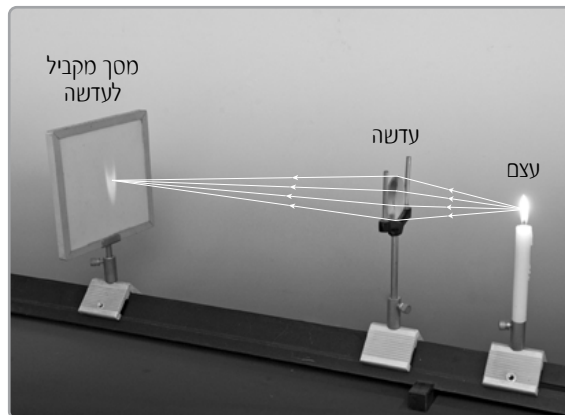
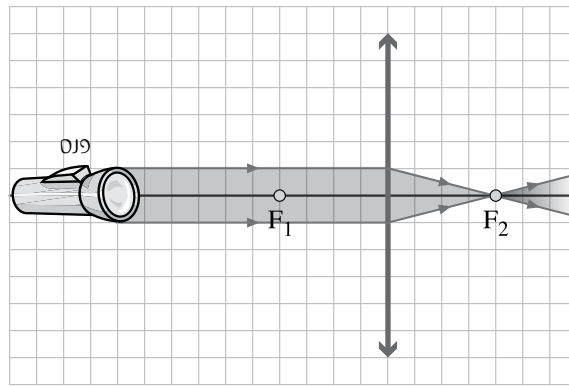


פרק ד: עדשות כדוריות דקות

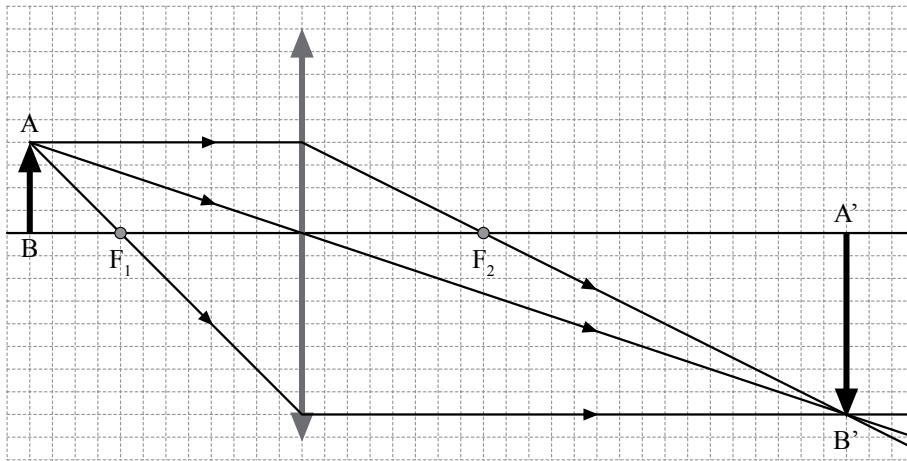
1. באיור שלהלן מסורטטות ארבע קרניים הנפלטות מאמצע להבת הנר, פוגעות בעדשה, ומתפשטות אל מעבר לעדשה. קרניים אלה נחתכות באמצע דמות הלהבה.



2. המושג "מוקד של עדשה מרכזת" מוגדר נכון במשפט (1).
3. משפט (1) הוא הנכון.
4. כאשר אומרים ש"רוחק המוקד של עדשה מרכזת הוא 30 ס"מ" מתכוונים לכך שכאשר מטילים על העדשה אלומת אור מקבילה, אשר מקבילה לציר העדשה, לאחר השבירה בעדשה האלומה מתרכזת בנקודה שמרחקה מהעדשה הוא 30 ס"מ.
5. א. על הנער לבחור נייר שחור, כי **נייר לבן מחזיר** את רוב האור הפוגע בו, ואילו **נייר שחור בולע** את רוב האור הפוגע בו, וכתוצאה מכך רוב אנרגיית האור מועברת לנייר, ומעלה את הטמפרטורה שלו.
 ב. על הנער לבחור עדשה בעלת קוטר גדול, כי אז תעבור דרכה אנרגיית קרינה רבה יותר באותו פרק זמן (אומרים ש"הספק הקרינה רב יותר") לכן האנרגיה הדרושה להצתה תושג בזמן קצר יותר.
6. הקשר הנכון הוא קשר (3).
7. מהלך האלומה מוצג באיור שלפניך:



8. א.ב. האיור שלהן מתאר את המערכת האופטית ואת דמות העצם. קנה המידה הוא שרוחב משבצת באיור מייצג 1 ס"מ במציאות.



הערה: סרטטנו שלוש "קרניים נוחות" אך אפשר כמובן להסתפק בשתיים מהן.
ג. דמות העצם היא ממשית, הפוכה ומוגדלת.

ד. (1) על-פי האיור מרחק הדמות מהעדשה הוא 24 משבצות, לכן $v = 24 \text{ cm}$.

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12} + \frac{1}{v} = \frac{1}{8} \Rightarrow v = 24 \text{ cm}$$

נבדוק את התוצאה על-ידי חישוב: מרחק הדמות מן העדשה הוא אכן 24 ס"מ.

(2) על-פי האיור, גובה הדמות הוא 8 משבצות, לכן $H_i = 8 \text{ cm}$.

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{H_i}{4} = \frac{|24|}{12} \Rightarrow H_i = 8 \text{ cm}$$

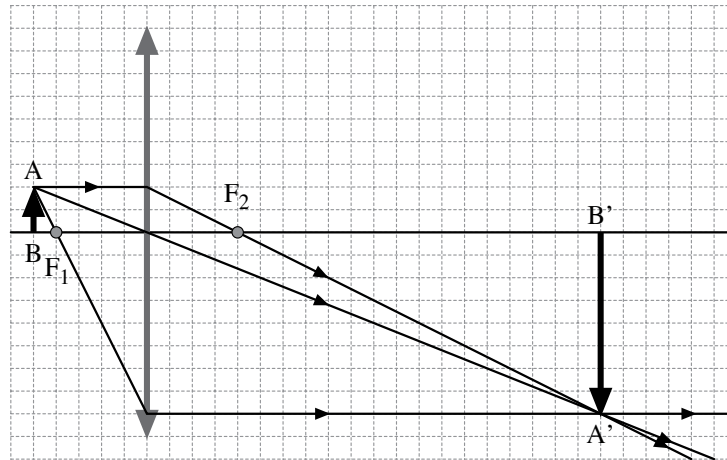
נבדוק את התוצאה על-ידי חישוב:

$$m = \frac{H_i}{H_o} \Rightarrow m = \frac{8}{4} \Rightarrow m = 2$$

(3) ההגדלה הקווית:

ההגדלה הקווית היא 2.

9. א. האיור שלהלן מתאר את המערכת האופטית ואת דמות העצם. קנה מידה שכל 2.5 ס"מ במציאות מיוצגים על-ידי משבצת אחת באיור.



ב. דמות העצם היא ממשית.

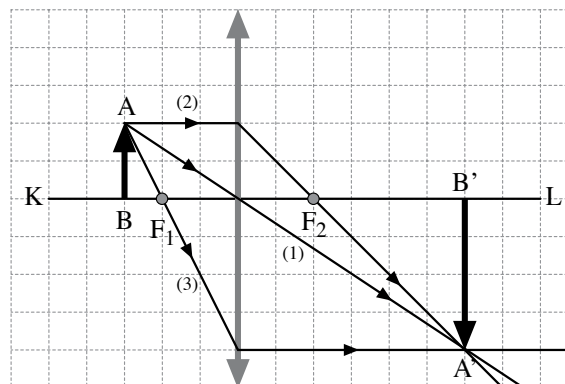
ג. על-פי האיור גובה דמות העצם הוא 8 משבצות לכן:

$$H_i = 8 \cdot 2.5 = 20 \text{ cm}$$

$$m = \frac{H_i}{H_o} \Rightarrow m = \frac{20}{5} \Rightarrow m = 4$$

ההגדלה הקווית:

10. א+ב. מציאת מקום העדשה: מחברים בקו ישר את ראש העצם A עם ראש הדמות A'. בנקודת החיתוך של קו זה עם הציר האופטי נמצאת העדשה, כמתואר על ידי קרן (1) באיור שלהלן.



