

Definições e elementos

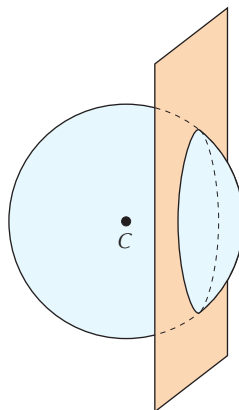
» Objetivo

► Conhecer os espelhos esféricos, côncavos e convexos, e seus elementos geométricos.

» Termos e conceitos

- calota esférica
- ponto autoconjugado

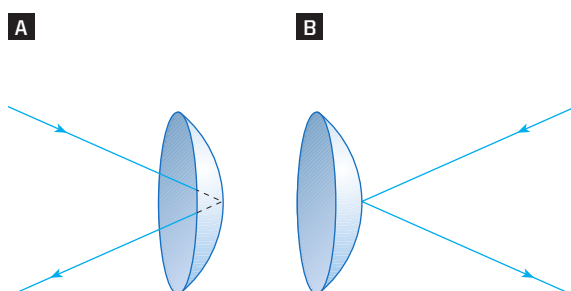
Um plano, ao cortar uma superfície esférica, divide-a em duas partes denominadas **calotas esféricas** (fig. 1).



« Figura 1. Um plano, ao cortar uma superfície esférica, divide-a em duas calotas.

Espelho esférico é uma calota esférica na qual uma das superfícies é refletora.

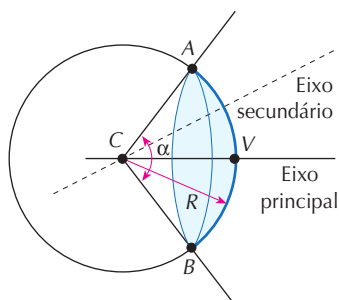
Quando a superfície refletora é a interna, o espelho é denominado **côncavo** (fig. 2A); quando a superfície refletora é a externa, o espelho é chamado **convexo** (fig. 2B).



« Figura 2. (A) Espelho côncavo: superfície refletora interna; (B) espelho convexo: superfície refletora externa.

Os elementos geométricos (fig. 3) que caracterizam um espelho esférico são:

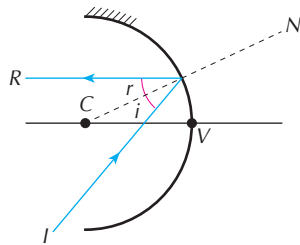
- **centro de curvatura do espelho** (C): o centro da superfície esférica da qual a calota faz parte;
- **raio de curvatura do espelho** (R): o raio da superfície esférica da qual a calota faz parte;
- **vértice do espelho** (V): o polo da calota;
- **eixo principal do espelho**: a reta definida pelo centro de curvatura e pelo vértice;
- **eixo secundário do espelho**: qualquer reta que passe pelo centro de curvatura, mas não pelo vértice;
- **abertura do espelho** (α): o ângulo plano determinado pelos eixos secundários que passam por pontos, A e B , diametralmente opostos, do contorno do espelho;
- **plano frontal**: qualquer plano perpendicular ao eixo principal;
- **plano meridiano**: qualquer plano que contenha o eixo principal.



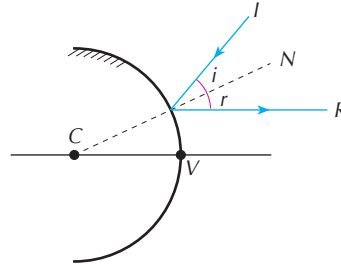
« Figura 3.

Em geral consideramos raios de luz situados todos no mesmo plano meridiano (que pode ser o próprio plano do papel) e, assim, representamos os espelhos pela interseção do citado plano meridiano com a calota esférica (figs. 4A e 4B).

A espelho côncavo



B espelho convexo



◀ **Figura 4.**
I: raio incidente;
R: raio refletido;
N: normal no ponto
de incidência.



▶ **A** superfície interna da colher (fig. A) comporta-se, opticamente, como um espelho côncavo. Já a superfície externa (fig. B) comporta-se como um espelho convexo.

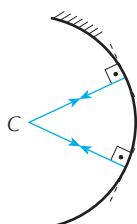
Observe que **tudo raio de luz que incide sobre o espelho, numa direção que passa pelo centro da curvatura, reflete sobre si mesmo** (fig. 5). Essa propriedade decorre do fato de que os raios que incidem sobre o espelho, passando pelo centro da curvatura, coincidem com as normais ao espelho nos pontos de incidência.

Na **figura 5A** o ponto **C** é definido pela interseção efetiva de raios incidentes sobre o espelho, tratando-se de um ponto-objeto real. Ao mesmo tempo, o ponto **C** é definido pela interseção efetiva de raios emergentes do espelho, sendo também ponto-imagem real.

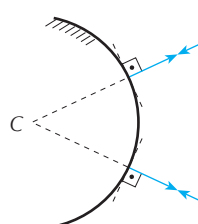
O ponto **C** da **figura 5B** é, ao mesmo tempo, objeto virtual e imagem virtual (interseção de prolongamentos).

O ponto **C**, que é ao mesmo tempo objeto e imagem, chama-se **ponto autoconjugado**.

A espelho côncavo



B espelho convexo



◀ **Figura 5.**
O centro de curvatura
C é autoconjugado,
ou seja, é ao mesmo
tempo objeto e
imagem.

» **Objetivos**

- Definir as condições de nitidez de Gauss para os espelhos esféricos.
- Conhecer os focos e as principais propriedades dos espelhos esféricos de Gauss.

» **Termos e conceitos**

- foco principal
- foco secundário

Espelhos esféricos de Gauss

Os espelhos esféricos apresentam, em geral, imagens sem nitidez (a imagem de um ponto luminoso é uma mancha luminosa) e deformadas (a imagem de um objeto plano não é plana).

Por meio de experiências, Gauss observou que, se os raios incidentes sobre o espelho obedecessem a certas condições, as imagens seriam obtidas com maior nitidez e sem deformações apreciáveis.

As **condições de nitidez** de Gauss são as seguintes:

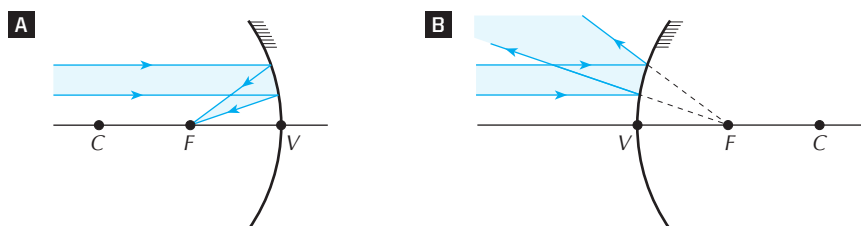
Os raios incidentes sobre o espelho devem ser paralelos ou pouco inclinados em relação ao eixo principal e próximos dele (raios para-axiais).

Em termos práticos, as condições de nitidez de Gauss significam que a parte realmente útil do espelho esférico é uma pequena região em torno do vértice, isto é, a abertura útil do espelho é pequena ($\alpha < 10^\circ$). Os espelhos esféricos em que raios incidentes obedecem às condições de nitidez de Gauss são denominados **espelhos esféricos de Gauss**.

Estudaremos neste curso apenas os espelhos esféricos de Gauss. Nos esquemas seguintes, a região útil desses espelhos aparece ampliada para facilitar as construções geométricas.

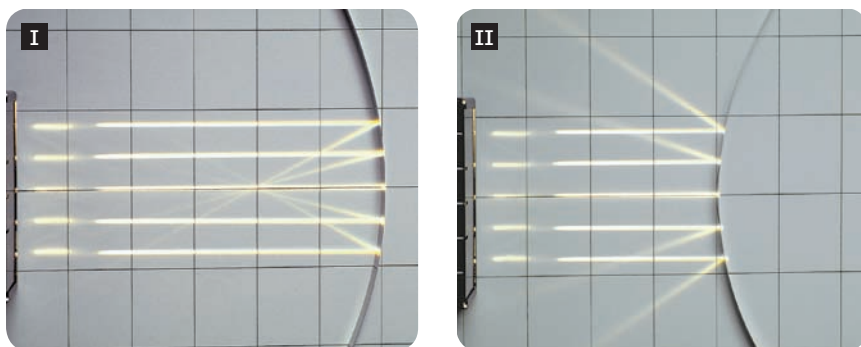
1 Focos de um espelho esférico de Gauss

Quando um feixe de raios paralelos incide sobre um espelho esférico de Gauss paralelamente ao eixo principal, ele origina um feixe refletido convergente, no caso do espelho côncavo (**fig. 6A**), ou divergente, quando o espelho é convexo (**fig. 6B**). O vértice F de tal feixe situa-se no eixo principal e é denominado **foco principal** do espelho esférico.



▲ **Figura 6.** O ponto F é o foco principal do espelho esférico.

O **foco principal F é real nos espelhos côncavos** (interseção efetiva) e **virtual nos convexas** (interseção de prolongamentos).



