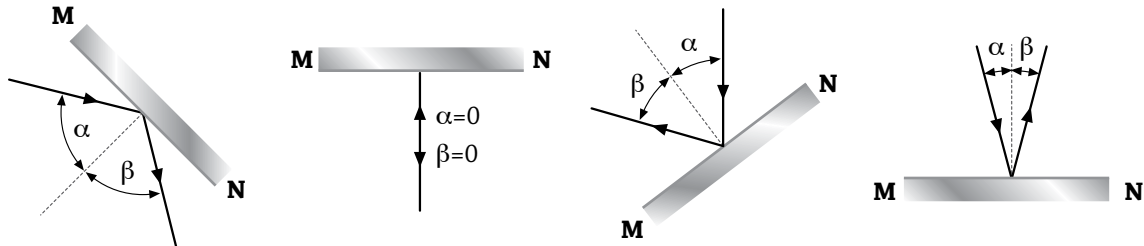
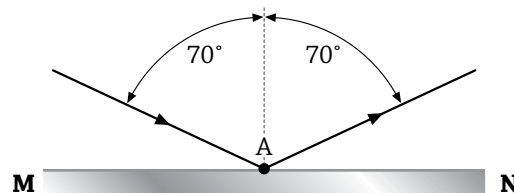


פרק ב: החזרת אור

1. א+ב. האיורים שלהלן כוללים את הקרניים המוחזרות, את זוויות הפגיעה ואת זוויות ההחזרה.



2. האיור שלהלן כולל את הקרן הפוגעת במראה ואת הקרן המוחזרת ממנה.



3. א. זווית פגיעה מוגדרת כזווית בין הקרן הפוגעת במשטח, לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה של הקרן.

ב. זווית הפגיעה נמדדת בין הקרן הפוגעת לאנך בנקודת הפגיעה, לכן באיור א היא 70° .

ג. זווית ההחזרה במצב המוצג באיור ב תהיה 0° .

4. זווית הפגיעה שווה ל- 30° , על-פי הגדרת המושג "זווית פגיעה", ובהתאם לאחד משני חוקי ההחזרה האומר כי זוויות הפגיעה וההחזרה שוות זו לזו.

5. (4)

6. (4)

7. א. חוקי ההחזרה:

כאשר קרן פוגעת במראה אזי:

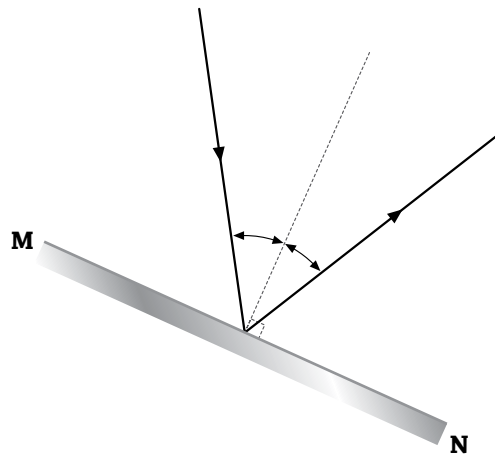
(1) הקרן המוחזרת מתפשטת במישור שנקבע על-ידי הקרן הפוגעת ועל-ידי האנך למראה בנקודת הפגיעה.

(2) זווית ההחזרה (הזווית בין הקרן המוחזרת מן המראה לבין האנך), שווה לזווית הפגיעה (הזווית בין הקרן הפוגעת במראה לבין האנך למראה בנקודת הפגיעה).

ב. האיור שמופיע בסוף התשובה כולל סרטוט של חתך המראה (הוא מסומן ב-MN).

ג. כיוון חתך המראה נקבע ככיוון המאונך לחוצה הזווית שבין שתי הקרניים.

ד. פני המראה נמצאים במישור המאונך למישור הכולל את הקרן הפוגעת ואת הקרן המוחזרת בנקודת החיתוך של שתי קרניים אלו.



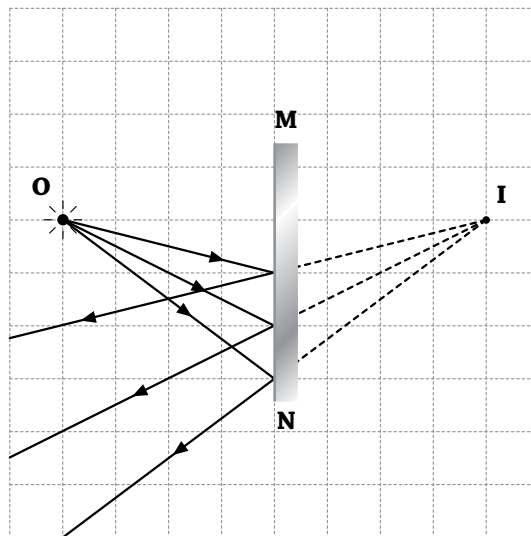
8. א. ניסוי אחד: בחדר חשוך מאירים עם אלומת אור על דף נייר. נוכחים כי אפשר לראות את העיגול המואר הנוצר על הנייר **מכל הכיוונים**.

ניסוי שני: מניחים מראה על שולחן, ומטילים עליה אלומת לייזר. אלומת הלייזר מוחזרת לכיוון מסוים, ואפשר לאתר את כתם אור הנוצר על-ידי הפגיעה של האלומה המוחזרת בתקרה (או בקיר). כאשר מניחים דף נייר על המראה (כך שאלומת הלייזר תפגע עתה בנייר ולא במראה) - כתם האור נעלם, ונוכחים כי אפשר לראות את נקודת הפגיעה של אלומת הלייזר בדף הנייר **מכל הכיוונים**.

ב. כי אור יום פוגע במראה מכל הכיוונים, לכן מוחזר לכל הכיוונים.

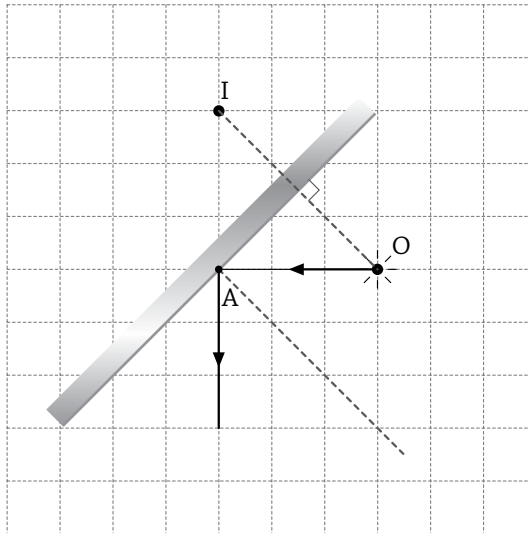
9. כל קרן הפוגעת בקיר מוחזרת על-פי חוקי ההחזרה. אולם, כיוון שהקיר מחוספס ההחזרה אינה מסודרת - האור מפוזר.

10. א+ב. האיור להלן כולל את שלוש הקרניים המוחזרות (פתרון סעיף א), ואת מקום הדמות של מקור האור (הדמות מסומנת ב-I) (פתרון סעיף ב).

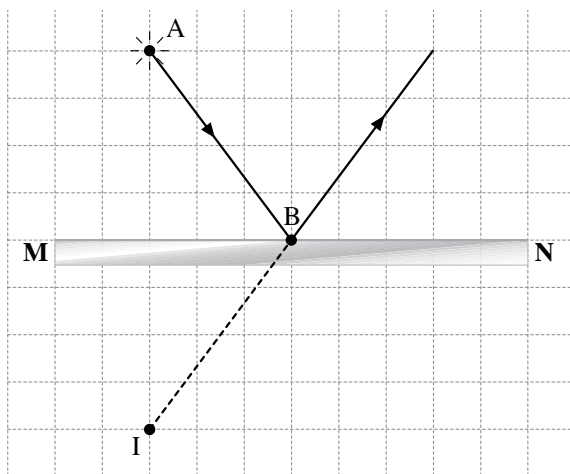


ג. הדמות סימטרית לעצם ביחס למראה. במילים אחרות: אם מחברים את מקור האור הנקודתי עם דמותו, מתקבל קו המאונך למראה, והמרחק ממקור האור למראה שווה למרחק הדמות מן המראה. אפשר להוכיח זאת על סמך המשולשים החופפים שנוצרים.