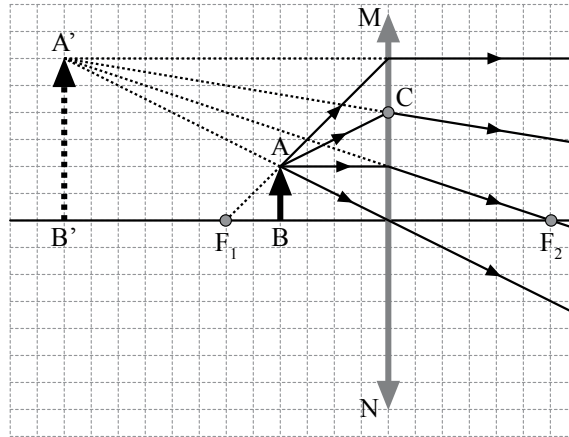
מציאת מקום מוקדי העדשה: מסרטטים קרן (2) המופצת מראש העצם, A, בכיוון מקביל לציר העדשה עד שהקרן חותכת את העדשה. לאחר מכן מחברים בקו ישר את נקודת החיתוך של הקרן עם העדשה, לראש הדמות. נקודת חיתוך קרן זו עם ציר העדשה היא המוקד הנמצא מעבר לעדשה, והוא מסומן באיור לעיל באות F₂.

את המוקד F₁ הנמצא מצד העדשה שבו נמצא העצם, אפשר למצוא בשתי דרכים:

דרך א: מסתמכים על כך שהמרחק מ-F₂ לעדשה שווה למרחק מ-F₁ עד העדשה.

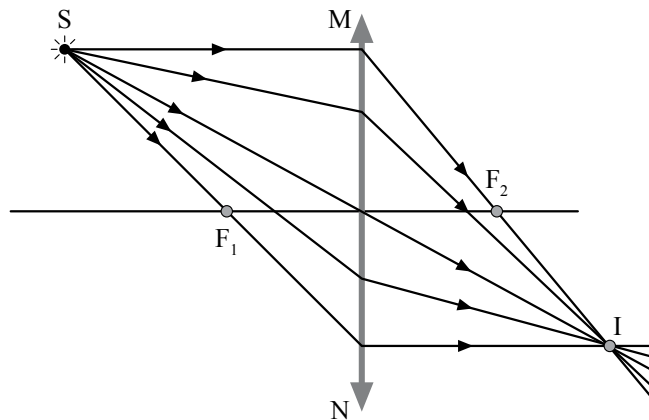
דרך ב: מציאת F₁ ללא שימוש בידעית מקום המוקד F₂: מסרטטים את הקרן (3) שלאחר השבירה בעדשה התפשטה בכיוון מקביל לציר העדשה והגיעה לראש הדמות. משלימים את קרן (3) אחורה: מסרטטים קו מקביל לציר האופטי העובר דרך ראש הדמות A' קו זה חותך את העדשה. את נקודת החיתוך עם העדשה מחברים בקו ישר לראש העצם A. נקודת החיתוך של קו זה עם ציר העדשה היא המוקד F₁.

11. א. להלן האיור המופיע בשאלה, בתוספת סרטוט דמות העצם $A'B'$ באמצעות מהלכי שלוש קרניים מתאימות.



ב. הדמות היא מדומה, כי היא נוצרת מחיתוך **המשכים אחורנית** של הקרניים הנשברות בעדשה.
 ג. באיור מסורטטת גם קרן המופצת מראש העצם, ונשברת בעדשה לאחר שהיא פוגעת בה בנקודה C. קביעת מהלך הקרן נסמך על כך שכל קרן המופצת מנקודה של העצם, נשברת בעדשה כך שהמשכה אחורנית של הקרן הנשברת חותך את הנקודה המתאימה בדמות: מחברים את ראש העצם A עם הנקודה C. לאחר מכן מחברים בקו מקווקו את ראש הדמות A' עם הנקודה C, וממשיכים את הקו המקווקו בקו ישר רציף, שהוא הקרן לאחר השבירה. הקרן המופצת מראש העצם A, פוגעת בעדשה בנקודה C, ממשיכה לאחר השבירה בכיוון הקו הרציף שהמשכו המקווקו עובר בראש הדמות.

12. להלן האיור המופיע בשאלה, בתוספת חמש קרניים הנפלטות ממקור האור S ועוברות דרך העדשה.



הסבר: תחילה סרטטנו את שלוש הקרניים שבאמצעותן נוח לאתר את הדמות I של המקור. לאחר מכן חיברנו את מקור האור עם שתי נקודות כלשהן על העדשה, ואת כל אחת משתי הנקודות חיברנו עם דמות מקור האור. הערה: אפשר למצוא את הדמות I באמצעות שתי "קרניים נוחות", ולהוסיף שלוש קרניים כלשהן שנפלטות מ-S ועוברות דרך I.

13. א. "דמות ממשית" היא דמות שבכל נקודה שלה נחתכות הקרניים הנשברות בעדשה, כאשר הקרניים הפוגעות בעדשה הופצו מהנקודה המתאימה של העצם.

ב. "דמות מדומה" היא דמות שבכל נקודה שלה נחתכים ההמשכים האחורית של הקרניים הנשברות בעדשה, כאשר הקרניים הפוגעות בעדשה הופצו מהנקודה המתאימה של העצם.

14. א. המשפט הנכון הוא (2).

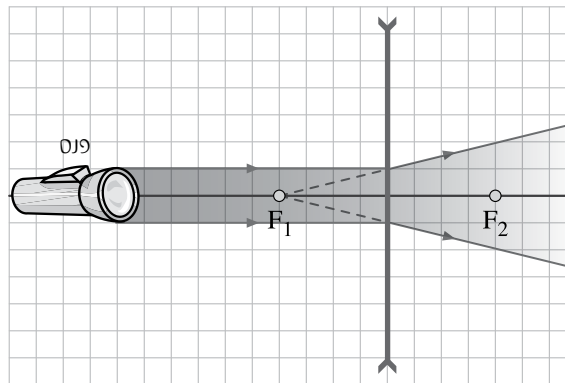
ב. המשפט הנכון הוא (3).

ג. המשפט הנכון הוא (3).

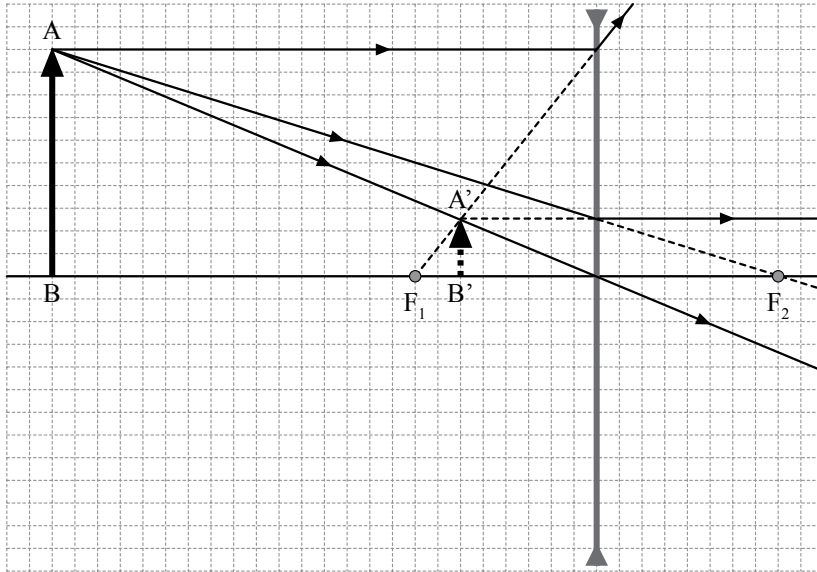
15. א. כאשר אומרים "המוקד של עדשה מפזרת הוא מדומה" - מתכוונים לכך שהמוקד הוא נקודת חיתוך של ההמשכים אחורית של הקרניים הנשברות בעדשה, כאשר הקרניים הפוגעות בעדשה מקבילות לצייר העדשה.