Feixe paralelo ao eixo principal incidindo num espelho esférico. O foco principal é real no espelho côncavo (I) e virtual no convexo (II). ►

Quando um feixe de raios paralelos incide sobre um espelho esférico paralelamente a um de seus eixos secundários, ele origina um feixe refletido convergente, no caso do espelho côncavo (fig. 7A), ou divergente, quando o espelho é convexo (fig. 7B). O vértice F_s de tal feixe situa-se nesse eixo secundário e constitui um dos **focos secundários** do espelho esférico.

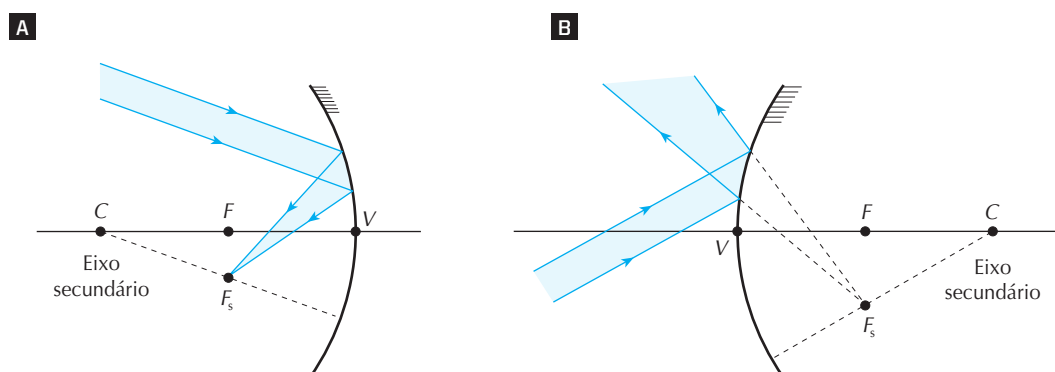


Figura 7. O ponto F_s é um foco secundário do espelho esférico.

O foco principal e os focos secundários pertencem a um plano frontal denominado **plano focal** (figs. 8A e 8B).

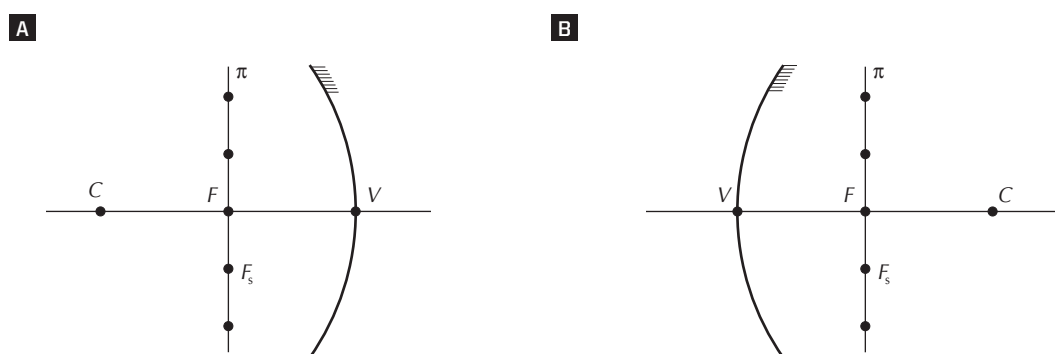


Figura 8. O plano focal π contém o foco principal e os focos secundários.

Nos espelhos esféricos de Gauss o **foco principal F** situa-se aproximadamente no **ponto médio do segmento determinado pelo centro de curvatura C e pelo vértice V** (veja demonstração no quadro a seguir).

Demonstração: F é o ponto médio de $\overline{CV}$

Da figura observamos que:

$\alpha = i$ (ângulos alternos e internos)

$r = i$ (pela lei da reflexão)

Sendo assim, concluímos que o triângulo CIF é isósceles:

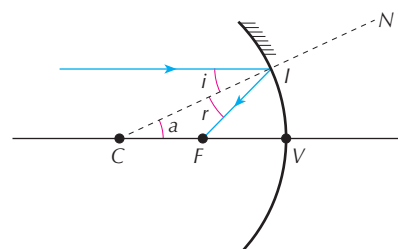
$$CF = FI \quad ①$$

Para que o espelho satisfaça as condições de nitidez de Gauss, I deve estar bem próximo de V ; consequentemente:

$$FI \approx FV \quad ②$$

Substituindo ② em ①, obtemos:

$$CF \approx FV$$



F é o ponto médio de $\overline{CV}$

Propriedades dos espelhos esféricos de Gauss

Em vista dos conceitos apresentados, podemos enunciar o comportamento de alguns raios de luz ao se refletirem na superfície de um espelho esférico.

- a) Todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal é refletido numa direção que passa pelo foco principal (fig. 9).**

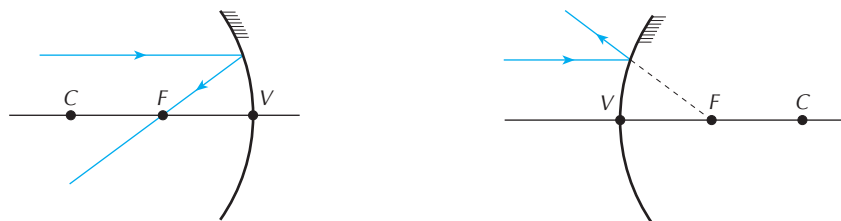


Figura 9.

A passagem do raio de luz pelo foco principal é efetiva, no espelho côncavo, e em prolongamentos, no convexo.

Considerando o princípio da reversibilidade, podemos enunciar:

- b) Todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo foco principal é refletido paralelamente ao eixo principal (fig. 10).**

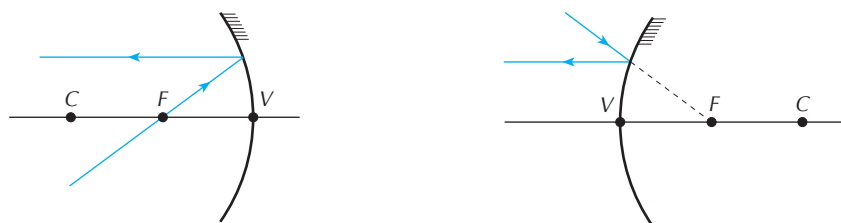


Figura 10.

- c) Todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo centro de curvatura é refletido sobre si mesmo (fig. 11).**



Figura 11.

- d) Todo raio de luz que incide sobre o vértice do espelho é refletido simetricamente em relação ao eixo principal (fig. 12).**

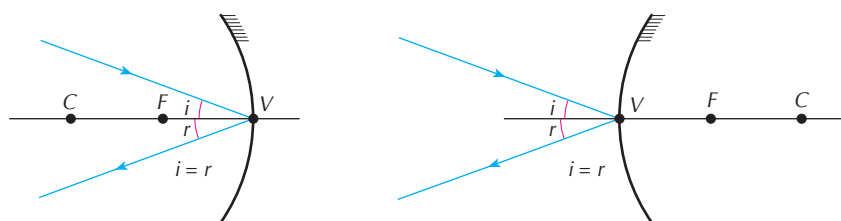


Figura 12.

Carl Friedrich Gauss

Carl Friedrich Gauss (1777-1855) é considerado um dos maiores gênios que a humanidade já conheceu. Matemático, astrônomo e físico alemão, realizou importantes estudos nessas áreas do conhecimento. Consta que, aos dez anos, seu professor da escola primária pediu aos alunos que somassem os números inteiros de um a cem. Imediatamente após ter sido feita a pergunta, Gauss deu a resposta, 5050. Provavelmente ele tenha usado a propriedade de simetria dos termos de uma progressão aritmética:

$$\begin{aligned}(1 + 100) + (2 + 99) + (3 + 98) + \dots + (50 + 51) &= \\ = 101 + 101 + 101 + \dots + 101 &= 101 \times 50 = 5050\end{aligned}$$

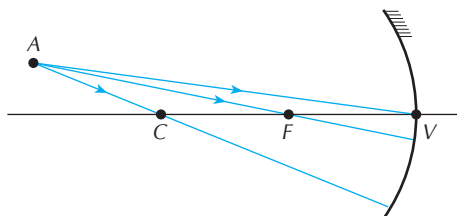
Suas contribuições no campo da Matemática compreendem desde os fundamentos da Teoria das Medidas e dos Erros até as ferramentas de Cálculo, que se tornaram fundamentais ao desenvolvimento do Eletromagnetismo. Dedicou-se, também, à Mecânica Celeste, sendo professor de Astronomia e diretor do Observatório da Universidade de Göttingen, cargo em que permaneceu por quase meio século. Envolveu-se em detalhes na construção de novos equipamentos do Observatório, o que o levou a resultados importantes no campo da óptica e acerca das propriedades dos espelhos esféricos. Em 1840, estabeleceu a teoria das lentes, apresentando o conceito de distância focal e desenvolvendo fórmulas que possibilitam determinar as posições e os tamanhos das imagens conjugadas pelas lentes.



