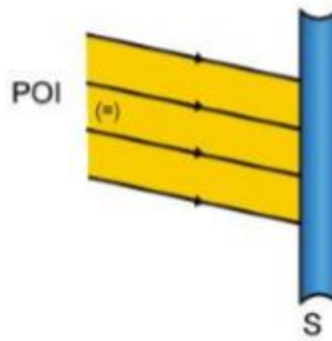


Figura 14: Ponto objeto impróprio.

2.6.2 Ponto imagem

É o vértice de um pincel luminoso emergente.

(A) Ponto imagem real (PIR):

É o vértice de um pincel emergente convergente. Ele é formado pelo cruzamento efetivos dos raios de luz.

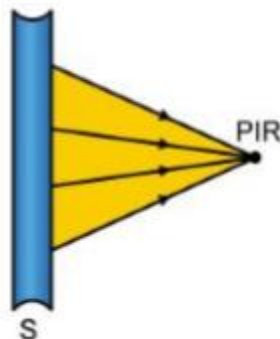


Figura 15: Ponto imagem real.

(B) Ponto imagem virtual (PIV):

É o vértice de um pincel emergente divergente. Ele é formado pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios

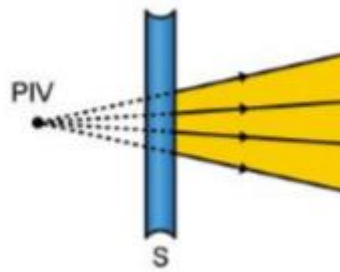


Figura 16: Ponto imagem virtual.

(C) Ponto imagem imprópria (PII):

É o vértice de um pincel emergente cilíndrico. Ele está situado no infinito.

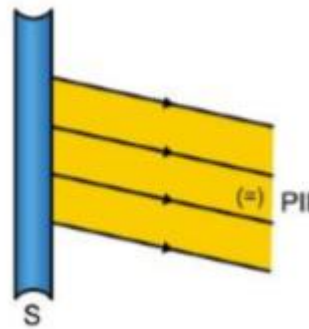
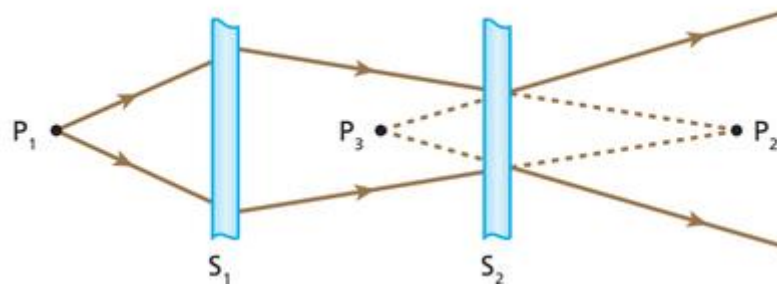


Figura 17: Ponto imagem imprópria.



Exemplo 2: (TÓPICOS DA FÍSICA) Na figura seguinte S_1 e S_2 são sistemas ópticos e P_1 é uma fonte puntiforme de luz:



Com base nessa situação, responda:

a) O que representa P_1 em relação a S_1 ?

b) O que representa P_3 em relação a S_2 ?

Comentário:

a) O ponto P_1 é o vértice de pincel incidente divergente. Desta forma, podemos dizer que ele é o ponto objeto real.

b) O ponto P_3 é o vértice de pincel emergente convergente. Desta forma, podemos dizer que ele é o ponto imagem virtual.



2.7 – Projeções de imagens

Apenas as imagens reais podem ser projetadas em anteparos. Isso ocorre porque não há luz na região em que se forma o ponto imagem virtual.

Embora não possa ser projetada, **a imagem virtual pode ser vista** por qualquer observador.

2.8 – Reflexão e refração

Toda vez que um raio de luz atinge a interface entre dois meios, ocorre reflexão e refração da luz. Parte da luz é refletida e a outra parte é refratada. Antes disso, faremos algumas definições importantes.

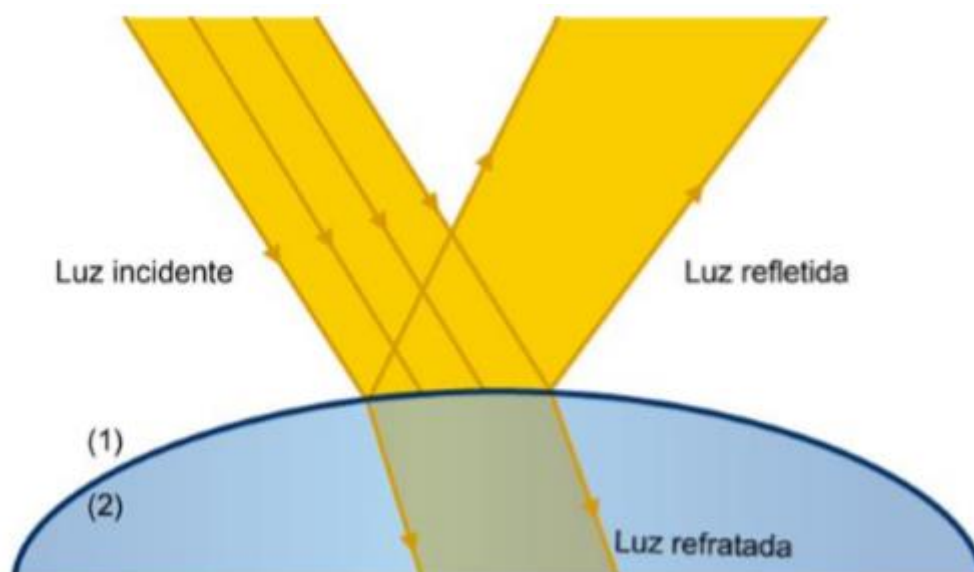


Figura 18: Reflexão e refração em uma superfície.

Reflexão - é o fenômeno que tem por característica a luz voltar a se propagar no mesmo meio de origem, após incidir na superfície de divisão entre dois meios.

Refração - é o fenômeno da passagem da luz de um meio para um outro diferente.

As reflexões podem ser divididas em dois grupos: Reflexões regulares e reflexões difusas. As reflexões regulares são aquelas que ocorrem em uma interface regular, isenta de perturbação.

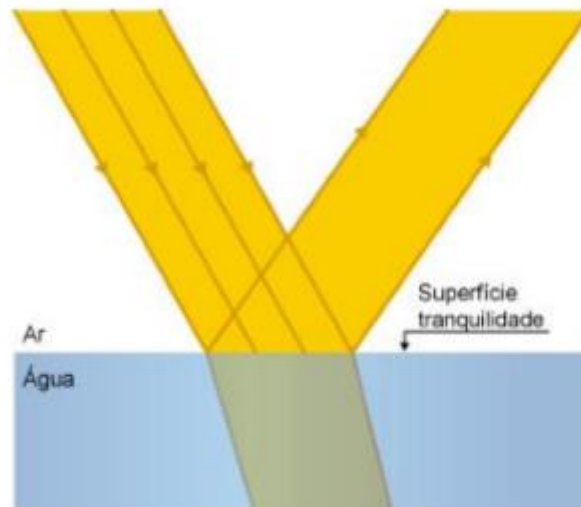


Figura 19: Reflexões regulares.

Já as reflexões difusas ocorrem em superfícies com alto grau de desorganização ou sob o efeito de alguma perturbação.

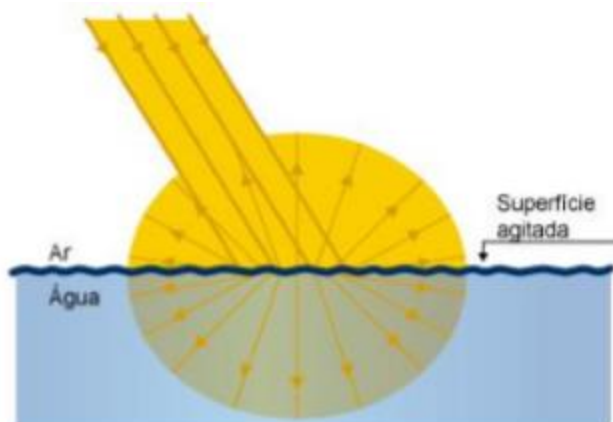


Figura 20: Superfície irregular.

NOVIDADE!



Agora, iremos abordar um tópico que não cai muito nos vestibulares militares, mas pode ser um diferencial na resolução de alguns exercícios. Preste muita atenção !!

2.9 – Interpretação das cores

A luz branca é a composição de um espectro de cores. As cores mais famosas do espectro são: **vermelha**, **alaranjada**, **amarela**, **verde**, azul, anil e **violeta**.

A cor de um objeto é dada pela componente de cor que ele reflete. Simplificadamente, se um corpo é azul, ele absorve vermelho, laranja, amarelo, verde, anil, violeta e reflete o azul.

Listaremos a seguir algumas propriedades:

- Se um corpo é preto, é porque ele absorve todas as cores do espectro.
- Se vemos um corpo branco, é porque ele reflete todas as cores do espectro.
- Um corpo possui cor X quando iluminado com luz branca. Se ele for iluminado com uma cor diferente de X , ele apresentará aspecto escurecido.



Que tal uma pausa antes de continuar? 😊



3- Leis da óptica geométrica

Considere um raio de luz que incide em uma superfície que separa dois meios. Esse raio é chamado de raio incidente. Pelo ponto de intersecção entre a superfície e o raio de luz, traça-se uma reta perpendicular à superfície. Essa reta é chamada de reta normal. Por fim, após a reflexão, temos o raio refletido.

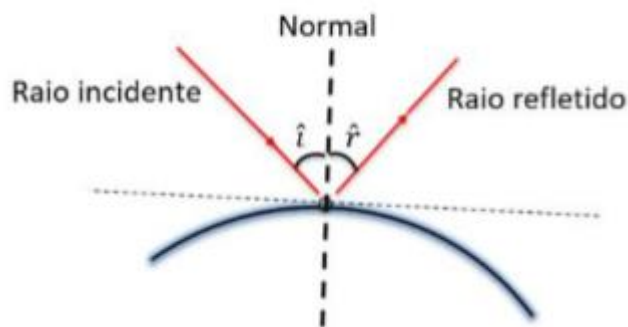


Figura 21: Elementos da reflexão.

3.1 Primeira lei da reflexão

O raio refletido, o raio incidente e a reta normal que passa pelo ponto onde o raio incide são coplanares.

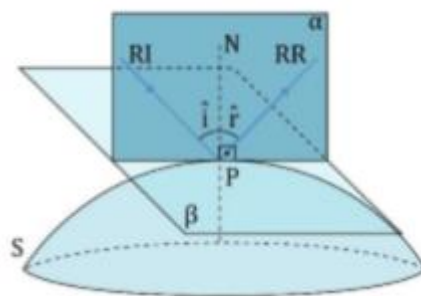


Figura 22: Elementos da primeira lei.

3.2 – Segunda lei da reflexão

O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

$$\hat{i} = \hat{r}$$

4 – Espelho planos

Um espelho plano é qualquer superfície plana com alta capacidade de refletir a luz incidente. Os espelhos planos são feitos através do recobrimento de uma placa de metal com nitrato de prata. A fina camada de nitrato de prata é capaz de refletir a luz incidente.

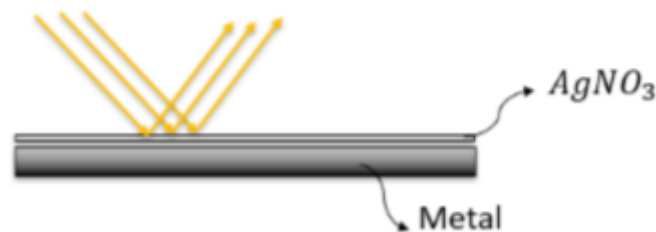


Figura 23: Imagem do espelho plano.

Representação:

Para simplificar os desenhos e análises dos problemas em óptica, faremos a seguinte representação para um espelho plano:



Figura 24: Representação do espelho plano.

A parte refletora é aquela em que não contém os riscos.

4.1 – Formação da imagem em espelhos planos

Considere um objeto O , em frente a um espelho plano. Constrói-se um eixo cartesiano com o eixo y sobre a reta do espelho, conforme figura abaixo. Considere os raios de luz que saem desse objeto e atingem o espelho. Seleccionaremos dois desses raios: O primeiro raio é perpendicular à superfície do espelho e o segundo faz um ângulo θ com o eixo x .

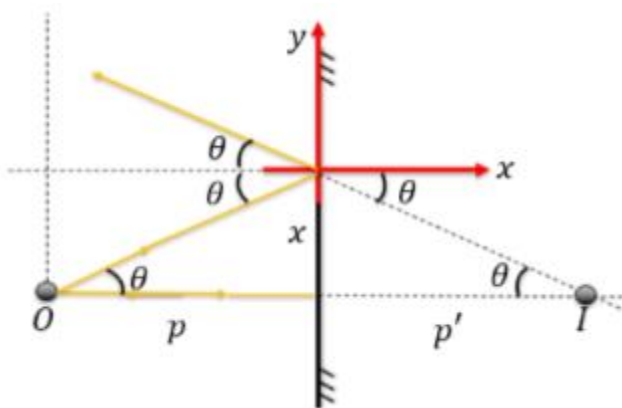


Figura 25: Representação imagem gerada pelo espelho plano.

Após a reflexão no espelho, prolonga-se os raios refletidos. Os raios refletidos prolongados se encontram atrás do espelho. O ponto de encontro é um vértice de um pincel emergente divergente e, portanto, é um ponto imagem virtual.

Para o objeto temos:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{x}{p}$$

Para a imagem:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{x}{p'}$$

Assim, temos:

$$\boxed{p = p'}$$

4.1.1 Características das imagens

- A imagem tem a mesma orientação do objeto.
- A imagem tem o mesmo tamanho do objeto.
- A imagem e o objeto estão igualmente distanciados do espelho.
- A imagem e o objeto são enantiomorfos (não são sobreponíveis).
- Para objetos reais a imagem é sempre virtual.
- Para objetos virtuais a imagem é sempre real.

4.2 – Campo visual

O campo visual é a região do espaço dentro da qual todos os objetos nela situados serão vistos por reflexão. Para determinar o campo visual de um espelho plano, realizaremos os seguintes passos:

- Determinamos a imagem do olho do observador.
- A partir da imagem do olho do observador, traçamos retas ligando este ponto imagem às extremidades do espelho.

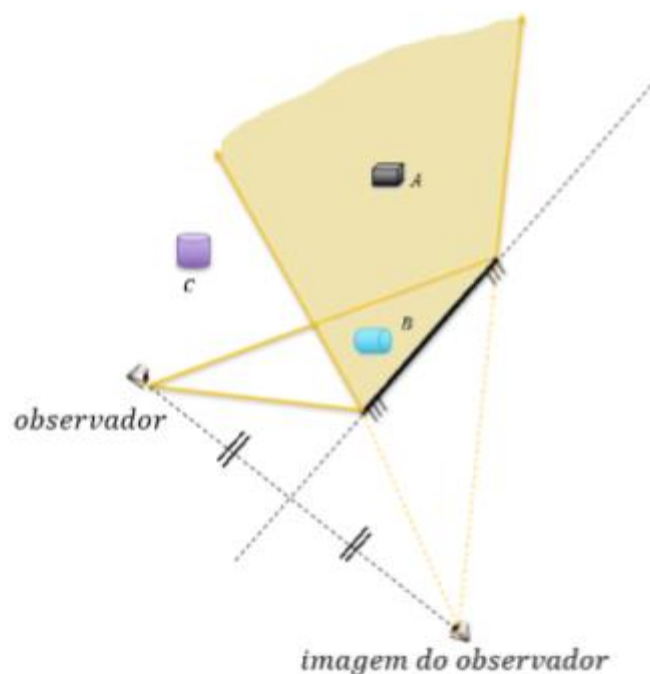


Figura 26: Campo visual.

A região compreendida entre essas retas e seus prolongamentos, será o campo visual do observador. Qualquer objeto nessa região será visto. Portanto, apenas os objetos *A* e *B* são vistos. O objeto *C* não é visto por reflexão. O campo visual do observador é a região hachurada.

4.3 – Associação de espelhos planos

Considere a associação de dois espelhos planos, formando um ângulo α entre si. O ponto de intersecção entre os espelhos é o ponto O . Considere um objeto P entre esses espelhos.

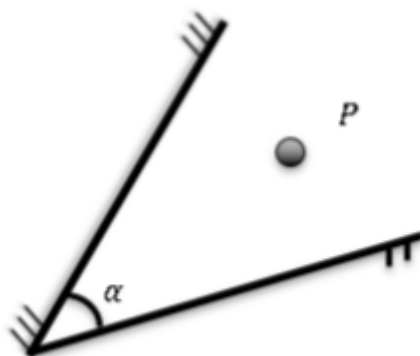


Figura 27: Associação de dois espelhos planos.

As imagens I_1 e I_2 são formadas diretamente pelo objeto P , após uma reflexão nos espelhos. I'_1 e I'_2 são imagens dos objetos I_1 e I_2 , respectivamente. Podemos generalizar esse processo:

Deste modo, I_1^n e I_2^n são imagens dos objetos I_1^{n-1} e I_2^{n-1} , respectivamente. O valor de n é um inteiro positivo, limitado pelo ângulo (α) entre os espelhos e pela posição do objeto P entre os espelhos. Veja a distribuição abaixo das imagens, para o caso acima do arranjo de espelhos.

As imagens formadas estão sobre uma mesma circunferência de raio OP (segmento que liga o objeto ao ponto de intersecção dos espelhos).

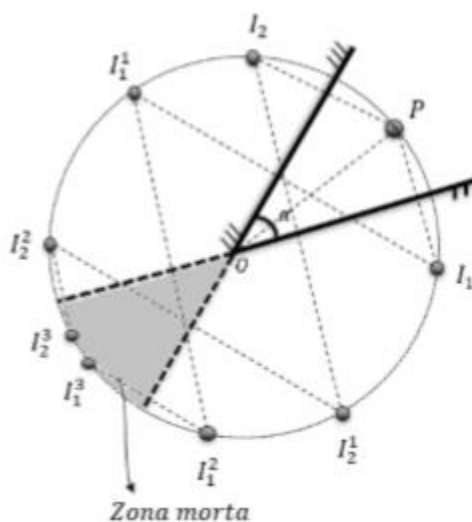


Figura 28: Imagens sobre a circunferência.

4.3.1 Zona Morta

É a região espacial, delimitada pelo prolongamento dos espelhos, que faz com que imagens que caiam sobre essa zona não produzam mais imagens. Ou seja, imagens dentro dessa zona não servem mais como pontos objetos. I_2^3 e I_1^3 não produzem imagens. As imagens que estão dentro da zona morta também são visualizadas.

4.3.2 Número de imagens

O número correto de imagens formada pela disposição de dois espelhos planos muda de acordo com a posição do objeto em relação aos espelhos. Seja α o ângulo entre os espelhos, temos a seguinte configuração:

Número de imagens	
Se $\frac{360^\circ}{\alpha}$ for par	$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$, para qualquer posição do objeto.
Se $\frac{360^\circ}{\alpha}$ for ímpar	$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$, se objeto estiver no plano bissetor dos espelhos.
Se $\frac{360^\circ}{\alpha}$ for ímpar	$N = \frac{360^\circ}{\alpha}$, se objeto não estiver no plano bissetor dos espelhos.
Se $\frac{360^\circ}{\alpha}$ não for inteiro	A contagem deve ser manual.



5 – Espelhos esféricos

Um espelho esférico é uma porção retirada de uma esfera espelhada. Dependendo da região do espelhamento da esfera, obtemos um tipo diferente de espelho esférico.

5.1 Introdução e nomenclatura

5.1.1 Espelho côncavo

É a porção retirada de uma esfera espelhada internamente.

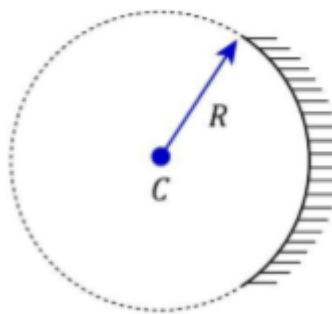


Figura 29: Representação do espelho côncavo.

5.1.2 Espelhos convexos

É a porção retirada de uma esfera espelhada externamente.

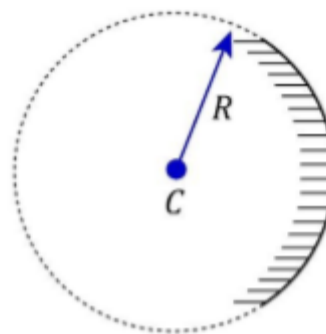


Figura 30: Representação do espelho convexo.

5.1.3 Nomenclatura

Centro de curvatura (C) – é o centro da esfera da qual foi retirada a porção.

Eixo principal – é um dos diâmetros da esfera de origem.

Vértice (V) ou Polo (P) – é o ponto de encontro entre a superfície da esfera de origem e o eixo principal.

5.1.4 Raios para-axiais

São raios paralelos e muito próximos ao eixo principal.

5.1.5 Posição do foco

Para a condição de raios para-axiais, o foco (F) é o ponto de encontro dos raios refletidos que vem do infinito, paralelos ao eixo principal. Além disso, a distância focal é metade do raio de curvatura.

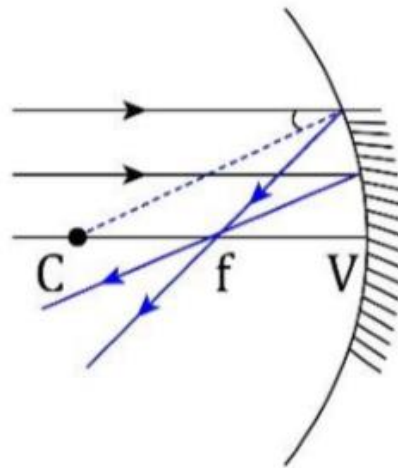


Figura 31: Elementos do espelho.

$$f = R/2$$

5.1.6 Referências na distância

Todas as distâncias são medidas em relação ao vértice (ou polo).