ב. כאשר אומרים "רוחק המוקד של עדשה מפזרת הוא 30 ס"מ" - מתכוונים לכך שקרניים מקבילות לצייר העדשה המפזרת הפוגעות בעדשה מתפזרות, וההמשכים האחורית של הקרניים המתפזרות נחתכים בנקודה אחת, הנמצאת במרחק 30 ס"מ מן העדשה.

16. מהלך האלומה מוצג באיור שלפניך:



17. א.ב. האיור שלהלן מתאר את המערכת האופטית, ואת הדמות שנקבעה באמצעות שלוש הקרניים.

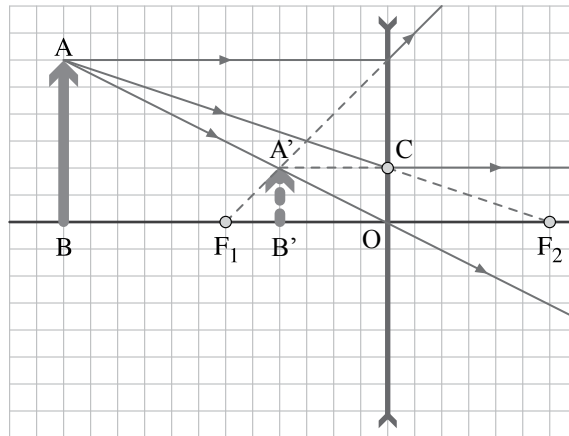


א. הדמות היא מדומה, כי היא מתקבלת מנקודות חיתוך של ההמשכים אחורנית של הקרניים הנשברות (ולא של הקרניים הנשברות עצמן). מהאיור אפשר לראות כי הדמות היא ישרה ומוקטנת.

ד. (1) מהאיור שסרטטנו מצאנו כי מרחק הדמות מן העדשה הוא 15 ס"מ.
 (2) מהאיור שסרטטנו מצאנו כי גובה הדמות הוא 2.5 משבצות כלומר 6.25 ס"מ.

$$(3) \text{ ההגדלה הקווית: } m = \frac{H_i}{H_o} \Rightarrow m = \frac{6.25}{25} \Rightarrow m = \frac{1}{4}$$

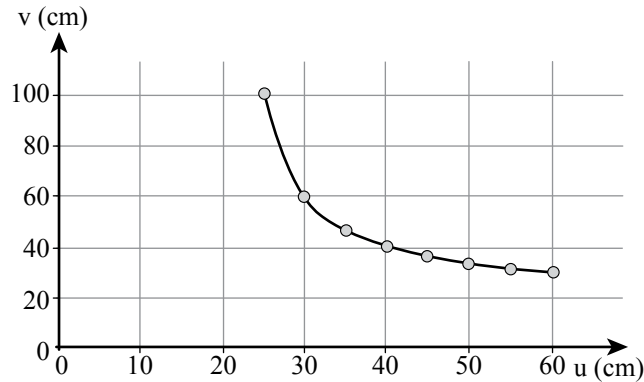
18. א. נחבר את ראש העצם עם ראש הדמות. נקודת חיתוך קו זה עם הציר האופטי מייצג את מרכז העדשה O, כמתואר באיור.



ב. את המוקד F_2 נמצא כך: נסרטט קו מקווקו מראש הדמות A' בכיוון מקביל לציר האופטי. קו זה הוא המשך אחורנית של הקרן הנשברת בעדשה. את נקודת החיתוך, C, של קו זה עם העדשה נחבר עם ראש העצם (ראה איור לעיל). זוהי קרן הנפלטת מראש העצם ונשברת בעדשה כך שהיא מקבילה לציר האופטי. נקודת החיתוך של המשך הקרן הפוגעת בעדשה עם הציר האופטי היא המוקד F_2 .

המוקד F_1 נמצא משמאל לעדשה, ומרחקו מהעדשה שווה למרחק F_2 מן העדשה. את המוקד F_1 אפשר למצוא גם ישירות: נסרטט קרן הנפלטת מראש העצם ומקבילה לציר האופטי. הקרן נשברת בעדשה כך שהמשכה אחורנית חותך את הציר האופטי בנקודת המוקד F_1 (ראה איור לעיל).

19. א. לפניך גרף המתאר את ערכי v כפונקציה של ערכי u .



ב. מרחק המוקד של העדשה מיוצג על ידי ערך ה- v של האסימפטוטה האופקית, וגם על ידי ערך ה- u של האסימפטוטה האנכית.

ג. על פי נוסחת העדשות של גאוס:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v} = -\frac{1}{u} + \frac{1}{f}$$

מכאן:

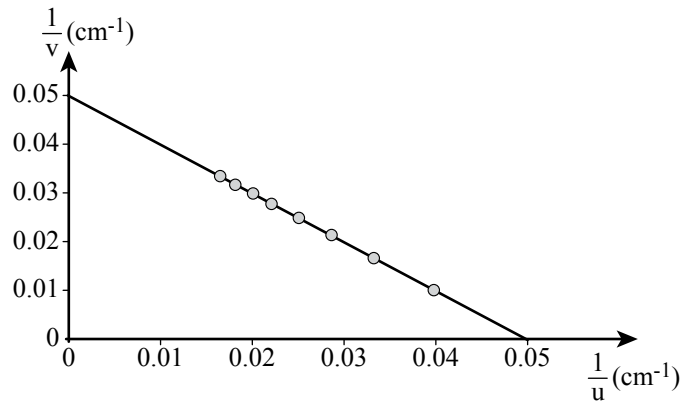
התבנית המתמטית של $\frac{1}{v}$ כפונקציה של $\frac{1}{u}$ היא $y = mx + n$ כאשר $m = -1$ ו- $n = \frac{1}{f}$. מכאן ששיפוע הקו צפוי להיות 1-.

נקודת החיתוך של קו שהתבנית שלו היא $y = mx + n$ עם הציר האנכי היא n , לכן, נקודת החיתוך של הקו המתאר את $\frac{1}{v}$ כפונקציה של $\frac{1}{u}$ עם הציר האנכי היא $\frac{1}{f}$.

ד.

$1/v \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$1/u \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$v \text{ (cm)}$	$u \text{ (cm)}$
0.033333	0.016667	30	60
0.031746	0.018182	31.5	55
0.030303	0.02	33	50
0.027778	0.022222	36	45
0.025	0.025	40	40
0.021505	0.028571	46.5	35
0.016667	0.033333	60	30
0.01	0.04	100	25

ה. הגרף:



שיפוע הגרף הוא (1-) וזה אכן הערך שקבענו בסעיף ג.
 ו. כל אחת משתי נקודות החיתוך של העקומה עם הצירים מייצגת את $\frac{1}{f}$.

$$\frac{1}{f} = 0.05 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow f = 20 \text{ cm}$$

20. א. משמעות המשפט "רוחק המוקד של עדשה מרכזת הוא 3 ס"מ": כאשר קרניים מקבילות לציר העדשה הנתונה פוגעות בה - הן נחתכות בנקודה אחת, הנמצאת במרחק 3 ס"מ מן העדשה.