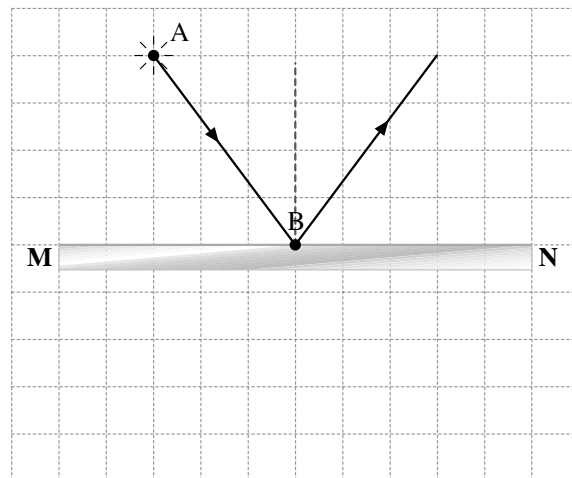
11. א+ב. באיור שלהלן מתואר חתך המראה. כיוונו נקבע כאנך לחוצה הזווית שבין שתי הקרניים. כמו כן מסומנת באיור באות I, הדמות של מקור האור O. הדמות התקבלה כנקודה סימטרית ל-O ביחס למראה.



12. א. באיור א שלהלן סרטטנו את מהלך האלומה המוחזרת, בעזרת חוקי ההחזרה.



איור ב



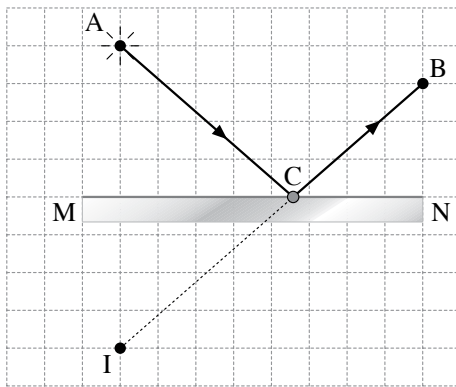
איור א

ב. באיור ב לעיל סרטטנו את מהלך האלומה המוחזרת, בעזרת הכלל האומר שהמשכה של הקרן המוחזרת חותך את דמות העצם. לכן יש לסמן תחילה את הדמות I בנקודה סימטרית ל-A ביחס למראה, ולאחר מכן לחבר את I ל-B ולהמשיך את IB כקרן מוחזרת.
ג. התוצאות בשאלות א ו-ב זהות.

13. כן, כי משמעות העובדה שאני רואה במראה את עיני חברי היא שיש אלומה המופצת מעיני חברי, פוגעת במראה, ומוחזרת ממנה לעיני. מהלך האור בתופעת ההחזרה הוא הפיך, לכן יש אלומה המופצת מעיני, פוגעת במראה, ומוחזרת לעיני חברי. באמצעות מהלך אלומה זו הוא רואה את עיני.

14. האדם יראה את דמותו במראה בצורה בהירה יותר כאשר הוא יפנה את אור הנורה לכיוונו כמתואר באיור ב של השאלה. במקרה זה, אור הנורה יוחזר ממנו, חלקו יפגע במראה, וחלק מהאור המוחזר על-ידי המראה יגיע לעיניו, ובאמצעות אור זה הוא יראה את דמותו.

אם האדם יכוון את אור הנורה לעבר המראה, רק חלק קטן ממנו יוחזר אליו. אור זה שוב יוחזר מהאדם לעבר המראה, ויוחזר שוב לעבר האדם. באמצעות האור שיגיע לעיניו הוא אמנם יוכל לראות את דמותו, אך הדמות תהיה פחות בהירה.



15. באיור דלהלן מתואר מהלך האור מהנקודה A לנקודה B.

תיאור שלבי הבנייה של מהלך האור:

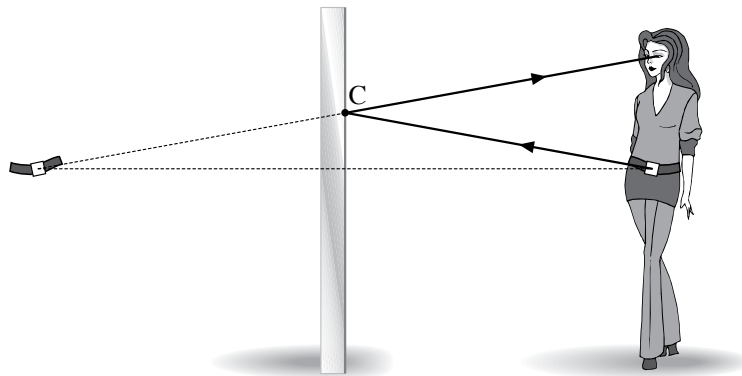
(1) סרטטנו את הדמות I של הנקודה A (I היא נקודה סימטרית ל-A ביחס למראה).

(2) מתחנו קו מהנקודה I לנקודה B. את נקודת החיתוך של קו זה עם המראה סימנו ב-C.

(3) הקטעים המכונים מ-A ל-C, ומ-C ל-B מתארים את מהלך האור.

16. גם מרחק הדמות מהמראה הוא a, לכן מרחק הדמות מהעצם הוא 2a.

17. א.ב. באיור שלהלן מסומן המקום של דמות האבזם (דמות האבזם סימטרית לאבזם ביחס למראה). את מהלך האור אפשר לקבוע כך: מחברים את דמות האבזם עם העין של הנערה. קו זה חותך את המראה בנקודה C. מהלך האור הוא מן האבזם לנקודה C שעל המראה, ומשם לעין של הנערה.



18. האלומה **תפגע** בפושע.

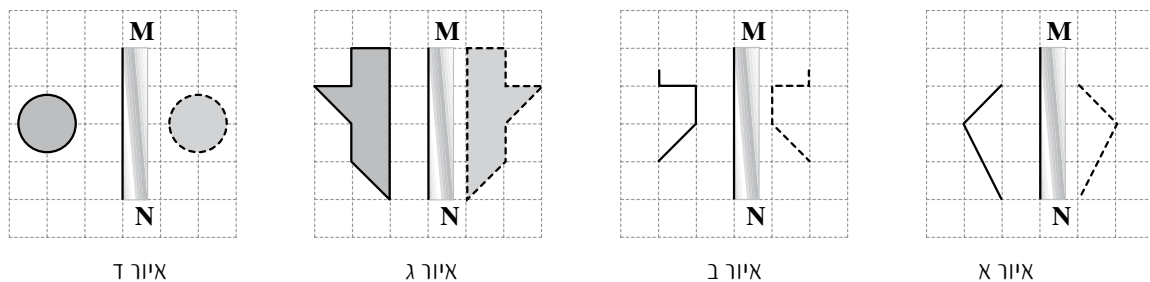
הסבר: השוטור רואה את השתקפות הפושע. מכאן שיש קרן הנפלטת מן הפושע, פוגעת במראה, ומוחזרת לעיני השוטור. מהלך האור בתופעת ההחזרה הוא הפיך. מכאן שקרן (למשל של אקדח הלייזר) שתיפלט מהשוטור בכיוון

דמות הפושע ותיפגע במראה, תוחזר אל הפושע. זה נכון בוודאות לגבי קרן הנפלטת מכיוון עיניו של השוטור (כי אור שנפלט מן הפושע ומוחזר מן המראה מגיע בוודאות לעיני השוטור, שהרי הוא רואה את הפושע). לכן אלומת אקדח הלייזר הנתונה תפגע בפושע.

19. איור א מתאר את מהלך האור אחרי החזרה, מפני שההמשכים אחורנית של הקרניים עוברים דרך נקודה אחת הנמצאת מאחורי המראה.