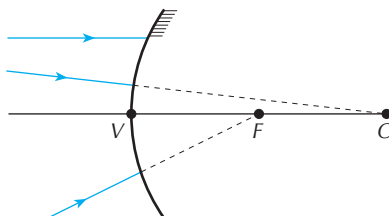
Retrato de Carl Friedrich Gauss.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 257** Considere um espelho esférico côncavo de centro de curvatura C , foco principal F e vértice V . Sejam os raios incidentes AV , AF e AC . Refaça a figura dada e represente os correspondentes raios refletidos.



- P. 258** Considere o espelho esférico convexo de centro de curvatura C , foco principal F e vértice V . Refaça a figura dada e, a cada raio de luz incidente, represente o correspondente raio de luz refletido.



- P. 259** Um estudante utiliza um espelho esférico côncavo para concentrar raios solares e acender uma vela. Onde o pavio da vela deve estar localizado – no vértice V , no foco principal F ou no centro de curvatura C ? Faça uma figura representando o espelho, os raios solares incidentes e os raios refletidos.
- P. 260** Um farol é formado por uma calota espelhada esférica e uma lâmpada. Que tipo de espelho esférico deve ser usado, e em que posição deve estar a lâmpada na frente do espelho, para que o feixe de luz seja o mais paralelo possível? Esquematize a situação.



Seção 12.3

Objetivos

► Construir geometricamente as imagens de um objeto real nos espelhos esféricos côncavos e convexos.

► Analisar as características das imagens fornecidas pelos espelhos côncavos e convexos.

Termos e conceitos

- imagem real
- imagem virtual
- imagem direita
- imagem invertida
- imagem imprópria

A calota de um automóvel funciona como um espelho convexo. A imagem é deformada, pois não são obedecidas as condições de Gauss. ►



Construção geométrica de imagens

Consideremos um ponto-objeto A colocado na frente de um espelho esférico de Gauss (côncavo ou convexo). O ponto-imagem A' conjugado pelo espelho é determinado pela interseção de pelo menos dois raios refletidos correspondentes a dois raios incidentes provenientes de A , conforme as figuras 13A e 13B.

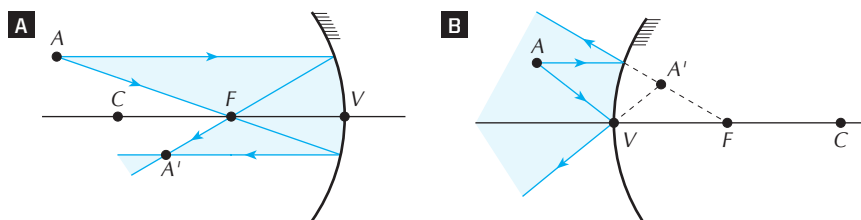


Figura 13.

A imagem $\overline{A'B'}$ de um objeto retilíneo e frontal $\overline{AB}$, com B pertencente ao eixo principal, é, nos espelhos esféricos de Gauss, retilínea e frontal, com B' pertencente ao eixo principal (figs. 14A e 14B).

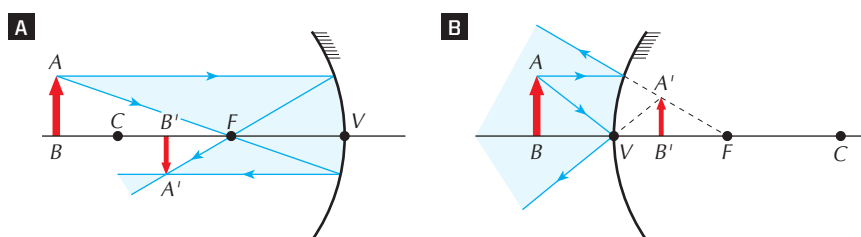


Figura 14. $\overline{AB}$ é objeto real, isto é, objeto luminoso ou iluminado situado diante da superfície refletora do espelho.

A figura 14A mostra-nos que a imagem $\overline{A'B'}$ é definida pelo cruzamento efetivo de raios refletidos, sendo, portanto, **real** (imagem na “frente” do espelho). A figura 14B mostra-nos que a imagem $\overline{A'B'}$ é definida pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos, sendo, portanto, **virtual** (imagem “atrás” do espelho). Na figura 14B, a imagem $\overline{A'B'}$, em relação ao objeto, é **direita**, pois ambos estão no mesmo semiplano determinado pelo eixo principal. Na figura 14A, a imagem $\overline{A'B'}$ é **invertida** em relação ao objeto, pois estão em semiplanos opostos.

Nessas condições a imagem $\overline{A'B'}$ que um **espelho esférico convexo** fornece de um objeto real $\overline{AB}$, conforme se observa na figura 14B, para qualquer que seja a distância do objeto ao espelho, é sempre:

VIRTUAL, DIREITA E MENOR.

A imagem de um objeto real fornecida por um espelho esférico convexo é virtual, direita e menor. ►



A imagem que um **espelho esférico côncavo** fornece de um objeto real tem características diversas, conforme a posição deste relativamente ao centro de curvatura e ao foco do espelho. Assim, podemos ter cinco diferentes posições do objeto e, por conseguinte, cinco tipos diferentes de imagens:

- 1ª) **Objeto além do centro de curvatura** – A figura 15 nos mostra que a imagem está entre o foco F e o centro de curvatura C e é:

REAL, INVERTIDA e MENOR que o objeto.

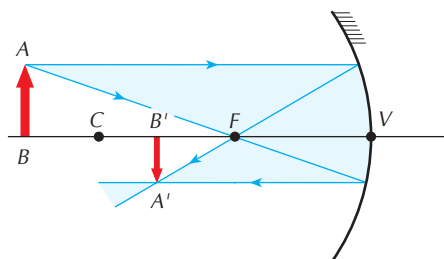


Figura 15. Objeto além do centro de curvatura.



- 2ª) **Objeto sobre o centro de curvatura** – A imagem formada (fig. 16) está sobre o centro de curvatura C e é:

REAL, INVERTIDA e de MESMO TAMANHO que o objeto.

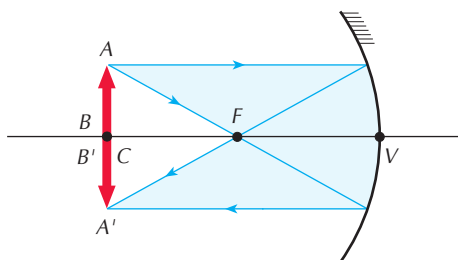


Figura 16. Objeto sobre o centro de curvatura.



- 3ª) **Objeto entre o centro de curvatura e o foco** – A imagem formada (fig. 17) está além do centro de curvatura C e é:

REAL, INVERTIDA e MAIOR que o objeto.

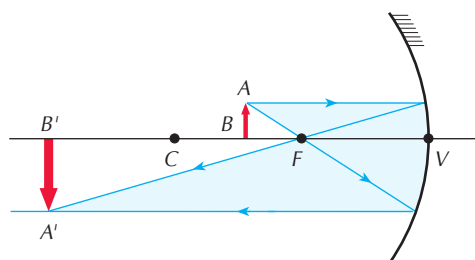


Figura 17. Objeto entre o centro de curvatura e o foco.



4ª) **Objeto no plano focal** – Nesse caso, os raios refletidos são paralelos (fig. 18). Dizemos que a imagem é:

IMPRÓPRIA (imagem no infinito).

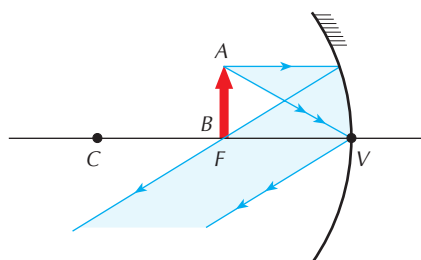


Figura 18. Objeto no plano focal.

5ª) **Objeto entre o foco e o vértice** – A imagem formada (fig. 19) está atrás do espelho, sendo:

VIRTUAL, DIREITA e MAIOR que o objeto.

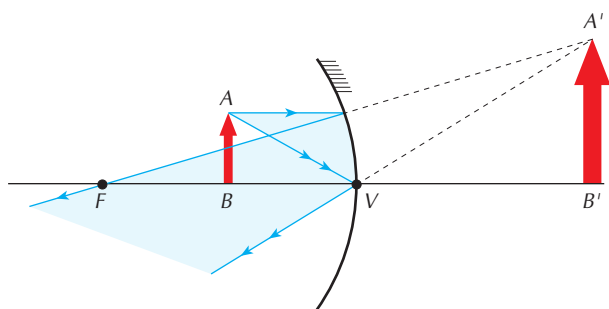


Figura 19. Objeto entre o foco e o vértice.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De todas as construções feitas podemos concluir:

- a imagem real de um objeto real é invertida;
- a imagem virtual de um objeto real é direita;
- quando o objeto se desloca, a imagem também se desloca, mas em sentido oposto;
- o elemento (objeto ou imagem) que estiver mais próximo do espelho será menor.