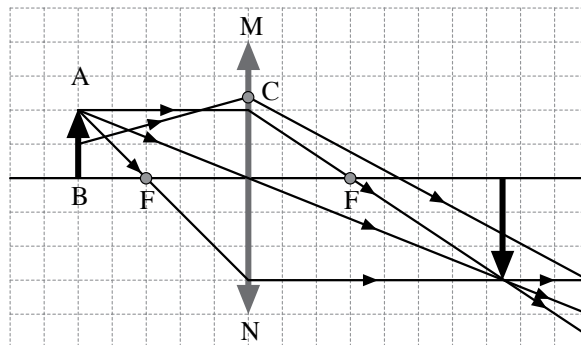
ב. (1) חישוב מרחק הדמות מן העדשה:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{5} + \frac{1}{v} = \frac{1}{3} \Rightarrow v = 7.5 \text{ cm}$$

(2) חישוב גובה הדמות:

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{H_i}{2} = \frac{|7.5|}{5} \Rightarrow H_i = 3 \text{ cm}$$

ג + ד. להלן האיור המופיע בשאלה, בתוספת שלוש קרניים המופצות מראש העצם ונשברות בעדשה, ודמות העצם. דמות העצם היא ממשית, כי כל נקודה בה היא נקודת חיתוך של הקרניים הנשברות בעדשה, כאשר הקרניים הפוגעות בעדשה הופצו מהנקודה המתאימה של העצם.
 האיור כולל גם קרן המופצת מאמצע העצם והעוברת את העדשה בנקודה C לאחר שבירתה בעדשה. קרן זו חותכת את אמצע הדמות.



ה. כאשר מכסים את המחצית העליונה של העדשה בבד אטום לאור - הדמות תהיה **פחות בהירה** אך היא תופיע באותו מקום ובשלמותה.

21. נציב בנוסחת מלטשי העדשות $R_1 = -10 \text{ cm}$ ו- $R_2 = +20 \text{ cm}$ ונקבל:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = (1.5-1) \left(\frac{1}{-10} + \frac{1}{20} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{1}{40 \text{ cm}} = -\frac{1}{0.4 \text{ m}} = (-2.5) \text{ דיופטריות}$$

כלומר עוצמת העדשה היא (-2.5) דיופטריות.

22. א. (1) חישוב עוצמת העדשה: $C = \frac{1}{f} \Rightarrow C = \frac{1}{0.2 \text{ m}} \Rightarrow C = 5 \text{ דיופטריות}$

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{15} + \frac{1}{v} = \frac{1}{20} \Rightarrow v = -60 \text{ cm}$$

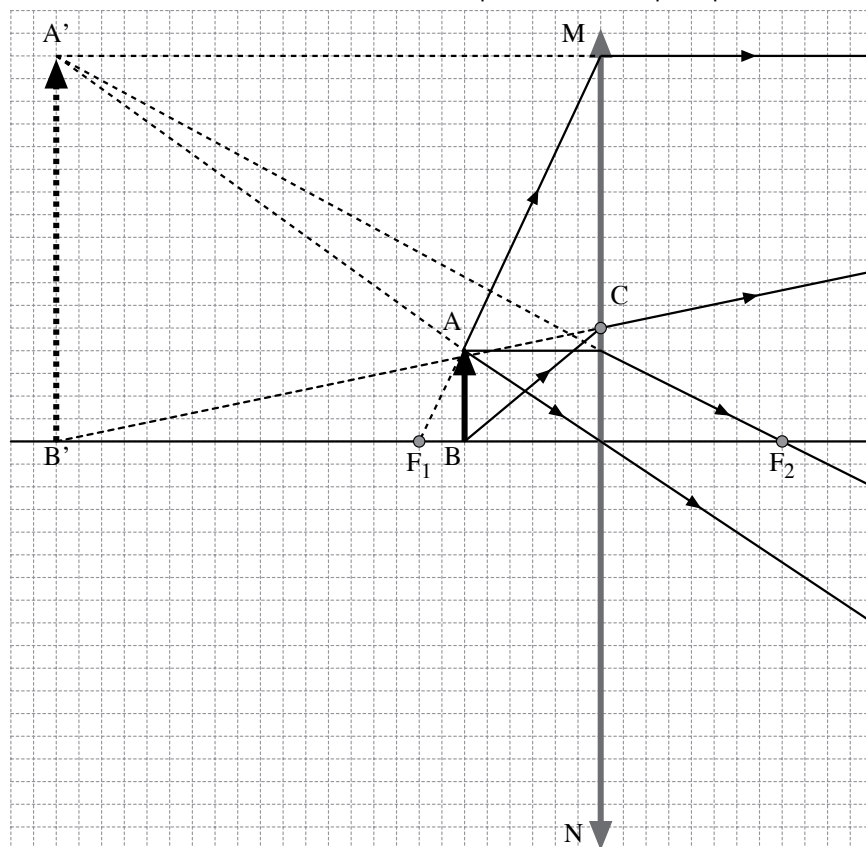
(2) חישוב מרחק הדמות מהעדשה: מרחק הדמות מהעדשה הוא 60 ס"מ. משמעות הסימן מינוס הוא שהדמות מדומה.

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{H_i}{10} = \frac{|-60|}{15} \Rightarrow H_i = 40 \text{ cm}$$

(3) חישוב גובה הדמות:

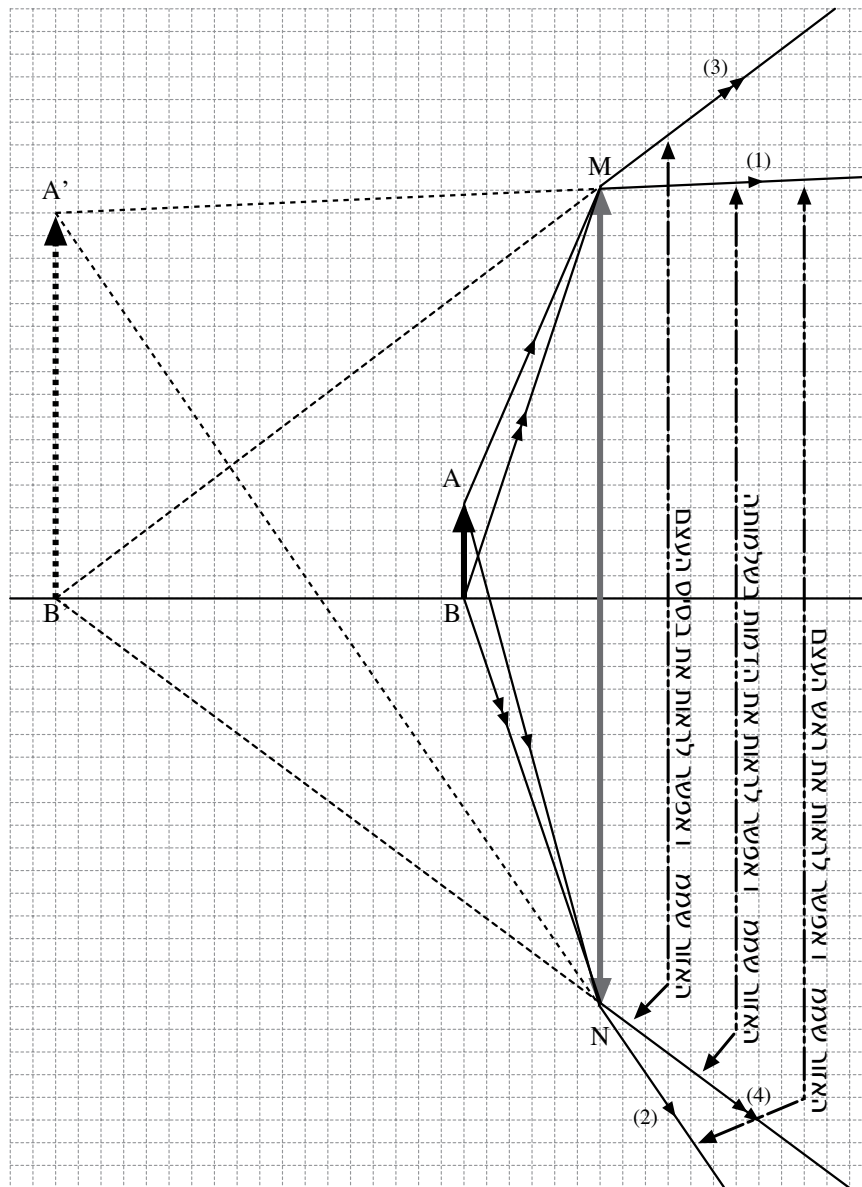
ב.ג. האיור שלהלן הוא האיור המופיע בשאלה, שסורטט בקנה מידה 5:1, בתוספת סרטוט של 3 קרניים ודמות העצם.