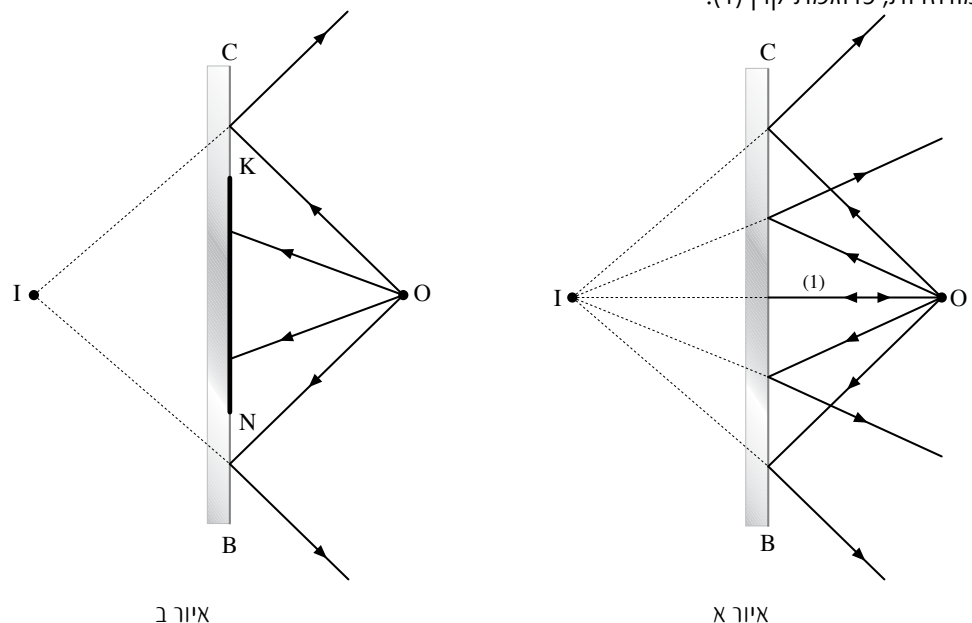
20. CD מייצג את הדמות של AB באיור 2; הדמות של כל נקודה של העצם AB צריכה להיות סימטרית לנקודה ביחס למראה.

21. דמויות העצמים מופיעות באיורים שלהלן. הן התקבלו על סמך הכלל האומר שהדמות של כל נקודה על העצם סימטרית לנקודה ביחס למראה.



22. תיווצר דמות אחת של האדם באמצעות המראה, שאותה האדם אינו יכול לראות.

הסבר: איור א שלהלן מתאר את מערכת המראה והאדם במבט מלמעלה, כפי שהיא היתה אילו לא היה מכסה חלק מן המראה. קרניים הנפלטות מהאדם המיוצג באיור א על-ידי הנקודה O, פוגעות במראה (BC הוא חתך המראה), ומוחזרות ממנה. האות I מסמלת את דמות האדם. האדם יכול לראות את דמותו באמצעות קרניים מוחזרות, כדוגמת קרן (1).



איור ב מתאר את המערכת עם הבד (NK הוא חתך הבד). במקרה זה חלק מהקרניים פוגעות בבד, ואינן תורמות להוצרות הדמות, אך קרניים הפוגעות במראה (משני צדי הבד) "יוצרות" את הדמות לכן הדמות עדיין נשארת כמו באיור א. עתה קרניים כדוגמת קרן (1) אינן "משתתפות" ביצירת הדמות, לכן האדם אינו רואה את דמותו.

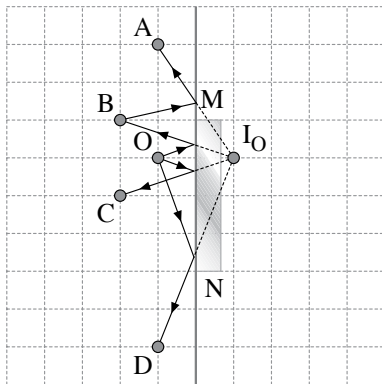
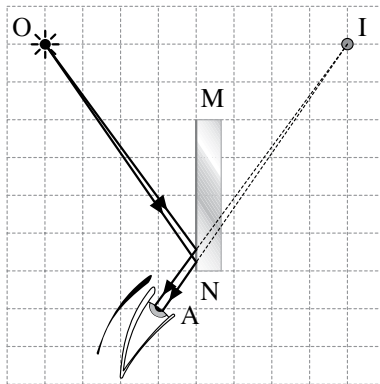
23. כדי שנהג יוכל לזהות באמצעות מראה הנמצאת בתוך המכונית שהרכב הנוסע מאחוריו הוא אמבולנס, המילה "אמבולנס" כתובה על חזית מכונית האמבולנס כך שיש היפוך שלה בכיוון אופקי. במצב זה המילה תיראה לנהג המתבונן במראה ללא היפוך, והוא יזהה שאמבולנס אץ לדרכו.

המלצה למורה: מוצע לבקש מהתלמידים להחזיק את הספר כשהוא פתוח בעמוד 81 מאחורי ראשם, עם העמוד לכיוון קדימה, ולהתבונן במראה שמולם. המילה הרשומה בשאלה 23 תופיע במראה באוריינטציה רגילה.

24. באיור שלהלן מתוארים שלושת החיצים ודמויותיהם הנוצרות באמצעות המראה.

25. היד שאני מנפנף איתה לשלום היא אותה יד שגם דמותי מנפנפת איתה לשלום, אולם מה שנמצא בצד ימין ביחס אלי נמצא בצד שמאל ביחס לדמות; **המושגים "ימין" ו"שמאל" הם יחסיים. מראה אינה הופכת ימין - שמאלה, ולא מעלה - מטה.**

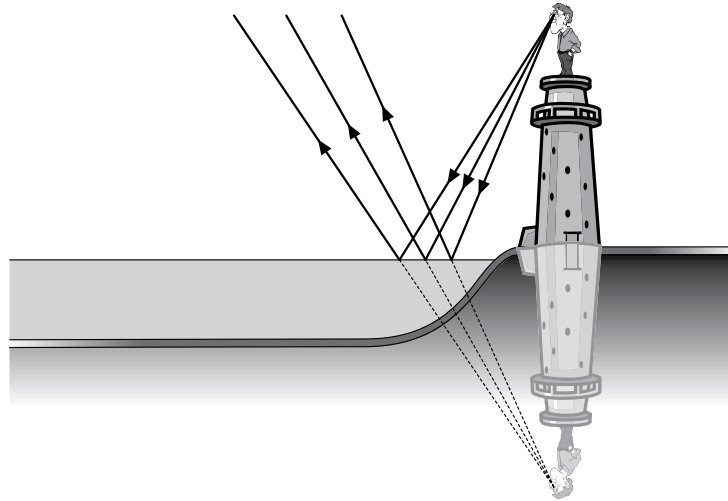
26. הצופה ב-A רואה את הדמות I של העצם O. באיור שלהלן מסורטטות שתי קרניים המופצות מ-O ומגיעות לאישון העין של הצופה.



27. א+ב. נניח לרגע שהמראה היא אינסופית. באיור שלהלן מסורטטות קרניים המופצות מהנערה, מוחזרות **מהמראה האינסופית**, כך שכל קרן מגיעה לאחד הנערים (תחילה סרטטנו את דמות הנערה, ולאחר מכן חיברנו את דמות הנערה עם כל אחד מהנערים). כיוון שהקרניים המופצות מן הנערה ופוגעות **במראה** (ולא בהמשכיה) הן הקרניים המגיעות לנערים B, C ו-D - סימן שנערים **B, C ו-D רואים את הנערה**.

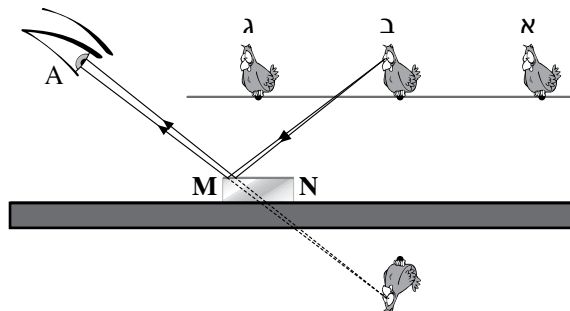
ג. כיוון שמהלך האור בתופעת ההחזרה הוא הפיך, הנערה רואה את נערים B, C ו-D.