(A) Distâncias horizontais

Tanto para objetos quanto imagens, a convenção de sinais para distâncias horizontais é a mostrada abaixo. Para espelhos côncavos e convexos, distâncias do mesmo lado que a superfície espelhada são positivas. Distâncias do lado não espelhado são negativas

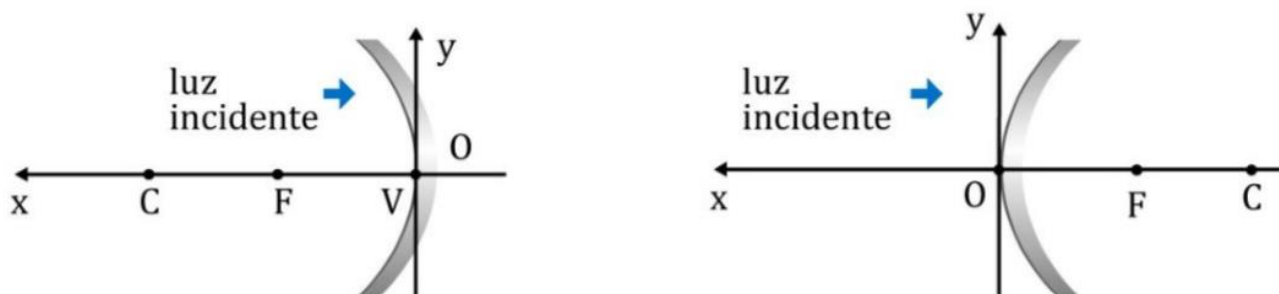


Figura 32: Referências.

(B) Distâncias verticais

- Distâncias verticais acima do eixo principal são positivas.
- Distâncias verticais abaixo do eixo principal são negativas

5.2 – Raio notáveis

Para os espelhos esféricos, temos alguns raios notáveis que facilitam a construção de uma imagem. Veremos alguns deles abaixo:

1º Raio: *Todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se reflete alinhado com o foco principal.*

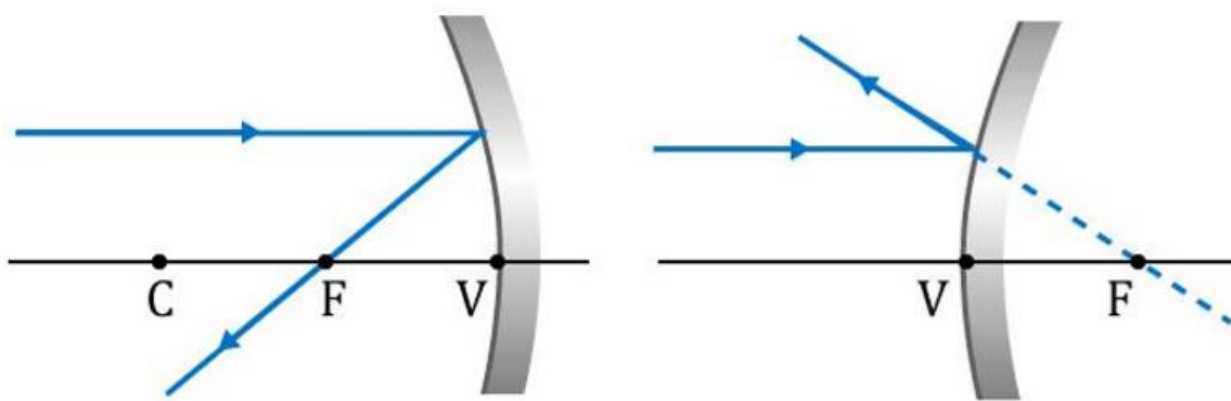


Figura 33: Construção do primeiro raio.

2º Raio: *Todo raio luminoso que incide alinhado com o foco principal se reflete paralelamente ao eixo principal.*

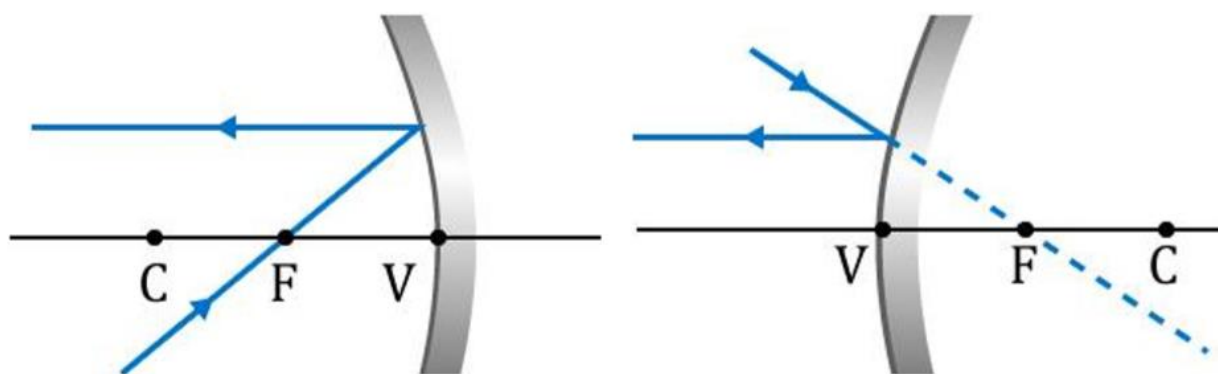


Figura 34: Construção do segundo raio.

3ºRaio: *Todo raio que incide na direção do centro de curvatura, reflete-se e volta na mesma direção, mas no sentido oposto.*

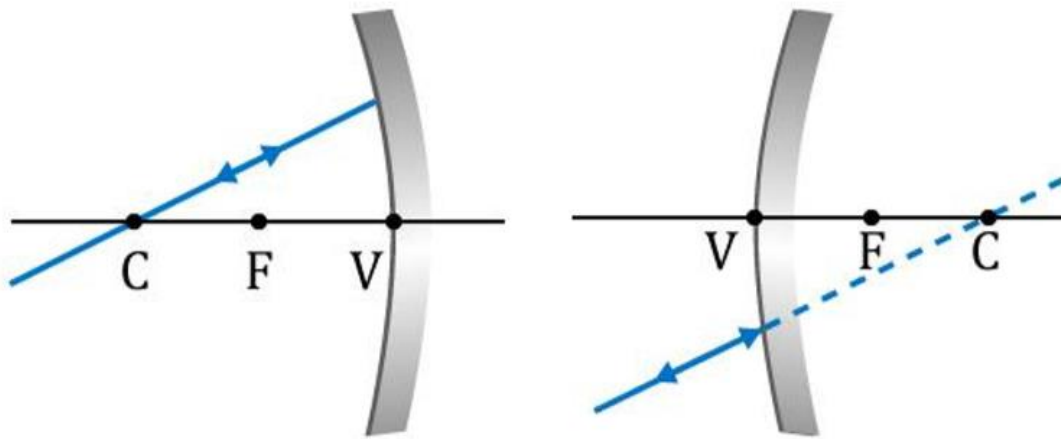


Figura 35: Construção do terceiro raio.

4ºRaio: *Todo raio luminoso que incide no vértice do espelho gera, relativamente ao eixo principal, um raio refletido simétrico.*

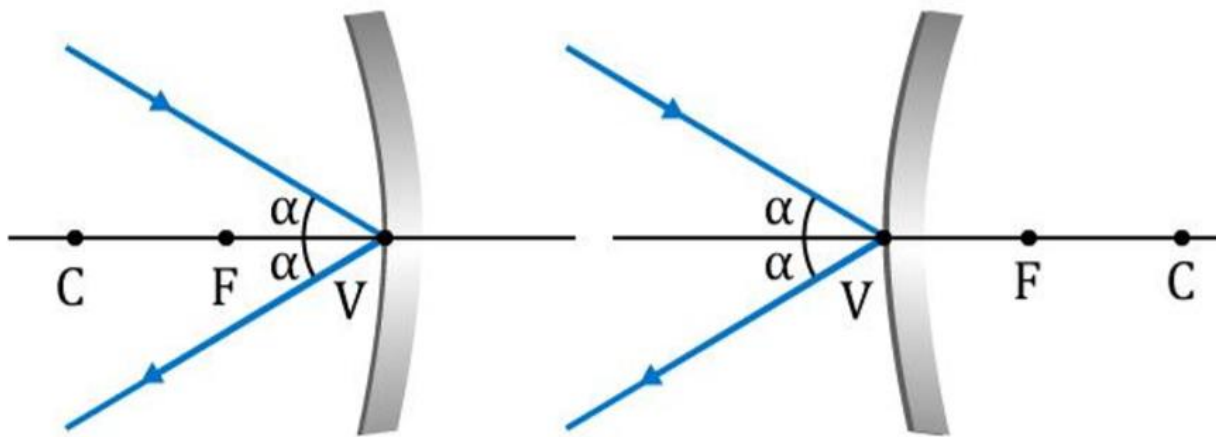


Figura 36: Construção do quarto raio.

5.3 – Equação de Gauss



Considere um feixe de raios para-axiais paralelos que saem de um objeto, sobre o eixo principal. Após a reflexão no espelho forma-se uma imagem, também sobre o eixo principal do espelho. O objeto está a uma distância p do vértice do espelho e a imagem está a uma distância p' . Considere que o espelho tenha um foco f .

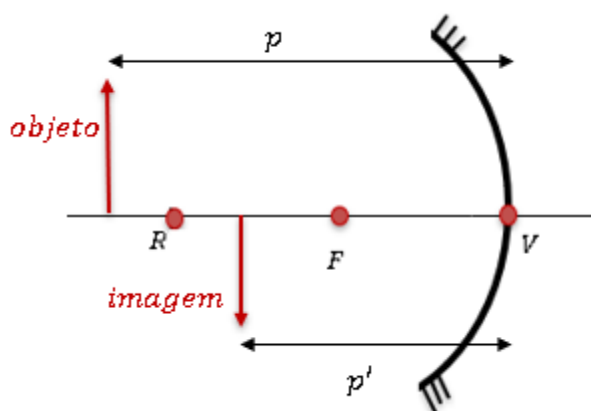


Figura 37: Objeto e imagem.

A equação de Gauss fornece a relação entre o foco do espelho e as posições do objeto e da imagem.

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

(A) Espelhos:

- Espelhos côncavos: $f > 0$
- Espelhos convexos: $f < 0$
- Espelho plano: $f \rightarrow \infty$

(b) Objeto:

- objeto real: $p > 0$



- *objeto virtual*: $p < 0$
- *objeto impróprio*: $p \rightarrow \infty$

(C) Imagens:

- *imagem real*: $p' > 0$
- *imagem virtual*: $p' < 0$
- *imagem impróprio*: $p' \rightarrow \infty$

5.4 – Aumento linear do espelho esférico

O aumento é a medida do poder de ampliação ou redução de um instrumento ópticos. Para os espelhos esféricos o aumento é linear e é dado por:

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

5.4.1 Convenções

(A) Imagem invertida ($A < 0$):

- Uma imagem é invertida se o seu aumento é negativo.

(B) Imagem direita ($A > 0$):

- Uma imagem é direita se o seu aumento é positivo.



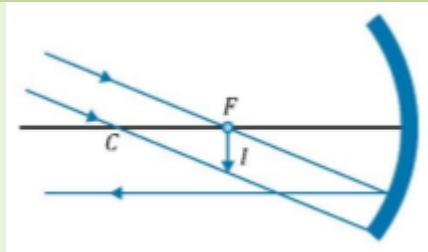
Os vestibulares militares cobram que o candidato tenha memorizado a relação entre as posições do objeto e as posições da imagem para os espelhos esféricos.



5.5 – Posição das imagens

5.5.1 Espelho côncavo

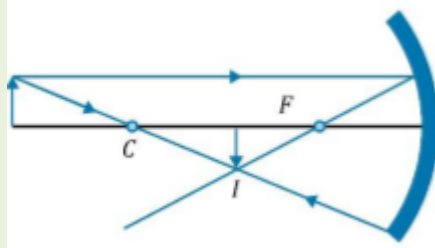
Objeto está no infinito
($p \rightarrow \infty$)



Características:

- Imagem real.
- Imagem invertida.
- A imagem se forma no foco do espelho

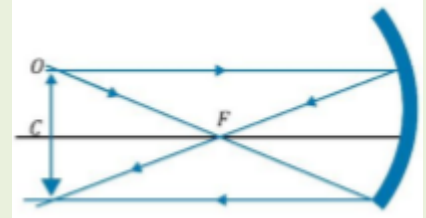
Objeto está antes no centro de curvatura
($p > 2f$)



Características:

- Imagem real.
- Imagem invertida.
- Imagem está entre o foco e o centro de curvatura.
- Imagem é menor que o objeto.

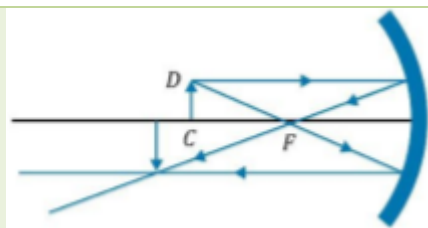
Objeto está no centro de curvatura
($p = 2f$)



Características:

- Imagem real.
- Imagem invertida.
- Imagem está no centro de curvatura.
- Imagem tem o mesmo tamanho do objeto

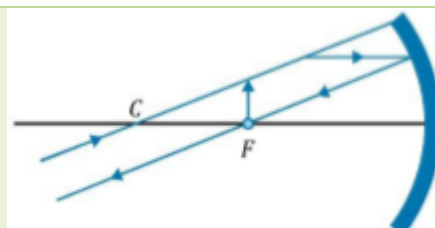
Objeto está entre o centro e o foco
($f < p < 2f$)



Características:

- Imagem real.
- Imagem invertida.
- Imagem é maior que o objeto.

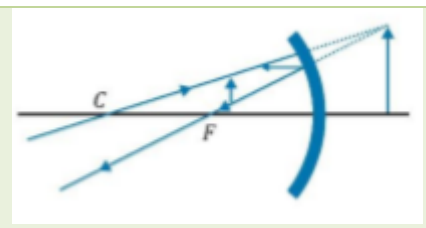
Objeto está no foco
($f = p$)



Características:

- Imagem imprópria.
- Imagem está localizada no infinito.

Objeto está entre foco e o vértice
($0 < p < f$)

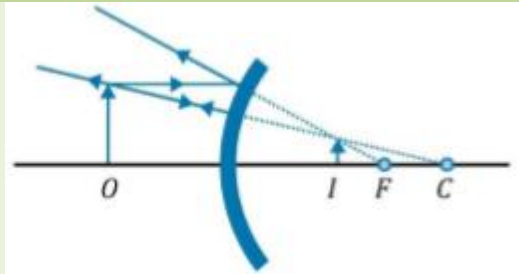


Características:

- Imagem virtual.
- Imagem direita.
- Imagem maior que o objeto.

5.5.2 Espelhos convexos

Objeto real em qualquer posição



Características:

- Imagem virtual.
- Imagem direita.
- Imagem menor que o objeto.
- Imagem está entre o vértice e o foco.

Hora de PRATICAR



Exemplo 3:

Uma jovem, para fazer sua maquiagem, comprou um espelho esférico de Gauss. Ela observou que, quando o seu rosto está a 30 cm do espelho, a sua imagem é direita e três vezes maior do que o tamanho do rosto. O tipo de espelho comprado pela jovem e o seu raio de curvatura são, respectivamente,

- côncavo e maior do que 60 cm.
- convexo e maior do que 60 cm.
- côncavo e igual a 30 cm.
- côncavo e menor do que 30 cm.
- convexo e menor do que 30 cm.

Comentário:



Para que a imagem formada seja maior, necessariamente o espelho deve ser **côncavo**. Podemos inferir 3 possibilidades:

O objeto está exatamente em cima do foco, o que nos daria uma imagem no infinito. Logo, podemos descartar essa possibilidade.

O objeto está entre à uma distância maior do que o valor do foco, o que, para um espelho côncavo, nos dá uma imagem maior, porém invertida. Logo, também podemos descartar essa possibilidade.

Por último, o objeto está entre o foco e o espelho. O que nos dá uma imagem maior e direita. Assim:

$$f > p = 30 \text{ cm}$$

A relação entre o foco do espelho e seu raio de curvatura é dada por:

$$f = \frac{R}{2} > p = 30 \text{ cm}$$

$$\frac{R}{2} > 30 \text{ cm}$$

$$R > 60 \text{ cm}$$

Gabarito: A

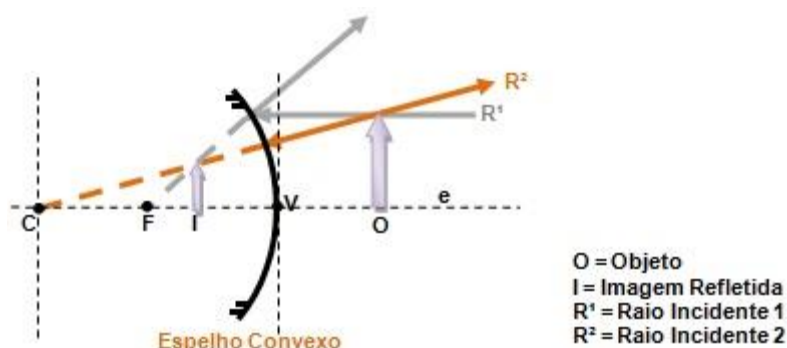
Exemplo 4:

O espelho retrovisor de um carro e o espelho em portas de elevador são, geralmente, espelhos esféricos convexos. Para um objeto real, um espelho convexo gaussiano forma uma imagem:

- (A) Real e menor.
- (B) Virtual e menor.
- (C) Real e maior.
- (D) Virtual e invertida.
- (E) Real e direita.

Comentário:

Segue uma figura para ilustrar raios saindo de um objeto e incidindo num espelho esférico convexo:



Raios que incidem na direção do centro do espelho refletem e voltam na mesma direção, raios paralelos refletem e voltam na direção que contém o foco. Sendo assim a imagem gerada é menor e é virtual, pois é obtida não pelos raios, mas por seus prolongamentos.

Gabarito: B

Exemplo 5:

Um espelho côncavo conjuga uma imagem virtual situada a 20 cm do espelho. Sabendo que a distância entre o objeto e a imagem conjugada é de 30 cm, qual a distância focal do espelho, em cm?

- (A) 5
- (B) 10
- (C) 15
- (D) 20

Comentário:

Equação de Gauss: $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

Como a imagem é virtual, temos que $p' < 0$ e portanto $p' = -20\text{cm}$ e $p = 30 - 20 = 10\text{cm}$

Logo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20} \rightarrow f = 20\text{cm}$$

Gabarito D



Que tal mais uma pausa antes de continuar? 😊



6 - Refração

Seja a velocidade da luz no vácuo c , quando esta se propagar em outro meio que não o vácuo, terá velocidade menor v . O fenômeno que causa esta mudança na velocidade da onda se chama refração. É usual pensar na refração como sendo a variação do ângulo da trajetória da luz, mas isto não abrangeria, por exemplo, o caso em que a incidência é perpendicular como veremos adiante. Portanto, de forma visual, o fenômeno da refração está representado abaixo,

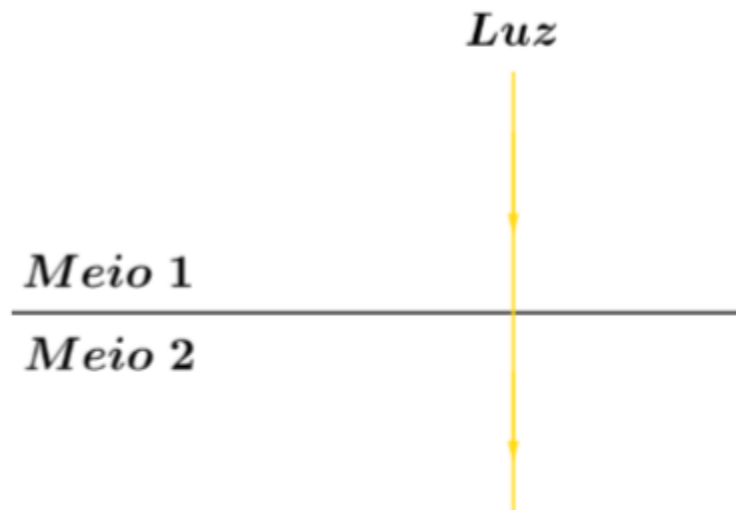


Figura 38: Incidência perpendicular da luz.

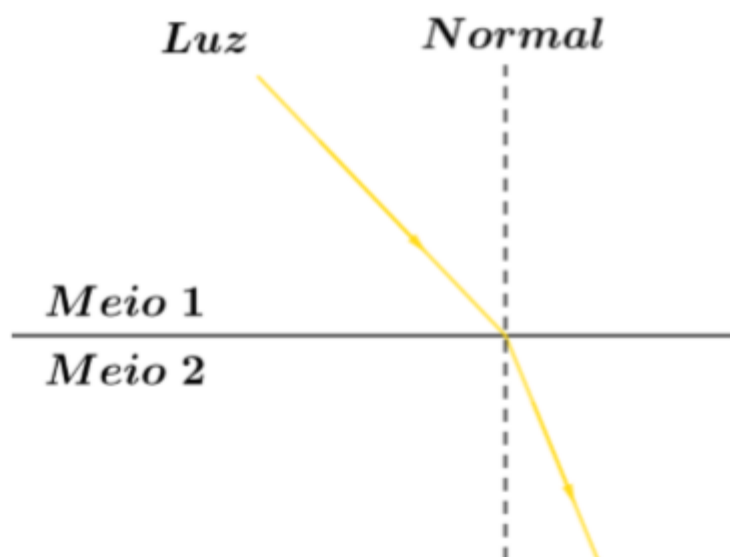


Figura 39: Incidência oblíqua da luz.

6.1 – Índice de refração absoluto

O índice de refração absoluto é definido como a razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo (c) e a velocidade de propagação da luz no meio (v). Assim

$$n = \frac{c}{v}$$

- O índice de refração é uma grandeza adimensional.
- Como a velocidade v é sempre menor que a velocidade da luz no vácuo c , o índice de refração sempre é um número maior que 1.