Deve-se destacar que:

Somente as imagens reais, por serem formadas pelos próprios raios de luz, podem ser projetadas em anteparos.

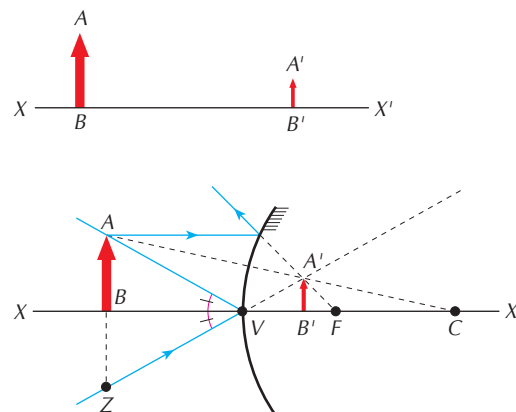
Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/index.html#optics> (acesso em agosto/2009), você encontra animações e textos (em inglês) sobre a formação de imagens em espelhos esféricos. No endereço eletrônico <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/esfericos/esfericos.htm> (acesso em agosto/2009), você pode arrastar um objeto (com o mouse) e verificar como mudam as características da imagem conjugada por um espelho esférico.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 79 No esquema, $\overline{AB}$ é um objeto real e $\overline{A'B'}$ é sua imagem fornecida por um espelho esférico de eixo principal XX' . Determine graficamente a posição do espelho, do centro de curvatura e do foco principal.

Solução:

O vértice V do espelho foi encontrado invertendo-se o objeto e unindo-se o extremo da imagem A' com o extremo Z do objeto invertido. A reta obtida corta o eixo XX' no ponto V . A justificativa de tal construção advém da propriedade **d**, do item 2 da seção 12.2 deste capítulo (página 266). Como a imagem é direita e menor, concluímos que o espelho é convexo. O foco F foi encontrado traçando-se pelo extremo do objeto um raio paralelo ao eixo principal. O raio refletido, que tem seu prolongamento passando pelo extremo A' da imagem, determina, no eixo principal, o foco F . O centro de curvatura C é obtido ligando-se os extremos superiores A e A' do objeto e da imagem.



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 261 A figura representa um objeto $\overline{AB}$ e sua imagem $\overline{A'B'}$, ambos reais, obtida com o auxílio de um espelho esférico, de eixo principal ab .

- Qual é a natureza do espelho?
- Determine graficamente a posição do espelho, seu foco principal e seu centro de curvatura.



P. 262 Um objeto linear AB é colocado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico côncavo de centro de curvatura C , foco principal F e vértice V .

- Associe as colunas:

Posição do objeto

- entre F e V
- entre F e C
- além de C

Características da imagem

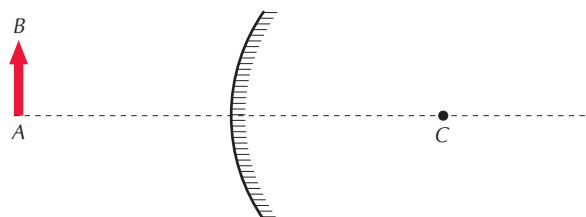
- real, invertida e maior que o objeto
- real, invertida e menor que o objeto
- virtual, direita e maior que o objeto

- Represente esquematicamente o espelho, o objeto e a imagem conjugada, para cada posição do objeto descrita no item anterior. Nessas esquemas, mostre os raios utilizados.

P. 263 Um objeto está situado a 30 cm de um espelho esférico côncavo. A correspondente imagem tem a mesma altura do objeto. Qual é a distância do foco F ao vértice V do espelho?

P. 264 A imagem de um objeto que está a 20 cm de um espelho esférico côncavo tem a mesma altura do objeto. Em seguida, afasta-se o objeto de modo que ele fique a uma grande distância do espelho. A que distância do espelho se forma a imagem do objeto nessa situação?

P. 265 (PUC-MG) Usando **apenas** dois raios notáveis, determine graficamente a imagem do objeto $\overline{AB}$ formada pelo espelho convexo esférico de centro de curvatura C .



» Objetivos

► Conhecer o referencial de Gauss.

► Analisar os sinais das abscissas do objeto e do foco principal, de acordo com o referencial de Gauss.

► Expressar a relação entre as abscissas da imagem, do objeto e a distância focal do espelho por meio da equação de Gauss.

► Conceituar aumento linear transversal e analisar seu sinal considerando a imagem direita ou invertida.

» Termos e conceitos

- eixo das abscissas
- eixo das ordenadas
- referencial de Gauss para espelho esférico
- distância focal do espelho

Estudo analítico dos espelhos esféricos

1 O referencial de Gauss

Na construção de imagens, vimos que um espelho esférico conjuga, a um objeto real, uma imagem real ou virtual, invertida ou direita, maior ou menor que o objeto, de acordo com a posição do objeto e com o tipo de espelho.

Dadas a posição e a altura de um objeto real relativamente a um espelho esférico, a posição e a altura da imagem podem ser determinadas analiticamente. Para isso adotaremos o seguinte sistema de coordenadas (fig. 20):

- **origem:** vértice do espelho;
- **eixo das abscissas:** direção do eixo principal e sentido contrário ao da luz incidente;
- **eixo das ordenadas:** direção da perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente.

Esse sistema constitui o **referencial de Gauss**.

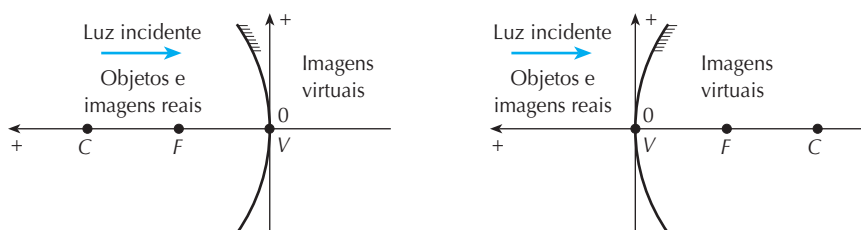


Figura 20. Referencial de Gauss.

Nesse sistema de coordenadas, **objetos e imagens reais** (situados *em frente* ao espelho) terão **abscissas positivas**. Já as **imagens virtuais** (situadas *atrás* do espelho) terão **abscissas negativas**.

Indicando-se por p e p' , respectivamente, as abscissas do objeto e da imagem, resulta:

Objeto real: $p > 0$
 Imagem real: $p' > 0$
 Imagem virtual: $p' < 0$

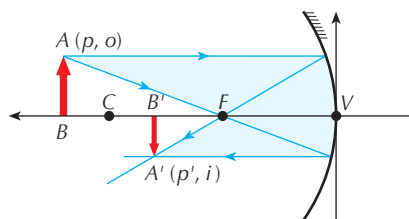
As abscissas f do foco F e R do centro de curvatura C são positivas para espelhos côncavos (F e C *em frente* ao espelho) e negativas para espelhos convexos (F e C *atrás* do espelho).

Espelho côncavo: $f > 0$; $R > 0$
 Espelho convexo: $f < 0$; $R < 0$

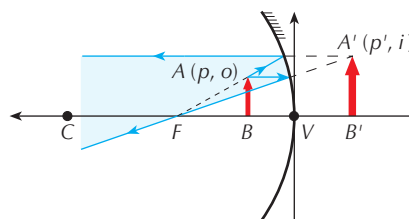
A abscissa f do foco F é denominada **distância focal do espelho**. Lembrando que nos espelhos de Gauss o foco principal F situa-se no ponto médio do segmento determinado pelo centro de curvatura C e pelo vértice V , resulta:

$$FV = \frac{CV}{2} \Rightarrow f = \frac{R}{2}$$

O extremo A do objeto e o extremo A' da imagem (**fig. 21**) terão ordenadas positivas ou negativas, conforme estejam acima ou abaixo do eixo principal.



(A) o é positivo e i é negativo em relação ao referencial de Gauss.



(B) o e i são positivos em relação ao referencial de Gauss.

▲ **Figura 21.** Ordenadas de objeto e imagem.

Indicando-se essas ordenadas por o e i , respectivamente, resulta:

i e o têm mesmo sinal: imagem direita em relação ao objeto.
 i e o têm sinais contrários: imagem invertida em relação ao objeto.

2 Equação dos pontos conjugados (equação de Gauss)

É a equação que relaciona a abscissa do objeto (p), a abscissa da imagem (p') e a distância focal do espelho (f):

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

No quadro abaixo está a demonstração feita para uma posição particular do objeto em relação a um espelho côncavo, mas essa demonstração é válida para qualquer posição do objeto em relação a qualquer espelho esférico de Gauss, côncavo ou convexo.