28 נוצרת דמות האדם על-ידי פני המים השקטים, אך האדם (העומד בראש המגדל) **אינו יכול לראות אותה**, כי אי אפשר לחבר בקו ישר את דמות העין של האדם עם העין שלו, כך שהקו יחתוך את פני האגם. קרניים ה"יוצרות" את הדמות מתוארות באיור שלהלן.



29. א. כל אחת מהצפורים משתקפת במראה, כי מכל ציפור מופצות קרניים לעבר המראה, והן מוחזרות ממנה בהחזרה מסודרת.

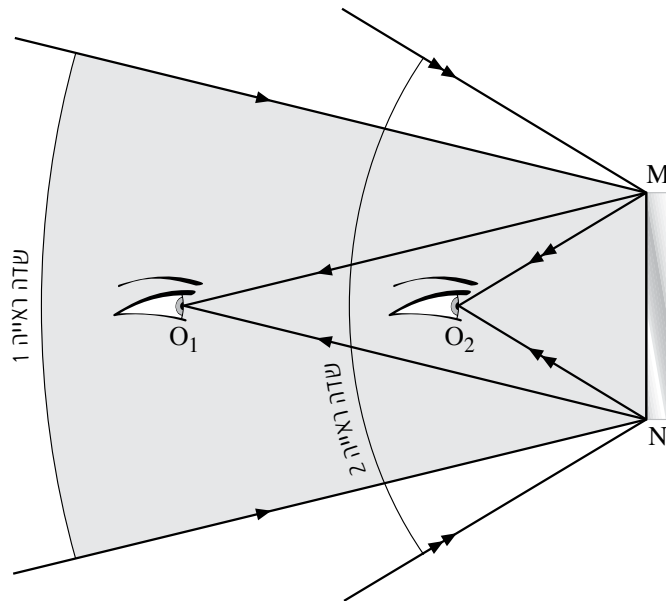
ב. העין שב-A רואה את ציפור ב. מהלך קרניים מוצג באיור שלפניך.



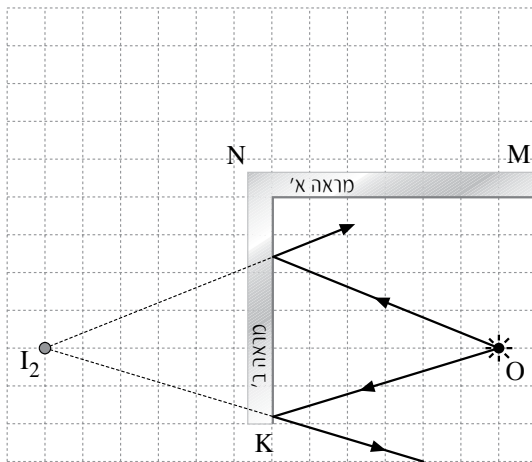
ג. רק ציפור ג יכולה לראות את דמותה, כי רק מציפור ג מופצות קרניים אשר פוגעות במראה, ומוחזרות לעיניים של הצפור.

30. בהתקרבו אל המראה הוא יראה חלק גדול יותר של הנוף (אם מתעלמים מן הנוף שעלול להיות מוסתר על-ידי הפנים).

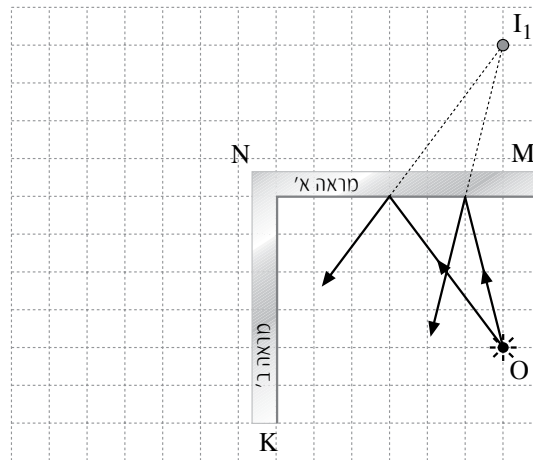
באיור שלהלן מוצגת עין של אדם הנמצא במקום O_1 ; שדה הראייה במצב זה מסומן ב"שדה ראייה 1". כאשר האדם מתקרב למקום O_2 - שדה הראייה במצב זה, המסומן ב"שדה ראייה 2" הוא גדול יותר.



31. א. באיורים שלהלן מוצגות קרניים אשר תורמות ליצירת שלוש הדמויות. קרניים אשר מופצות מהנקודה O, פוגעות במראה א ומוחזרות ממנה (איור א). קרניים אשר מופצות מהנקודה O, פוגעות במראה ב ומוחזרות ממנה, יוצרות את הדמות I_2 (איור ב).



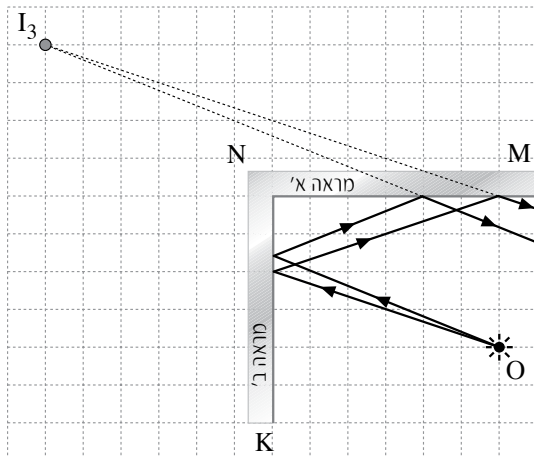
איור ב



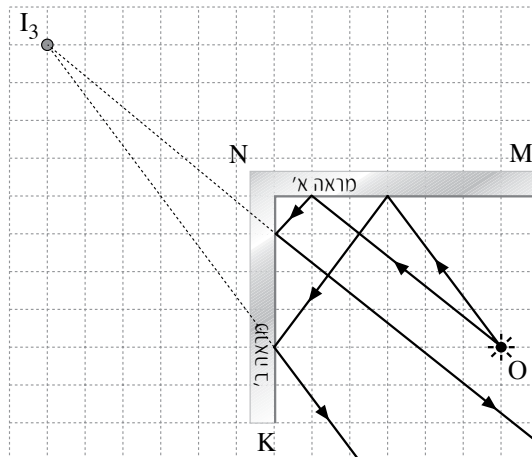
איור א

קרניים אשר מופצות מהנקודה O, פוגעות במראה א ומוחזרות ממנה לעבר מראה ב ומוחזרות גם ממראה ב - תורמות ליצירת הדמות I_3 (איור ג). קרניים אלה הגיעו למראה ב מהכיוון של הדמות I_1 , לכן אפשר לראות במובן מסוים את הדמות I_3 כ"דמות של הדמות I_1 ".

הדמות I_3 נוצרת גם על-ידי קרניים אשר מופצות מהנקודה O, פוגעות תחילה במראה ב ומוחזרות ממנה לעבר מראה א (איור ד) ומוחזרות גם ממראה א. אלו קרניים שהגיעו למראה א מכיוון הדמות I_2 לכן אפשר לראות במובן מסוים את הדמות I_3 גם כ"דמות של הדמות I_2 ".



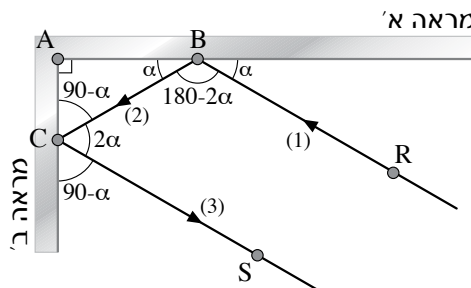
איור ד



איור ג

ב. רואים שידית הספל מקבילה למראה א וניצבת למראה ב. לכן בדמות I_1 הידית פונה שמאלה (ביחס אלינו), כמו בספל המשמש עצם, כי מראה אינה הופכת במישור המקביל למראה. לעומת זאת בדמות I_2 , הנוצרת על-ידי מראה ב, הידית פונה בכיוון הפוך מאשר בעצם, כיוון שמראה כן הופכת במישור ניצב אליה. בדמות I_3 , שאפשר לראות אותה במובן מסוים כדמות של I_1 הנוצרת על ידי מראה ב או כדמות של I_2 הנוצרת על ידי מראה א, הידית פונה הפוך ביחס לדמות I_1 , ופונה, באותו כיוון כמו הדמות I_2 .