6.2 – Leis da refração

6.2.1 Primeira lei da refração

O raio incidente, o raio refratado e a reta normal traçadas pelo ponto de incidência estão todos contidos no mesmo plano, conforme figura abaixo.

6.2.2 Segunda lei da refração

Também conhecido como “Lei de Snell”, define a relação entre o seno do ângulo incidente e do ângulo refratado para um dióptro. A Lei de Snell é expressa por:

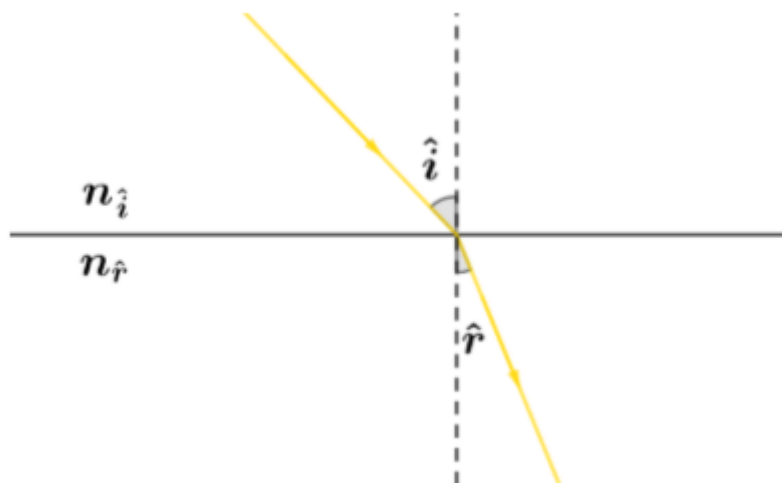
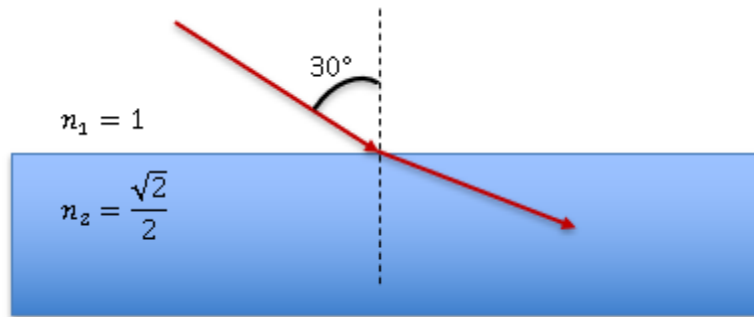


Figura 40: Refração da luz.

$$n_i \cdot \text{sen } i = n_r \cdot \text{sen } r$$

Exemplo 6: Um raio de luz incide na separação entre dois meios, como mostra a figura abaixo.



Qual é o ângulo de refração?

Comentários:

Podemos utilizar a lei de Snell:

$$n_i \cdot \text{sen } i = n_r \cdot \text{sen } r$$

$$1 \cdot \text{sen } 30 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \text{sen } r$$

$$\text{sen } r = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$r = 45^\circ$$

INDO MAIS
FUNDO!



6.3 – Lâmina de faces paralelas

Uma lâmina de faces paralelas é a associação de dois dióptros planos com superfícies paralelas. A luz ao passar por uma lâmina de face paralelas sofre dois desvios, como mostra a figura abaixo.

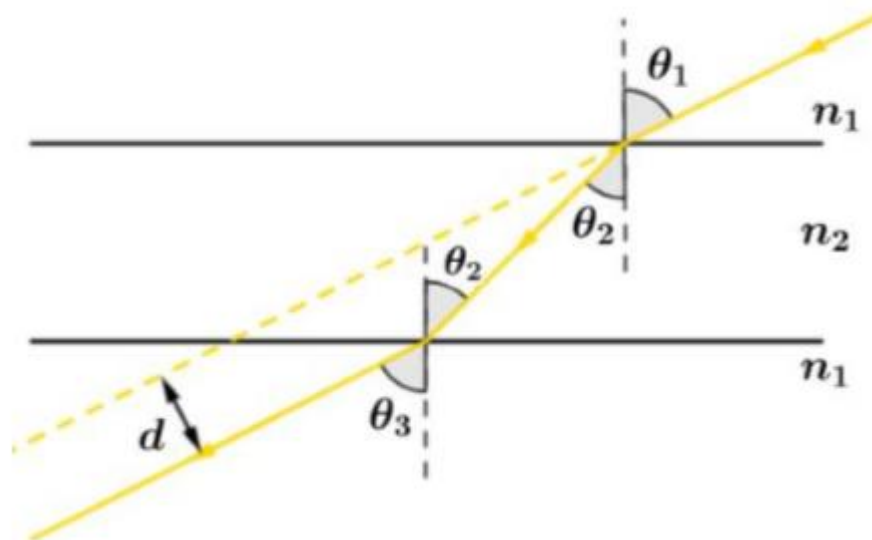


Figura 41: Desvio em uma lâmina de faces paralelas.

Usando os princípios da refração estudados anteriormente, chegamos na seguinte relação (A demonstração será omitida neste tópico).

$$d = \frac{e \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{\text{cos}\theta_2}$$

A fórmula acima fornece o desvio do raio luz ao refratar por uma lâmina de faces paralelas.

6.4 – Reflexão total e ângulo limite

Como visto, a luz ao passar de um meio mais refringente para um meio menos refringente afasta-se da normal. Existe um ângulo limite de incidência para o qual a luz refratada irá se afastar suficientemente da normal de modo que não possa mais ser detectada. Isto ocorre quando o ângulo refratado tiver um ângulo em relação à normal que se aproxima de 90° . Veja a figura 41:

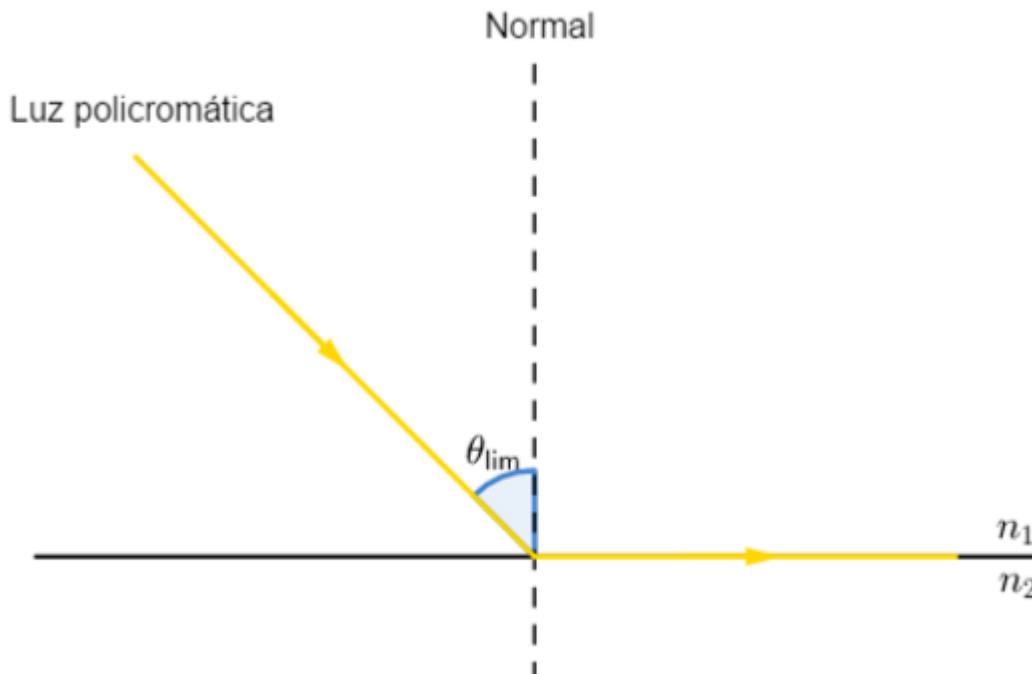


Figura 42: Reflexão total.

$$\text{sen}\theta_{lim} = \frac{n_1}{n_2}$$

O fenômeno caracterizado por um ângulo de incidência maior ou igual ao ângulo limite direcionado da superfície mais refringente para a menos refringente é conhecido como reflexão total.

Observações:

- A reflexão total ocorre somente na passagem de luz do meio mais refringente para o menos refringente.

$$n_2 > n_1$$

- Diz-se que o ângulo limite é o ângulo para o qual o raio refratado tende a se propagar rente à superfície, pois é impossível que ele realmente o faça. O feixe de luz apresenta uma espessura que, mesmo que muito pequena, é diferente de zero. Caso a mudança do meio de propagação forçasse a luz a se propagar rente à superfície, sua espessura iria reduzir-se a zero e haveria uma degeneração do feixe.

6.5 – Arco-íris e miragem

CURIOSIDADE



Existem fenômenos na natureza que são explicados com base no que foi visto até agora nesta aula. São exemplos disso as miragens, efeito de Fata Morgana, arco-íris e a posição aparente de astros.

6.5.1 Posição aparente dos astros

A atmosfera terrestre apresenta um gradiente de temperatura e pressão que gera uma variação de densidade do ar ao longo de sua extensão. Essa variação de densidade impede que a atmosfera seja considerada um meio homogêneo, pois, haverá uma variação do índice de refração entre posições de diferentes altitudes na atmosfera. Como regra geral, a densidade aumenta quanto mais próximo da superfície, assim, a refringência também. Como ocorre um aumento de refringência, por Lei de Snell, verifica-se que o raio irá se aproximar gradualmente da normal. Visualmente, a situação está representada a seguir.

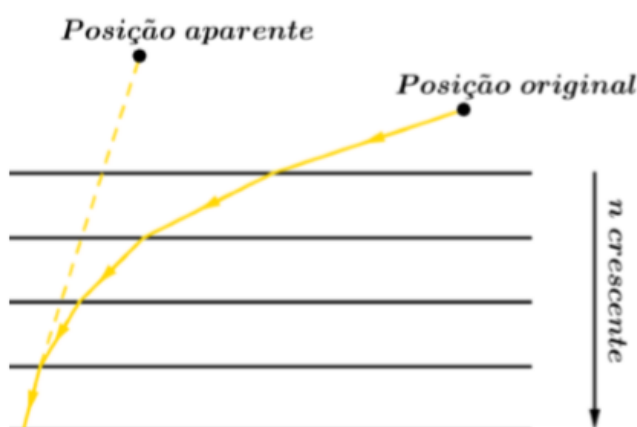
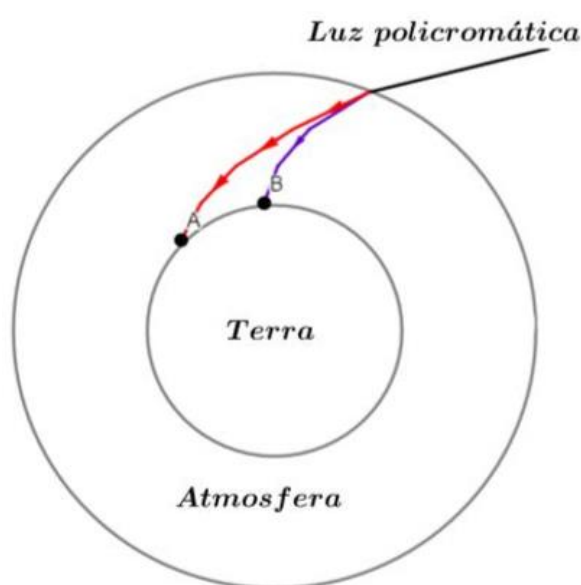


Figura 43: Refração da luz na atmosfera e a posição aparente dos astros.

Como pode-se observar pela imagem, no sentido crescente de refração, ocorre uma aproximação do raio de luz à reta normal. Esta variação é gradual e bem lenta ao longo da extensão da atmosfera, mas faz com que não se observe a posição real dos astros.

Esta estratificação em conjunto com a diferença de índices de refração para cada comprimento de onda é utilizada para a explicação do nascer e do pôr do Sol serem avermelhados. O índice de refração para o vermelho é menor, seu ângulo refratado é maior. Portanto, o vermelho chega a distâncias que o azul e o violeta não são capazes, no momento do nascer e do pôr do Sol, de chegar até o observador. Visualmente:



No ponto A, estaria ocorrendo o pôr do Sol, enquanto em B ainda seria de dia.

6.5.2 Miragens e o efeito Fata Morgana

As miragens e o efeito de Fata Morgana são fenômenos causados também pela não homogeneidade da atmosfera terrestre. Entretanto, ao invés do objeto se encontrar fora da atmosfera e o observador dentro, como é o caso do subtópico anterior, neste caso o objeto e observador encontram-se dentro da atmosfera. A miragem ocorre sobretudo em locais em que, próximo do solo, a temperatura eleva-se drasticamente. Esse aumento da temperatura faz com que as camadas de ar mais próximas do solo tenham menor densidade, e, por conseguinte, menor índice de refração. A luz ao propagar-se do meio mais refringente para o menos refringente afasta-se da linha normal até o caso limite em que ocorre reflexão total. Este é o fenômeno da miragem, a luz emitida para baixo pelo objeto é sucessivamente refratada, sofre uma eventual reflexão total e após mais refrações chega ao observador, de modo que o observador pode ver até mesmo duas imagens.

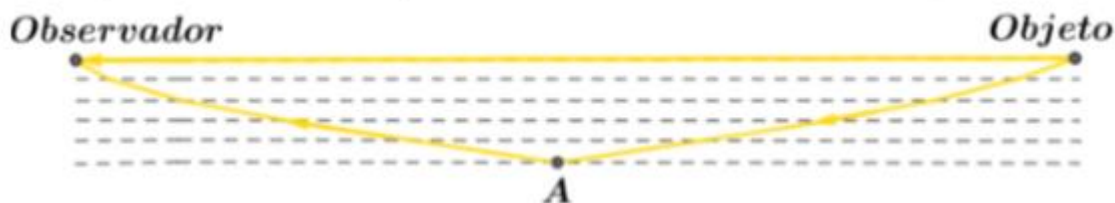


Figura 44: Representação gráfica da miragem. A reflexão total em A.

O efeito de Fata Morgana é semelhante, mas ocorre em regiões com temperaturas muito frias próximo à superfície da Terra, onde a refração aumenta conforme aproxima-se do solo. As duas imagens formadas são a obtida por um raio de luz que vai diretamente ao observador e outro que irá por cima, sofrendo refrações e uma reflexão total, chegando até o observador. Portanto, o raio de luz representado na figura 43 estaria percorrendo um caminho por cima no caso do Fata Morgana.

6.5.3 Arco-íris

O fenômeno do arco-íris acontece em ambientes de alta umidade, pois, é produzido a partir da refração e posterior reflexão total dióptro esférico formado por uma gotícula de água no ar, como representado na figura abaixo.

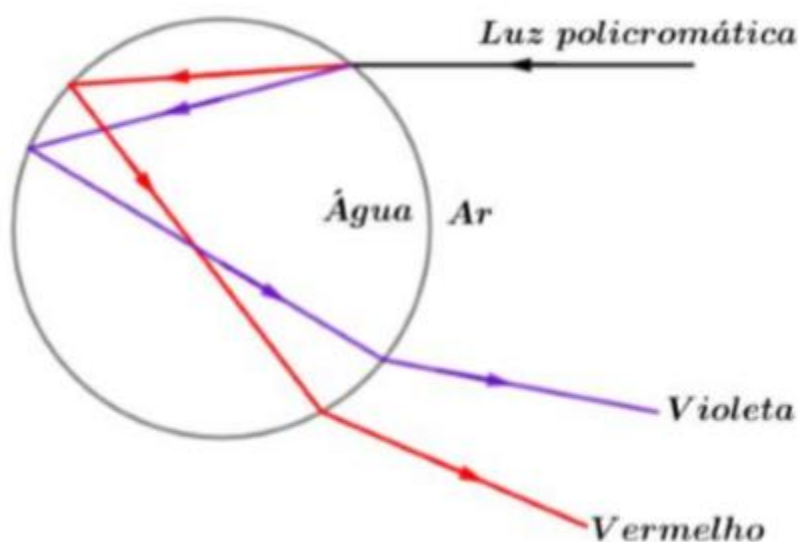


Figura 45: Formação do arco-íris.

Na figura 44, representou-se somente os raios de luz vermelha e violeta, mas entre esses há a ocorrência de todas as cores do espectro do visível, produzindo o arco-íris na ordem conhecida.

6.6 - Prismas

Um prisma óptico é composto por dois dióptros planos não paralelos, como mostrado na figura 45.

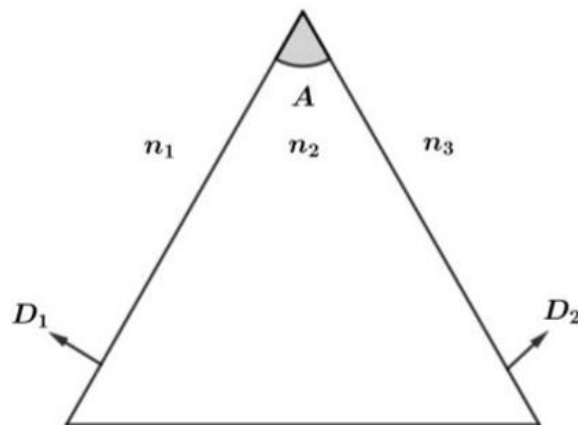


Figura 46: Corte transversal de um prisma.

A visão bidimensional de um prisma é chamada de seção principal. O ângulo A é chamado de ângulo de abertura. Os dióptros 1 e 2 são chamados de faces do prisma e o cruzamento entre eles é chamado de aresta do prisma. Na figura 16, uma representação tridimensional de um prisma óptico.

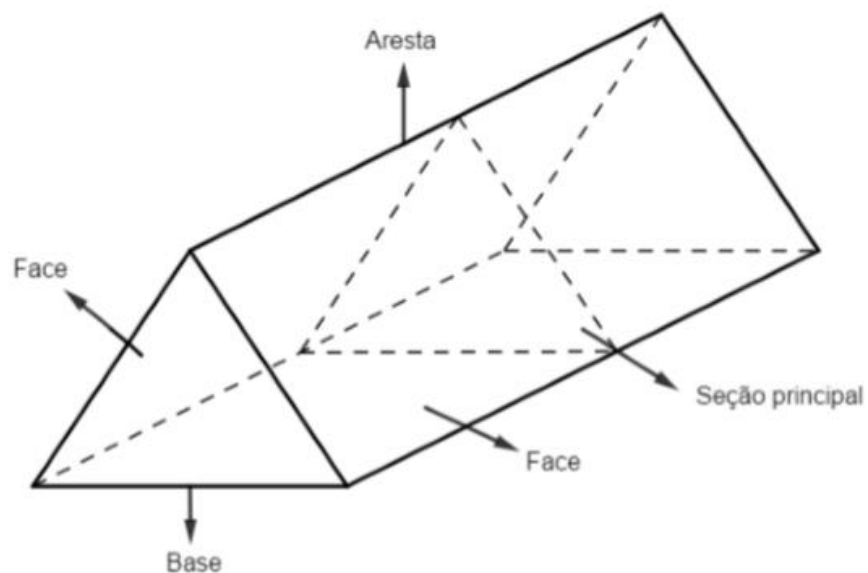


Figura 47: Vista em perspectiva de um prisma.

6.6.1 Equações do prisma

Para analisar o efeito do prisma sobre a luz, vamos utilizar como base a figura 47 abaixo.

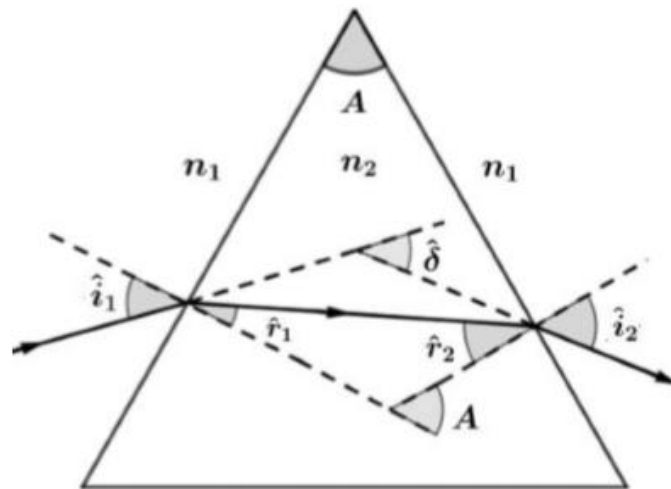


Figura 48: Ângulos no prisma.

Primeiramente deve-se notar que, por construção, surge o ângulo A no cruzamento entre as retas normais. A continuação da trajetória do raio incidente e do raio emergente é chamado de desvio (δ). Da figura, juntamente a Lei de Snell, tiram-se as duas relações principais dos ângulos:

$$A = r_1 + r_2$$

$$\delta = r_1 + r_2 - A$$

Não se esqueça das relações de Snell. Elas ainda são válidas para as fronteiras.

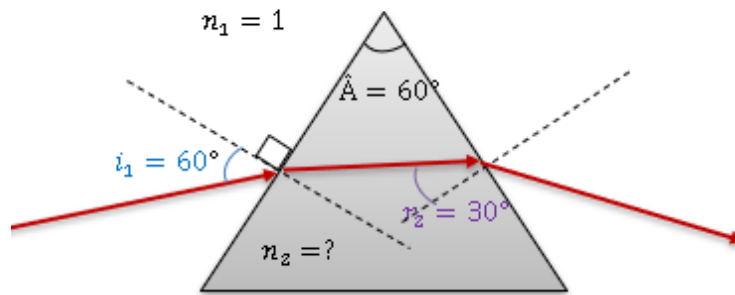
Face esquerda do prisma:

$$n_1 \cdot \text{sen}i_1 = n_2 \cdot \text{sen}r_1$$

Face direita do prisma:

$$n_2 \cdot \text{sen}r_2 = n_1 \cdot \text{sen}i_2$$

Exemplo 7: Um prisma tem ângulo de abertura de 60° . Uma luz incide sobre o prisma como mostrado na figura abaixo.



