ب

تمرین شماره ۱۴ فیزیک پایه اول دبیرستان – مبحث نورشناسی – آینه‌های کروی (۲)

Note Title

۱- فاصله جسمی از کانون یک آینه کروی a و فاصله تصویر آن از کانون آینه a' و بزرگنمایی برابر m می‌باشد.

الف) ثابت کنید: $f^2 = aa'$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{p-f}{fp} \Rightarrow q=\frac{fp}{p-f} \quad (1)$$

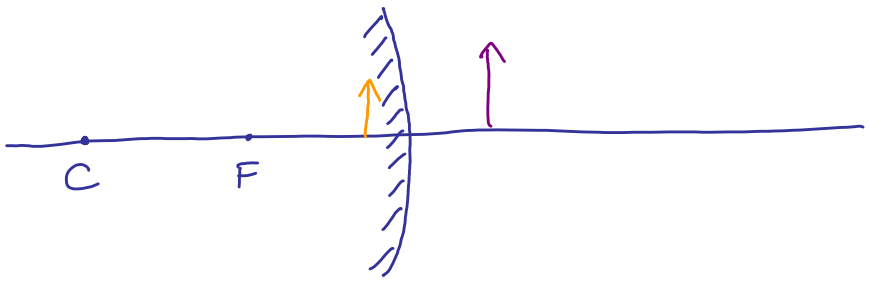
$$(1): q=\frac{fp}{p-f} \Rightarrow q-f=\frac{fp}{p-f}-f \Rightarrow q-f=\frac{fp}{p-f}-\frac{f(p-f)}{p-f} \Rightarrow$$

$$q-f=\frac{fp-fp+f^2}{p-f} \Rightarrow q-f=\frac{f^2}{p-f} \Rightarrow (q-f)(p-f)=f^2 \Rightarrow aa'=f^2$$

ب) ثابت کنید: $f = ma$

$$m=\frac{q}{p} \overset{(1)}{\Rightarrow} m=\frac{\frac{fp}{p-f}}{p} \Rightarrow m=\frac{f}{p-f} \Rightarrow (p-f)m=f \Rightarrow am=f$$

۲- جسمی در فاصله $۷/۵\ cm$ از آینه محدبی و عمود بر محور اصلی آن قرار گرفته است. اگر شعاع آینه $۳۰\ cm$ باشد، نوع تصویر و فاصله تصویر از آینه را به دست آورید و بزرگنمایی را محاسبه کنید.

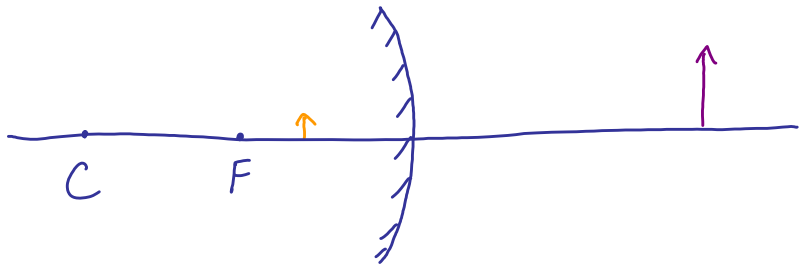


$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{-۱۵}=\frac{1}{۷,۵}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{1}{-۱۵}-\frac{1}{۷,۵}=\frac{-۱-۲}{۱۵}=\frac{-۱}{۵}$$

$$\Rightarrow q=-۵\ cm$$

$$m=\left|\frac{q}{p}\right|=\left|\frac{-۵}{۷,۵}\right|=\frac{۲}{۳}$$

۳- شعاع آینه محدبی $72\ cm$ می‌باشد و جسمی در مقابل آینه و عمود بر محور اصلی آن قرار گرفته است. اگر فاصله جسم از تصویر مجازی آن، ۲/۵ برابر فاصله تصویرش تا آینه باشد، فاصله جسم و تصویرش در آینه را محاسبه کنید.