בנוסף לכך מסורטטת באיור קרן המופצת מבסיס העצם B, ועוברת בעדשה בנקודה C. כיוון מהלך הקרן לאחר השבירה בעדשה נקבע כך שהמשכה חותך את בסיס הדמות B'.



איור א

ד. אפשר לראות את הדמות. באיור ב מסומן האזור שממנו אפשר לראות אותה בשלמותה.



איור ב

23. א. (1) מרחק העצם מהעדשה הוא 4 משבצות, דהיינו 20 ס"מ. מרחק הדמות מהעדשה הוא 12 משבצות המייצגים 60 ס"מ. נחשב באמצעות נוסחת העדשות של גאוס את רוחק המוקד:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{-v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20} + \frac{1}{-60} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = 30 \text{ cm}$$

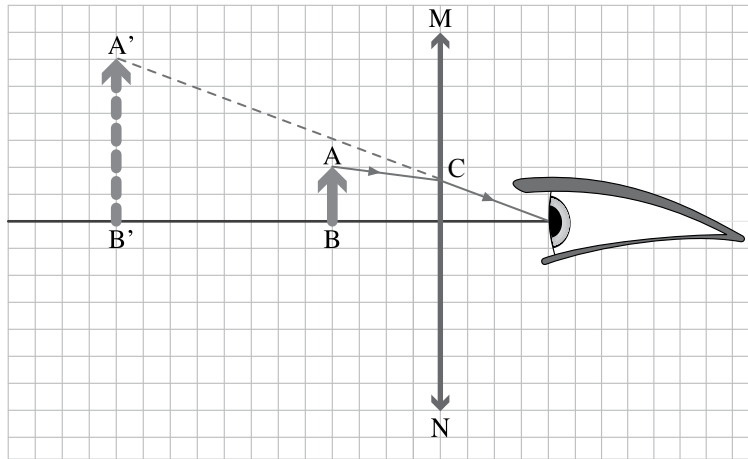
(2) נחשב את עוצמת העדשה: $C = \frac{1}{f} \Rightarrow C = \frac{1}{0.3\text{m}} \Rightarrow C = 3\frac{1}{3} D$

ב. כן. הלוח אינו מפריע למהלך האור מהעצם לעדשה ולעין של הצופה. הדמות היא מדומה, והאור מגיע לעין של הצופה מהכיוון של הדמות המדומה, אבל הוא אינו מתפשט באזור הלוח.

$\tan \alpha = \frac{6}{16} = 0.375$ משבצות, לכן זווית הראייה של הדמות מקיימת:

לכן זווית הראייה שלו מקיימת: $\tan \beta = \frac{2}{8} = 0.25$

ד. מהלך הקרן מתואר באיור שלפניך:



C וממנה לאישון העין.

24. המשפט הנכון הוא (2).

ההגדלה הקווית מקיימת:

$$(\lambda) \quad m = \frac{v}{u}$$

$$(2) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} \Rightarrow v = \frac{fu}{u-f}$$

נוסחת העדשות של גאוס:

$$m = \frac{v}{u} = \frac{fu}{(u-f)u} = \frac{f}{u-f}$$

נציב את (ב) ב-(א) ונקבל:

ככל ש- u קטן - המכנה קטן (הוא חיובי לכל u שמוגדר בתנאי השאלה), לכן m גדל. לכן משפט (1) המופיע בשאלה אינו נכון.

נראה שמשפט (3) אינו נכון: על פי נוסחת העדשות של גאוס, ככל ש- u קטן v גדל. מכאן שגם משפט (4) אינו נכון. נשארה, אם כן, רק האפשרות שמשפט (2) נכון.

נראה גם ישירות שמשפט (2) נכון:

על פי נוסחת העדשות של גאוס: $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{u+v}{uv} = \frac{1}{f} \Rightarrow u+v = \frac{1}{f}uv$

$$(\aleph) \quad y = \frac{1}{f} uv \qquad \text{בסמל: } y = u + v$$

$$(1) \quad v = \frac{uf}{u-f}$$

מנוסחת העדשות של גאוס נובע כי:

$$(א) \quad y = \frac{u^2}{u-f} \quad \text{נציב את ביטוי (ב) במקום } v \text{ בקשר (א):}$$

$$\frac{dy}{du} = \frac{2u(u-f) - u^2}{(u-f)^2} \quad \text{נגזור את הביטוי האחרון:}$$

כדי למצוא עבור איזה ערך של u יש לפונקציה y נקודת קיצון נשווה את הנגזרת לאפס. מתקבל קיצון בנקודה:

$$u = 2f$$

אפשר לראות כי נקודת הקיצון היא נקודת מינימום (למשל על ידי הצבת ערכים). כלומר לסכום המרחקים יש **ערך מינימלי** ב- $u = 2f$. לכן סכום המרחקים (המרחק בין העצם לדמות), כאשר מרחק העצם מהעדשה קטן מ- $10f$ ל- $5f$, קטן.

25 א. העדשה היא מרכזת, כיוון שבעדשה מפזרת הדמות היא תמיד מדומה.

$$(א) \quad m = \frac{v}{u} \Rightarrow 1.5 = \frac{v}{60} + \frac{1}{f} \Rightarrow v = 90 \text{ cm} \quad \text{ב. ההגדלה הקווית:}$$

נוסחת העדשות של גאוס:

$$(ב) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{-v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{60} + \frac{1}{90} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = 36 \text{ cm} \quad \text{רוחק המוקד של העדשה הוא 36 ס"מ.}$$

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow C = \frac{1}{-0.05 \text{ m}} \Rightarrow C = \text{דיופטריות } (-20) \quad \text{26 א. חישוב עוצמת העדשה:}$$

$$(1) \quad m = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{|v|}{u} = |v| \cdot \frac{1}{u} \quad \text{ב. נרשום שתי משוואות בשני נעלמים:}$$

$$(2) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{-5} \Rightarrow \frac{1}{u} = -\frac{1}{v} - \frac{1}{5} \quad \text{נציב את } \frac{1}{u} \text{ מקשר (2) בקשר (1) ונקבל:}$$

$$(3) \quad \frac{1}{3} = |v| \cdot \left(-\frac{1}{v} - \frac{1}{5}\right) \quad \text{העדשה מפזרת, לכן הדמות מדומה לכן } v \text{ שלילי. מכאן:}$$

$$(4) \quad |v| = -v \quad \text{נציב את קשר (4) בקשר (3) ונקבל:}$$

$$(5) \quad \frac{1}{3} = -v \cdot \left(-\frac{1}{v} - \frac{1}{5}\right) \quad \text{פתרון משוואה (5):}$$

$$v = -\frac{10}{3} \text{ cm}$$

נציב את הערך של v שמצאנו לעיל בקשר (1) ונקבל:

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow 10 = \frac{1}{f} \Rightarrow f = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm} \quad \text{27 א.ב. נחשב תחילה את רוחק המוקד של העדשה:}$$

נרשום שתי משוואות בשני נעלמים:

$$(1) \quad m = \frac{|v|}{u} \Rightarrow 4 = \frac{|v|}{u} = |v| \cdot \frac{1}{u}$$

$$(2) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{1}{u} = -\frac{1}{v} + \frac{1}{10}$$

נציב את $\frac{1}{u}$ מקשר (2) בקשר (1) ונקבל:

$$(3) \quad 4 = |v| \cdot \left(-\frac{1}{v} + \frac{1}{10}\right)$$

בסעיף א השאלה עוסקת בדמות ממשית. במקרה זה v חיובי, לכן:

$$(4) \quad |v| = v$$

נציב את קשר (4) בקשר (3) ונקבל:

$$(5) \quad 4 = v \cdot \left(-\frac{1}{v} + \frac{1}{10}\right)$$

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

פתרון משוואה (5):

$$u = 12.5 \text{ cm}$$

נציב את הערך של v שמצאנו לעיל בקשר (1) ונקבל:

תשובה לסעיף א: כדי לקבל דמות ממשית מוגדלת פי ארבעה יש להציב את הנר במרחק 12.5 ס"מ מהעדשה.