Determine o índice de refração do prisma.

Comentário:

Primeiramente, iremos determinar o valor de r_1 :

$$A = r_1 + r_2$$
$$60 = r_1 + 30$$
$$r_1 = 30^\circ$$

Faremos a lei de Snell para a face esquerda do prisma:

$$n_1 \cdot \text{sen}i_1 = n_2 \cdot \text{sen}r_1$$
$$1 \cdot \text{sen}60^\circ = n_2 \cdot \text{sen}30^\circ$$

$$n_2 = \sqrt{3}$$

7 – Lentes esféricas

Uma lente é um dos instrumentos ópticos mais comuns no dia-a-dia. As lentes estão presentes desde óculos até instrumentos de observação sofisticados. A última etapa do curso de lentes delgadas consiste no estudo de instrumentos ópticos formados pela associação de lentes. Uma lente consiste na associação de dois dioptrios, sendo pelo menos um deles esférico.

O tipo de lente mais comum são as chamadas lentes delgadas, que consistem na associação de dois dioptrios com distância muito pequena entre eles, de modo que a espessura da lente pode ser desprezada.

7.1 – Nomenclatura e principais elementos geométricos

As lentes são divididas em dois tipos de acordo com os tipos de dioptrios presentes. São elas:

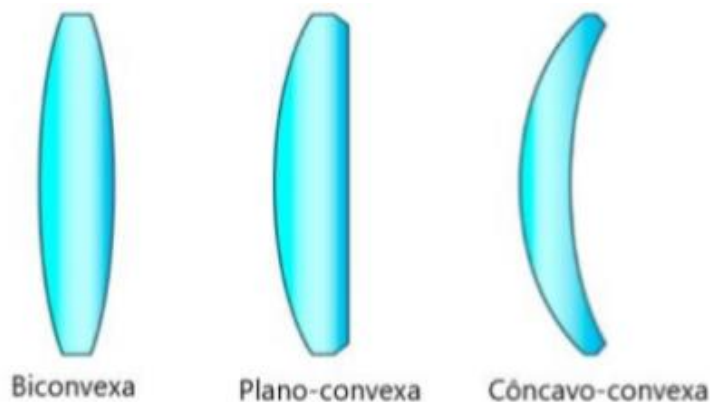


Figura 49: Bordas finas.

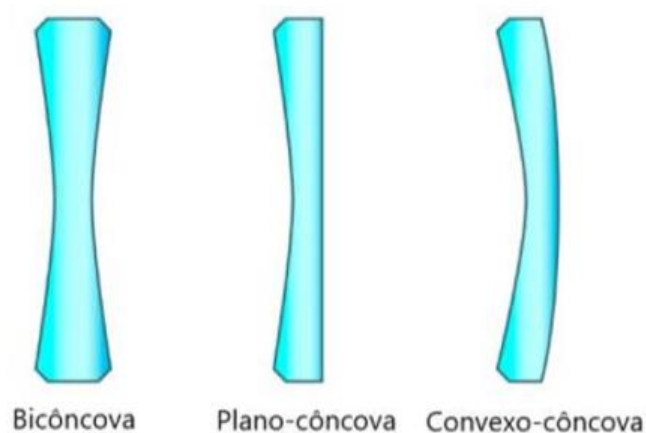


Figura 50: Bordas grossas.

A classificação entre bordas finas e bordas grossas é visual e pode ser vista pelas figuras 47 e 48.

7.2 – Comportamento óptico

As lentes delgadas são classificadas também com base no seu comportamento óptico, podendo ser: lentes convergentes ou lentes divergentes. Para diferenciá-las basta observar o efeito delas sobre um feixe de raios paralelos. As lentes convergentes fazem os raios refratados convergirem em um só ponto. As lentes divergentes fazem os raios refratados divergirem, como se partissem de um só ponto. Esses dois pontos são conhecidos como focos principais das lentes. Ambos os comportamentos e seus focos principais são expostos na figura 49, abaixo.

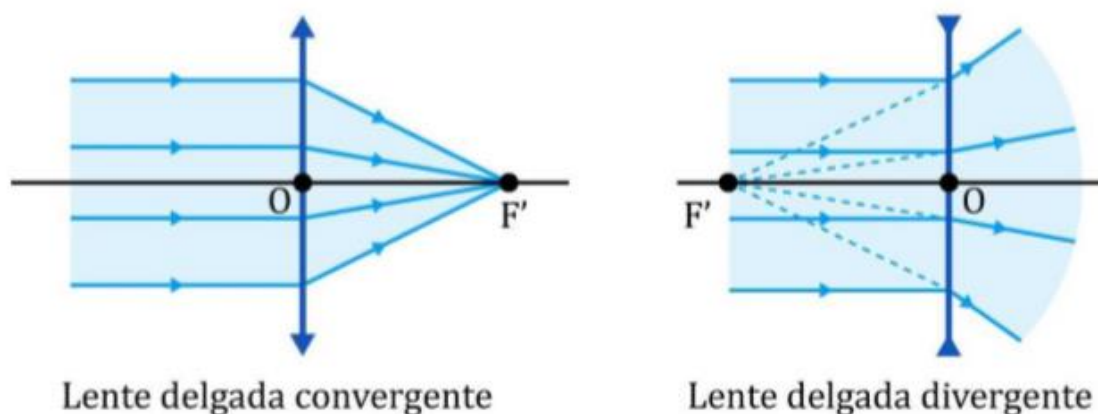


Figura 51: Comportamento das lentes.

É usual a representação de lentes como um segmento de reta com duas setas baseadas no comportamento da lente. O efeito óptico que a lente produz depende não só de características da lente, mas também do meio no qual essa está inserida.

	$n_{lente} > n_{meio}$	$n_{lente} < n_{meio}$
Bordas finas	Convergente	Divergente
Bordas grossas	Divergente	Convergente

7.3 – Raios notáveis nas lentes esféricas

Lentes convergentes

7.3.1 Primeiro raio para convergentes

Todo o raio que incide paralelamente ao eixo principal refrata passando pelo foco F'

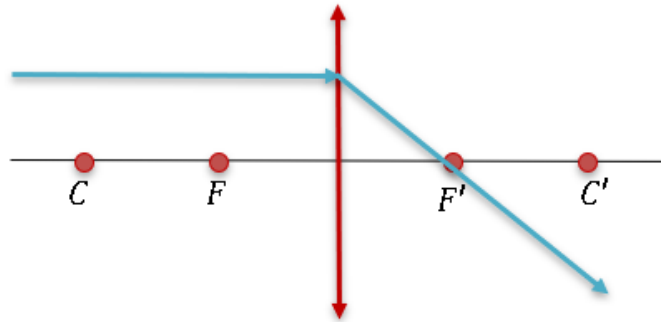


Figura 52: Primeiro raio.

7.3.2 Segundo raio para convergentes

Todo que raio incide no foco F sai refrata paralelamente ao eixo principal.

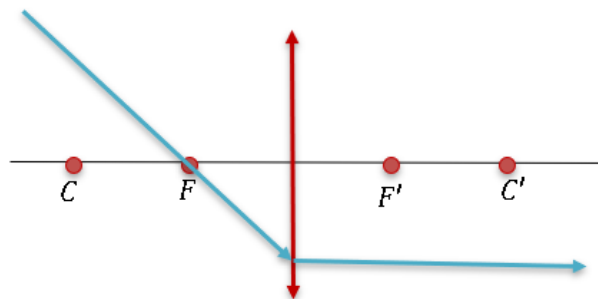


Figura 53: Segundo raio.

7.3.3 Terceiro raio para convergentes

Raio que incide no vértice não sofre desvio.

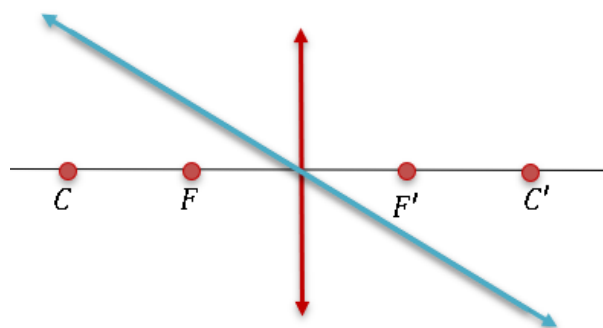


Figura 54: Terceiro raio.

Lentes divergentes

7.3.4 Primeiro raio para divergentes

Todo o raio que incide paralelamente ao eixo principal refrata passando pelo foco F'

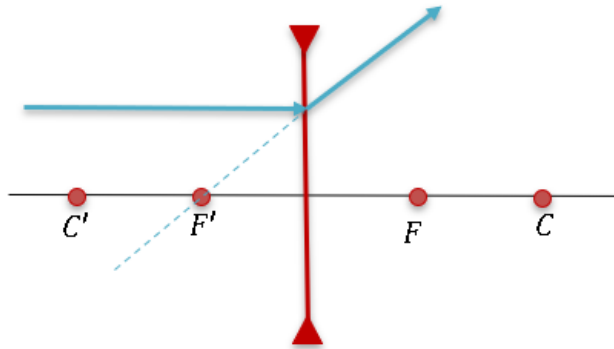


Figura 55: Primeiro raio.

7.3.5 Segundo raio para divergentes

Todo que raio incide no foco F sai refrata paralelamente ao eixo principal.

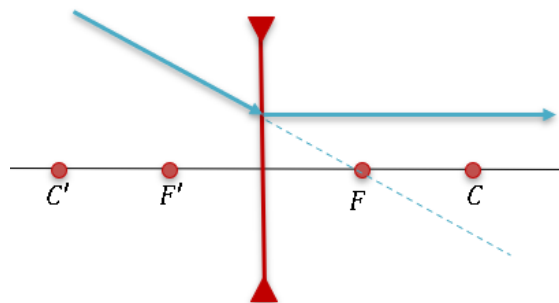


Figura 56: Segundo raio.

7.3.6 Terceiro raio para divergentes

Raio que incide no vértice não sofre desvio.

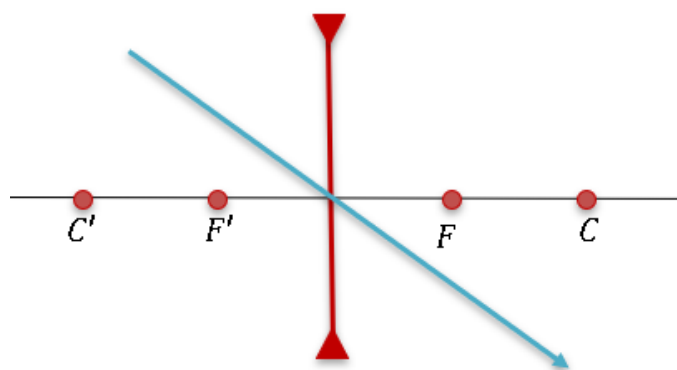


Figura 57: Terceiro raio.

7.4 – Equação de Gauss para lentes

Considere uma lente esférica de foco f e seus elementos geométricos.

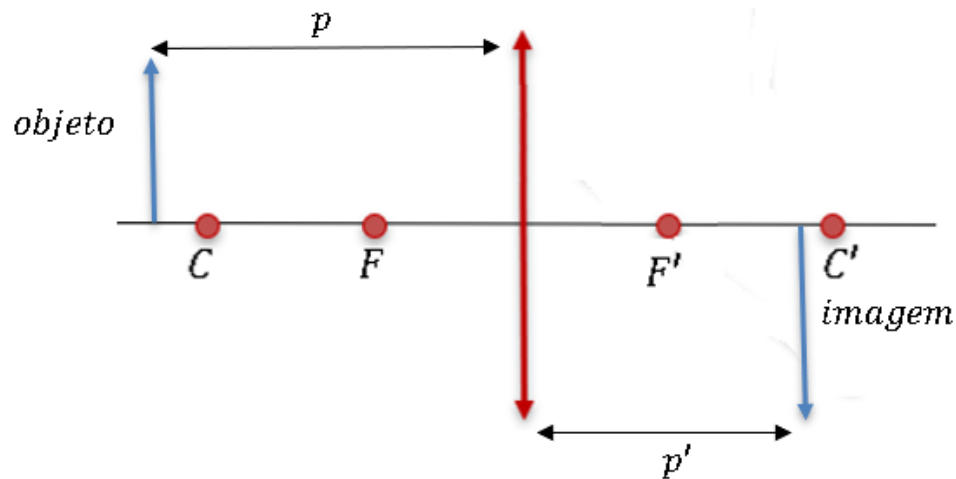


Figura 58: Formação da imagem.

A equação de Gauss fornece a relação entre o foco da lente e as posições do objeto e da imagem.

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

(A) Lentes:

- Lentes convergentes: $f > 0$
- Lentes divergentes: $f < 0$

(b) Objeto:

- objeto real: $p > 0$
- objeto virtual: $p < 0$
- objeto impróprio: $p \rightarrow \infty$

(C) Imagens:

- imagem real: $p' > 0$
- imagem virtual: $p' < 0$
- imagem impróprio: $p' \rightarrow \infty$

7.5 – Aumento linear do espelho esférico

O aumento é a medida do poder de ampliação ou redução de um instrumento ópticos. Para os lentes esféricas o aumento é linear e é dado por:

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

5.4.1 Convenções

(A) Imagem invertida ($A < 0$):

- Uma imagem é invertida se o seu aumento é negativo.

(B) Imagem direita ($A > 0$):

- Uma imagem é direita se o seu aumento é positivo.

7.6 – Posição das imagens

Faremos uma tabela para exemplificar as posições relativas entre objeto e imagem para lentes esféricas.

Características da lente	Posição do objeto	Características da imagem
Convergente	Antes de C	<ul style="list-style-type: none"> • Real. • Invertida. • Menor que objeto.
Convergente	Sobre C	<ul style="list-style-type: none"> • Real. • Invertida. • Mesmo tamanho que objeto
Convergente	Entre C e F	<ul style="list-style-type: none"> • Real. • Invertida • Maior que o objeto.
Convergente	Sobre F	<ul style="list-style-type: none"> • Imprópria. • Imagem está no infinito.
Convergente	Entre o vértice e foco	<ul style="list-style-type: none"> • Virtual. • Direita. • Maior que o objeto.
Divergente	Qualquer posição	<ul style="list-style-type: none"> • Virtual. • Direita. • Menor que o objeto.



7.7 – Vergência da lente

Para comparar diferentes lentes em termos de “mais forte” e “mais fraca”, em relação à sua capacidade de alterar a trajetória da luz, utiliza-se a grandeza física **Vergência (V)**. A vergência é definida como:

$$V = \frac{1}{f}$$

A unidade utilizada para a vergência no SI é:

$$\text{Unidade (V)} = m^{-1} = \text{dioptria (di)}$$

Exemplo 8: Um rapaz construiu uma máquina fotográfica tipo fole, usando uma lente divergente como objetiva. Ao tirar fotografias com esta máquina verificara que no filme:

- a) a imagem será 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 aparecerá imagem alguma, por mais que se ajuste o fole.

Comentário:

Ao utilizar-se uma lente divergente, a formação da imagem será sempre virtual, direita e menor. No caso, uma imagem virtual não irá ser projetada sobre o filme e, portanto, não se formará imagem.

Gabarito: E

Exemplo 9: Um fotógrafo, com uma câmara cuja lente tem uma distância focal de 5,0 cm e uma abertura eficaz de 2,0 cm de diâmetro, fotografa um objeto que está a 50 m de distância. Um segundo fotógrafo, que é obrigado a ficar a 1,0 km do mesmo objeto, quer obter um negativo onde a imagem do referido objeto tem o mesmo tamanho que o obtido pelo primeiro fotógrafo. Para conseguir isto ele deverá:

- a) usar uma câmara com maior abertura eficaz
- b) usar uma câmara cuja distância focal seja de 1,0 m
- c) usar uma câmara com a mesma distância focal, mas, aumentar de 100 vezes à distância entre filme e objetiva
- d) aumentar 100 vezes o tempo de exposições

e) usar uma câmara cuja distância focal seja 100 vezes menor a do primeiro fotógrafo.

Comentário:

Em ambos os casos, considera-se que o objeto é praticamente impróprio, devido à grande diferença entre a distância focal e a distância até o objeto. Apesar de não ser informado a distância focal para a segunda lente, sabe-se que com certeza ela é menor que 10% da distância ao objeto. Portanto, adota-se que em ambos os casos:

$$p \rightarrow \infty$$

$$p' \rightarrow f$$

Assim, o aumento transversal em cada caso fica:

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

Como deseja-se obter imagens de mesmo tamanho, é necessário que ambas as câmeras tenham mesmo aumento transversal:

$$-\frac{f_1}{p_1} = -\frac{f_2}{p_2}$$

$$\frac{0,05}{50} = \frac{f_2}{1000}$$

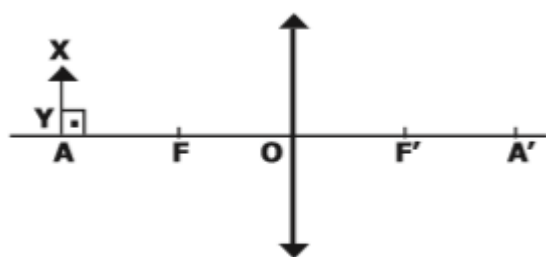
$$f_2 = 1 \text{ m}$$

Gabarito: B

Exemplo 10: (ESPCX 2019)

Um objeto retilíneo e frontal XY, perpendicular ao eixo principal, encontra-se diante de uma lente delgada convergente. Os focos F e F', os pontos antiprincipais A e A' e o centro óptico "O" estão representados no desenho abaixo. Com o objeto XY sobre o ponto antiprincipal A, pode-se afirmar que a imagem X'Y', desse objeto é:

Dados: $OF = FA$ e $OF' = F'A'$



Desenho Ilustrativo - Fora de Escala

- a) *real, invertida, e do mesmo tamanho que XY.*
- b) *real, invertida, maior que XY.*
- c) *real, direita, maior que XY.*
- d) *virtual, direita, menor que XY.*
- e) *virtual, invertida, e do mesmo tamanho que XY.*

Comentário:

Para resolução, utilizaremos a Lei de Gauss:

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

Inicialmente, note que $p = 2f$. Assim, da equação acima, $p' = 2f$.

Calculemos agora o aumento linear, dado por:

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

$$A = -\frac{2f}{2f} = -1$$

Dos valores calculados, podemos concluir:

$p' > 0$: *imagem real*;

$A < 0$: *imagem invertida*;

$|A| = 1$: *imagem de mesmo tamanho do objeto*.

Gabarito: A



8 – Óptica da visão

Aqui serão apresentados de forma superficial as partes que compõe o olho e suas funções, condições para nitidez da imagem observada e defeitos que podem ocorrer na visão.

8.1 – Estudo do globo ocular

Considere o globo ocular abaixo:

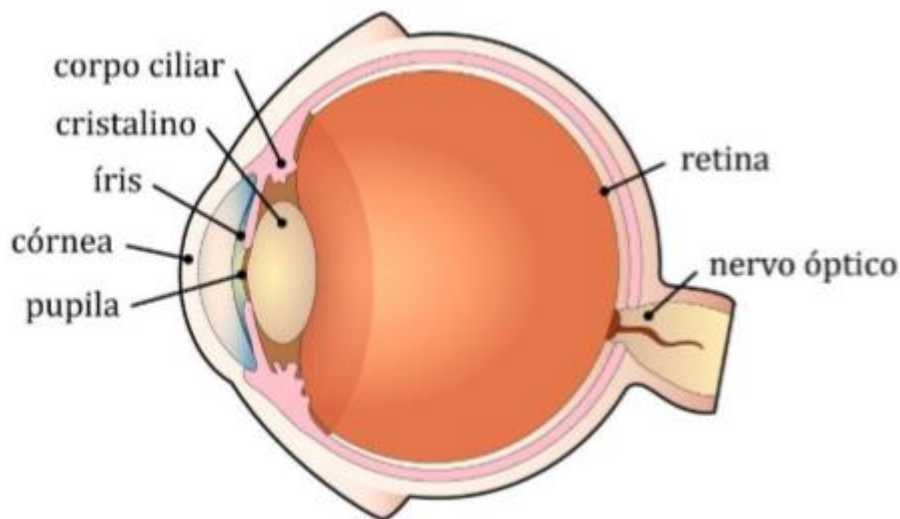


Figura 59: Globo ocular humano.

Na figura 58, observam-se as principais partes do globo ocular. Abaixo, serão apresentadas as funções daquelas que interessam ao curso de óptica da visão:

- Córnea: juntamente ao cristalino tem a função de focar a luz através da pupila.
- Cristalino: atua como uma lente convergente que forma uma imagem real e invertida sobre a retina.
- Retina: Camada mais interna do revestimento que recobre o olho. Possui as células sensoriais que se comunicam com o cérebro pelo nervo óptico.
- Íris: Conjunto de músculos responsáveis pela deformação da pupila.
- Pupila: regula a entrada de luz no olho (adaptação visual).
- Corpo ciliar ou músculos ciliares: responsável pela deformação do cristalino.

8.2 – Acomodação visual

A acomodação visual é o ato do cristalino se deformar para a formação de uma imagem nítida. Pela equação das lentes delgadas:

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

A distância p' é fixada visto que a retina não se desloca. Portanto, conforme varia-se a distância do objeto ao observador, p , é necessário variar a distância focal f de acordo. Na figura abaixo observam-se situações diferentes do cristalino.