32. באיור שלהלן מתוארות קרן (1) הפוגעת במראה א, הקרן המוחזרת ממראה א ופוגעת במראה ב ומסומנת ב- (2), והקרן המוחזרת ממראה ב ומסומנת ב- (3). עלינו להראות כי הקרניים (3) ו- (1) מקבילות.



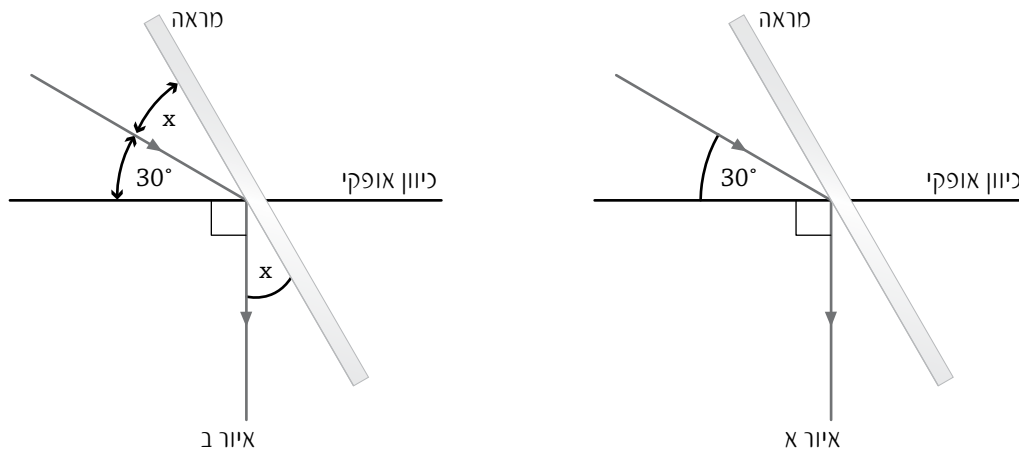
קרן (1) וקרן (2) יוצרות כל אחת זווית α עם מראה א (אגב, כמובן ש- α אינה זווית הפגיעה). מכאן $\angle RBC = 180^\circ - 2\alpha$.

מהתבוננות במשולש ABC, אפשר לראות כי קרן (2) יוצרת זווית $90^\circ - \alpha$ עם מראה ב, לכן גם קרן (3) יוצרת זווית $90^\circ - \alpha$ עם מראה ב. מכאן $\angle BCS = 2\alpha$.

לכן: $\angle RBC + \angle BCS = (180^\circ - 2\alpha) + (2\alpha) = 180^\circ$

אפשר להסתכל על קרניים (1) ו- (3) כעל שני ישרים הנחתכים על-ידי ישר שלישי (קרן (2)), וסכומן של שתי זוויות חד-צדדיות פנימיות הוא 180° , לכן שני הישרים מקבילים. במילים אחרות הקו שלאורכו מתפשטת קרן (3) מקביל לקו שלאורכו מתפשטת קרן (1).

33. נסרטט את תרשים הבעיה כמתואר באיור א. נסמן בו את הכיוון האופקי, ואת הזווית הישרה בין הקרן המוחזרת מן המראה לבין הכיוון האופקי.

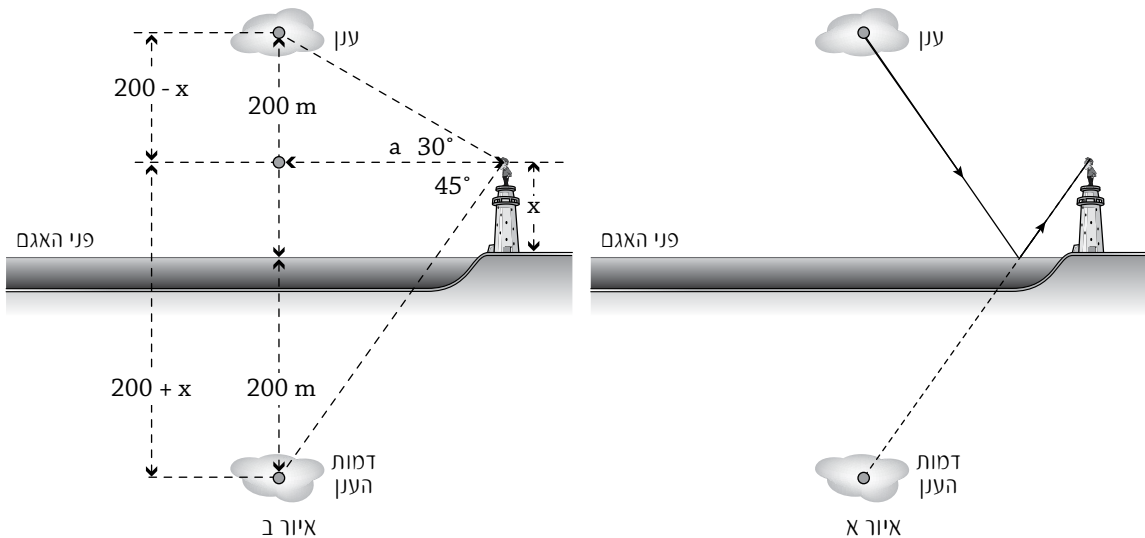


נסמן את הזווית שבין הקרן הפוגעת במראה לבין המראה, ואת הזווית שבין הקרן המוחזרת מן המראה לבין המראה באות x (איור ב). שוויון הזוויות נובע מחוק ההחזרה. הזווית השטוחה שקודקודה הוא נקודת הפגיעה של הקרן במראה, שווה ל- 180° . הזווית בין הכיוון האופקי לבין הקרן המוחזרת מן המראה היא 90° , לכן:

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

מכאן $x = 30^\circ$. הזווית בין המראה לכיוון האופקי היא: $x + 30^\circ = 60^\circ$.

34 א. באיור א מתואר המגדל, הענן, דמות הענן הנוצרת על ידי פני המים, זווית הגובה (30°) וזווית העומק (45°).



נסמן: x - גובה המגדל (מפני המים עד עיניו של הצופה)

a - המרחק מעיניו של הצופה עד לקו המחבר את הענן עם דמותו

גובה הענן, במטרים, מעל ראש המגדל הוא $200 - x$ (ראה איור). המרחק האנכי, במטרים, מראש המגדל עד

דמות הענן הוא $x + 200$ (ראה איור).

על פי המשולש ישר הזווית שהיתר שלו הוא הקו המחבר את ראש המגדל עם הענן:

$$(א) \quad \frac{200 - x}{a} = \tan 30^\circ$$

על פי המשולש ישר הזווית שהיתר שלו הוא הקו המחבר את ראש המגדל עם דמות הענן:

$$(ב) \quad \frac{200 + x}{a} = \tan 45^\circ$$

מחלקים את משוואות (א) ו-(ב) האחת בשנייה (a מצטמצם), ומתקבלת משוואה שהפתרון שלה: $x = 53.6 \text{ m}$.

ב. באיור ב מוצגת קרן היוצאת מהענן פוגעת בפני המים ומוחזרת אל הצופה שבראש המגדל.

35. א. בנערה פוגע אור הנפלט ישירות מהנורה, וכן אור המוחזר לעברה מן הקירות. האור הפוגע בנערה מוחזר ממנה (בחלקו) לעבר השמשה, וחלק מהאור הפוגע בשמשה מוחזר ממנה לעיני הנערה, ובאמצעותו הנערה רואה את דמותה.

ב. דמות הנערה נוצרת על-ידי השמשה במרחק מטר אחד מאחורי השמשה.

ג. קיר שחור, ככל גוף שחור, בולע את האור הפוגע בו, לכן לא נוצרת על-ידו דמות, אף אילו היה מדובר בקיר העשוי מזכוכית חלקה הצבועה בשחור.