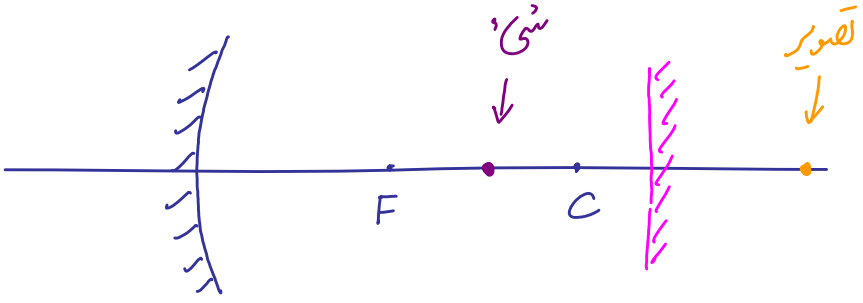
$$p+|q|=2{,}5|q| \Rightarrow p-q=-2{,}5q \Rightarrow p=-1{,}5q \quad (1)$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q} \overset{(1)}{\Rightarrow} \frac{1}{-36}=\frac{1}{-1{,}5q}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{36}=\frac{1}{1{,}5q}-\frac{1}{q} \Rightarrow$$

$$q=36\left(\frac{1}{1{,}5}-1\right)=36\left(\frac{1}{\frac{3}{2}}-1\right)=36\left(\frac{2}{3}-1\right)=-12\ cm$$

$$p+|q|=2{,}5|q|=2{,}5\times|-12|=30\ cm$$

۴- آینه مقعری به فاصله کانونی f، از یک نقطه نورانی روی محور اصلی و به فاصله $\frac{3}{2}f$ از رأس تصویری می‌دهد. آینه تختی را در چه فاصله‌ای از نقطه قرار دهیم تا تصویر نهایی بر آن منطبق شود؟



$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{1}{\frac{3f}{2}}+\frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{\frac{3f}{2}} \Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{\frac{3}{2}f-f}{\frac{3f^2}{2}}$$

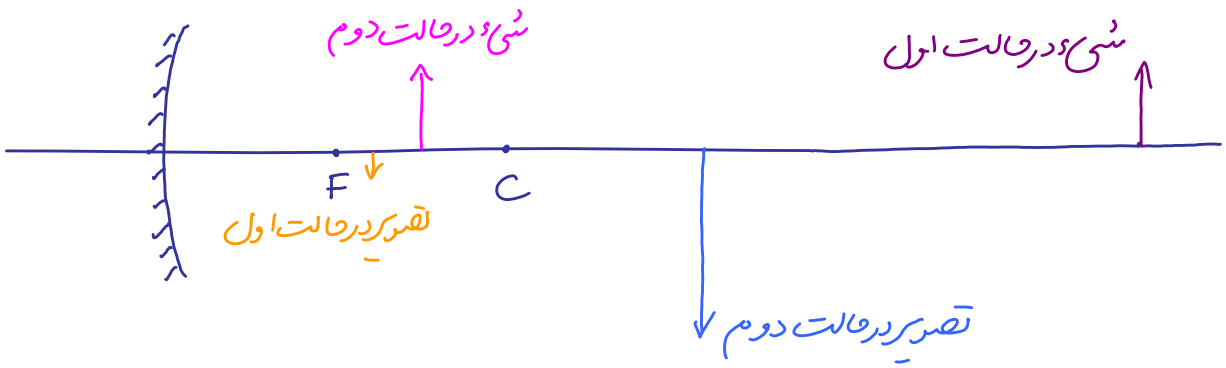
$$\Rightarrow \frac{1}{q}=\frac{\frac{f}{2}}{\frac{3f^2}{2}}=\frac{1}{3f} \Rightarrow q=3f$$

$$q-p=3f-\frac{3}{2}f=\frac{3}{2}f$$

آینه باید بین نقطه و تصویرش قرار گیرد پس فاصلهٔ آینه تا نقطه باید نصف فاصلهٔ نقطه و تصویرش باشد یعنی

$$\frac{q-p}{2} = \frac{3}{8} f$$

۵- در آینه کاوی بزرگنمایی $\frac{1}{4}$ است. اگر جسم ۱۲ سانتی‌متر به آینه نزدیک شود، بزرگنمایی ۲ می‌شود، مطلوبست f.