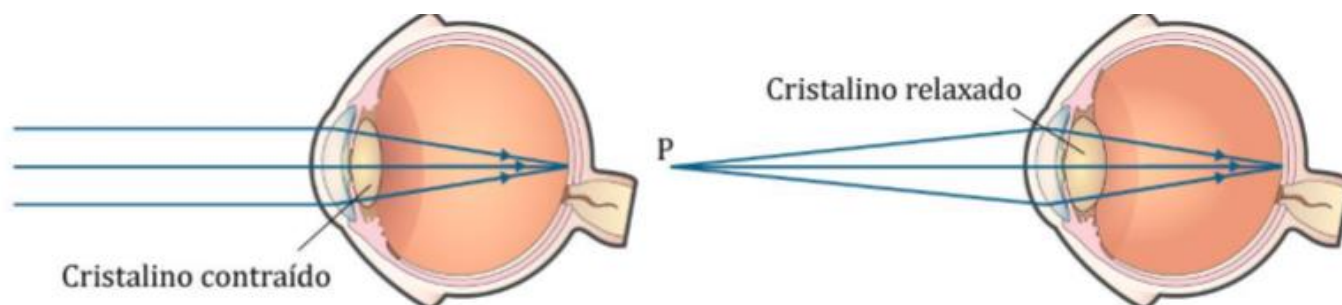


Figura 60: Acomodação visual.

A acomodação visual apresenta limites. São os pontos chamados: ponto próximo (dP), já apresentado no capítulo anterior; e ponto remoto (dR), ao contrário do ponto próximo, o ponto mais distante no qual um objeto pode-se situar e ainda produzir uma imagem nítida. Portanto, a amplitude de acomodação (a) é a variação da vergência do cristalino entre estes pontos extremos. Assim:

$$a = \frac{1}{d_p} - \frac{1}{d_R}$$

Para um olho sem defeitos, a distância do ponto próximo é de 25 cm e a do ponto remoto tende a ∞ . Assim:

$$a = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ di}$$

Portanto, um globo ocular sem defeitos pode variar sua vergência em até quatro dioptrias no ato de acomodação visual.

Observações:

- Este valor é na realidade uma convenção adotada. Usualmente as pessoas apresentam amplitude de acomodação maiores que 4.
- A amplitude de acomodação tende a diminuir com a idade. Ao ficar abaixo de 4 caracteriza-se um defeito chamado presbiopia que será apresentado mais à frente.

8.3 Defeitos da visão

Os defeitos visuais que causam variação do intervalo de acomodação visual, isto é, a distância entre o ponto próximo e o ponto remoto são chamadas de ametropias. As principais ametropias que serão abordadas neste curso são a hipermetropia, miopia, presbiopia e astigmatismo.

8.3.1 Miopia

É uma ametropia causada por um defeito na formação do globo ocular. O globo ocular é alongado na direção do eixo óptico do olho. Dessa forma, mesmo com os músculos ciliares relaxados, um objeto no infinito não consegue produzir uma imagem sobre a retina, ficando, portanto, sem nitidez para o observador.

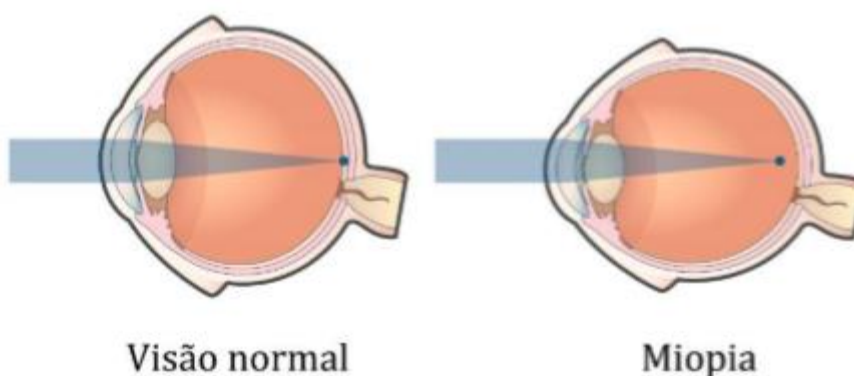


Figura 61: Olho normal versus olho miope.

Para resolver este problema é necessário aumentar a distância focal do sistema óptico. Entretanto, estando os músculos ciliares relaxados, os raios de curvatura, e, por conseguinte, a distância focal, já são máximos. Assim, é impossível que o afetado seja capaz de obter nitidez na visão sem auxílio de lentes corretoras. A correção da miopia se dá, portanto, por um acoplamento que reduz a vergência (aumentando a distância focal). Portanto, a correção é por utilização de lente divergente (vergência negativa). Pela equação das lentes delgadas:

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

Deseja-se que a pessoa enxergue com nitidez mesmo com $p \rightarrow \infty$. Como a pessoa enxerga com nitidez somente até d_R , a imagem virtual de um objeto no infinito deve localizar-se à distância do ponto remoto do míope:

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{d_R}$$

Assim, a vergência da lente corretora deve ser:

$$V = -\frac{1}{d_R}$$

8.3.2 Hipermetropia

Semelhante à miopia, consiste em um defeito na formação do globo ocular no sentido do eixo óptico. Diferentemente da miopia, o que houve foi um encurtamento na direção do eixo óptico. Neste caso, ao observar um objeto no infinito, a imagem não se forma com nitidez estando os músculos ciliares relaxados, ela se formaria além da retina como mostrado na figura abaixo.

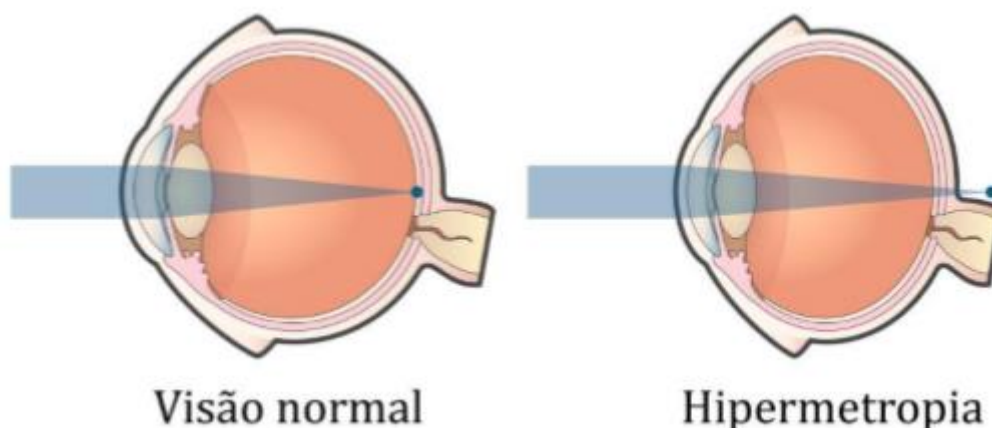


Figura 62: Olho do hipermetrope.

Entretanto, para esta situação, como é necessário reduzir-se a distância focal, o indivíduo ao contrair os músculos ciliares será capaz de obter nitidez.

Logo, a correção deve ser feita aumentando-se a vergência (diminuição da distância focal), ou seja, utilizam-se lentes convergentes.

Para o hipermetrope, deseja-se produzir uma imagem virtual de um objeto sobre o ponto próximo “verdadeiro” ($p = 25\text{ cm}$) para o ponto próximo do hipermetrope. Portanto:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{d_{p,\text{hipermétrico}}}$$

$d_{p,\text{hipermétrico}}$ – Distância do ponto próximo do hipermetrope.

8.3.3 Presbiopia

Também conhecido como “vista cansada”, a presbiopia, conforme descrito anteriormente, é um problema na amplitude de acomodação visual. Ocorre geralmente em pessoas de idade mais avançada devido à perda de elasticidade do cristalino. Essa perda de amplitude dificulta a visualização tanto para objetos próximos quanto para objetos distantes. Utiliza-se, portanto, uma

lente bifocal, isto é, que corrige o ponto próximo e o ponto distante. A lente bifocal é dividida em duas regiões, uma voltada para a correção de cada ponto.

8.3.4 Astigmatismo

Consiste em um defeito visual em que por conta de assimetrias do globo ocular em torno do seu eixo óptico o que faz com que o olho ao se acomodar para um objeto em uma posição, pode não estar acomodado para outro objeto à mesma distância, mas em posição diferente. A correção é feita pelo uso de lentes cilíndricas que compensam a assimetria do sistema óptico.

8.3.5 Estrabismo

Caracteriza-se por um problema, geralmente na musculatura que controla o movimento do globo ocular, que impede o afetado de dirigir simultaneamente os eixos ópticos para o ponto visado. A correção é feita por lentes prismáticas, exercícios ou atividades para fortalecimento da musculatura responsável pelo movimento.



Lista de Questões



1.(EEAR 2018)

Os eclipses solares e lunares são fenômenos ópticos que sempre foram cobertos de fascínio e lendas. As sombras e as penumbras formadas devido ao alinhamento da Terra, Lua e Sol são comprovações de um dos Princípios da Óptica Geométrica. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que corresponde ao Princípio que se refere aos fenômenos celestes descritos.

- a) *Reversibilidade da Luz*
- b) *Propagação retilínea da Luz*
- c) *Transferência dos raios de Luz*
- d) *Independência dos raios de Luz*

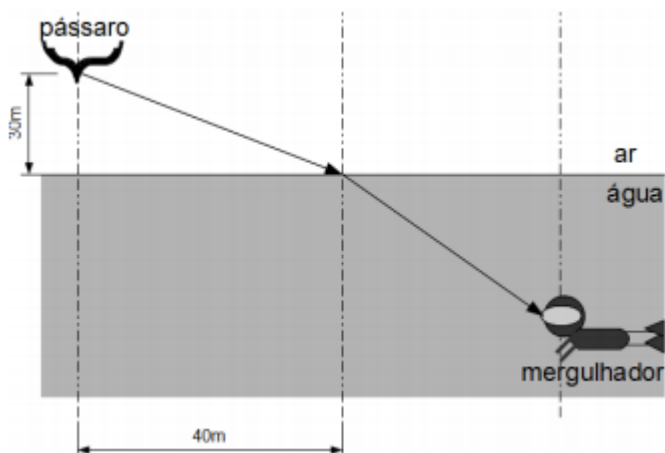
2.(EEAR 2017)

A 50cm de um espelho convexo, coloca-se uma vela de 15cm de altura. Com relação às características da imagem formada é correto afirmar que ela é:

- a) *real, direita e ampliada em relação ao objeto.*
- b) *virtual, direita e reduzida em relação ao objeto.*
- c) *real, invertida e reduzida em relação ao objeto.*
- d) *virtual, invertida e de tamanho igual a do objeto.*

3.(EEAR 2017)

Um pássaro a 40 m na direção horizontal do ponto de incidência do raio luminoso na superfície da água do mar se encontra a 30 m de altura da mesma, como mostra a figura abaixo. Sabendo que o índice de refração do ar $n_{ar} = 1$ e que o índice de refração da água do mar $n_{água\ do\ mar} = 1,5$; calcule quanto vale aproximadamente o ângulo de refração da luz que chega ao mergulhador.



- a) 30°
- b) 45°
- c) 60°
- d) 90°

4.(EEAR 2019)



No estudo da Óptica, a miopia, a hipermetropia e a presbiopia são considerados defeitos da visão e podem ser corrigidos utilizando as lentes corretas para cada caso. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que apresenta, respectivamente, conforme o que foi descrito no texto, a lente correta em cada caso. No caso da presbiopia, considere que, antes de ocorrer o defeito, a pessoa tinha uma visão normal.

- a) Convergente, divergente e divergente.
- b) Divergente, divergente e convergente.
- c) Convergente, convergente e divergente
- d) Divergente, convergente e convergente.

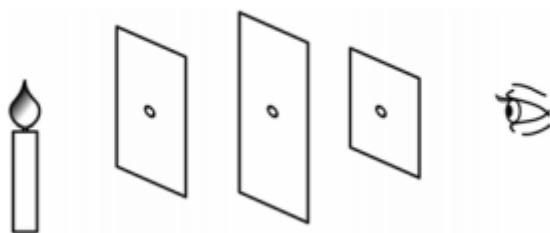
5.(EEAR 2018)

Em um experimento, sob as condições de nitidez de Gauss, realizado no laboratório de Óptica, um aluno constatou que um objeto real colocado no eixo principal de um espelho, a 15 cm do vértice desse, conjugava uma imagem real e ampliada 4 vezes. Portanto, pode-se afirmar corretamente que se tratava de um espelho _____ com centro de curvatura igual a _____ cm. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que preenche corretamente as lacunas do texto acima a respeito do espelho.

- a) Convexo – 12
- b) Convexo – 24
- c) Côncavo – 12
- d) Côncavo – 24

6.(EEAR 2019)

Considere um observador frente a três anteparos, em um meio homogêneo e transparente, cada um com um orifício em seu respectivo centro, conforme mostra a figura que se segue. Através desses orifícios, o observador consegue enxergar a chama de uma vela devido a um princípio da Óptica Geométrica denominado _____.

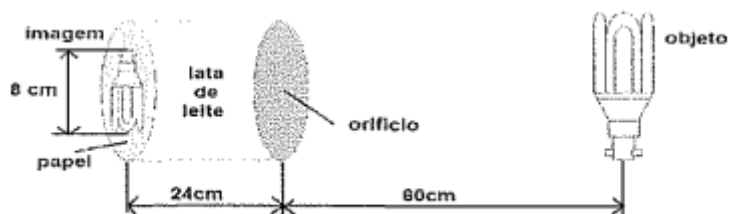


- a) Princípio da independência dos raios de luz.
- b) Princípio da reversibilidade dos raios de luz.
- c) Princípio da propagação retilínea da luz.
- d) Princípio da reflexão dos raios de luz.

7.(EAM 2016)



Observe a figura abaixo.



Um estudante, ao realizar um experimento, construiu, com uma lata de leite, uma câmara escura de orifício. Para isso, ele fez um furo no centro do fundo da lata e, em seguida, retirou a tampa do outro lado, colando um disco de papel vegetal nessa tampa.

Ao colocar uma lâmpada acesa distante 60 cm de sua câmara escura de orifício, o estudante viu a projeção da imagem da lâmpada sobre o papel vegetal, conforme mostra a figura acima. Observando as medidas obtidas no experimento, é correto afirmar que o tamanho da lâmpada utilizada é de

- a) 10 cm
- b) 12 cm
- c) 16 cm
- d) 18 cm
- e) 20 cm

8.(EEAR 2016)

Associe corretamente os princípios da óptica geométrica, com suas respectivas definições, constantes abaixo.

I. Princípio da propagação retilínea da luz.

II. Princípio da independência dos raios de luz.

III. Princípio da reversibilidade dos raios de luz.

() Num meio homogêneo a luz se propaga em linha reta.

() A trajetória ou caminho de um raio não depende do sentido da propagação.

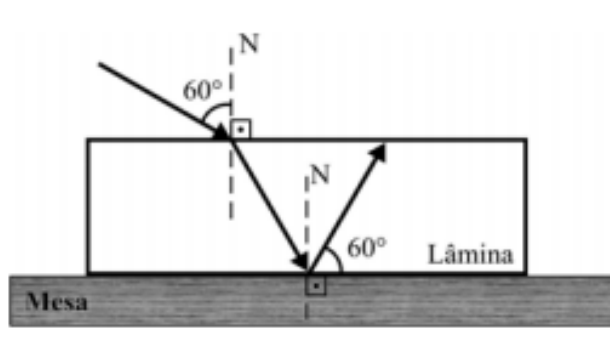
() Os raios de luz se propagam independentemente dos demais.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta para o preenchimento das lacunas acima.

- a) I, II e III.
- b) II, I e III.
- c) III, II e I.
- d) I, III e II.

9.(EEAR 2020)

Um raio de luz monocromático incide, segundo um ângulo de 60° com a normal (N), numa lâmina de faces paralelas, que está imersa no ar e sobre uma mesa, conforme a figura. Sabe-se que o índice de refração do ar vale 1 e que o raio de luz, após refratar na primeira face da lâmina, reflete na segunda face, de tal forma que o raio refletido forma com esta face um ângulo de 60° . Assinale, dentre as alternativas a seguir, aquela que apresenta o valor do índice de refração do material do qual a lâmina é constituída.



- a) $\sqrt{2}$
- b) $\sqrt{3}$
- c) $\frac{\sqrt{2}}{3}$
- d) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

10.(EEAR 2020)

Um aluno deseja projetar uma imagem reduzida de um objeto num anteparo colocado a uma distância de 30 cm da lente. O objeto está colocado sobre o eixo principal e a uma distância de 60 cm da lente. Para o experimento o aluno dispõe de 4 lentes, A, B, C e D, sendo que todas respeitam a condição de nitidez de Gauss e foram dispostas em uma prateleira onde são informadas suas características, conforme apresentadas na tabela a seguir:

LENTE	TIPO	DISTÂNCIA FOCAL
A	Convergente	20cm
B	Convergente	40cm
C	Divergente	20cm
D	Divergente	40cm

De acordo com as necessidades do experimento, qual das 4 lentes o aluno deve usar?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D

11.(EEAR 2019)

Num prisma óptico define-se que o valor do desvio mínimo ocorre quando o ângulo de incidência na primeira face é igual ao ângulo de emergência na segunda face. Admitindo um prisma, imerso no ar, no qual se tenha o desvio mínimo e que seja constituído de um material transparente de índice de refração igual a $\sqrt{2}$. Qual o valor, em graus do ângulo de abertura, ou também denominado ângulo de refringência, quando um raio de luz monocromática emerge na segunda face com ângulo de emergência igual a 45° ?

Adote: índice de refração do ar igual a 1.

- a) 30°
- b) 45°
- c) 60°

d) 120°

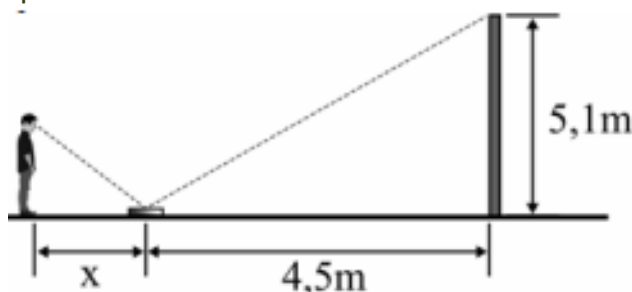
12.(EEAR 2019)

Uma árvore de natal de 50cm de altura foi colocada sobre o eixo principal de um espelho côncavo, a uma distância de 25cm de seu vértice. Sabendo-se que o espelho possui um raio de curvatura de 25cm, com relação a imagem formada, pode-se afirmar corretamente que:

- a) É direita e maior do que o objeto, estando a 20cm do vértice do espelho.
- b) É direita e maior do que o objeto, estando a 25cm do vértice do espelho.
- c) É invertida e maior do que o objeto, estando a 25cm do vértice do espelho
- d) É invertida e do mesmo tamanho do objeto, estando a 25cm do vértice do espelho.

13. (EEAR 2020)

Um aluno resolveu colocar em prática uma atividade que aprendeu quando estava estudando reflexão no espelho plano. Conforme o desenho, colocou um espelho plano, de pequenas dimensões e espessura desprezível, com a face espelhada voltada para cima, e a 4,5 m de um poste e conseguiu determinar a altura do poste em 5,1 m. Sabendo que o estudante tem uma altura, da base dos pés até os olhos de 1,70 m, qual a distância (x), em metros, que o aluno teve que ficar do espelho para enxergar o reflexo da extremidade superior do poste?



- a) 0,5
- b) 1,0
- c) 1,5
- d) 2,0

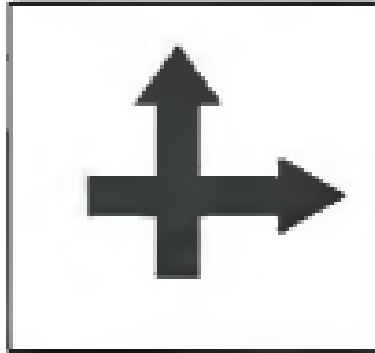
14.(EAM 2019)

Considerando um objeto colocado sobre o eixo principal a uma distância de 10 cm do vértice de um espelho esférico côncavo de raio 10 cm, calcule a distância, em centímetros, da imagem formada pelo espelho em relação ao vértice do mesmo espelho, considerando que os raios incidentes no espelho esférico satisfazem as condições de nitidez de Gauss, e assinale a opção correta.

- a) 25
- b) 20
- c) 15
- d) 10
- e) 5

15.(EAM 2018)

Observe a figura a seguir.

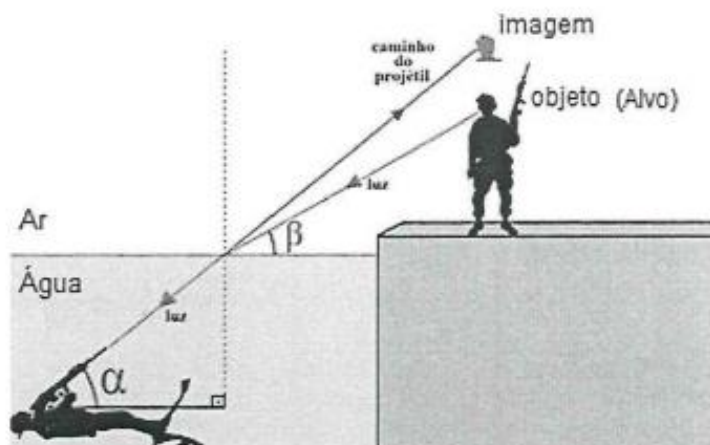


O cartão acima é visto por um observador através de uma lupa (lente esférica biconvexa) de vidro que se encontra no ar. O cartão é colocado a aproximadamente 20 cm da lupa cuja distância focal é da ordem de 10 cm. Sendo assim, marque a opção que apresenta a figura que o observador vê através da lente.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

16.(EAM 2018)

O Grupamento de Mergulhadores de Combate (GruMeC), subordinado ao Comando da Força de Submarinos da Marinha do Brasil (MB), é uma das mais importantes e respeitadas tropas de operações especiais do mundo, especializada em infiltração, reconhecimento, sabotagem, resgate e destruição de alvos estratégicos. Um MeC, assim como é chamado um membro do GruMeC, equipado com um fuzil de alta precisão e com um equipamento de mergulho de circuito fechado (que não solta bolhas de ar) recebe a missão de se infiltrar e eliminar o inimigo que garante um posto de controle.