בסעיף ב, השאלה עוסקת בדמות מדומה. במקרה זה v שלילי, לכן:

$$(6) \quad |v| = -v$$

נציב את קשר (6) בקשר (3) ונקבל:

$$(7) \quad 4 = -v \cdot \left(-\frac{1}{v} + \frac{1}{10}\right)$$

$$v = -30 \text{ cm}$$

פתרון משוואה (7):

$$u = 7.5 \text{ cm}$$

נציב את הערך של v שמצאנו לעיל בקשר (1) ונקבל:

תשובה לסעיף ב: כדי לקבל דמות מדומה מוגדלת פי ארבעה יש להציב את הנר במרחק 7.5 ס"מ מהעדשה.

28. אם העדשה עבה יותר במרכז מאשר בשוליים - היא מרכזת. אם היא דקה יותר במרכז מאשר בשוליים - היא מפזרת.

29. א. על פי הנתון:

$$(א) \quad u + v = 80$$

$$(ב) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{15} \quad \text{נוסחת העדשות של גאוס:}$$

$$(ג) \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{80-u} + \frac{1}{15} \quad \text{נציב את הביטוי ל- } v \text{ מ- (א) ב- (ב) ונקבל:}$$

$$u^2 - 80u + 1200 = 0 \quad \text{מקשר (ג) נקבל את המשוואה הריבועית:}$$

$$u_2 = 20 \text{ cm} \quad ; \quad u_1 = 60 \text{ cm} \quad \text{פתרונות המשוואה:}$$

ב. מתקבלות שתי תשובות כי מהלך הקרן הפוגעת והקרן הנשברת בתופעת השבירה היא הפיך.

ג. במקרה הראשון $u_1 = 60 \text{ cm}$ ו- $v_1 = 20 \text{ cm}$, לכן ההגדלה הקווית:

$$m_1 = \frac{v_1}{u_1} \Rightarrow m_1 = \frac{20}{60} \Rightarrow m_1 = \frac{1}{3}$$

במקרה השני $u_2 = 20 \text{ cm}$ ו- $v_2 = 60 \text{ cm}$, לכן ההגדלה הקווית:

$$(ד) \quad m_2 = \frac{v_2}{u_2} \Rightarrow m_2 = \frac{60}{20} \Rightarrow m_2 = 3$$

$$30. \text{נחשב את מרחק הדמות מהעדשה: } \frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{45} + \frac{1}{v} = \frac{1}{30} \Rightarrow v = 90 \text{ cm}$$

$$\text{נחשב את ההגדלה הקווית: } m = \frac{v}{u} \Rightarrow m = \frac{90}{45} \Rightarrow m = 2$$

כלומר כל ממד של הדמות גדול פי 2 מהממד המתאים של העצם (שהוא מקור האור שצורתו לוח מלבני). גם צורת הדמות היא מלבן. אורכו ורוחבו של מלבן זה גדולים פי 2 מאורכו ורוחבו בהתאמה של העצם. לכן שטח הדמות גדול פי $2 \cdot 2 = 4$ משטח המקור.

31. א. נחשב את רוחק המוקד של העדשה:

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow -2.5 = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -0.4 \text{ m} = -40 \text{ cm}$$

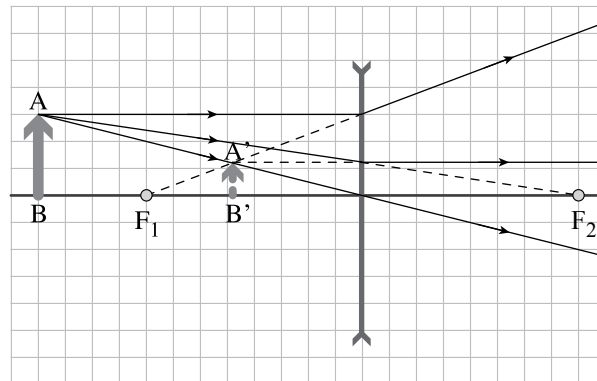
כלומר רוחק המוקד הוא 40 ס"מ.

$$\text{נוסחת העדשות של גאוס: } \frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{60} + \frac{1}{v} = \frac{1}{-40} \Rightarrow v = -24 \text{ cm}$$

לכן מרחק הדמות מהעדשה הוא 24 ס"מ. המשמעות של הסימן האלגברי - (מינוס) הוא שהדמות מדומה.

$$\text{ב. הביטויים להגדלה הקווית: } \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{H_i}{15} = \frac{|-24|}{60} \Rightarrow H_i = 6 \text{ cm}$$

ג. להלן איור בקנה מידה שבו רוחב כל משבצת מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



ד. על פי האיור מרחק הדמות מהעדשה הוא 4.8 ס"מ, לכן מרחק הדמות מהעדשה במציאות הוא $5 \cdot 4.8 = 24 \text{ cm}$, ותוצאה זו תואמת את התשובה לסעיף א.

על פי האיור גובה הדמות הוא 3 משבצות, לכן גובה הדמות במציאות הוא $5 \cdot 3 = 15 \text{ cm}$, ותוצאה זו תואמת את התשובה לסעיף ב.

32. נחשב את רוחק המוקד f_1 של העדשה השמאלית:

$$C_1 = \frac{1}{f_1} \Rightarrow 5 = \frac{1}{f_1} \Rightarrow f_1 = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

רוחק המוקד f_2 של העדשה הימנית:

$$C_2 = \frac{1}{f_2} \Rightarrow 2.5 = \frac{1}{f_2} \Rightarrow f_2 = 0.4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

א. נחשב את המרחק v_1 של הדמות הראשונה מהעדשה השמאלית:

$$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} + \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{100} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{20} \Rightarrow v_1 = 25 \text{ cm}$$

מרחק הדמות הראשונה מהעדשה הימנית: $u_2 = 85 - 25 = 60 \text{ cm}$

נחשב את המרחק v_2 של הדמות השנייה (והאחרונה) מהעדשה הימנית:

$$\frac{1}{u_2} + \frac{1}{v_2} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{60} + \frac{1}{v_2} = \frac{1}{40} \Rightarrow v_2 = 120 \text{ cm}$$