$$m_1 = \frac{q_1}{p_1} = \frac{1}{8} \Rightarrow q_1 = \frac{p_1}{8}$$

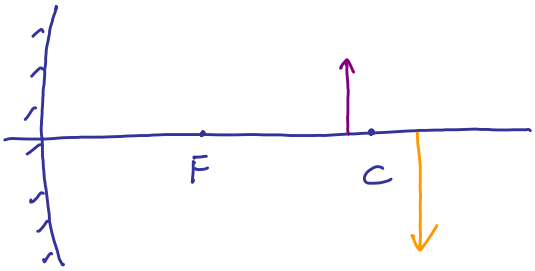
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{\frac{p_1}{8}} \Rightarrow p_1 = f(1+8) = 9f$$

$$m_2 = \frac{q_2}{p_2} = 2 \Rightarrow q_2 = 2p_2$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{2p_2} \Rightarrow p_2 = f\left(1+\frac{1}{2}\right) = \frac{3}{2} f$$

$$p_1 - p_2 = 9f - \frac{3}{2} f = \frac{15}{2} f = 12\ cm \Rightarrow f = \frac{24}{15}\ cm = 3{,}43\ cm$$

۶- یک آینه کروی از شیء مقابل خود تصویری وارونه و بزرگ‌تر در فاصله $50\ cm$ از خود تشکیل داده است. اگر فاصله شیء و تصویر $10cm$ باشد، فاصله شیء از آینه چند سانتی‌متر بوده‌است؟



تصویر وارونه، حقیقی است پس آینه مقعر است.

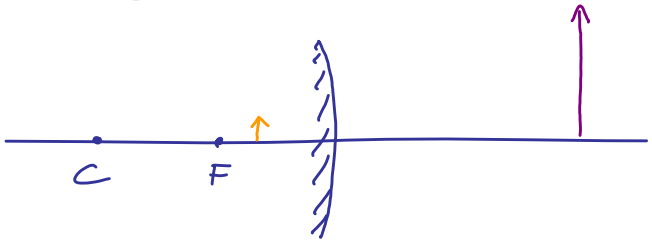
چون تصویر بزرگتر است پس شیء بین مرکز و کانون قرار گرفته و

تصویر بیرون از مرکز :

$q = 50\,cm$

$q - p = 10\,cm \Rightarrow p = q - 10 = 50 - 10 = 40\,cm$

۷- جسمی را در چه فاصله‌ای از آینه محدبی به شعاع انحنای $30\,cm$ قرار دهیم تا تصویری به اندازه $\frac{1}{3}$ طول جسم تشکیل شود؟



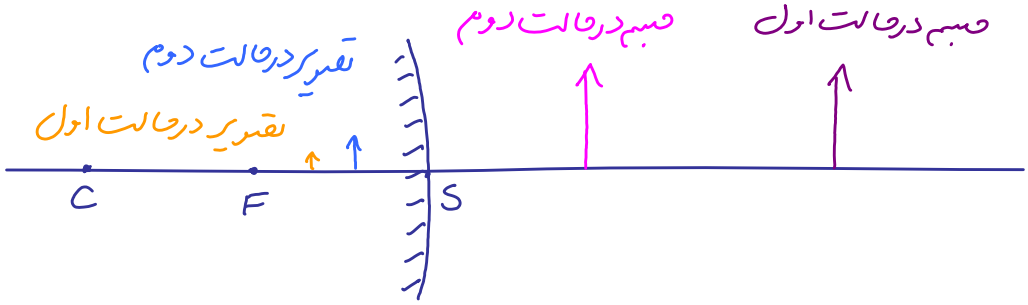
$m = \left|\frac{q}{p}\right| = \frac{1}{3} \Rightarrow q = -\frac{p}{3}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \Rightarrow \frac{1}{15} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\frac{-p}{3}} \Rightarrow p = 15(1-3) = 30\,cm$

۸- جسمی را در فاصله $90\,cm$ از یک آینه محدب قرار می‌دهیم و تصویری مجازی از آن تشکیل می‌شود. اگر جسم را $54\,cm$ به آینه نزدیک کنیم، تصویری مجازی آن $10\,cm$ جابه‌جا می‌شود.