O MeC mira o seu fuzil a fim de acertar a cabeça do inimigo conforme mostrado na figura. Considere para tal desprezível o efeito da gravidade, que o fuzil tenha funcionado adequadamente mesmo debaixo d'água, que o tiro disparado poderia ter alcançado o inimigo que se encontrava bastante próximo e que o projétil, ao passar da água para o ar, não sofreu desvio algum em termos de direção. Qual das opções abaixo está relacionada com o fenômeno óptico mostrado na figura que ilustra esse enunciado e que deveria ter sido levado em conta pelo MeC a fim de acertar o alvo?

- a) Refração da Luz.
- b) Absorção da Luz.
- c) Reflexão da Luz
- d) Reflexão Total da Luz.
- e) Dispersão da Luz.

17.(EEAR 2018)

Um dado, comumente utilizado em jogos, cujos números nas faces são representados pela quantidade de pontos pretos é colocado frente a dois espelhos planos que formam entre si um ângulo de 60° . Nesses espelhos é possível observar nitidamente as imagens de apenas uma das faces do dado, sendo que a soma de todos os pontos pretos observados nos espelhos, referentes a essa face, totalizam 20 pontos. Portanto, a face voltada para os espelhos que gera as imagens nítidas é a do número_____.

- a) 1
- b) 2
- c) 4
- d) 5

18.(EEAR 2018)

Uma das explicações para as lendas sobre navios fantasma advém de situações como as da foto abaixo, onde não há montagem. Tal efeito é similar ao da miragem.





O fenômeno físico associado ao descrito acima é:

- a) refração
- b) interferência da luz
- c) propagação retilínea da luz
- d) princípio da independência dos raios de luz

19.(EAM 2017)

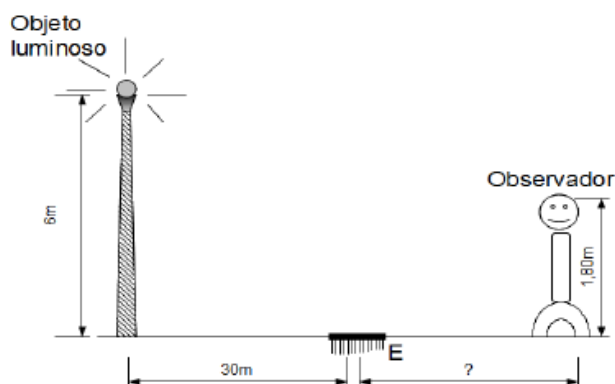
A refração da luz possibilita o entendimento de muitos fenômenos comuns no nosso dia a dia, como a aparente profundidade menor de uma piscina, as miragens nas rodovias em dias quentes e o arco-íris. Sendo assim, analise as afirmativas referentes à óptica geométrica, assinalando, a seguir, a opção correta.

- I- Refração da luz é o desvio da luz ao atravessar a fronteira entre dois meios transparentes.
- II- Refração da luz é a passagem da luz de um meio transparente para outro, ocorrendo sempre uma alteração de sua velocidade de propagação.
- III- Na refração da luz, o raio refratado pode não apresentar desvio em relação ao raio incidente.

- a) Apenas a afirmativa III está correta.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- e) Apenas a afirmativa II está correta.

20.(EEAR 2017)

Um objeto luminoso é colocado no alto de um poste de 6 m de altura que está a 30 m de um pequeno espelho (E) de dimensões desprezíveis, como mostra a figura abaixo. Qual deve ser a distância, em metros, de um observador cujos olhos estão a 1,80 m do solo, para que possa ver o objeto luminoso através do espelho?



- a) 3
- b) 6
- c) 9
- d) 12

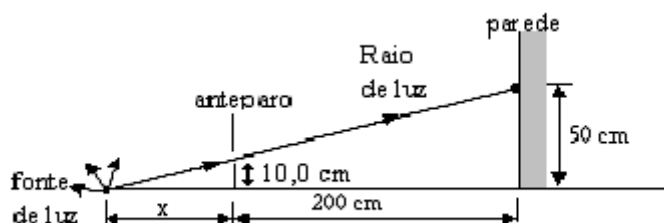
21. (EEAR 2010)

Um raio de luz monocromática propaga-se no ar com velocidade de $3 \cdot 10^8$ m/s. Ao penetrar num bloco de vidro reduz sua velocidade de propagação para $2 \cdot 10^8$ m/s. O índice de refração desse vidro para esse raio luminoso vale

- a) $2/3$.
- b) 1,0.
- c) 1,5.
- d) 1500.

22. (EEAR 2010)

Um estudante de Física coloca um anteparo com um orifício na frente de uma fonte de luz puntiforme. Quando a fonte de luz é acesa, um dos raios de luz passa pelo orifício do anteparo, que está a 10,0 cm de altura da superfície plana, e produz um ponto luminoso na parede, a 50 cm de altura da superfície, conforme a figura. Sabendo-se que a distância entre o anteparo e a parede é de 200 cm, determine a distância, em cm, entre a fonte luminosa e o anteparo.



- a) 5
- b) 25
- c) 50
- d) 75

23. (EEAR 2010)

Uma lupa é basicamente uma lente convergente, com pequena distância focal. Colocando-se um objeto real entre o foco objeto e a lente, a imagem obtida será:

- a) real, direita e maior.
- b) virtual direita e maior.
- c) real, invertida e menor.
- d) virtual, invertida e menor.

24. (EEAR 2013)



O fenômeno do eclipse solar, que ocorre quando a Lua “cobre” o Sol, relaciona-se com o ângulo visual em que estes corpos celestes são observados. Tal efeito é uma aplicação do **princípio** da Óptica Geométrica denominado

- a) *impenetrabilidade.*
- b) *propagação retilínea da luz.*
- c) *reflexão múltipla de superfícies.*
- d) *independência dos raios luminosos.*

25. (EEAR 2007)

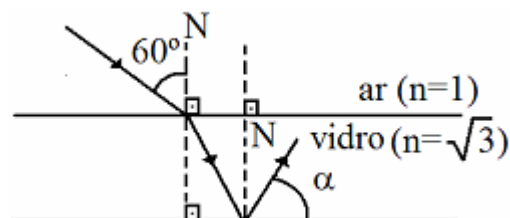
O olho humano possui diversos elementos, dentre os quais, destaca-se o cristalino, que ajusta o foco da imagem como uma lente de curvatura variável. O cristalino possui a forma de uma lente _____.

Que alternativa completa corretamente a afirmação acima?

- a) *biconvexa*
- b) *bicôncava*
- c) *plano-côncava*
- d) *plano-convexa*

26. (EEAR 2013)

Um raio de luz monocromático passa do ar ($n=1$) para uma lâmina de vidro ($n=\sqrt{3}$), segundo um ângulo de incidência igual a 60° , em relação a uma normal (N) a superfície do vidro. Na segunda face desta lâmina, ressaltando que as faces destas lâminas são paralelas, o raio de luz é refletido, conforme pode ser visto na figura a seguir. Considerando que os meios são homogêneos, qual o valor, em graus, do ângulo α ?



- a) 30
- b) 45
- c) 60
- d) 75

27. (EEAR 2013)

“Quando olho no espelho estou ficando velho e acabado”, este é o trecho de uma música. Admitindo que a ideia desta letra seja a visão da pessoa ao olhar para um espelho plano e ver sua imagem conjugada, e de acordo com os conceitos básicos de espelhos planos, é correto afirmar que a imagem conjugada de um objeto real é sempre _____ e que o objeto e a imagem são _____ em relação ao espelho. Das alternativas a seguir, assinale a única que preenche corretamente a lacunas da frase anterior.

- a) *real, simétricos*
- b) *real, assimétricos*
- c) *virtual, simétricos*

d) *virtual, assimétricos*

28. (EEAR 2013)

Um espelho côncavo conjuga uma imagem virtual situada a 20 cm do espelho. Sabendo que a distância entre o objeto e a imagem conjugada é de 30 cm, qual a distância focal do espelho, em cm?

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 20

29. (EEAR 2013)

Uma máquina fotográfica, de boa qualidade, consiste basicamente de uma câmara escura e de um sistema de lentes que atua como uma única lente convergente, portanto, a imagem formada pela máquina é _____, _____ e menor.

Dentre as alternativas abaixo, assinale aquela que preenche corretamente os espaços deixados acima.

- a) *real, direita*
- b) *real, invertida*
- c) *virtual, direita*
- d) *virtual, invertida*

30. (EEAR 2011)

Alguns motoristas seguem o princípio de ultrapassar o carro a frente somente após se certificar de que o motorista desse outro carro o viu pelo espelho retrovisor. A situação descrita, considerando válidos os princípios da óptica geométrica, pode servir de comprovação do princípio da (o) _____ dos raios de luz.

OBS: Considere o meio homogêneo.

- a) *propagação curvilínea*
- b) *independência*
- c) *reversibilidade*
- d) *transparência*

31. (EEAR 2011)

Em decoração de ambientes costuma-se dizer que o uso de espelhos planos e verticais dá às pessoas, a sensação de que o ambiente é ampliado. Conhecendo os princípios de formação de imagens em espelhos planos, pode se afirmar, corretamente, que essa sensação está relacionada à visualização de imagens a uma distância sempre ____ a do objeto ao espelho plano.

- a) *igual*
- b) *menor*
- c) *2 vezes maior*
- d) *4 vezes menor*



32. (EEAR 2010)

Foram justapostas duas lentes, uma de distância focal igual a 5 cm e outra de convergência igual a -4 di. A distância focal da associação destas lentes, em centímetros, é dada por:

- a) 6,25
- b) 20,0
- c) -1,00
- d) -20,0

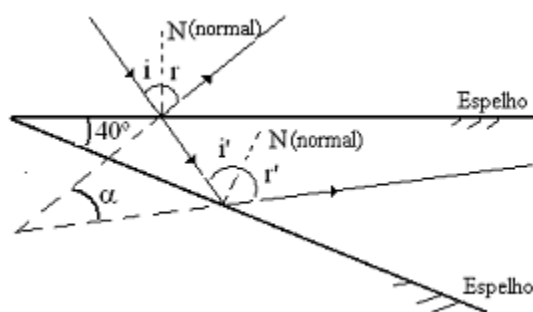
33. (EEAR 2010)

Uma lente plano-convexa tem o raio de curvatura da face convexa igual a 20 cm. Sabendo que a lente está imersa no ar ($n=1$) e que sua convergência é de 2,5 di, determine o valor do índice de refração do material que constitui essa lente.

- a) 1,25
- b) 1,50
- c) 1,75
- d) 2,00

34. (EEAR 2012)

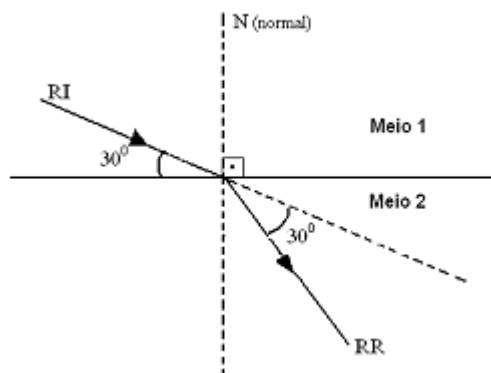
Um estudante de Física, utilizando um apontador laser, um espelho plano e um transferidor, deseja estudar o fenômeno de rotação de um espelho plano. Admitindo que um único raio de luz monocromática incide sob o espelho, e que o estudante faz com que o espelho sofra uma rotação de 40° , conforme pode ser visto na figura, qual será o valor, em graus, do ângulo, α , de rotação do raio refletido.



- a) 10
- b) 20
- c) 40
- d) 80

35. (EEAR 2012)

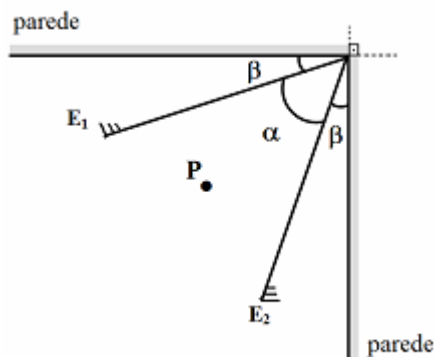
Um raio de luz monocromática (RI) passa do meio 1 para o meio 2, sofrendo, em relação ao raio refratado (RR), um desvio de 30° , conforme mostrado na figura. Determine o índice de refração do meio 2, sabendo que o meio 1 é o ar, cujo índice de refração vale 1.



- a) $1/2$
- b) 2
- c) $\sqrt{3}$
- d) $\sqrt{3}/2$

36. (EEAR 2015)

Dois espelhos planos, E1 e E2, são colocados no canto de uma sala, de maneira que o vértice do ângulo formado pelos espelhos coincide com o do ângulo reto formado pelas paredes. Os espelhos planos formam um ângulo α entre si e ângulos iguais a β com as paredes, conforme é mostrado na figura a seguir. Quando um objeto P é colocado entre as superfícies refletoras dos espelhos planos formam-se 9 imagens. Portanto, o ângulo β , em graus, tem valor de:



- a) 25
- b) 27
- c) 36
- d) 54

37. (EEAR 2006)

A lente convergente de um projetor cinematográfico tem distância focal de 20 cm e ampliação de 150 vezes. Das alternativas abaixo, aquela que fornece o comprimento mínimo da sala de projeção para que a imagem esteja nítida, em metros, é

- a) 10,2
- b) 15,1
- c) 20,4
- d) 30,2



38. (EEAR 2007)

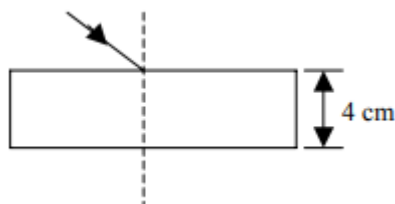
Um relojoeiro utiliza uma lupa, de distância focal igual a 10 cm, para consertar um relógio. Determine a que distância, em cm, do centro óptico da lupa, sobre o eixo principal, deve ser colocado o relógio, para que a imagem deste seja ampliada em quatro vezes.

- a) 2,5
- b) 7,5
- c) 12,5
- d) 40,0

39. (EEAR 2008)

Um raio luminoso monocromático incide numa lâmina de faces paralelas, imersa no ar ($n=1$), segundo um ângulo de 60° com a normal à superfície. Sendo de 4 cm a espessura da lâmina, cujo material tem índice de refração de valor igual a $\sqrt{3}$, determine o tempo, em segundos, gasto pela luz para atravessar a lâmina.

Dado: adote velocidade da luz no ar = $3 \cdot 10^8$ m/s



- a) $\frac{3}{8} \cdot 10^{-8}$
- b) $\frac{8}{3} \cdot 10^{-8}$
- c) $\frac{8}{3} \cdot 10^{-10}$
- d) $\frac{8\sqrt{3}}{3} \cdot 10^{-10}$

40. (EEAR 2007)

Um cidadão coloca um relógio marcando 12:25 (doze horas e vinte e cinco minutos) de cabeça para baixo de frente para um espelho plano, posicionando-o conforme mostra a figura.



Qual a leitura feita na imagem formada pela reflexão do relógio no espelho?

- a) 12:25
- b) 25:51
- c) 15:52
- d) 25:12

Gabarito

1. B	2. B	3. A	4. D	5. D	6. C	7. E	8. D
9. B	10.A	11.C	12.D	13.C	14.D	15.C	16.A
17.C	18.A	19.C	20.C	21.C	22. C	23. B	24. B
25. A	26. C	27. C	28. D	29. B	30. C	31. A	32. A
33. B	34. D	35. C	36. B	37. D	38. B	39. C	40. C



Lista de Questões Resolvidas e Comentadas



1.(EEAR 2018)

Os eclipses solares e lunares são fenômenos ópticos que sempre foram cobertos de fascínio e lendas. As sombras e as penumbras formadas devido ao alinhamento da Terra, Lua e Sol são comprovações de um dos Princípios da Óptica Geométrica. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que corresponde ao Princípio que se refere aos fenômenos celestes descritos.

- a) *Reversibilidade da Luz*
- b) *Propagação retilínea da Luz*
- c) *Transferência dos raios de Luz*
- d) *Independência dos raios de Luz*

Comentário:

Os eclipses solares e lunares consistem no posicionamento relativo entre a Lua e o Sol. Tal fenômeno só ocorre pois a **luz se propaga de forma retilínea**, ou seja, quando a Lua fica na frente do Sol, impede que parte dos raios, provenientes do sol, alcancem a terra.

Gabarito: B

2.(EEAR 2017)

A 50cm de um espelho convexo, coloca-se uma vela de 15cm de altura. Com relação às características da imagem formada é correto afirmar que ela é:

- a) *real, direita e ampliada em relação ao objeto.*
- b) *virtual, direita e reduzida em relação ao objeto.*
- c) *real, invertida e reduzida em relação ao objeto.*
- d) *virtual, invertida e de tamanho igual a do objeto.*

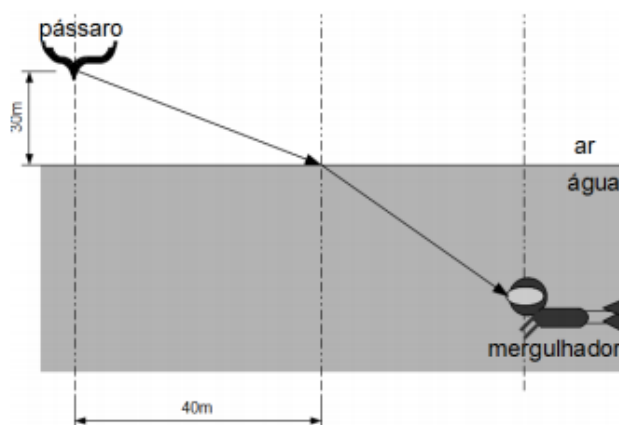
Comentário:

Espelhos convexos **sempre** formam imagens virtuais , direitas e menores que o objeto.

Gabarito: B

3.(EEAR 2017)Um pássaro a 40 m na direção horizontal do ponto de incidência do raio luminoso na superfície da água do mar se encontra a 30 m de altura da mesma, como mostra a figura abaixo. Sabendo que o índice de refração do ar $n_{ar}= 1$ e que o índice de refração da água do mar $n_{água\ do\ mar}= 1,5$; calcule quanto vale aproximadamente o ângulo de refração da luz que chega ao mergulhador.



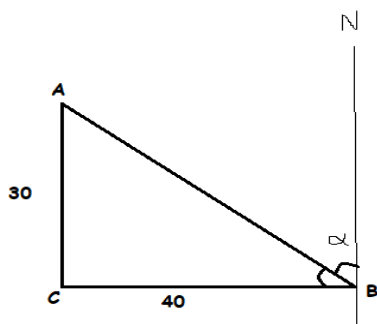


- a) 30°
- b) 45°
- c) 60°
- d) 90°

Comentário:

Pela lei de Snell, temos: $n \cdot \text{sen}\alpha = \text{cte}$.

Analisando o triângulo:



Pelo teorema de Pitágoras, temos:

$$(AB)^2 = (30)^2 + (40)^2 = 2500 = (50)^2$$

$$AB = 50$$

Desta forma $\text{sen}\alpha = \frac{4}{5}$

Assim, aplicando a lei de Snell, temos: $1 \cdot \frac{4}{5} = \frac{3}{2} \cdot \text{sen}\beta$

$$\rightarrow \text{sen}\beta = \frac{8}{15} \cong \frac{1}{2} \rightarrow \beta = 30^\circ$$

Gabarito: A

4.(EEAR 2019)

No estudo da Óptica, a miopia, a hipermetropia e a presbiopia são considerados defeitos da visão e podem ser corrigidos utilizando as lentes corretas para cada caso. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que apresenta, respectivamente, conforme o que foi descrito no texto, a lente correta em cada caso. No caso da presbiopia, considere que, antes de ocorrer o defeito, a pessoa tinha uma visão normal.

- a) Convergente, divergente e divergente.
- b) Divergente, divergente e convergente.
- c) Convergente, convergente e divergente
- d) Divergente, convergente e convergente.

Comentário:

Devemos analisar o problema que cada defeito promove:

Miopia: Forma o foco antes da retina

Hipermetropia: Forma o foco depois da retina

Presbiopia: Não forma foco



Para corrigirmos tais defeitos:

Miopia: Lente Divergente
Hipermétrope: Lente Convergente
Presbiopia: Lentes convergentes multifocais

Gabarito: D

5.(EEAR 2018)

Em um experimento, sob as condições de nitidez de Gauss, realizado no laboratório de Óptica, um aluno constatou que um objeto real colocado no eixo principal de um espelho, a 15 cm do vértice desse, conjugava uma imagem real e ampliada 4 vezes. Portanto, pode-se afirmar corretamente que se tratava de um espelho _____ com centro de curvatura igual a _____ cm. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que preenche corretamente as lacunas do texto acima a respeito do espelho.

- a) Convexo – 12
- b) Convexo – 24
- c) Côncavo – 12
- d) Côncavo – 24

Comentário:

Pelas condições de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow f = \text{foco}; p = \text{Distância do objeto ao espelho};$$
$$p' = \text{Distância da imagem ao espelho.}$$

Porém, pela expressão de aumento linear:

$$A = \frac{-p'}{p} = \frac{i}{o} \rightarrow i = \text{tamanho da imagem}; o = \text{tamanho do objeto.}$$

Assim, do enunciado, temos:

$$4 = -\frac{p'}{p} \rightarrow p' = -4p$$

Porém como se trata de um espelho, e a imagem é real, temos que :

$$p' < 0$$

Assim, podemos concluir que :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{4p} \rightarrow f = \frac{4p}{5} = 12 \text{ cm}$$

O centro de curvatura é exatamente o dobro da distância focal !!

$$C = 24 \text{ cm}$$

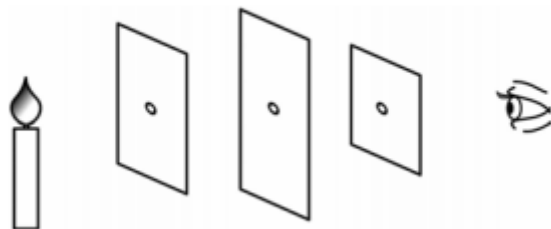
Por fim, *espelhos convexos formam apenas imagens virtuais !!!* Com isso podemos concluir que o *espelho é côncavo*.