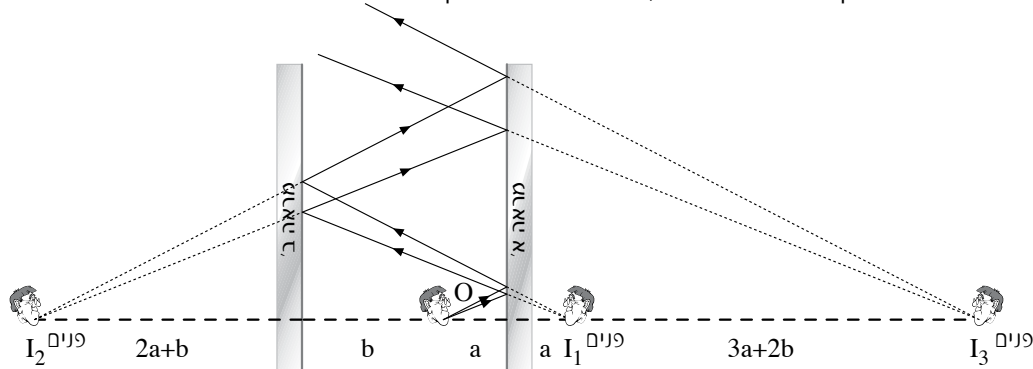
ד. כל קרן המגיעה מן הנערה לקיר הלבן מוחזרת על-פי חוקי ההחזרה. אולם, כיוון שהקיר מחוספס, האור אינו מוחזר בצורה מסודרת, כלומר אור הנפלט מנקודה מסוימת של גוף הנערה ופוגע בקיר - מוחזר כך שהמשכים אחרוניים של הקרניים המוחזרות אינם נחתכים בנקודה אחת, לכן אינם יוצרים דמות. לכן אין השתקפות של הנערה.

ה. הנערה שבחוף אינה רואה את הנערה שבתוך החדר, כי עוצמת האור המגיע מהנערה הנמצאת בחדר לעיני הנערה שבחוף נמוכה מעוצמת האור המגיע לעיני הנערה שבחוף מעצמים שונים הנמצאים מחוץ לחדר.

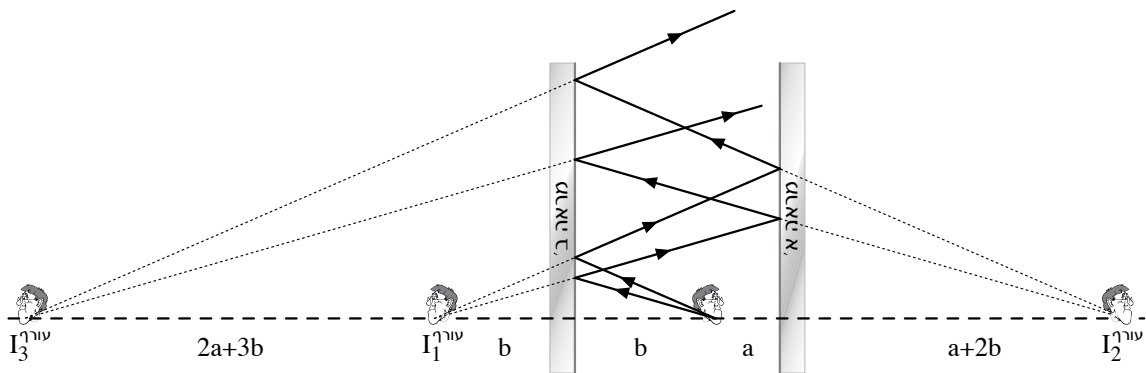
ו. הנערה שבחדר אינה רואה בבוקר את השתקפותה, למרות שיש אור המופץ ממנה לעבר השמשה, ומוחזר לעיניה בדיוק כמו בשעות החשכה, כי האור המגיע בבוקר מבחוף דרך השמשה **חזק בהרבה מהאור המוחזר מהשמשה לעבר הנערה**.

36. א+ב. נחלק את האור שנפלט מהנער המתבונן במראה לשתי אלומות: אלומה אחת המופצת מהפנים, ופוגעת תחילה במראה א (ראה איור א שלהלן), ואלומה אחרת המופצת מהעורך, ופוגעת תחילה במראה ב (ראה איור ב שלהלן).

נסמן באות a את מרחק האדם ממראה א, ובאות b את מרחק הנער ממראה ב.

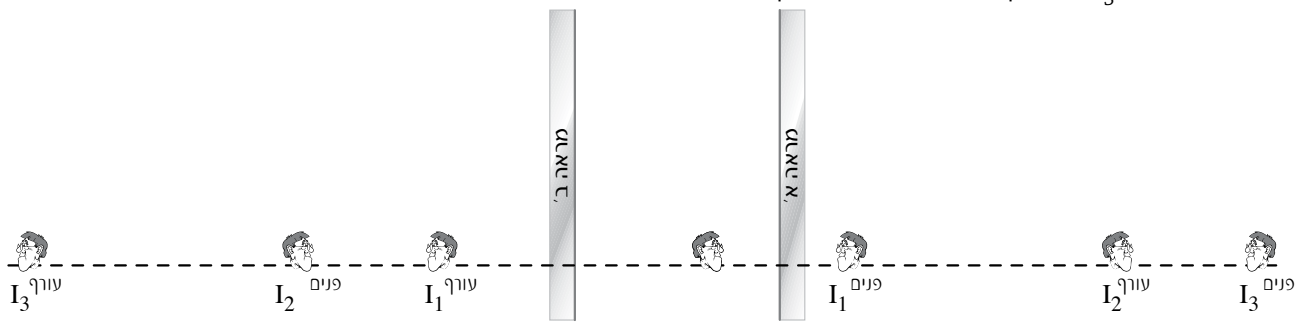


איור א: אלומת אור הנפלטת מנקודה על הפנים



איור ב: אלומת אור הנפלטת מנקודה על העורך

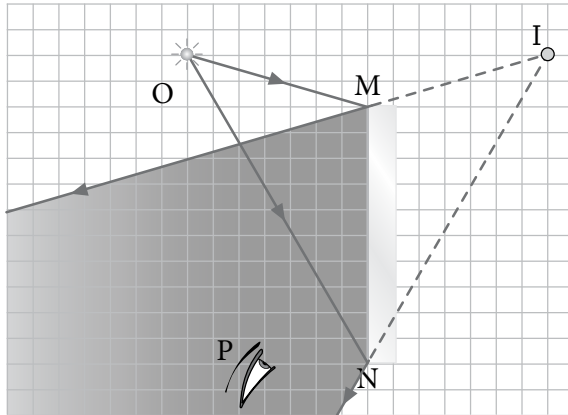
נעקוב תחילה אחר אלומת אור הנפלטת מהפנים (איור א לעיל) לעבר מראה א. אלומת האור המופצת מהפנים פוגעת במראה א, מוחזרת ממנה, ויוצרת באמצעותה דמות של הפנים, המסומנת באיור א ב- $I_1^{\text{פנים}}$ במרחק a ממראה א. האלומה המוחזרת ממראה א פוגעת עתה במראה ב, מוחזרת ממנה, ויוצרת דמות $I_2^{\text{פנים}}$ של הפנים, במרחק $2a + b$ ממראה ב. ושוב אלומת האור החוזרת ממראה ב, פוגעת במראה א, מוחזרת ממנה, ויוצרת את הדמות $I_3^{\text{פנים}}$ במרחק $3a + 2b$ ממראה א וכך הלאה.