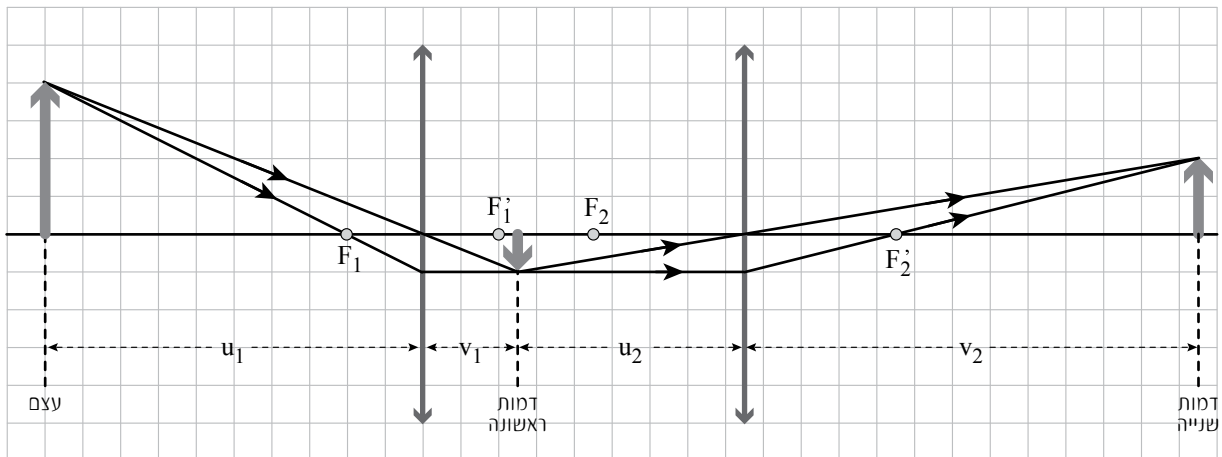
ב. נחשב את הגובה, $H_{i,1}$, של הדמות הראשונה:

$$\frac{H_{i,1}}{H_0} = \frac{|v_1|}{u_1} \Rightarrow \frac{H_{i,1}}{10} = \frac{|25|}{100} \Rightarrow H_{i,1} = 2.5 \text{ cm}$$

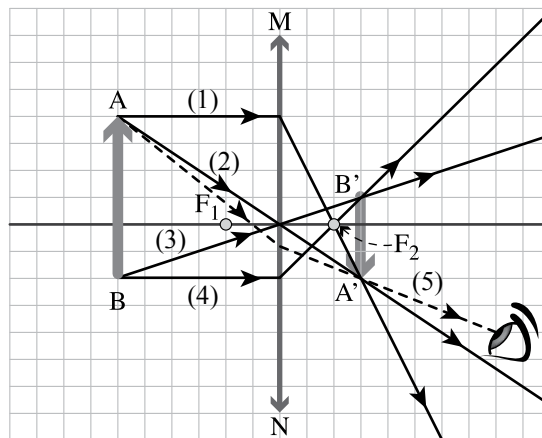
נחשב את הגובה, $H_{i,2}$, של הדמות השנייה:

$$\frac{H_{i,2}}{H_{i,1}} = \frac{|v_2|}{u_2} \Rightarrow \frac{H_{i,2}}{2.5} = \frac{120}{60} \Rightarrow H_{i,2} = 5 \text{ cm}$$

ג. באיור המערכת האופטית המופיע להלן בחרנו קנה מידה שונה לאורך כיוון הציר האופטי ולאורך הכיוון המאונך לציר. לאורך כיוון הציר קנה המידה הוא: רוחב משבצת אחת באיור מייצג 10 ס"מ במציאות. לאורך כיוון המאונך לציר, קנה המידה הוא: רוחב משבצת אחת באיור מייצג 2.5 ס"מ במציאות.



33. א. באיור שלהלן מוצגת המערכת האופטית.



על פי האיור גובה העצם הוא 6 משבצות, וגובה הדמות הוא 3 משבצות, לכן ההגדלה הקווית:

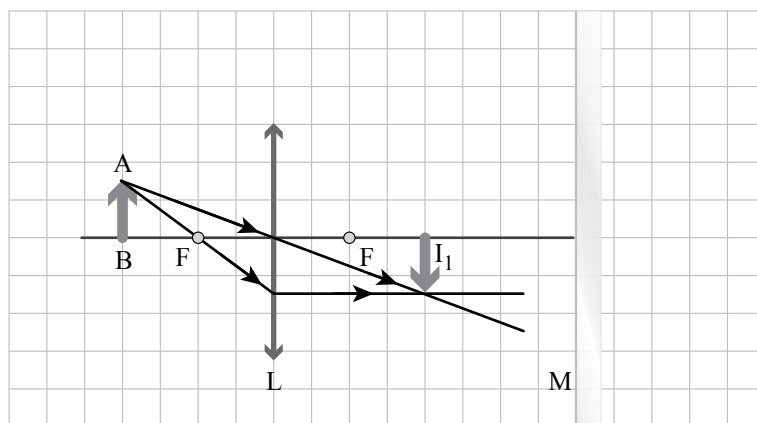
$$m = \frac{H_i}{H_0} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

ג. הקרן (5) המסורטטת באיור לעיל בקו מקווקו יוצאת מראש העצם ומגיעה לעין. סרטטנו אותה כך: סרטטנו קו המחבר את אישון העין עם ראש הדמות. את נקודת החיתוך של קו זה עם העדשה חיברנו עם ראש העצם. הבנייה מבוססת על כך שכל הקרניים הנפלטות מראש העצם ונשברות בעדשה נחתכות בראש הדמות.

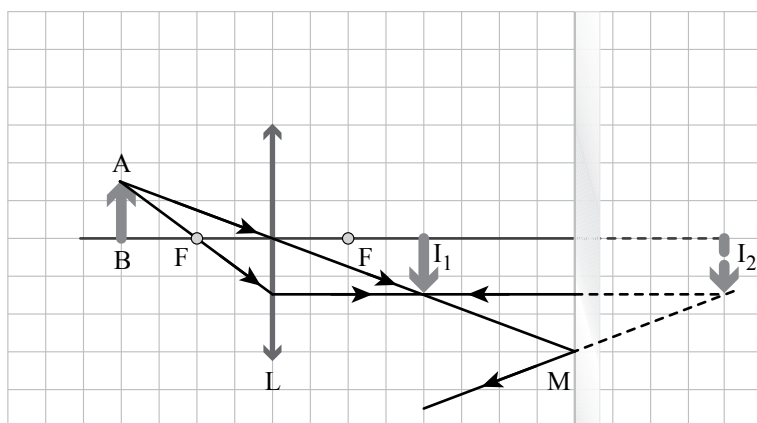
34. א. נוצרות שלוש דמויות. הדמות הראשונה נוצרת כתוצאה משבירת האור המתפשט ימינה בעדשה. הדמות השנייה מתקבלת כתוצאה מהחזרת האור על ידי המראה. והדמות השלישית נוצרת כתוצאה משבירה בעדשה של האור שהוחזר מהמראה.

ב. הדמות הראשונה היא ממשית, השנייה מדומה והשלישית ממשית.

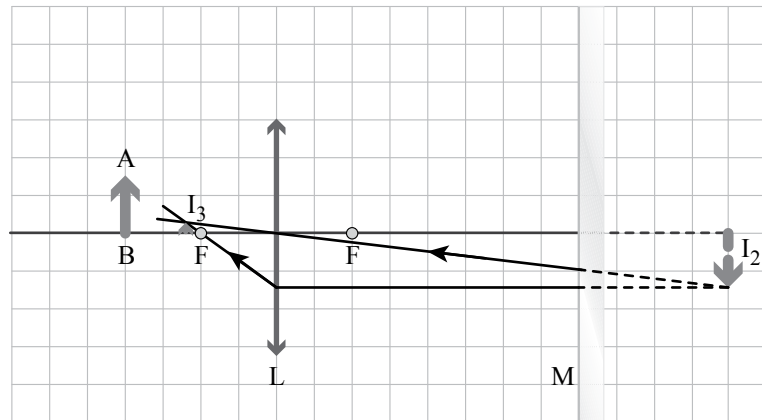
ג. לפיכך איורים המתארים את היווצרות הדמויות.