Gabarito: D

6.(EEAR 2019)

Considere um observador frente a três anteparos, em um meio homogêneo e transparente, cada um com um orifício em seu respectivo centro, conforme mostra a figura que se segue. Através desses orifícios, o observador consegue enxergar a chama de uma vela devido a um princípio da Óptica Geométrica denominado _____.





- a) Princípio da independência dos raios de luz.
- b) Princípio da reversibilidade dos raios de luz.
- c) Princípio da propagação retilínea da luz.
- d) Princípio da reflexão dos raios de luz.

Comentário:

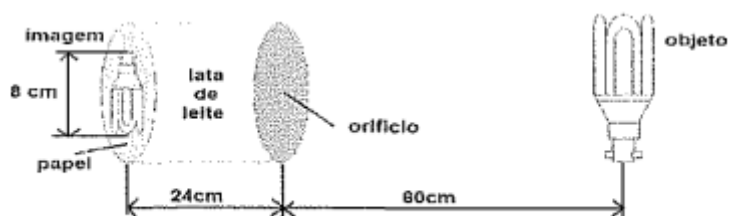
A luz alcança o olho do observador pois se propaga em uma trajetória retilínea! O que é tratado no **Princípio da propagação retilínea da luz** 😊

Ela se propaga pelos orifícios até atingir o olho do observador.

Gabarito: C

7.(EAM 2016)

Observe a figura abaixo.



Um estudante, ao realizar um experimento, construiu, com uma lata de leite, uma câmara escura de orifício. Para isso, ele fez um furo no centro do fundo da lata e, em seguida, retirou a tampa do outro lado, colando um disco de papel vegetal nessa tampa.

Ao colocar uma lâmpada acesa distante 60 cm de sua câmara escura de orifício, o estudante viu a projeção da imagem da lâmpada sobre o papel vegetal, conforme mostra a figura acima.

Observando as medidas obtidas no experimento, é correto afirmar que o tamanho da lâmpada utilizada é de

- a) 10 cm
- b) 12 cm
- c) 16 cm
- d) 18 cm
- e) 20 cm

Comentário:

Comentário:

Para calcularmos o tamanho do objeto , temos : $\frac{\text{imagem}}{\text{objeto}} = \frac{-p'}{p}$; onde “p” é a distância do objeto até a lata e “ p’ ” é a distância da imagem até a lata .

Dessa forma, substituindo os valores: $\frac{2\text{cm}}{\text{objeto}} = \frac{24\text{cm}}{60\text{cm}}$

Portanto: **objeto = 20 cm**.

Gabarito: E

8.(EEAR 2016)

Associe corretamente os princípios da óptica geométrica, com suas respectivas definições, constantes abaixo.

I. Princípio da propagação retilínea da luz.

II. Princípio da independência dos raios de luz.

III. Princípio da reversibilidade dos raios de luz.

() Num meio homogêneo a luz se propaga em linha reta.

() A trajetória ou caminho de um raio não depende do sentido da propagação.

() Os raios de luz se propagam independentemente dos demais.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta para o preenchimento das lacunas acima.

- a) I, II e III.
- b) II, I e III.
- c) III, II e I.
- d) I, III e II.

Comentário:

O **Princípio da propagação retilínea da luz** nos diz que num meio homogêneo, a luz se propaga em linha reta!

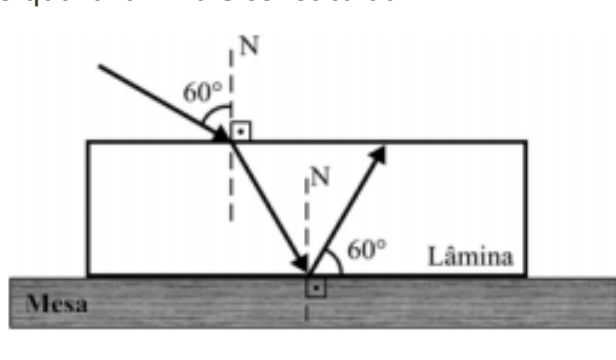
O **Princípio da independência dos raios de luz** nos diz que um raio não interfere no outro raio, isto é, na propagação, cada raio é independente dos demais! 😊

Por fim, o **Princípio da reversibilidade dos raios de luz** nos diz que a trajetória definida não depende do sentido do raio propagado.

Gabarito: D

9.(EEAR 2020)

Um raio de luz monocromático incide, segundo um ângulo de 60° com a normal (N), numa lâmina de faces paralelas, que está imersa no ar e sobre uma mesa, conforme a figura. Sabe-se que o índice de refração do ar vale 1 e que o raio de luz, após refratar na primeira face da lâmina, reflete na segunda face, de tal forma que o raio refletido forma com esta face um ângulo de 60° . Assinale, dentre as alternativas a seguir, aquela que apresenta o valor do índice de refração do material do qual a lâmina é constituída.



- a) $\sqrt{2}$
- b) $\sqrt{3}$
- c) $\frac{\sqrt{2}}{3}$
- d) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

Comentário:



Sabendo que, pela Lei de Snell, temos:

$$n_1 \cdot \text{sen}\alpha = n_2 \cdot \text{sen}\beta$$

Lembrando que os ângulos dos cálculos são os ângulos relacionados às normais. Dessa forma, o ângulo da reflexão formado com a normal é:

$$90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

Portanto:

$$1 \cdot \text{sen}60^\circ = n \cdot \text{sen}30^\circ \rightarrow n = \sqrt{3}$$

Gabarito: B

10.(EEAR 2020)

Um aluno deseja projetar uma imagem reduzida de um objeto num anteparo colocado a uma distância de 30 cm da lente. O objeto está colocado sobre o eixo principal e a uma distância de 60 cm da lente. Para o experimento o aluno dispõe de 4 lentes, A, B, C e D, sendo que todas respeitam a condição de nitidez de Gauss e foram dispostas em uma prateleira onde são informadas suas características, conforme apresentadas na tabela a seguir:

LENTE	TIPO	DISTÂNCIA FOCAL
A	Convergente	20cm
B	Convergente	40cm
C	Divergente	20cm
D	Divergente	40cm

De acordo com as necessidades do experimento, qual das 4 lentes o aluno deve usar?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D

Comentário:

Como o anteparo está fixo a 30 cm de distância da lente e o objeto fixo a 60 cm da lente, temos pela expressão das condições de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} \rightarrow f = 20 \text{ cm}$$

Como a distância focal é positiva, temos que a lente é **convergente** !

Gabarito: A

11.(EEAR 2019)

Num prisma óptico define-se que o valor do desvio mínimo ocorre quando o ângulo de incidência na primeira face é igual ao ângulo de emergência na segunda face. Admitindo um prisma, imerso no ar, no qual se tenha o desvio mínimo e que seja constituído de um material transparente de índice de refração igual a $\sqrt{2}$. Qual o valor, em graus do ângulo de abertura, ou também denominado ângulo de refringência, quando um raio de luz monocromática emerge na segunda face com ângulo de emergência igual a 45° ?

Adote: índice de refração do ar igual a 1.

- a) 30°



- b) 45
- c) 60°
- d) 120°

Comentário:

No prisma que apresenta desvio mínimo, tem-se que o ângulo incidente na primeira face e o ângulo emergente na segunda apresentam o mesmo valor ($i_1=i_2$). E o ângulo de abertura (A) é o dobro do ângulo de refração na primeira face (r), sendo este último igual ao ângulo de incidência na segunda face (r), portanto, $A = 2r$.

$$\hat{i}_1 = \hat{i}_2 = 45^\circ$$

Aplicando a Lei de Snell – Descartes

$$n_1 \text{ sen } i_1 = n_2 \text{ sen } i_2$$

$$1 \text{ sen } 45^\circ = \text{raiz } 2 \text{ sen } r$$

$$\text{sen } r = 1/2$$

Logo, temos:

$$r = 30^\circ$$

assim,

$$A = 2r = 2 * 30^\circ = 60^\circ$$

Gabarito: C

12.(EEAR 2019)

Uma árvore de natal de 50cm de altura foi colocada sobre o eixo principal de um espelho côncavo, a uma distância de 25cm de seu vértice. Sabendo-se que o espelho possui um raio de curvatura de 25cm, com relação a imagem formada, pode-se afirmar corretamente que:

- a) É direita e maior do que o objeto, estando a 20cm do vértice do espelho.
- b) É direita e maior do que o objeto, estando a 25cm do vértice do espelho.
- c) É invertida e maior do que o objeto, estando a 25cm do vértice do espelho
- d) É invertida e do mesmo tamanho do objeto, estando a 25cm do vértice do espelho.

Comentário:

Pelas condições de Gauss:

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

O raio de curvatura é o dobro da distância focal, logo:

$$f = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ cm}$$
$$\frac{2}{25} = \frac{1}{25} + \frac{1}{p'} \rightarrow p' = 25 \text{ cm}$$

Por fim, do aumento linear, podemos concluir que:



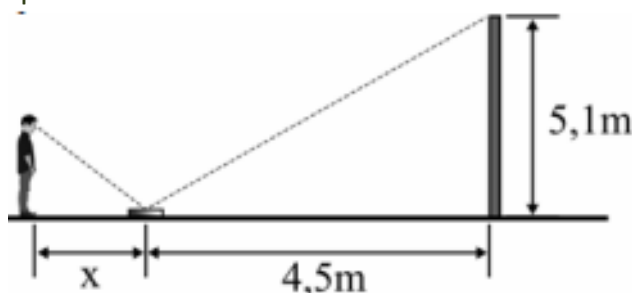
$$A = -\frac{p'}{p} = \frac{i}{o} \rightarrow \frac{i}{50} = -\frac{25}{25} \rightarrow i = -50 \text{ cm}$$

Assim, como $i < 0$, a imagem é invertida. Da expressão de Gauss, p' é a distância da imagem ao espelho. Portanto, a imagem formada é do mesmo tamanho do objeto porém invertida e distando 25 cm do espelho.

Gabarito: D

13. (EEAR 2020)

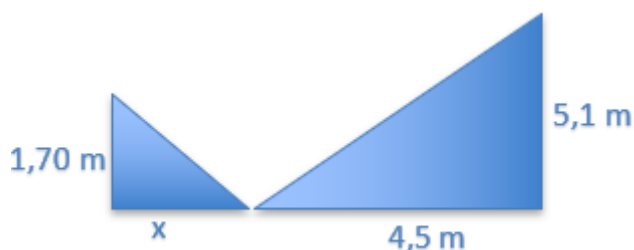
Um aluno resolveu colocar em prática uma atividade que aprendeu quando estava estudando reflexão no espelho plano. Conforme o desenho, colocou um espelho plano, de pequenas dimensões e espessura desprezível, com a face espelhada voltada para cima, e a 4,5 m de um poste e conseguiu determinar a altura do poste em 5,1 m. Sabendo que o estudante tem uma altura, da base dos pés até os olhos de 1,70 m, qual a distância (x), em metros, que o aluno teve que ficar do espelho para enxergar o reflexo da extremidade superior do poste?



- a) 0,5
- b) 1,0
- c) 1,5
- d) 2,0

Comentário:

Utilizando do Princípio da propagação retilínea da luz, os dois triângulos da figura são semelhantes, portanto:



Por semelhança de

triângulos, temos:

$$\frac{1,70}{x} = \frac{5,1}{4,5} \rightarrow x = 1,5 \text{ m}$$

Gabarito: C

14. (EAM 2019)

Considerando um objeto colocado sobre o eixo principal a uma distância de 10 cm do vértice de um espelho esférico côncavo de raio 10 cm, calcule a distância, em centímetros, da imagem formada pelo espelho em relação ao vértice do mesmo espelho, considerando que os raios incidentes no espelho esférico satisfazem as condições de nitidez de Gauss, e assinale a opção correta.

- a) 25

- b) 20
- c) 15
- d) 10
- e) 5

Comentário:

Pelas condições de Gauss:

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

O raio de curvatura é o dobro da distância focal, logo:

$$f = \frac{10}{2} = 5\text{cm}$$

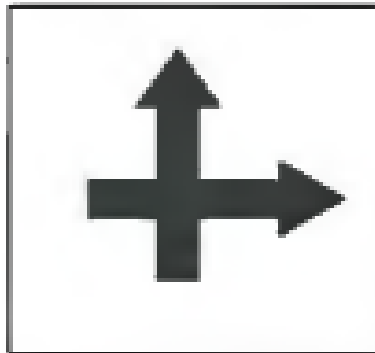
Logo:

$$\frac{1}{5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{p'} \rightarrow p' = 10\text{ cm}$$

Gabarito: D

15.(EAM 2018)

Observe a figura a seguir.



O cartão acima é visto por um observador através de uma lupa (lente esférica biconvexa) de vidro que se encontra no ar. O cartão é colocado a aproximadamente 20 cm da lupa cuja distância focal é da ordem de 10 cm. Sendo assim, marque a opção que apresenta a figura que o observador vê através da lente.

- a)
- b)
- c)
- d)



e)

Comentário:

Pelas condições de Gauss:

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

Assim:

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{20} + \frac{1}{p'} \rightarrow p' = 10 \text{ cm}$$

Da expressão do aumento linear, temos:

$$-\frac{p'}{p} = \frac{i}{o} \rightarrow i = -\frac{o}{2}$$

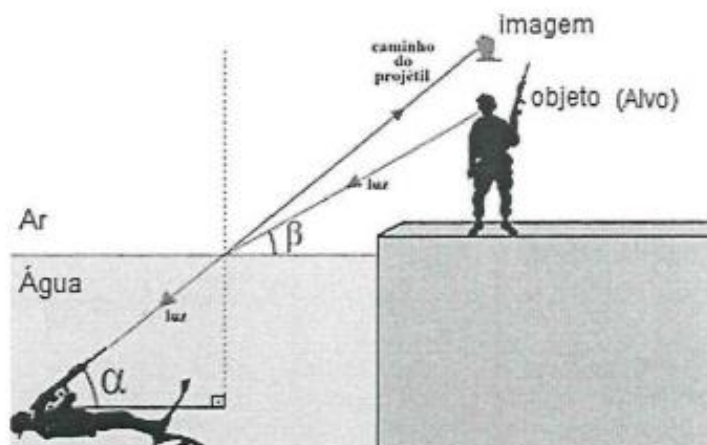
Ou seja, a imagem formada é invertida! 😊

Porém é invertida apenas no eixo vertical e não no horizontal ! 😞

Gabarito: C

16.(EAM 2018)

O Grupamento de Mergulhadores de Combate (GruMeC), subordinado ao Comando da Força de Submarinos da Marinha do Brasil (MB), é uma das mais importantes e respeitadas tropas de operações especiais do mundo, especializada em infiltração, reconhecimento, sabotagem, resgate e destruição de alvos estratégicos. Um MeC, assim como é chamado um membro do GruMeC, equipado com um fuzil de alta precisão e com um equipamento de mergulho de circuito fechado (que não solta bolhas de ar) recebe a missão de se infiltrar e eliminar o inimigo que guarnece um posto de controle.



O MeC mira o
acertar a
conforme
Considere

efeito da gravidade, que o fuzil tenha funcionado adequadamente mesmo debaixo d'água, que o tiro disparado poderia ter alcançado o inimigo que se encontrava bastante próximo e que o projétil, ao passar da água para o ar, não sofreu desvio algum em termos de direção. Qual das opções abaixo está relacionada com o fenômeno óptico mostrado na figura que ilustra esse enunciado e que deveria ter sido levado em conta pelo MeC a fim de acertar o alvo?

seu fuzil a fim de
cabeça do inimigo
mostrado na figura.
para tal desprezível o



- a) Refração da Luz.
- b) Absorção da Luz.
- c) Reflexão da Luz
- d) Reflexão Total da Luz.
- e) Dispersão da Luz.

Comentário:

O fenômeno exposto pela figura é o **fenômeno da refração da luz**, que consiste num desvio angular da trajetória da luz quando a mesma ultrapassa de um meio para o outro. (água para o ar).

Gabarito: A

17.(EEAR 2018)

Um dado, comumente utilizado em jogos, cujos números nas faces são representados pela quantidade de pontos pretos é colocado frente a dois espelhos planos que formam entre si um ângulo de 60° . Nesses espelhos é possível observar nitidamente as imagens de apenas uma das faces do dado, sendo que a soma de todos os pontos pretos observados nos espelhos, referentes a essa face, totalizam 20 pontos. Portanto, a face voltada para os espelhos que gera as imagens nítidas é a do número_____.

- a) 1
- b) 2
- c) 4
- d) 5

Comentário:

Para encontrarmos o número de imagens formadas, temos:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1 \rightarrow N = 6 - 1 = \mathbf{5 \text{ imagens}}$$

Assim, se a soma dos pontos é 20:

$$5.X = 20 \text{ pontos} \rightarrow \mathbf{X = 4 \text{ pontos por face}}$$

Gabarito: C

18.(EEAR 2018)

Uma das explicações para as lendas sobre navios fantasma advém de situações como as da foto abaixo, onde não há montagem. Tal efeito é similar ao da miragem.



O fenômeno físico associado ao descrito acima é:

- a) refração
- b) interferência da luz
- c) propagação retilínea da luz
- d) princípio da independência dos raios de luz

Comentário:



Tal efeito é característico da refração da luz, onde a luz muda(ou não) ligeiramente sua trajetória ao mudar de meio. O efeito de miragem ou navio fantasma ocorre pois, para objetos muito distantes, o ângulo de incidência na divisão dos meios se torna maior e portanto o desvio se torna mais evidente 😊

Gabarito: A

19.(EAM 2017)

A refração da luz possibilita o entendimento de muitos fenômenos comuns no nosso dia a dia, como a aparente profundidade menor de uma piscina, as miragens nas rodovias em dias quentes e o arco-íris. Sendo assim, analise as afirmativas referentes à óptica geométrica, assinalando, a seguir, a opção correta.

- I- Refração da luz é o desvio da luz ao atravessar a fronteira entre dois meios transparentes.
- II- Refração da luz é a passagem da luz de um meio transparente para outro, ocorrendo sempre uma alteração de sua velocidade de propagação.
- III- Na refração da luz, o raio refratado pode não apresentar desvio em relação ao raio incidente.

- a) Apenas a afirmativa III está correta.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- e) Apenas a afirmativa II está correta.

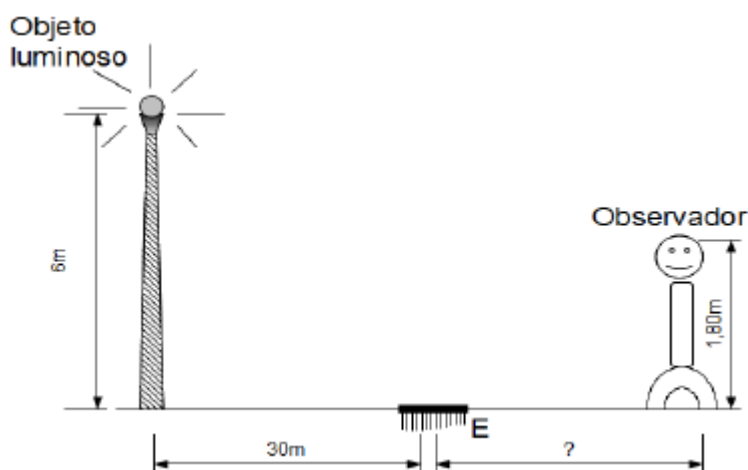
Comentário:

A refração da luz é a passagem da luz de um meio homogêneo e transparente para outro, ocorrendo sempre uma mudança de velocidade porém não necessariamente uma mudança na sua trajetória ! 😊

Gabarito: C

20.(EEAR 2017)

Um objeto luminoso é colocado no alto de um poste de 6 m de altura que está a 30 m de um pequeno espelho (E) de dimensões desprezíveis, como mostra a figura abaixo. Qual deve ser a distância, em metros, de um observador cujos olhos estão a 1,80 m do solo, para que possa ver o objeto luminoso através do espelho?

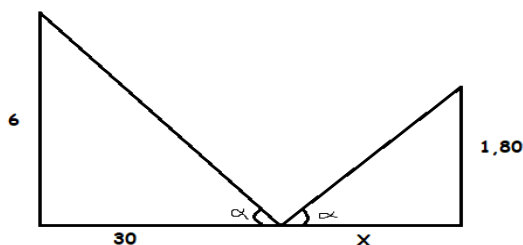


- a) 3
- b) 6
- c) 9

d) 12

Comentário:

Sabendo que a luz propaga-se em linha reta e pelo caminho de menor tempo possível (**Princípio da propagação retilínea da luz**), temos:



Pela **semelhança de triângulos**, temos:

$$\frac{6}{30} = \frac{1,80}{X} \rightarrow X = 9m$$

Gabarito: C

21. (EEAR 2010)

Um raio de luz monocromática propaga-se no ar com velocidade de $3 \cdot 10^8$ m/s. Ao penetrar num bloco de vidro reduz sua velocidade de propagação para $2 \cdot 10^8$ m/s. O índice de refração desse vidro para esse raio luminoso vale

- a) $2/3$.
- b) 1,0.
- c) 1,5.
- d) 1500.

Comentário:

Sabendo que:

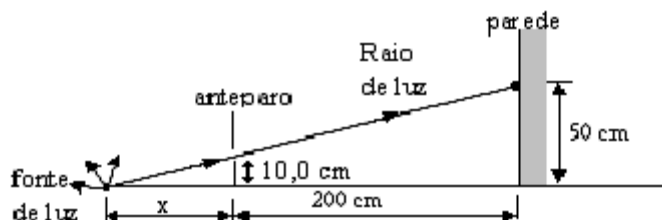
$$\begin{aligned} n &= \frac{c}{v} \\ n &= \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} \\ n &= \frac{3}{2} \\ n &= 1,5 \end{aligned}$$

Gabarito: C

22. (EEAR 2010)

Um estudante de Física coloca um anteparo com um orifício na frente de uma fonte de luz puntiforme. Quando a fonte de luz é acesa, um dos raios de luz passa pelo orifício do anteparo, que está a 10,0 cm de altura da superfície plana, e produz um ponto luminoso na parede, a 50 cm de altura da superfície, conforme a figura. Sabendo-se que a distância entre o anteparo e a parede é de 200 cm, determine a distância, em cm, entre a fonte luminosa e o anteparo.