اولاً بیان کنید جابه‌جایی به طرف کانون بوده است یا رأس آینه؟

ثانیاً فاصله کانونی آینه را حساب کنید.



با نزدیک کردن جسم به آینهٔ محدب، تصویر آن نیز به آینه نزدیک‌تر می‌شود. پس جابه‌جایی به سمت رأس آینه بوده است.

$\left.\begin{array}{l} p_1 = 90\,cm \\ p_1 - p_2 = 36\,cm \end{array}\right\} \Rightarrow p_2 = 54\,cm$

$|q_1| - |q_2| = 10\,cm \Rightarrow -q_1 - (-q_2) = 10 \Rightarrow q_2 - q_1 = 10$

$\Rightarrow q_2 = 10 + q_1$

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{f}&=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}\\ \frac{1}{f}&=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}\end{aligned}\right\}\Rightarrow \frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}\Rightarrow \frac{1}{p_2}-\frac{1}{p_1}=\frac{1}{q_1}-\frac{1}{q_2}$$

$$\Rightarrow \frac{p_1-p_2}{p_1p_2}=\frac{q_2-q_1}{q_1q_2}\Rightarrow \frac{5}{90\times 36}=\frac{10}{q_1(10+q_1)}$$

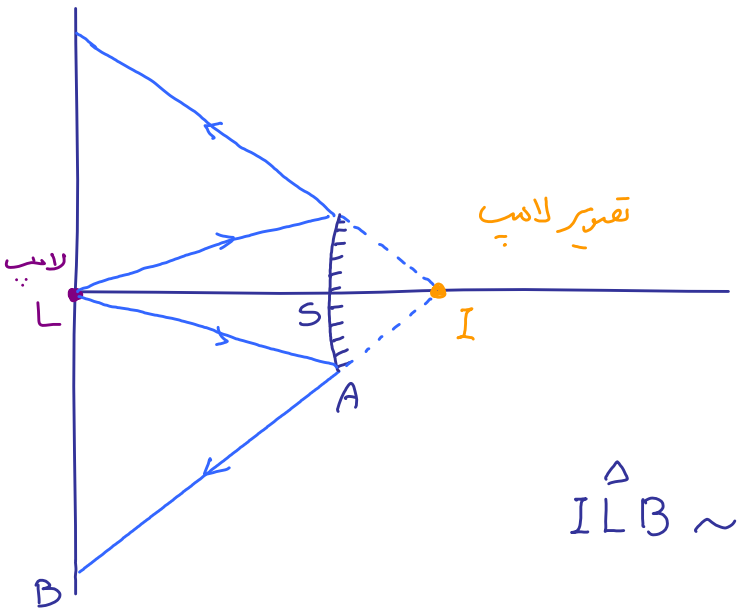
$$\Rightarrow q_1^2+10q_1=\frac{90\times 36\times 10}{5}=600\Rightarrow q_1^2+10q_1^2-600=0$$

$$q_1=\frac{-10\pm\sqrt{100+4\times 600}}{2}=\frac{-10\pm\sqrt{2500}}{2}=\frac{-10\pm 50}{2}=\begin{cases}-30 & \checkmark\\ =20 & \times\end{cases}$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}\Rightarrow\frac{1}{f}=\frac{1}{90}+\frac{1}{-30}\Rightarrow\frac{1}{f}=\frac{1}{90}-\frac{3}{90}=\frac{-2}{90}\Rightarrow f=-45cm$$

۹- روی سطح دیواری یک لامپ بسیار کوچک روشن قرار دارد و مثل یک منبع نور نقطه‌ای عمل می‌کند. در فاصله ۲۸ سانتی‌متر از لامپ، یک آینه محدب با قطر دهانه ۶ سانتی‌متر وجود دارد. اگر مساحت قرص روشن روی دیوار ۳۰۰ سانتی‌متر مربع باشد، فاصله کانونی آینه را به‌دست آورید. (عدد پی را تقریبا ۳ فرض کنید.)

$$\text{مساحت قرص روشن}=\pi r^2=300\,cm^2\Rightarrow r^2=\frac{300}{\pi}=\frac{300}{3}=100\Rightarrow r=10cm=LB$$



امتدادپرتوهای بازتابیده از دوانتهای آینه

می بایست از محل تصویر لامپ بگذرد.