איור א: יצירת הדמות I_1

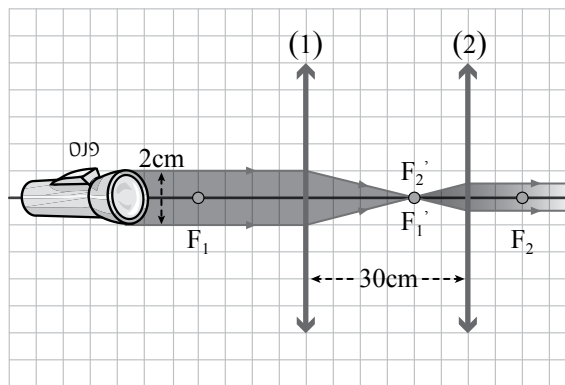


איור ב: יצירת הדמות I_2



איור ג: יצירת הדמות I_3

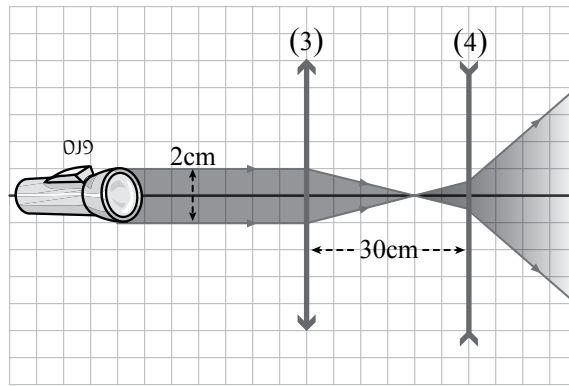
35. א. איור א מתאר את מהלך האור:



איור א

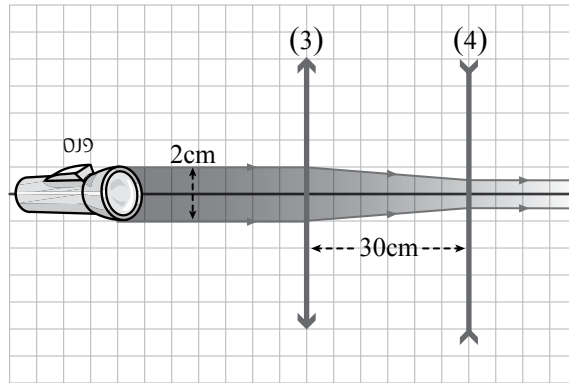
על פי דמיון המשולשים המופיעים באיור בין שתי העדשות מקבלים שרוחב האלומה לאחר יציאתה מעדשה (2) הוא 1 ס"מ.

ב. נבדוק את האפשרות שהמוקד של עדשה (3) נמצא משמאל לעדשה (4). במקרה כזה האור הנשבר בעדשה (3) יתרכז במוקד של עדשה (3) משמאל לעדשה (4). האלומה הפוגעת בעדשה (4) היא אלומה מתבדרת. עדשה (4) תגרום לאלומת זו להתבדרות נוספת, כמתואר באיור ב, לכן האלומה שתעבור את עדשה (4) לא תוכל להיות מקבילה.



איור ב

לעומת זאת אם המוקד של עדשה (3) יימצא מימין לעדשה (4) הוא יגיע לעדשה (4) כאלומת מתכנסת. עדשה (4) תגרום לאלומת האור המגיעה אליה להתבדר, ויש אפשרות שהאלומה שעוברת את עדשה (4) תצא מקבילה, כמתואר באיור ג.



איור ג

36. א. נחשב את מרחק v_B של דמות הנקודה B מן העדשה:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12} + \frac{1}{v_B} = \frac{1}{4} \Rightarrow v_B = 6 \text{ cm}$$

נחשב את המרחק, Δx , בין היטל הנקודה A על הציר האופטי, לבין הנקודה B:

$$\frac{\Delta x}{6} = \cos 60^\circ \Rightarrow \Delta x = 6 \cdot \cos 60^\circ = 3 \text{ cm}$$

נחשב את המרחק, Δy , של הנקודה A מהציר האופטי:

$$\frac{\Delta y}{6} = \sin 60^\circ \Rightarrow \Delta y = 6 \cdot \sin 60^\circ \approx 5.2 \text{ cm}$$

מרחק, u_A , של הנקודה A מן העדשה:

$$u_A = u - \Delta x = 12 - 3 = 9 \text{ cm}$$

נחשב את מרחק v_A של דמות הנקודה A מן העדשה:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{9} + \frac{1}{v_A} = \frac{1}{4} \Rightarrow v_A = 7.2 \text{ cm}$$

גובה הנקודה A מעל הציר האופטי הוא $\Delta y \approx 5.2 \text{ cm}$. נחשב את המרחק $\Delta y'$ של הדמות של A מהציר האופטי. על פי נוסחת ההגדלה הקווית:

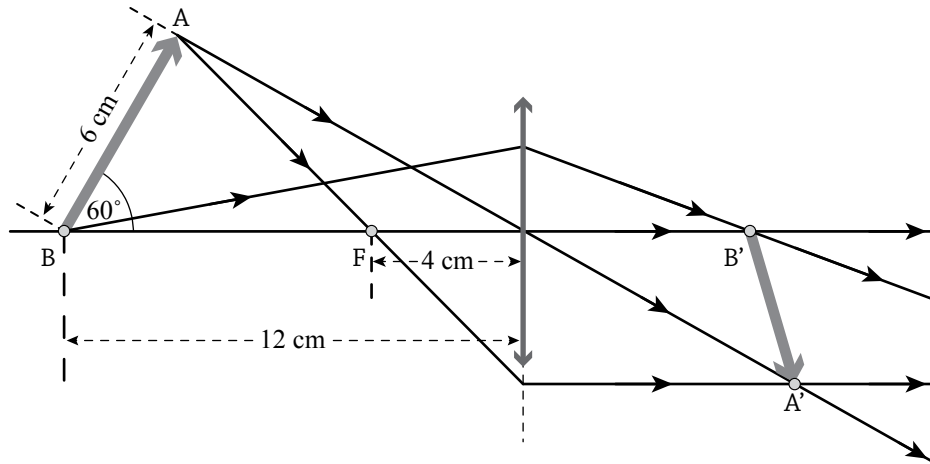
$$\frac{H_0}{H_i} = \frac{|v|}{u} \Rightarrow \frac{\Delta y}{\Delta y'} = \frac{|v_A|}{u_A} \Rightarrow \frac{5.2}{\Delta y'} = \frac{|9|}{7.2} \Rightarrow \Delta y' = 4.16 \text{ cm}$$

כלומר הדמות של הנקודה A נמצאת מתחת לציר האופטי, במרחק 7.2 ס"מ מהעדשה, ובמרחק 4.16 ס"מ מהציר האופטי של העדשה.

ג. מרחק הנקודה A' מהציר האופטי הוא 4.16 ס"מ. המרחק האופקי של הנקודה A' מהנקודה B הוא $7.2 - 6 = 1.2 \text{ cm}$

$$\ell' = \sqrt{1.2^2 + 4.16^2} = 4.33 \text{ cm}$$

ד. לפניך איור של המערכת האופטית:



ממצאי האיור עומדים בהתאמה לתשובה לסעיף ב.

ה. התרשימים מופיעים באיור שלמעלה.

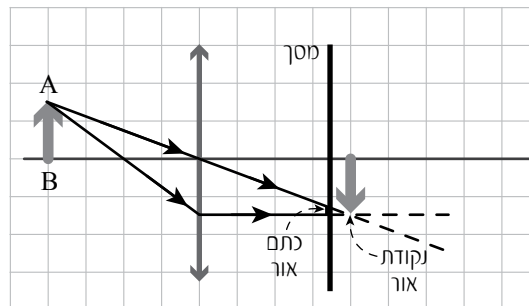
ו. מהלך הקרן מוצג באיור שלמעלה.

37. א. נחשב את מרחק הדמות מהעדשה:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{50} + \frac{1}{v} = \frac{1}{10} \Rightarrow v = 12.5 \text{ cm}$$

המסך נמצא במרחק 12 ס"מ מהעדשה, לכן לא מתקבלת עליו דמות חדה.

ב. אור שנפלט מנקודה שעל העצם אינו מתרכז לנקודה אחת על המסך, אלא לעיגול של אור, שחתך שלו מתואר באיור (שאינו מסורטט בקנה מידה):



ג. על המסך תתקבל דמות מטושטשת של העצם, כי כל נקודה על העצם מתבטאת כעיגול אור על המסך, ולא כנקודת אור.