- a) 5
- b) 25
- c) 50
- d) 75

Comentário:

Da semelhança de triângulos:

$$\frac{x}{x + 200} = \frac{10}{50} = \frac{1}{5}$$

$$5 \cdot x = x + 200$$

$$4 \cdot x = 200$$

$$x = \frac{200}{4}$$

$$x = 50 \text{ cm}$$

Gabarito: C

23. (EEAR 2010)

Uma lupa é basicamente uma lente convergente, com pequena distância focal. Colocando-se um objeto real entre o foco objeto e a lente, a imagem obtida será:

- a) real, direita e maior.
- b) virtual direita e maior.
- c) real, invertida e menor.
- d) virtual, invertida e menor.

Comentário:

Como a lente é convergente, possui foco positivo. Sabendo que:

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

Calculando p' , temos:

$$\frac{1}{p'} = \frac{p - f}{p \cdot f}$$

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

Do enunciado, temos que:

$$f > p > 0$$

Com isso, temos que:

$$p - f < 0 \text{ e } f > 0$$

E:

$$p' < 0 \rightarrow \text{Imagem Virtual}$$

Calculando o tamanho da imagem:



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

Como:

$$p - f < 0 \text{ e } f > 0$$

Temos que:

i tem o mesmo sentido de o → Imagem Direita

Analisando o módulo de i:

$$i = \frac{f}{f-p} \cdot o$$

Logo, o i é igual a o multiplicado por um fator maior que 1. Portanto

A imagem é maior que o objeto

Dessa forma, temos que a imagem é:

Virtual, direita e maior

Gabarito: B

24. (EEAR 2007)

O fenômeno do eclipse solar, que ocorre quando a Lua “cobre” o Sol, relaciona-se com o ângulo visual em que estes corpos celestes são observados. Tal efeito é uma aplicação do **princípio** da Óptica Geométrica denominado

- impenetrabilidade.
- propagação retilínea da luz.
- reflexão múltipla de superfícies.
- independência dos raios luminosos.

Comentário:

Na Óptica Geométrica, temos três princípios:

- Propagação retilínea: Em um meio homogêneo, isotrópico e transparente, a luz se propaga em linha reta.
- Independência dos raios: Quando há o cruzamento de dois raios luminosos, um não interfere na trajetória do outro, ou seja, cada um se comporta como se o outro não existisse.
- Reversibilidade dos raios: Em um meio homogêneo, isotrópico e transparente, ao inverter o sentido do raio luminoso, sua trajetória não é alterada.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra b, pois como os raios se propagam em linha reta, a Lua pode “cobrir” o Sol.

Gabarito: B

25. (EEAR 2007)



O olho humano possui diversos elementos, dentre os quais, destaca-se o cristalino, que ajusta o foco da imagem como uma lente de curvatura variável. O cristalino possui a forma de uma lente _____.

Que alternativa completa corretamente a afirmação acima?

- a) *biconvexa*
- b) *bicôncava*
- c) *plano-côncava*
- d) *plano-convexa*

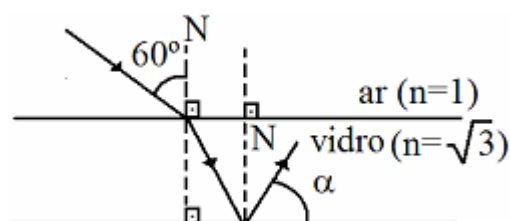
Comentário:

De um conhecimento prévio, sabemos que o cristalino possui a forma de uma lente biconvexa.

Gabarito: A

26. (EEAR 2013)

Um raio de luz monocromático passa do ar ($n=1$) para uma lâmina de vidro ($n=\sqrt{3}$), segundo um ângulo de incidência igual a 60° , em relação a uma normal (N) a superfície do vidro. Na segunda face desta lâmina, ressaltando que as faces destas lâminas são paralelas, o raio de luz é refletido, conforme pode ser visto na figura a seguir. Considerando que os meios são homogêneos, qual o valor, em graus, do ângulo α ?



- a) 30
- b) 45
- c) 60
- d) 75

Comentário:

Da Lei de Snell, temos que:

$$n_1 \cdot \text{Sen } 60^\circ = n_2 \cdot \text{Sen } \beta$$

$$1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot \text{Sen } \beta$$

$$\text{Sen } \beta = \frac{1}{2}$$

Com isso, temos que:

$$\beta = 30^\circ$$

Da geometria, temos que:

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$\alpha + 30^\circ = 90^\circ$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Gabarito: C

27. (EEAR 2013)

“Quando olho no espelho estou ficando velho e acabado”, este é o trecho de uma música. Admitindo que a ideia desta letra seja a visão da pessoa ao olhar para um espelho plano e ver sua imagem conjugada, e de acordo com os conceitos básicos de espelhos planos, é correto

afirmar que a imagem conjugada de um objeto real é sempre _____ e que o objeto e a imagem são _____ em relação ao espelho. Das alternativas a seguir, assinale a única que preenche corretamente a lacunas da frase anterior.

- a) real, simétricos
- b) real, assimétricos
- c) virtual, simétricos
- d) virtual, assimétricos

Comentário:

De um conhecimento prévio de espelhos planos, temos que a imagem é formada pelo prolongamento dos raios que saem do espelho e são simétricos. Portanto, a imagem é virtual. Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra C

Gabarito: C

28. (EEAR 2013)

Um espelho côncavo conjuga uma imagem virtual situada a 20 cm do espelho. Sabendo que a distância entre o objeto e a imagem conjugada é de 30 cm, qual a distância focal do espelho, em cm?

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 20

Comentário:

Do enunciado, temos que:

$$p' = -20 \text{ cm e } |p| + |p'| = 30 \text{ cm}$$

Dessa forma, podemos calcular a distância do objeto ao espelho:

$$\begin{aligned} |p| + |p'| &= 30 \text{ cm} \\ |p| + 20 &= 30 \\ p &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pela Equação de Gauss:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{10} + \frac{1}{-20} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{10} - \frac{1}{20} \\ \frac{1}{f} &= \frac{2}{20} - \frac{1}{20} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{20} \\ f &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Gabarito: D

29. (EEAR 2013)

Uma máquina fotográfica, de boa qualidade, consiste basicamente de uma câmara escura e de um sistema de lentes que atua como uma única lente convergente, portanto, a imagem formada pela máquina é _____, _____ e menor.



Dentre as alternativas abaixo, assinale aquela que preenche corretamente os espaços deixados acima.

- a) *real, direita*
- b) *real, invertida*
- c) *virtual, direita*
- d) *virtual, invertida*

Comentário:

De um conhecimento prévio, temos que a imagem é formada pelo cruzamento dos feixes de luz e, portanto, a imagem é real. Somado a isso, temos uma imagem invertida.

Gabarito: B

30. (EEAR 2011)

Alguns motoristas seguem o princípio de ultrapassar o carro a frente somente após se certificar de que o motorista desse outro carro o viu pelo espelho retrovisor. A situação descrita, considerando válidos os princípios da óptica geométrica, pode servir de comprovação do princípio da (o) _____ dos raios de luz.

OBS: Considere o meio homogêneo.

- a) *propagação curvilínea*
- b) *independência*
- c) *reversibilidade*
- d) *transparência*

Comentário:

Na Óptica Geométrica, temos três princípios:

- Propagação retilínea: Em um meio homogêneo, isotrópico e transparente, a luz se propaga em linha reta.

- Independência dos raios: Quando há o cruzamento de dois raios luminosos, um não interfere na trajetória do outro, ou seja, cada um se comporta como se o outro não existisse.

- Reversibilidade dos raios: Em um meio homogêneo, isotrópico e transparente, ao inverter o sentido do raio luminoso, sua trajetória não é alterada.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra c, pois como um motorista irá ver o outro, temos que a trajetória percorrida pela luz não é alterada ao inverter o sentido do raio luminoso.

Gabarito: C

31. (EEAR 2011)

Em decoração de ambientes costuma-se dizer que o uso de espelhos planos e verticais dá às pessoas, a sensação de que o ambiente é ampliado. Conhecendo os princípios de formação de imagens em espelhos planos, pode se afirmar, corretamente, que essa sensação está relacionada à visualização de imagens a uma distância sempre ____ a do objeto ao espelho plano.

- a) *igual*
- b) *menor*
- c) *2 vezes maior*
- d) *4 vezes menor*

Comentário:

De um conhecimento prévio, temos que a distância da imagem ao espelho igual à do objeto ao espelho.



Gabarito: A

32. (EEAR 2010)

Foram justapostas duas lentes, uma de distância focal igual a 5 cm e outra de convergência igual a -4 di. A distância focal da associação destas lentes, em centímetros, é dada por:

- a) 6,25
- b) 20,0
- c) -1,00
- d) -20,0

Comentário:

Calculando a distância focal da segunda lente, sabendo que:

$$C = \frac{1}{f_2}$$
$$-4 = \frac{1}{f_2}$$
$$f_2 = -\frac{1}{4} \text{ m}$$

Calculando a distância focal da associação:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{5} + \frac{1}{-\frac{100}{4}}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{5} - \frac{4}{100}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{5} - \frac{1}{25}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{5}{25} - \frac{1}{25}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{4}{25}$$
$$f = \frac{25}{4}$$
$$f = 6,25 \text{ cm}$$

Gabarito: A

33. (EEAR 2010)

Uma lente plano-convexa tem o raio de curvatura da face convexa igual a 20 cm. Sabendo que a lente está imersa no ar ($n=1$) e que sua convergência é de 2,5 di, determine o valor do índice de refração do material que constitui essa lente.

- a) 1,25
- b) 1,50
- c) 1,75
- d) 2,00

Comentário:

Calculando a distância focal da lente, sabendo que:

$$C = \frac{1}{f}$$



$$2,5 = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{2}{5} m$$

Pela Equação dos Fabricantes, temos:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{Lente}}{n_{Meio}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$2,5 = \left(\frac{n_{Lente}}{1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{0,2} \right)$$

$$2,5 \cdot 0,2 = (n_{Lente} - 1)$$

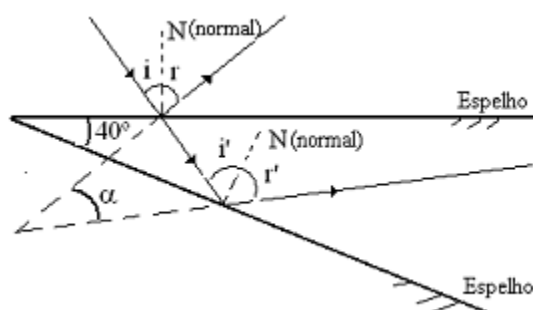
$$0,5 = (n_{Lente} - 1)$$

$$n_{Lente} = 1,5$$

Gabarito: B

34. (EEAR 2012)

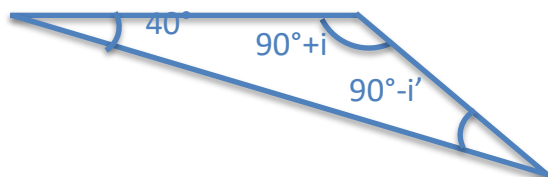
Um estudante de Física, utilizando um apontador laser, um espelho plano e um transferidor, deseja estudar o fenômeno de rotação de um espelho plano. Admitindo que um único raio de luz monocromática incide sob o espelho, e que o estudante faz com que o espelho sofra uma rotação de 40° , conforme pode ser visto na figura, qual será o valor, em graus, do ângulo, α , de rotação do raio refletido.



- a) 10
- b) 20
- c) 40
- d) 80

Comentário:

Do problema, temos:

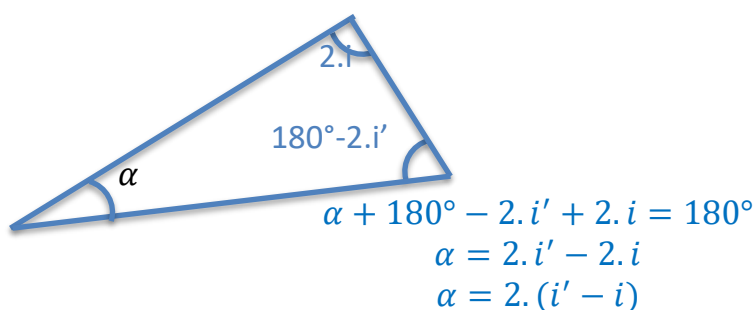


$$40^\circ + 90^\circ + i + 90^\circ - i' = 180^\circ$$

$$40 + i - i' = 0$$

$$i' - i = 40^\circ$$

Desenhando o outro triângulo, sabendo que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência:



Com isso, temos:

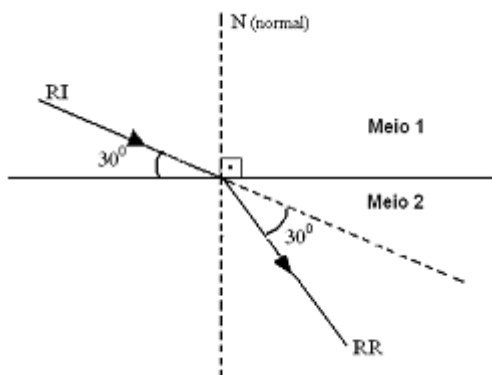
$$\alpha = 2 \cdot 40^\circ$$

$$\alpha = 80^\circ$$

Gabarito: D

35. (EEAR 2012)

Um raio de luz monocromática (RI) passa do meio 1 para o meio 2, sofrendo, em relação ao raio refratado (RR), um desvio de 30° , conforme mostrado na figura. Determine o índice de refração do meio 2, sabendo que o meio 1 é o ar, cujo índice de refração vale 1.



- a) $1/2$
- b) 2
- c) $\sqrt{3}$
- d) $\sqrt{3}/2$

Comentário:

Da Lei de Snell, sabendo que o ângulo da fórmula é o ângulo entre o raio e a normal:

$$n_1 \cdot \text{Sen } i = n_2 \cdot \text{Sen } r$$

$$1 \cdot \text{Sen } (90^\circ - 30^\circ) = n_2 \cdot \text{Sen } (90^\circ - 30^\circ - 30^\circ)$$

$$\text{Sen } 60^\circ = n_2 \cdot \text{Sen } (90^\circ - 60^\circ)$$

$$\text{Sen } 60^\circ = n_2 \cdot \text{Sen } 30^\circ$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = n_2 \cdot \frac{1}{2}$$

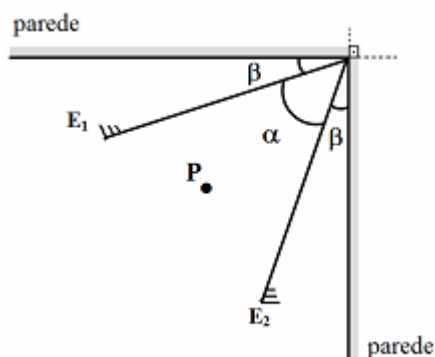
$$n_2 = \sqrt{3}$$

Gabarito: C

36. (EEAR 2015)



Dois espelhos planos, E1 e E2, são colocados no canto de uma sala, de maneira que o vértice do ângulo formado pelos espelhos coincide com o do ângulo reto formado pelas paredes. Os espelhos planos formam um ângulo α entre si e ângulos iguais a β com as paredes, conforme é mostrado na figura a seguir. Quando um objeto P é colocado entre as superfícies refletoras dos espelhos planos formam-se 9 imagens. Portanto, o ângulo β , em graus, tem valor de:



- a) 25
- b) 27
- c) 36
- d) 54

Comentário:

Sabendo que o número de imagens pode ser calculado da seguinte forma:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$
$$9 = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$
$$10 = \frac{360^\circ}{\alpha}$$
$$\alpha = 36^\circ$$

Dessa forma, temos:

$$\alpha + 2 \cdot \beta = 90^\circ$$
$$36^\circ + 2 \cdot \beta = 90^\circ$$
$$2 \cdot \beta = 54^\circ$$
$$\beta = \frac{54^\circ}{2}$$
$$\beta = 27^\circ$$

Gabarito: B

37. (EEAR 2006)

A lente convergente de um projetor cinematográfico tem distância focal de 20 cm e ampliação de 150 vezes. Das alternativas abaixo, aquela que fornece o comprimento mínimo da sala de projeção para que a imagem esteja nítida, em metros, é

- a) 10,2
- b) 15,1
- c) 20,4
- d) 30,2

Comentário:

Sabendo que a imagem de um projetor é invertida, temos:



$$i = -150 \cdot o$$

Relacionando a distância da imagem e a distância do objeto:

$$\begin{aligned}\frac{i}{o} &= -\frac{p'}{p} \\ \frac{-150 \cdot o}{o} &= -\frac{p'}{p} \\ 150 &= \frac{p'}{p} \\ p &= \frac{p'}{150}\end{aligned}$$

Da Equação de Gauss, temos:

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \\ \frac{1}{0,2} &= \frac{1}{\frac{p'}{150}} + \frac{1}{p'} \\ \frac{1}{0,2} &= \frac{150}{p'} + \frac{1}{p'} \\ \frac{1}{0,2} &= \frac{151}{p'} \\ p' &= 30,2m\end{aligned}$$

Gabarito: D

38. (EEAR 2007)

Um relojoeiro utiliza uma lupa, de distância focal igual a 10 cm, para consertar um relógio. Determine a que distância, em cm, do centro óptico da lupa, sobre o eixo principal, deve ser colocado o relógio, para que a imagem deste seja ampliada em quatro vezes.

- a) 2,5
- b) 7,5
- c) 12,5
- d) 40,0

Comentário:

Sabendo que a imagem da lupa é direita, temos:

$$i = 4 \cdot o$$

Relacionando a distância da imagem e a distância do objeto:

$$\begin{aligned}\frac{i}{o} &= -\frac{p'}{p} \\ \frac{4 \cdot o}{o} &= -\frac{p'}{p} \\ 4 &= -\frac{p'}{p} \\ p' &= -4 \cdot p\end{aligned}$$

Da Equação de Gauss, temos:

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



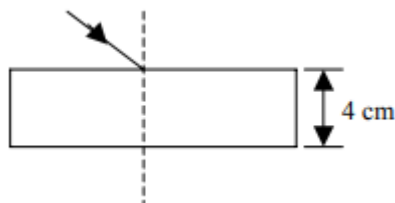
$$\begin{aligned}\frac{1}{10} &= \frac{1}{p} - \frac{1}{4 \cdot p} \\ \frac{1}{10} &= \frac{1}{4 \cdot p} - \frac{1}{4 \cdot p} \\ \frac{1}{10} &= \frac{3}{4 \cdot p} \\ p &= \frac{30}{4} \\ p &= 7,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Gabarito: B

39. (EEAR 2008)

Um raio luminoso monocromático incide numa lâmina de faces paralelas, imersa no ar ($n=1$), segundo um ângulo de 60° com a normal à superfície. Sendo de 4 cm a espessura da lâmina, cujo material tem índice de refração de valor igual a $\sqrt{3}$, determine o tempo, em segundos, gasto pela luz para atravessar a lâmina.

Dado: adote velocidade da luz no ar = $3 \cdot 10^8$ m/s



- a) $\frac{3}{8} \cdot 10^{-8}$
- b) $\frac{8}{3} \cdot 10^{-8}$
- c) $\frac{8}{3} \cdot 10^{-10}$
- d) $\frac{8\sqrt{3}}{3} \cdot 10^{-10}$

Comentário:

Da Lei de Snell, temos:

$$\begin{aligned}n_1 \cdot \text{Sen } i &= n_2 \cdot \text{Sen } r \\ 1 \cdot \text{Sen } 60^\circ &= \sqrt{3} \cdot \text{Sen } r \\ \frac{\sqrt{3}}{2} &= \sqrt{3} \cdot \text{Sen } r \\ \text{Sen } r &= \frac{1}{2}\end{aligned}$$

Com isso, temos que:

$$r = 30^\circ$$

Calculando a distância percorrida pela luz:

$$\begin{aligned}\text{Cos } 30^\circ &= \frac{4 \cdot 10^{-2}}{d} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} &= \frac{4 \cdot 10^{-2}}{d} \\ d &= \frac{8 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{3}} \text{ m}\end{aligned}$$



Calculando a velocidade da luz dentro da lâmina:

$$n = \frac{c}{v}$$
$$\sqrt{3} = \frac{3 \cdot 10^8}{v}$$
$$v = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{3}} \text{ m/s}$$

Agora, podemos calcular o tempo gasto para atravessar a lâmina:

$$v = \frac{d}{t}$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{3}} = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{t}$$
$$t = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{\frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{3}}}$$
$$t = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^8}$$
$$t = \frac{8}{3} \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

Gabarito: C

40. (EEAR 2016)

Um cidadão coloca um relógio marcando 12:25 (doze horas e vinte e cinco minutos) de cabeça para baixo de frente para um espelho plano, posicionando-o conforme mostra a figura.

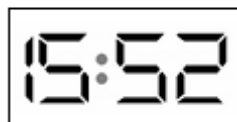


Qual a leitura feita na imagem formada pela reflexão do relógio no espelho?

- a) 12:25
- b) 25:51
- c) 15:52
- d) 25:12

Comentário:

Ao passar a imagem pelo espelho, teremos o seguinte resultado:



Logo, a leitura indicada pela reflexão é:

15:52

Gabarito: C

Considerações Finais

Querido aluno(a),

Se você está com certo receio em algum tópico, reveja toda a teoria e depois refaça os exercícios propostos. Uma valiosa dica é fazer a lista inteira e só depois olhar o gabarito com a resolução. Com isso, você se forçará a ter uma maior atenção na feitura de questões e, portanto, aumentará sua concentração no momento de prova.

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,

Vinícius Fulconi



@viniciusfulconi



vinicius.fulconi



Referências

[1] Tópicos da física 2: Volume 2 - Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Boas - 21. Ed - São Paulo : Saraiva, 2012.