اگر از انحنای آینه صرف نظر کنیم، در مثلث زیر

متشابه خواهیم برد:

$$I\hat{L}B\sim I\hat{S}A$$

$$\Rightarrow\frac{LB}{SA}=\frac{LI}{SI}\Rightarrow\frac{10cm}{3cm}=\frac{p+191}{191}=\frac{p-9}{-9}$$

$$\Rightarrow\frac{10}{3}-1=\frac{p-9}{-9}-1\Rightarrow\frac{7}{3}=\frac{p}{-9}\Rightarrow q=-\frac{3}{7}p=-12\,cm$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{۲۸}-\frac{1}{۱۲}=\frac{۳-۷}{۸۴}=-\frac{۴}{۸۴}\Rightarrow f=-\frac{۸۴}{۴}=-۲۱\,cm$$

۱۰- فاصله جسمی از تصویر حقیقی‌اش در آینه مقعری $۳۰cm$ است. اگر جسم را در جای تصویر قرار دهیم، طول تصویر ۴ برابر حالت قبل می‌شود. فاصله کانونی آینه را معین کنید.

با قراردادن جسم در جای تصویر، تصویر نیز در جای قبلی جسم قرار می‌گیرد. در این حالت اگر بزرگنمایی کاهش یابد یعنی در ابتدا بزرگنمایی بیشتر از یک بوده و سپس کمتر از یک شده است و اگر بزرگنمایی افزایش یابد یعنی در ابتدا بزرگنمایی کمتر از یک بوده و سپس بیشتر از یک شده است. حالت مورد نظر مسأله همین حالت دوم است. پس

در ابتدا جسم بیرون از مرکز قرار داشته است:

$$p_۱-q_۱=۳۰\,cm \quad (۱)$$

A : اندازهٔ جسم $B_۱$: اندازهٔ تصویر در ابتدا $B_۲$: اندازه تصویر بعد از تعویض

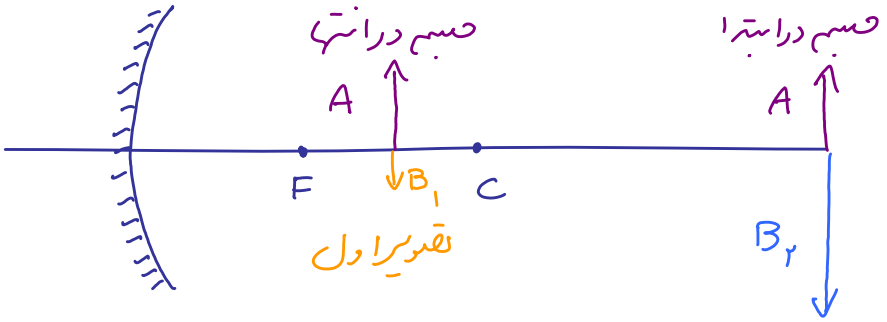
$$\left.\begin{array}{l}B_۲=۴B_۱\\B_۱=m_۱A\\B_۲=m_۲A\end{array}\right\}\Rightarrow m_۲A=۴m_۱A\Rightarrow m_۲=۴m_۱\Rightarrow \frac{q_۲}{p_۲}=۴\frac{q_۱}{p_۱}\left.\begin{array}{l}\\\\p_۱=q_۲\\p_۲=q_۱\end{array}\right\}\Rightarrow$$

$$\frac{q_۲}{q_۱}=۴\frac{q_۱}{q_۲}\Rightarrow\frac{q_۲^۲}{q_۱^۲}=۴\Rightarrow\frac{q_۲}{q_۱}=۲ \quad (\text{هر دو مثبت.})$$

$$\left.\begin{array}{l}\Rightarrow q_۲=۲q_۱\Rightarrow p_۱=۲q_۱\\(۱):p_۱-q_۱=۳۰\,cm\end{array}\right\}\Rightarrow ۲q_۱-q_۱=۳۰\Rightarrow q_۱=۳۰\,cm$$