Considerando que $R = 2f$, a equação de Gauss também pode ser escrita como segue:

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Demonstração da equação dos pontos conjugados

Levando-se em conta as condições de nitidez de Gauss, podemos considerar o ponto I muito próximo de V e o trecho IV retilíneo e igual a AB . A semelhança entre os triângulos ① e ② e entre ③ e ④ nos fornece:

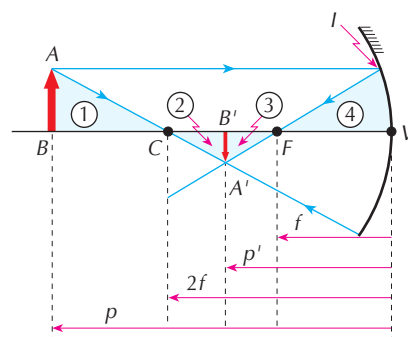
$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{2f - p'}{p - 2f} \quad \text{e} \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{p' - f}{f}$$

Igualando, obtemos:

$$\frac{2f - p'}{p - 2f} = \frac{p' - f}{f} \Rightarrow p \cdot p' = p \cdot f + f \cdot p'$$

Dividindo ambos os membros por $p \cdot p' \cdot f$, resulta:

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



3 Aumento linear transversal

É, por definição, a relação: $A = \frac{i}{o}$

O aumento linear transversal relaciona-se (como é mostrado no quadro abaixo) com as abscissas p e p' do objeto e da imagem, segundo a fórmula:

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

$A > 0$ significa:

- i e o têm mesmo sinal: imagem direita;
- p e p' têm sinais opostos: sendo o objeto real ($p > 0$), a imagem é virtual ($p' < 0$).

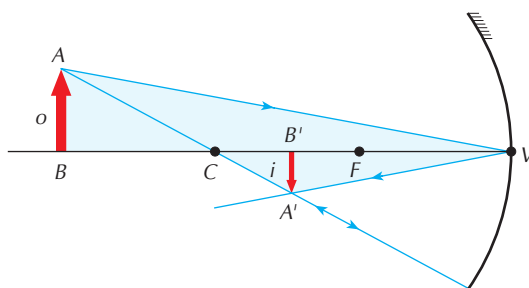
$A < 0$ significa:

- i e o têm sinais opostos: imagem invertida;
- p e p' têm mesmo sinal: sendo o objeto real ($p > 0$), a imagem é real ($p' > 0$).

Não vamos considerar os casos em que o objeto é virtual, uma vez que sua ocorrência somente se verifica quando são associados sistemas ópticos.

Demonstração da equação do aumento linear transversal

A semelhança entre os triângulos ABV e $A'B'V$ permite-nos escrever: $\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'V}{BV}$



Mas: $B'V = p'$; $BV = p$; $AB = o$; $A'B' = -i$

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

Podemos deduzir outra fórmula para o aumento linear transversal, tirando o valor de p' da equação dos pontos conjugados e substituindo na fórmula do aumento linear transversal:

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

Em $A = -\frac{p'}{p}$, resulta: $A = -\left(\frac{f \cdot p}{p-f}\right) \frac{1}{p} \Rightarrow A = \frac{f}{f-p}$



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: Aplicações dos espelhos esféricos
Simulador: Lentes e espelhos

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 80 Num anteparo a 30 cm de um espelho esférico forma-se a imagem nítida de um objeto real situado a 10 cm do espelho. Determine:

- a natureza do espelho;
- a distância focal e o raio de curvatura do espelho.

Solução:

a) A imagem obtida é real porque somente as imagens reais podem ser projetadas em anteparos.

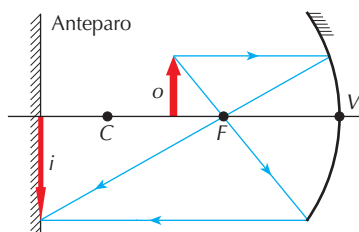
Sendo objeto e imagem reais, o espelho é côncavo.

b) A posição do anteparo em relação ao espelho fornece a abscissa da imagem: $p' = 30$ cm. A abscissa do objeto é $p = 10$ cm. Aplicando a equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{30} \Rightarrow \boxed{f = 7,5 \text{ cm}}$$

Como $R = 2f$, vem:

$$\boxed{R = 15 \text{ cm}}$$



Respostas: a) côncavo; b) 7,5 cm e 15 cm

R. 81 Um observador, estando a 20 cm de distância de um espelho esférico, vê sua imagem direita e ampliada três vezes. Determine:

- o tipo de espelho;
- sua distância focal.

Solução:

a) O espelho que fornece imagem direita e maior é um espelho côncavo.

b) A abscissa do objeto é $p = 20$ cm. A imagem, sendo direita (aumento linear A positivo) e três vezes maior, resulta: $A = 3$.

Da expressão $A = -\frac{p'}{p}$, obtemos:

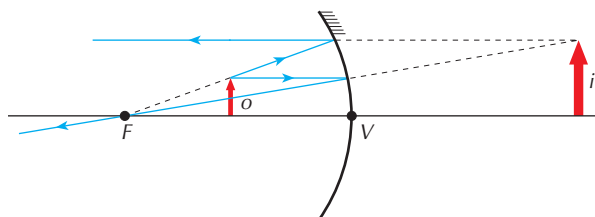
$$3 = -\frac{p'}{20} \Rightarrow p' = -60 \text{ cm}$$

O sinal negativo de p' significa que a imagem é virtual.

A equação dos pontos conjugados nos fornece:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{-60} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3-1}{60} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{2}{60} \Rightarrow \boxed{f = 30 \text{ cm}}$$

Observe que f resultou positivo, confirmando que o espelho é côncavo. Esquematicamente, temos:



Observação:

Poderíamos determinar a distância focal do espelho sem calcular p' , usando diretamente a segunda fórmula do aumento linear (A):

$$A = \frac{f}{f - p} \Rightarrow 3 = \frac{f}{f - 20} \Rightarrow 3f - 60 = f \Rightarrow \boxed{f = 30 \text{ cm}}$$

Respostas: a) côncavo; b) 30 cm



- R. 82** Um espelho esférico conjuga, de um objeto situado a 30 cm dele, uma imagem direita três vezes menor que o objeto. Determine:
- o tipo de espelho;
 - sua distância focal;
 - a distância da imagem ao espelho.

Solução:

- O espelho que fornece imagem direita e menor é convexo. Essa imagem é virtual.
- A abscissa do objeto é $p = 30$ cm. A imagem, sendo direita (aumento linear A positivo) e três vezes menor, resulta: $A = \frac{1}{3}$.

$$\text{De } A = \frac{f}{f - p}, \text{ obtemos: } \frac{1}{3} = \frac{f}{f - 30} \Rightarrow 3f = f - 30 \Rightarrow \boxed{f = -15 \text{ cm}}$$

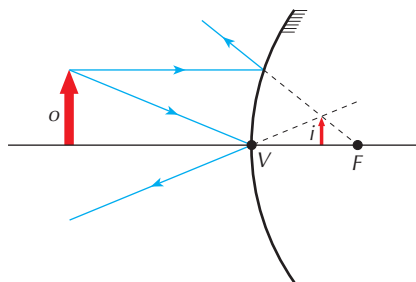
Observe que f é negativo, confirmando que o espelho é convexo.

- Podemos calcular p' pela equação dos pontos conjugados ou pela fórmula do aumento linear transversal. Utilizando a segunda possibilidade, obtemos:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{1}{3} = -\frac{p'}{30} \Rightarrow \boxed{p' = -10 \text{ cm}}$$

A imagem se forma a 10 cm do espelho e é virtual.

Esquematicamente, temos:



Respostas: a) convexo; b) -15 cm; c) 10 cm

- R. 83** Em um espelho esférico, a distância entre um objeto e sua imagem (ambos reais) mede 30 cm. Sabendo que o objeto apresenta altura quatro vezes superior à da imagem, determine o raio de curvatura do espelho.

Solução:

Sendo objeto e imagem reais, o espelho é côncavo. Como a imagem é quatro vezes menor que o objeto e invertida, resulta para o aumento linear:

$$A = -\frac{1}{4}$$

Como $A = -\frac{p'}{p}$, temos:

$$-\frac{1}{4} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p = 4p' \quad \textcircled{1}$$

Sendo de 30 cm a distância entre o objeto e a imagem, resulta:

$$p - p' = 30 \text{ cm} \quad \textcircled{2}$$

De ① e ② temos:

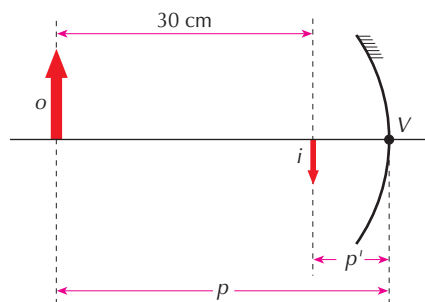
$$p = 40 \text{ cm} \text{ e } p' = 10 \text{ cm}$$

A equação dos pontos conjugados nos fornece:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{40} + \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1+4}{40} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{5}{40} \Rightarrow f = 8 \text{ cm}$$

$$\text{De } R = 2f, \text{ obtemos: } R = 2 \cdot 8 \Rightarrow \boxed{R = 16 \text{ cm}}$$

Resposta: 16 cm



- R. 84** Um espelho convexo, cuja distância focal mede 10 cm em módulo, está situado a 20 cm de um espelho côncavo de distância focal igual a 20 cm. Os espelhos estão montados coaxialmente e as superfícies refletoras se defrontam. Coloca-se um objeto no ponto médio do segmento que une os vértices dos dois espelhos. Localize a imagem fornecida pelo espelho convexo ao receber os raios luminosos que partem do objeto e são refletidos pelo espelho côncavo.