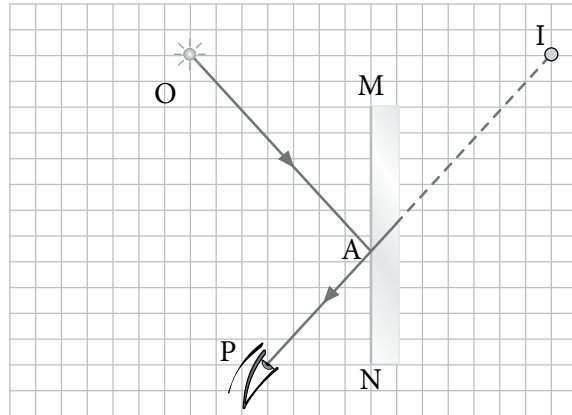
איור ג: דמויות הפנים והעורך

עתה נעקוב אחר אלומת אור הנפלטת מהעורך (איור ב לעיל) לעבר מראה ב. אלומה זו מוחזרת ממראה ב, ויוצרת באמצעותה דמות של העורך, המסומנת באיור ב ב- $I_1^{\text{עורך}}$ במרחק b ממראה ב. האלומה המוחזרת ממראה ב פוגעת עתה במראה א, מוחזרת ממנה, ויוצרת דמות $I_2^{\text{עורך}}$ של העורך, במרחק $a + 2b$ ממראה א. ושוב אלומת האור חוזרת ממראה א, פוגעת במראה ב, מוחזרת ממנה, ויוצרת את הדמות $I_3^{\text{עורך}}$ הנמצאת במרחק $2a + 3b$ ממראה ב, וכך הלאה. באיור ג לעיל מופיעות הדמויות של הפנים ושל העורך. הדמויות הנצפות מהתבוננות במראה א מתארות את מה שמתרחש באיור ב בגוף השאלה.

37. א. באיור א שלהלן מוצגת קרן היוצאת מהנקודה O, פוגעת במראה, ומוחזרת ממנה לנקודה P.



איור ב



איור א

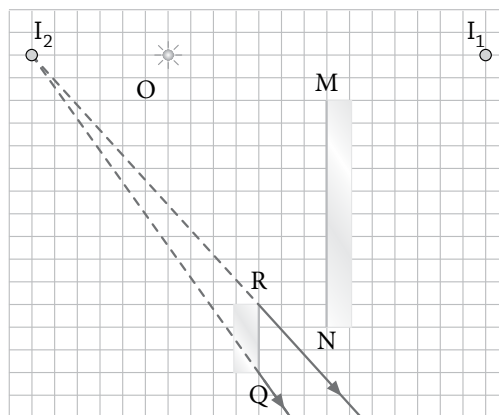
קובעים את מהלך הקרן כך: מסרטטים את הדמות I של מקור האור O. מחברים את I עם P. את נקודת החיתוך, A, של קו זה עם המראה מחברים עם O. מהלך הקרן הוא מ-O ל-A, ומ-A ל-P.

ב. כן. האור הנפלט מ-O אינו מגיע אל מעבר למראה.

ג. באיור ב מסורטטים גבולות האזור שממנו צופה כלשהו יכול לראות את דמות מקור האור הנוצרת על ידי המראה.

סרטטנו את הגבולות כך: סרטטנו שתי קרניים הנפלטות ממקור האור, פוגעות בקצות המראה, ומוחזרות מהמראה. האזור שבין שתי הקרניים המוחזרות הוא האזור שממנו צופה כלשהו יכול לראות את דמות מקור האור הנוצרת על ידי המראה.

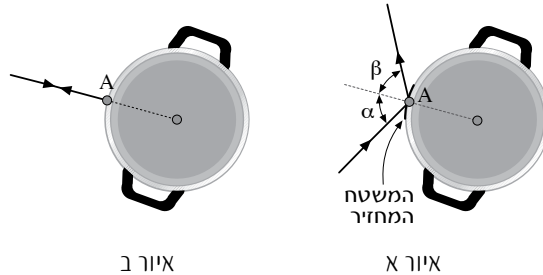
ד. (1) באיור ג מסומנות שתי הדמויות.



איור ג

(2) נסרטט שתי קרניים המגיעות מכיוון הדמות I_2 ופוגעות בקצות המראה RQ - איור ג. אפשר לראות מאיור ג כי קרניים אלה אינן פוגעות שנית במראה MN, אלא יוצאות מן המערכת. מצב זה תקף גם לגבי כל הקרניים שביניהן. לכן לא נוצרות דמויות נוספות על I_1 ועל I_2 .

38. א+ב+ג. המשטח המחזיר, האנך, זווית הפגיעה α , הקרן המוחזרת וזווית ההחזרה β מסומנים באיור א שלהלן. נדגיש שהאנך הוא בכיוון הרדיוס בנקודה A, כי המשטח המחזיר בקרבת הנקודה מתלכד עם כיוון המשיק למעגל באותה נקודה.

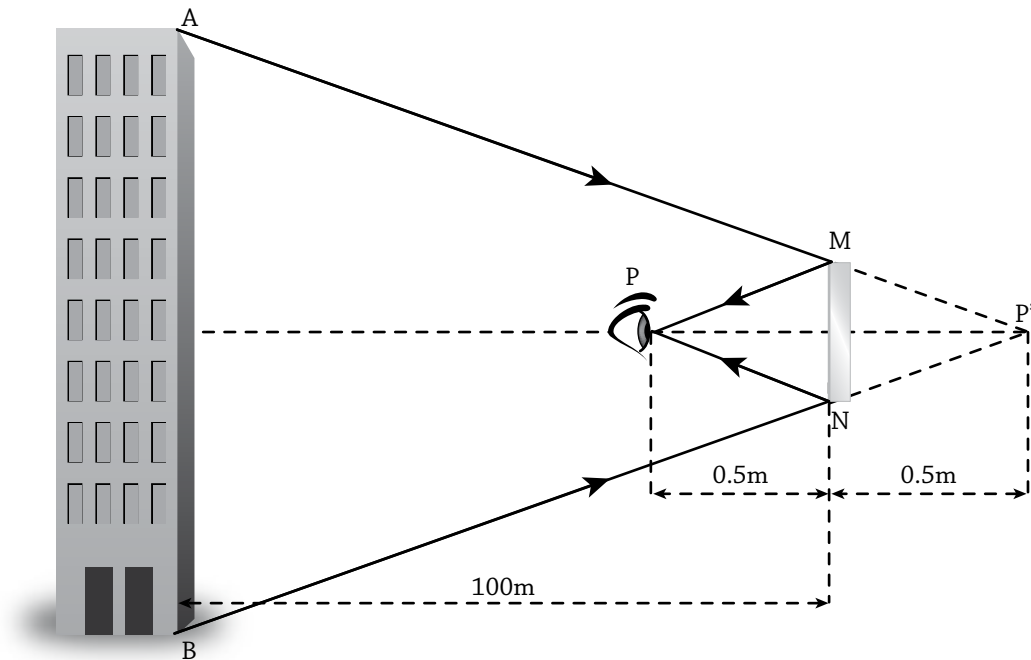


ד. כיוון שבמקרה זה זווית הפגיעה שווה לאפס, קרן האור תחזור על עקבותיה, כמתואר באיור ב לעיל.

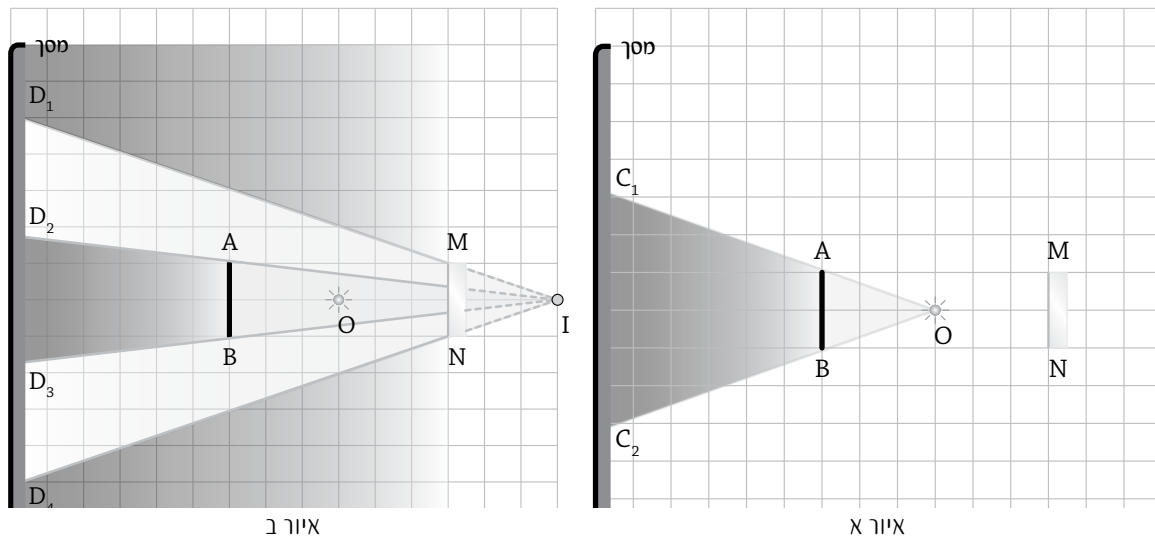
39. נסרטט את תרשים הבעיה בסוף הפתרון. נסמן ב-H את גובה המשולש ABP' וב-h את גובה המשולש MNP'. המשולשים ABP' ו-MNP' דומים זה לזה.

$$\frac{AB}{MN} = \frac{H}{h} \Rightarrow \frac{AB}{0.05} = \frac{10+0.5}{0.5} \Rightarrow AB = 10.05 \text{ m}$$

לכן: כלומר גובה הבניין הוא 10.05 מטר.