$$p_۱=۶۰\,cm$$

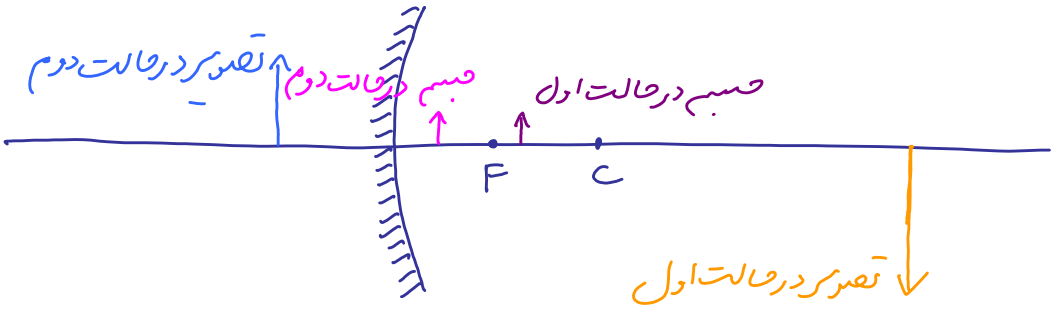
$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p_۱}+\frac{1}{q_۱}=\frac{1}{۶۰}+\frac{1}{۳۰}=\frac{۱+۲}{۶۰}=\frac{۳}{۶۰}=\frac{1}{۲۰}\Rightarrow f=۲۰\,cm$$



۱۱- آینه مقعری از جسمی که مقابل آن است تصویری معکوس می‌دهد که بزرگ‌نمایی آن ۴ می‌باشد. اگر $15cm$ به آینه نزدیک‌تر شویم تصویر مستقیم می‌گردد و بزرگ‌نمایی آن ۲ می‌شود. فاصله کانونی آینه را حساب کنید.

در حالت اول جسم بین کانون و مرکز قرار دارد. در حالت دوم جسم در فاصلهٔ کانونی قرار گرفته است:

$$p_1 - p_2 = 15\,cm \quad (1)$$



$$m_1 = \frac{q_1}{p_1} = \varepsilon \Rightarrow q_1 = \varepsilon p_1$$

$$m_2 = \left|\frac{q_2}{p_2}\right| = 2 \Rightarrow -q_2 = 2p_2 \Rightarrow q_2 = -2p_2$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{p_1} + \frac{1}{\varepsilon p_1} = \frac{1}{p_2} - \frac{1}{2p_2}$$

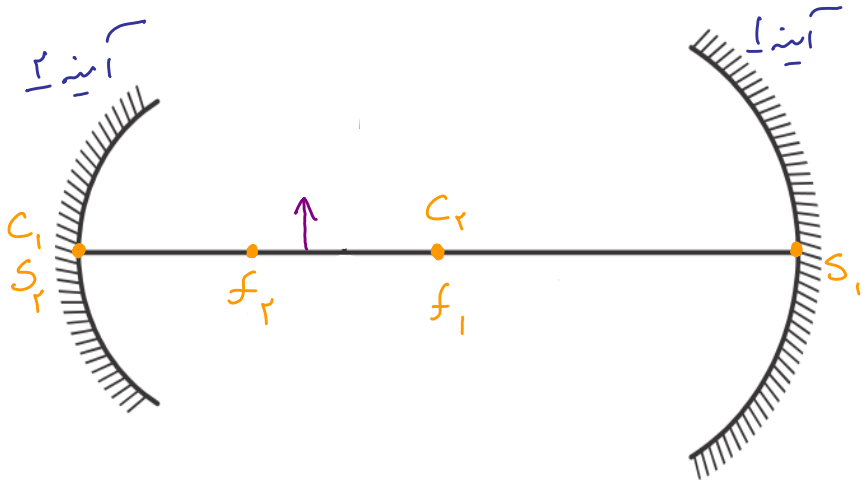
$$\Rightarrow \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon p_1} = \frac{2-1}{2p_2} \Rightarrow \frac{5}{\varepsilon p_1} = \frac{1}{2p_2} \Rightarrow p_1 = \frac{5}{2} p_2 \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} (1):\ & p_1 - p_2 = 15 \\ (2):\ & p_1 = \frac{5}{2} p_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{5}{2} p_2 - p_2 = 15 \Rightarrow \frac{3}{2} p_2 = 15 \Rightarrow p_2 = 10\,cm$$

$$\Rightarrow q_2 = -2p_2 = -20\,cm$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20} = \frac{1}{20} \Rightarrow f = 20\,cm$$