Solução:

A imagem fornecida pelo espelho convexo pode ser obtida graficamente como está representado ao lado. Ao objeto o o espelho côncavo E_1 conjuga a imagem i_1 . Essa imagem funciona como objeto em relação ao espelho convexo E_2 , o qual conjuga a imagem i_2 .

Espelho côncavo:

Aplicando a equação dos pontos conjugados ao espelho côncavo, podemos localizar a imagem i_1 .

Assim, temos: $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1}$, sendo $f_1 = 20$ cm e $p_1 = 10$ cm; portanto:

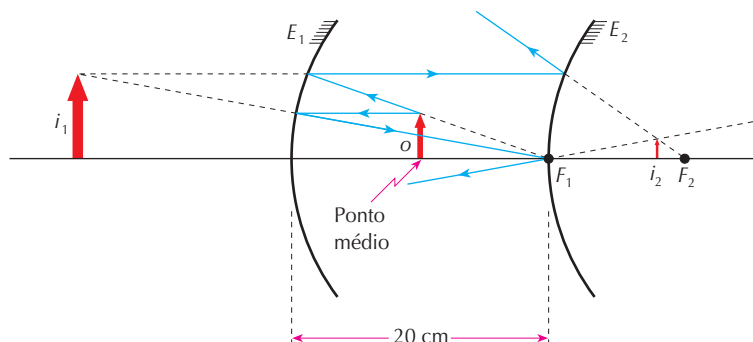
$$\frac{1}{20} = \frac{1}{10} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{1-2}{20} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{-1}{20} \Rightarrow p'_1 = -20 \text{ cm}$$

Espelho convexo:

A imagem i_1 funciona como objeto em relação ao espelho convexo. A abscissa de i_1 para o espelho convexo é $p_2 = 40$ cm. Sendo $f_2 = -10$ cm a distância focal do espelho convexo, podemos localizar a imagem i_2 :

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{-10} = \frac{1}{40} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{p'_2} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'_2} = \frac{-4-1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'_2} = \frac{-5}{40} \Rightarrow p'_2 = -8 \text{ cm}$$

Resposta: A imagem final i_2 está a 8 cm do espelho convexo e é virtual.



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 266** Um objeto real situa-se a 9 cm de um espelho esférico. A imagem correspondente é real e se forma a 18 cm do espelho. Determine:
- o tipo de espelho;
 - a distância focal e o raio de curvatura do espelho.
- P. 267** De um objeto real colocado a 80 cm de um espelho esférico, este produz uma imagem virtual a 40 cm do espelho. Determine:
- o tipo de espelho;
 - o raio de curvatura do espelho;
 - o aumento linear transversal da imagem.
- P. 268** (Olimpíada Paulista de Física) Um objeto de 4 cm de altura é colocado a 30 cm de um espelho côncavo, cuja distância focal é de 10 cm. Pergunta-se:
- Qual é a distância da imagem até o espelho?
 - A imagem é real ou virtual?
 - É direita ou invertida?
 - Qual é o tamanho da imagem?

- P. 269** A que distância de um espelho esférico côncavo, de distância focal 30 cm, deve-se colocar um objeto de 2 cm de altura para que sua imagem seja virtual e tenha 6 cm de altura?
- P. 270** Um objeto está a 15 cm de um espelho esférico convexo, cujo raio de curvatura tem valor absoluto igual a 10 cm.
- A que distância do espelho se forma a imagem?
 - Se o objeto tem 2 cm de altura, qual é a altura da imagem?
- P. 271** Utilizando-se um espelho esférico côncavo, projeta-se sobre uma parede a imagem de uma vela aumentada quatro vezes. A vela está a 3 m da parede. Determine a distância focal do espelho.
- P. 272** (Fuvest-SP) A imagem de um objeto forma-se a 40 cm de um espelho côncavo com distância focal de 30 cm. A imagem formada situa-se sobre o eixo principal do espelho, é real, invertida e tem 3 cm de altura.
- Determine a posição do objeto.
 - Construa o esquema referente à questão, representando objeto, imagem, espelho e raios utilizados e indicando as distâncias envolvidas.

- P. 273** (Vunesp) Um palhaço, para maquiarse, utiliza um espelho esférico que aumenta em duas vezes a imagem do seu rosto, quando ele se coloca a 5 cm do espelho.
- Qual é o raio de curvatura desse espelho?
 - Que tipo de espelho esférico está usando?
 - Represente esquematicamente o espelho, posicionando, no eixo principal, o objeto, a imagem e os elementos geométricos desse espelho esférico.

- P. 274** Dois espelhos esféricos de raios iguais a 60 cm, um côncavo e outro convexo, são associados coaxialmente, com as superfícies refletoras se defrontando. De um mesmo objeto situado em um plano frontal entre os espelhos, o côncavo produz uma imagem real a 40 cm de distância de seu vértice e o convexo produz uma imagem a 20 cm de seu vértice. Determine a distância entre os espelhos.

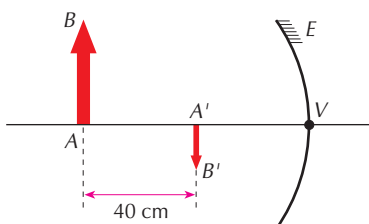
EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

- P. 275** (UFMG) Um espelho côncavo tem raio de curvatura igual a 24 cm. Um objeto de 4 cm de altura é colocado 48 cm à frente desse espelho.
- A que distância do espelho se forma a imagem?
 - Que se pode dizer a respeito da natureza e do tamanho dessa imagem?

- P. 276** (UFPA) Ao tentar comprar um espelho odontológico, um odontólogo obtém as seguintes informações técnicas, fornecidas por um vendedor: o espelho A é côncavo e possui raio de curvatura igual a 6,0 cm, enquanto o espelho B difere de A apenas pelo raio de curvatura, que é igual a 4,0 cm. A ampliação, no entanto, parâmetro de extrema importância para o profissional de odontologia, depende da distância do espelho ao dente. Para fins de comparação, o odontólogo considera que os espelhos são colocados a 1,0 cm do dente a ser observado. Então, após alguns cálculos, ele decide comprar o de maior ampliação. Qual foi o espelho comprado pelo odontólogo? Justifique sua resposta com os cálculos necessários.

- P. 277** (UFRJ) Para evitar acidentes de trânsito, foram instalados espelhos convexos em alguns cruzamentos. A experiência não foi bem-sucedida porque, como os espelhos convexos fornecem imagens menores, perde-se completamente a noção de distância. Para perceber esse efeito, suponha que um objeto linear seja colocado a 30 m de um espelho convexo de 12 m de raio de curvatura, perpendicularmente a seu eixo principal.
- A que distância do espelho convexo seria vista a imagem desse objeto?
 - Se substituíssemos o espelho convexo por um espelho plano, a que distância desse espelho seria vista a imagem daquele objeto?

- P. 278** (Faap-SP) Considere a figura abaixo e determine o raio de curvatura do espelho esférico E, sabendo-se que o tamanho do objeto AB é o triplo de sua imagem A'B'.



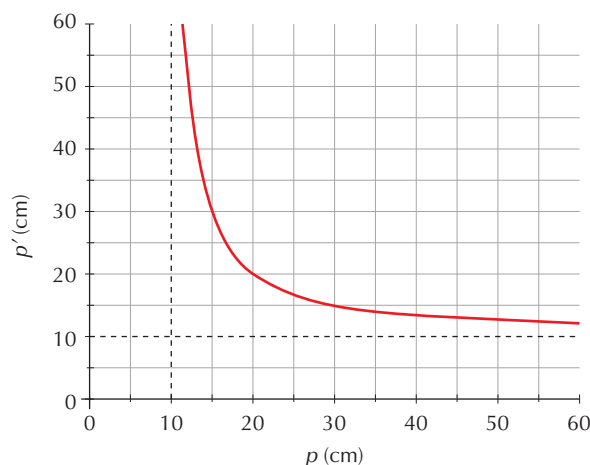
- P. 279** Um objeto de 6 cm de altura está frontalmente colocado a 30 cm diante de um espelho esférico, de modo que a imagem formada é três vezes menor que o objeto. Determine a distância focal do espelho e o tamanho da imagem, nas duas situações seguintes:

- o espelho é côncavo;
- o espelho é convexo.

- P. 280** Um objeto situado diante de um espelho esférico côncavo produz uma imagem invertida com altura correspondente ao triplo da do objeto. Sendo 28 cm a distância do objeto à imagem, determine:

- a distância focal do espelho;
- as distâncias da imagem e do objeto ao foco principal.

- P. 281** (Olimpíada Brasileira de Física) Parte do gráfico da distância-imagem, p' , em função da distância-objeto, p , medidas ao longo do eixo principal de um espelho esférico, é mostrada abaixo.