۱۲- دو آینه مقعر در اختیار داریم که $f_1 = ۳۰\ cm$ و $f_2 = ۱۵\ cm$ است. فاصله دو آینه از هم $۶۰\ cm$ است و هم محور می‌باشند. جسم حقیقی AB را به چه فاصله از آینه به فاصله کانونی کمتر قرار دهیم تا اندازه تصاویر حقیقی که توسط هر یک از آینه‌ها از جسم ایجاد می‌شود با هم برابر باشد؟



$$m = \frac{q_1}{p_1} \Rightarrow q_1 = mp_1$$

$$m = \frac{q_2}{p_2} \Rightarrow q_2 = mp_2$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} \Rightarrow \frac{1}{۳۰} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{mp_1} \Rightarrow \frac{1}{۳۰} = \frac{m+1}{mp_1} \Rightarrow p_1 = ۳۰\left(\frac{m+1}{m}\right) \\ &\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{۱۵} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{mp_2} \Rightarrow \frac{1}{۱۵} = \frac{m+1}{mp_2} \Rightarrow p_2 = ۱۵\left(\frac{m+1}{m}\right) \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned} &p_1 = ۲p_2 \\ &p_1 + p_2 = ۹۰\ cm \end{aligned}\right\} \Rightarrow ۲p_2 + p_2 = ۹۰\ cm \Rightarrow p_2 = ۳۰\ cm$$

$$\Rightarrow p_2 - f_2 = ۳۰ - ۱۵ = ۵\ cm$$

۱۳- طول تصویر جسمی که مقابل یک آینه کوژ قرار گرفته $\frac{۱}{۳}$ طول جسم می‌باشد. اگر جسم را بر روی محور اصلی آینه به اندازه $۲۱\ cm$ جابه‌جا کنیم، طول تصویر $\frac{۱}{۵}$ طول جسم می‌شود. شعاع آینه را محاسبه کنید.

$$m_1 = \left|\frac{q_1}{p_1}\right| \Rightarrow \frac{۱}{۳} = \frac{-q_1}{p_1} \Rightarrow q_1 = \frac{-p_1}{۳}$$

$$m_2 = \left|\frac{q_2}{p_2}\right| \Rightarrow \frac{۱}{۵} = \frac{-q_2}{p_2} \Rightarrow q_2 = \frac{-p_2}{۵}$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} \\ &\frac{1}{f} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{p_1} - \frac{1}{\frac{p_1}{۳}} = \frac{1}{p_2} - \frac{1}{\frac{p_2}{۵}} \Rightarrow$$

$$p_2\left(1-\frac{1}{\frac{1}{3}}\right)=p_1\left(1-\frac{1}{\frac{1}{5}}\right)\Rightarrow p_2(1-3)=p_1(1-5)\Rightarrow p_2=2p_1 \quad (1)$$

چون با جابه‌جایی جسم تصویر کوچک‌تر می‌شود، پس می‌توان انتظار داشت که جسم عقب‌تر رفته است:

$$\left.\begin{array}{l} p_2-p_1=21\ cm \\ (1):\ p_2=2p_1 \end{array}\right\}\Rightarrow 2p_1-p_1=21cm\Rightarrow p_1=21\ cm$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{p_1}-\frac{1}{\frac{p_1}{3}}=\frac{1}{21}-\frac{1}{7}=\frac{1-3}{21}=\frac{-2}{21}\Rightarrow f=-\frac{21}{2}\ cm$$

$$R=2|f|=2\times\left|-\frac{21}{2}\right|=21\ cm$$

۱۴- اگر جای جسم و تصویرش را در آینه مقعری عوض کنیم، تصویر جدید $\frac{1}{64}$ تصویر قبلی می‌شود. اگر فاصله فعلی جسم از آینه $20\ cm$ باشد، مطلوب است شعاع آینه.