Determine:

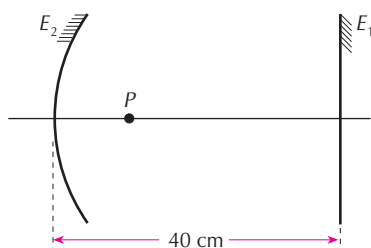
- a distância focal do espelho;
 - o tipo de espelho (se côncavo ou convexo).
- Se a distância-objeto for igual a 5 cm, determine:
- a distância-imagem;
 - o aumento linear transversal;
 - a natureza da imagem (se real ou virtual, direita ou invertida).



P. 282 (UFU-MG) Uma superfície esférica (calota esférica) é espelhada em ambos os lados, podendo, portanto, comportar-se como um espelho côncavo ou convexo. Ao afastar-se um objeto real, inicialmente muito próximo à face côncava, percebe-se que a imagem conjugada pelo espelho “desaparece” quando o objeto encontra-se a 15 cm da superfície esférica. Responda:

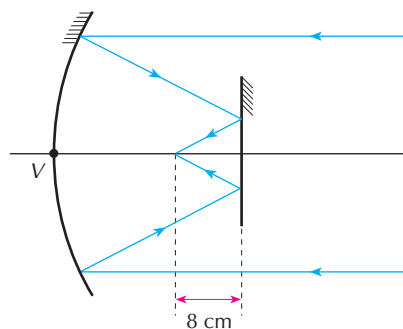
- Qual é o valor do raio de curvatura da superfície esférica?
- Estando o objeto defronte da superfície convexa e distante 10 cm dela, qual será o aumento linear da imagem conjugada?

P. 283 Na figura abaixo, o espelho E_2 tem raio de curvatura igual a 30 cm. Considere que a luz proveniente de P sofra inicialmente a reflexão em E_1 e, em seguida, em E_2 .



Determine a que distância de E_1 deve ser colocado o ponto P para que a imagem final de P coincida com P .

P. 284 (UFRJ) Um espelho côncavo de 50 cm de raio e um pequeno espelho plano estão frente a frente. O espelho plano está disposto perpendicularmente ao eixo principal do côncavo. Raios luminosos paralelos ao eixo principal são refletidos pelo espelho côncavo; em seguida, refletem-se também no espelho plano e tornam-se convergentes num ponto do eixo principal distante 8 cm do espelho plano, como mostra a figura.



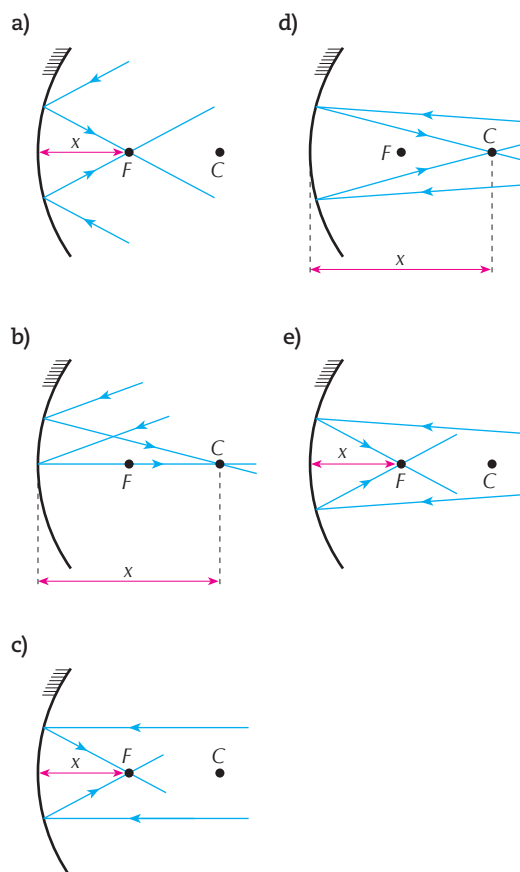
Calcule a distância do espelho plano ao vértice V do espelho côncavo.

TESTES PROPOSTOS

T. 252 (UFF-RJ) Um projeto que se beneficia do clima ensolarado da caatinga nordestina é o fogão solar, que transforma a luz do sol em calor para o preparo de alimentos. Esse fogão é constituído de uma superfície côncava revestida com lâminas espelhadas que refletem a luz do sol. Depois de refletida, a luz incide na panela, apoiada sobre um suporte a uma distância x do ponto central da superfície. Suponha que a superfície refletora seja um espelho esférico de pequena abertura, com centro de curvatura C e ponto focal F .



O esquema que representa a situação descrita está indicado na alternativa:



T. 253 (UFRRN) Deodora, aluna da 4ª série do ensino fundamental, ficou confusa na feira de ciências de sua escola, ao observar a imagem de um boneco em dois espelhos esféricos. Ela notou que, com o boneco colocado a uma mesma distância do vértice dos espelhos, suas imagens produzidas por esses espelhos apresentavam tamanhos diferentes, conforme mostrado nas figuras I e II, reproduzidas abaixo.



Figura I.



Figura II.

Observando-se as duas imagens, é correto afirmar:

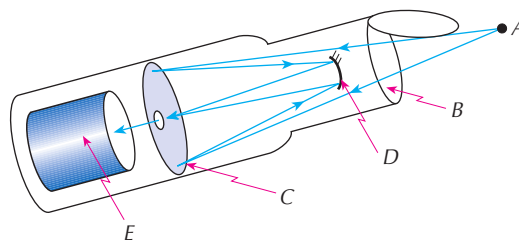
- o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é convexo e o boneco está entre o foco e o vértice desse espelho.
- o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é côncavo e o boneco está entre o centro de curvatura e o foco desse espelho.
- o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é côncavo e o boneco está entre o foco e o vértice desse espelho.
- o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é convexo e o boneco está entre o centro de curvatura e o foco desse espelho.

T. 254 (Unisinos-RS)

O caminho da luz

A luz do objeto observado A entra no Hubble através de seu topo B e é refletida pelo espelho primário C. Depois disso é refletida no espelho secundário D, que a concentra na base do telescópio E, onde estão os instrumentos científicos de análise.

(Folha de S.Paulo, 25/04/1990)



No dia 24-04-1990 foi colocado em órbita o telescópio Hubble. Entre os instrumentos de observação, monitoração e análise estão dois espelhos de 2,4 m e 0,3 m de diâmetro.

A respeito de espelhos esféricos, afirma-se que:

- todo raio de luz que incide no espelho passando pelo seu centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.
- todo raio de luz que incide no vértice do espelho reflete-se simetricamente em relação ao eixo principal do espelho.
- todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal do espelho reflete-se passando pelo centro de curvatura do espelho.

Das afirmativas:

- somente I é correta.
- somente II é correta.
- somente I e II são corretas.
- somente I e III são corretas.
- I, II e III são corretas.

T. 255 (Fatec-SP) Uma menina observa a imagem de seu rosto em um espelho esférico convexo. À medida que ela aproxima o rosto do espelho, a imagem que ela vê:

- aumenta de tamanho, mantendo-se sempre direita.
- aumenta de tamanho, mas se inverte a partir de determinada distância do espelho.
- diminui de tamanho, mantendo-se sempre direita.
- diminui de tamanho, mantendo-se sempre invertida.
- aumenta de tamanho até certa distância do espelho, a partir da qual passa a diminuir.

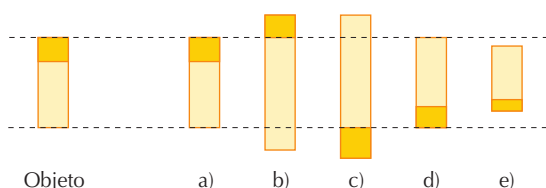
T. 256 Um objeto real é aproximado de um espelho côncavo, partindo de uma posição situada além do centro de curvatura, indo até o plano focal. Quanto à imagem, podemos afirmar que:

- diminui de tamanho, aproxima-se do espelho e tem sempre natureza virtual.
- aumenta de tamanho, afasta-se do espelho e tem sempre natureza virtual.
- aumenta de tamanho, afasta-se do espelho e tem sempre natureza real.
- apresenta sempre o mesmo tamanho.
- nenhuma das anteriores.

T. 257 (PUC-Campinas-SP) Um objeto real desloca-se do plano focal no sentido do vértice de um espelho côncavo. Com relação à sua imagem, podemos afirmar que:

- aumenta de tamanho, aproxima-se do espelho e é real.
- diminui de tamanho, aproxima-se do espelho e é real.
- diminui de tamanho, aproxima-se do espelho e é virtual.
- diminui de tamanho, afasta-se do espelho e é real.
- aumenta de tamanho, afasta-se do espelho e é virtual.