تعویض جای جسم و تصویر در آینهٔ مقعر تنها در صورتی امکان‌پذیر است که هر دو جلوی آینه قرار داشته باشند.

یعنی تصویر در هر دو حالت حقیقی باشد.

B_2 : اندازه تصویر بعد از تعویض B_1 : اندازهٔ تصویر در ابتدا A : اندازهٔ جسم

$$\left.\begin{array}{l} B_2=\frac{1}{64}B_1 \\ B_1=m_1A \\ B_2=m_2A \end{array}\right\}\Rightarrow m_2A=\frac{1}{64}m_1A\Rightarrow m_2=\frac{1}{64}m_1\Rightarrow \frac{q_2}{p_2}=\frac{1}{64}\frac{q_1}{p_1}$$

$$p_1=q_2$$

$$p_2=q_1$$

$\Rightarrow$

$$\frac{q_2}{q_1}=\frac{1}{64}\frac{q_1}{q_2} \Rightarrow \frac{q_1^2}{q_2^2}=64 \Rightarrow \frac{q_1}{q_2}=8 \text{ (هردومثبت)} \Rightarrow q_1=8q_2$$

$$p_1=q_2$$

$$\Rightarrow q_1=8p_1$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{20}+\frac{1}{8\times 20}=\frac{8+1}{8\times 20} \Rightarrow f=\frac{8\times 20}{9}=17{,}7\,cm$$

۱۵- جسمی در مقابل آینه محدبی قرار دارد. بزرگنمایی در این حالت $\frac{1}{4}$ می‌باشد. اگر جسم $64\,cm$ از آینه دور شود، تصویر آن $2\,cm$ به کانون نزدیک می‌شود. فاصله کانونی آینه را حساب کنید.

$$p_2-p_1=64\,cm \quad (1)$$

$$|q_2|-|q_1|=2\,cm \Rightarrow -q_2-(-q_1)=2\,cm \Rightarrow q_1-q_2=2\,cm \quad (2)$$

$$m_1=\left|\frac{q_1}{p_1}\right| \Rightarrow \frac{1}{\varepsilon}=\frac{-q_1}{p_1} \Rightarrow \frac{q_1}{p_1}=\frac{-1}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{f}&=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}\\ \frac{1}{f}&=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{p_1}-\frac{1}{p_2}=\frac{1}{q_2}-\frac{1}{q_1}$$

$$\Rightarrow \frac{p_2-p_1}{p_2p_1}=\frac{q_1-q_2}{q_1q_2} \Rightarrow \frac{q_1q_2}{p_1p_2}=\frac{q_1-q_2}{p_2-p_1}$$

$$(1),(2),(3) \Rightarrow \frac{-1}{\varepsilon}\,\frac{q_2}{p_2}=\frac{2}{64} \Rightarrow \frac{q_2}{p_2}=-\frac{1}{8}$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{f}&=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}\\ \frac{1}{f}&=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2} \Rightarrow \frac{1}{p_1}+\frac{1}{\frac{-p_1}{\varepsilon}}=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{\frac{-p_2}{8}}$$

$$p_2\left(1+\frac{1}{-\frac{1}{3}}\right)=p_1\left(1+\frac{1}{-\frac{1}{8}}\right)=p_2(1-3)=p_1(1-8)\Rightarrow p_2=\frac{7}{3}p_1$$

$$\text{①}: p_2-p_1=36$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{7}{3}p_1-p_1=36\Rightarrow\frac{4}{3}p_1=36\Rightarrow p_1=24\ cm$$

$$\text{②}: \frac{q_1}{p_1}=\frac{-1}{3}$$

$$\Rightarrow q_1=-12\ cm$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{24}-\frac{1}{12}=\frac{1}{24}-\frac{2}{24}=-\frac{1}{24}\Rightarrow f=-\frac{24}{1}=-24\ cm$$