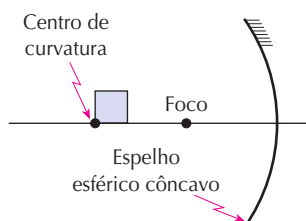
T. 258 (UFSM-RS) O objeto desenhado do lado esquerdo das figuras é colocado entre o centro de curvatura e o foco de um espelho esférico côncavo. A figura que melhor representa a imagem formada está na alternativa:



T. 259 (Vunesp) Uma pessoa observa a imagem de seu rosto refletida numa concha de cozinha semiesférica perfeitamente polida em ambas as faces. Enquanto na face côncava a imagem do rosto dessa pessoa aparece:

- invertida e situada na superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita, também situada na superfície.
- invertida e à frente da superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita e atrás da superfície.
- direita e situada na superfície da concha, na face convexa ela aparecerá invertida e atrás da superfície.
- direita e atrás da superfície da concha, na face convexa ela aparecerá também direita, mas à frente da superfície.
- invertida e atrás da superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita e à frente da superfície.

T. 260 (Olimpíada Brasileira de Física) Um quadrado está localizado sobre o eixo principal de um espelho esférico côncavo, como ilustrado na figura a seguir.



Sabe-se que o vértice inferior esquerdo do quadrado está localizado exatamente sobre o centro de curvatura do espelho.

Pode-se afirmar que a imagem do quadrado tem a forma de um:

- quadrado.
- retângulo.
- losango.
- triângulo.
- trapézio.

T. 261 (Cesgranrio-RJ) Um estudante coloca um pequeno cartaz (fig. I) bem próximo e defronte de um espelho esférico côncavo (fig. II). Assim fazendo, ele consegue observar a imagem do cartaz formada “dentro” do espelho.

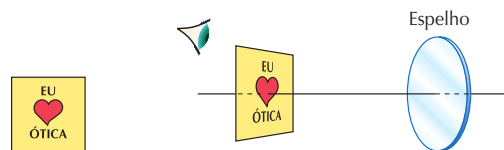
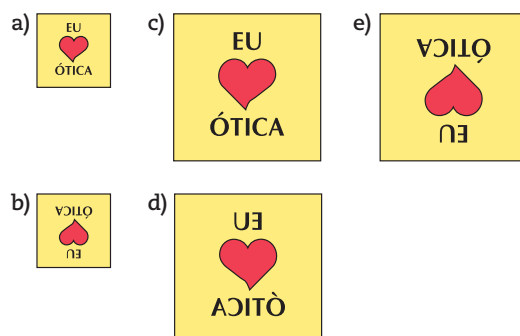


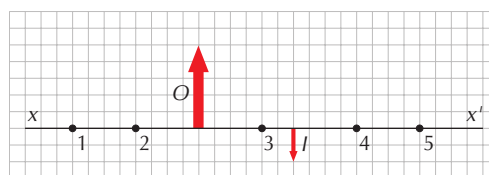
Figura I.

Figura II.

Qual das opções abaixo melhor representa essa imagem, tal como é vista pelo estudante?



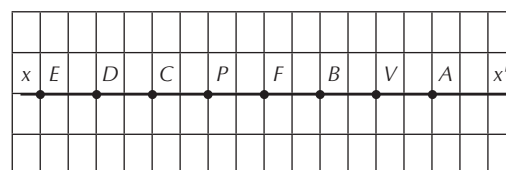
T. 262 (UEL-PR) Na figura abaixo estão representados um objeto O e sua imagem I conjugada por um espelho esférico côncavo, cujo eixo principal é xx' .



De acordo com a figura, o vértice do espelho está localizado no ponto:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

T. 263 (Unifor-CE) O esquema abaixo representa, em escala, o eixo principal xx' de um espelho esférico côncavo, situado em V, cujo foco principal é F.



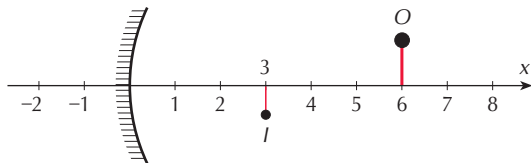
Um objeto real é colocado em P. A sua imagem, conjugada pelo espelho, situa-se em:

- A
- B
- C
- D
- E

T. 264 (ITA-SP) Um jovem estudante, para fazer a barba mais eficientemente, resolve comprar um espelho esférico que aumente duas vezes a imagem do seu rosto quando ele se coloca a 50 cm dele. Que tipo de espelho ele deve usar e com qual raio de curvatura?

- Convexo com $R = 50$ cm.
- Côncavo com $R = 200$ cm.
- Côncavo com $R = 33,3$ cm.
- Convexo com $R = 67$ cm.
- Um espelho diferente dos mencionados.

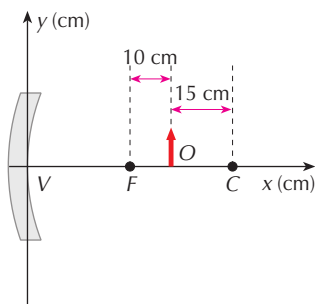
- T. 265** (UFF-RJ) A figura abaixo representa um objeto O e sua imagem I formada por um espelho côncavo. O eixo do espelho coincide com o eixo x , que está graduado em centímetros.



Se o objeto for deslocado para a posição $x = 1$ cm, a posição de sua nova imagem será, em cm:

- a) -2
b) -1
c) $0,5$
d) 1
e) 2
- T. 266** (PUC-Campinas-SP) Um objeto, de $2,0$ cm de altura, é colocado a 20 cm de um espelho esférico. A imagem que se obtém é virtual e possui $4,0$ mm de altura. O espelho utilizado é:
- a) côncavo, de raio de curvatura igual a 10 cm.
b) côncavo e a imagem se forma a $4,0$ cm do espelho.
c) convexo e a imagem obtida é invertida.
d) convexo, de distância focal igual a $5,0$ cm, em módulo.
e) convexo e a imagem se forma a 30 cm do objeto.

- T. 267** (Mackenzie-SP) Um objeto real O está diante de um espelho esférico côncavo de Gauss, conforme ilustra a figura abaixo.



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

- a) 25 cm
b) 30 cm
c) $32,5$ cm
d) $52,5$ cm
e) $87,5$ cm
- T. 268** (Vunesp) A imagem do Sol é formada em um espelho esférico côncavo, de distância focal igual a 1 metro. Considerando a distância do Sol à Terra 250 vezes maior que o diâmetro do Sol, o diâmetro da imagem formada será:
- a) 250 m
b) 40 m
c) 4 m
d) $4 \cdot 10^{-1}$ m
e) $4 \cdot 10^{-3}$ m

- T. 269** (UFU-MG) A distância entre uma lâmpada e sua imagem projetada em um anteparo por um espelho esférico é 30 cm. A imagem é quatro vezes maior que o objeto. Podemos afirmar que:

- a) o espelho é convexo.
b) a distância da lâmpada ao espelho é 40 cm.
c) a distância do espelho ao anteparo é 10 cm.
d) a distância focal do espelho é 7 cm.
e) o raio de curvatura do espelho é 16 cm.

- T. 270** (UEM-PR) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura igual a 40 cm. Um objeto retilíneo está colocado na frente do espelho, perpendicular ao seu eixo principal. Considerando que a altura do objeto é 2 cm e que ele dista 60 cm do espelho, assinale o que for correto.

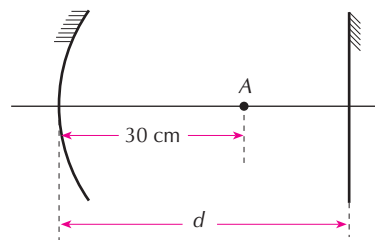
- 01) O objeto está colocado a 40 cm do foco do espelho.
02) A imagem produzida pelo espelho dista 20 cm do objeto.
04) A imagem produzida pelo espelho é virtual.
08) A imagem produzida pelo espelho é maior do que o objeto.
16) A imagem produzida pelo espelho é direita em relação ao objeto.
32) O aumento linear transversal (amplificação) é $-0,5$.
64) Se o objeto estivesse colocado a 40 cm do vértice do espelho, a imagem produzida seria real, invertida em relação ao objeto e teria 2 cm de altura.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as proposições corretas.

- T. 271** (UFG-GO) Um espelho côncavo, cujo raio de curvatura mede 20 cm, fornece uma imagem de um objeto colocado entre o centro de curvatura e o foco principal. Se afastarmos o objeto 5 cm do espelho, sua imagem se formará a 20 cm do vértice. A distância primitiva do objeto ao espelho é:

- a) 10 cm
b) 20 cm
c) 30 cm
d) 40 cm
e) 15 cm

- T. 272** (ITA-SP) Um espelho plano está colocado na frente de um espelho côncavo, perpendicularmente ao eixo principal. Uma fonte luminosa A , centrada no eixo principal entre os dois espelhos, emite raios que se refletem sucessivamente sobre os dois espelhos e formam, sobre a própria fonte A , uma imagem real dela. O raio de curvatura do espelho é 40 cm e a distância do centro da fonte A até o vértice do espelho esférico é de 30 cm.



A distância d do espelho plano até o centro do espelho côncavo é, então:

- a) 20 cm
b) 30 cm
c) 40 cm
d) 45 cm
e) 50 cm