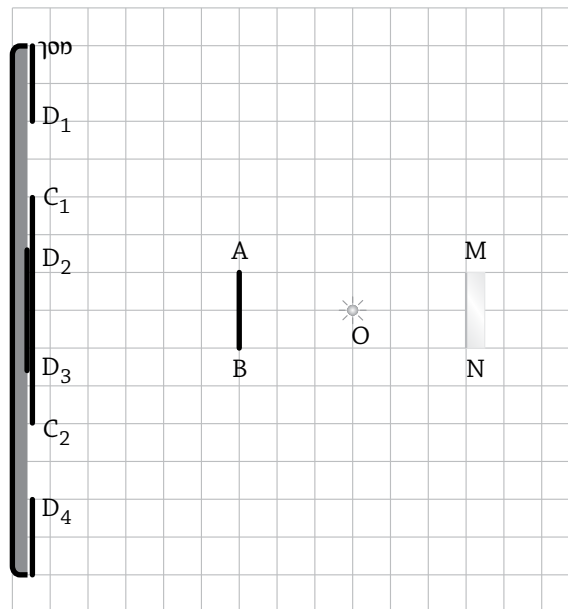
40. במסך פוגעות שתי אלומות אור: אלומת האור אחת מגיעה ישירות ממקור האור O למסך. חלק מאלומה זו נבלם על ידי הדסקית; האור המגיע למסך משתרע באזור שמעל הנקודה C_1 (ראה איור א) ובאזור שמתחת לנקודה C_2 . האזור שבין הנקודות C_1 ו- C_2 נמצא בצל.



אלומת האור השנייה הפוגעת במסך היא אלומה שמקורה ב- O, פוגעת תחילה במראה, וממנה מוחזרת לעבר המסך. אפשר להתייחס לאלומה זו שפוגעת במסך כאל אור שמקורו ב- I - הדמות של מקור האור O, שנוצרת על ידי המראה.

לחלק המסך שנמצא בין D_2 לבין D_3 לא מגיע אור מאלומה זו. לא מגיע אור גם לאזור המסך שמעל D_1 וגם לאזור המסך שמתחת ל- D_4 כמתואר באיור ב.

באיור ג סימנו בעזרת קווים על גבי המסך את אזורי הצלליות: בין C_1 ל- C_2 צללית של אלומת האור הראשונה המוגדרת לעיל, והצלליות של אלומת האור השנייה המוגדרת לעיל הם באזור שבין D_2 ל- D_3 , באזור שמעל D_1 , ובאזור שמתחת ל- D_4 .



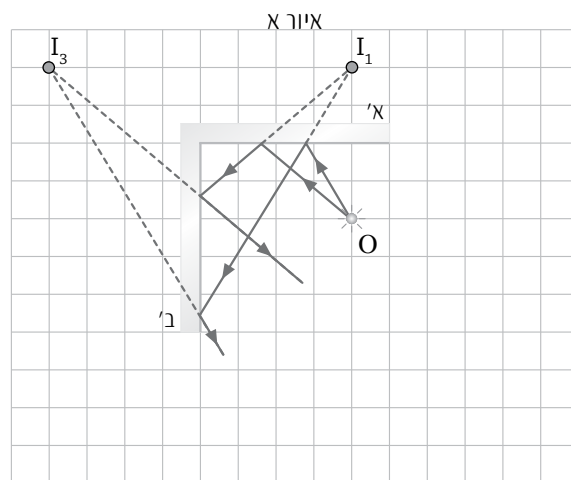
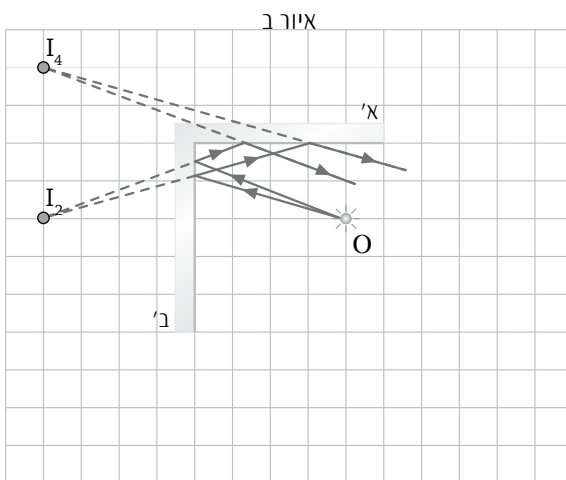
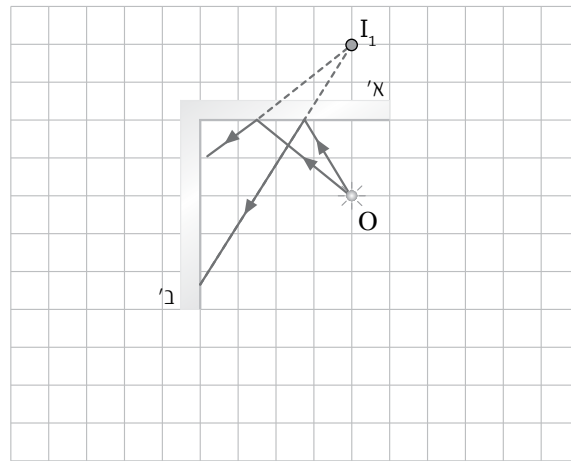
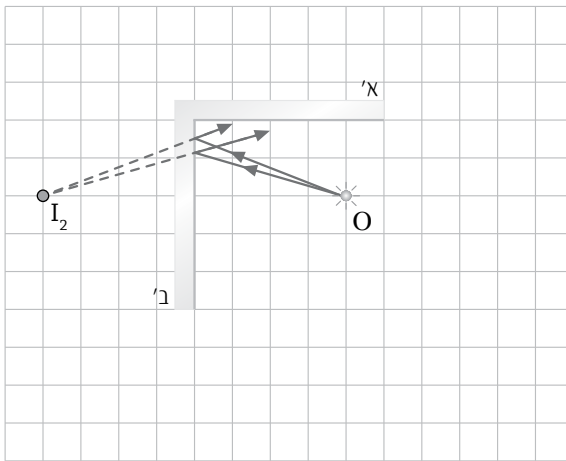
לסיכום של דבר:

אזור D_2D_3 נמצא בצל של שתי אלומות האור;
 אזורים C_1D_2 ו- D_3C_2 נמצאים בצל של האלומה השנייה, אך מוארים על ידי האלומה הראשונה;
 אזורים D_1C_1 ו- C_2D_4 מוארים על ידי שתי אלומות האור.
 אזורים D_1 ומעלה ו- D_4 ומטה נמצאים בצל של האלומה השנייה, אך מוארים על ידי האלומה הראשונה.
 לכן **איור ד** שבגוף השאלה מייצג נכון את אזורי התאורה על המסך.

41. באיור א שבגוף השאלה נוצרות 3 דמויות I_1, I_2 ו- I_3 . להלן מהלכי הקרניים שבאמצעותן נוצרת כל אחת מהדמויות. הדמויות I_3 ו- I_4 מתלכדות זו עם זו, לכן יש בסך הכל 3 דמויות.

באיור ב שבגוף השאלה נוצרות 3 דמויות I_1, I_2 ו- I_3 בדומה לדמויות שנוצרות באיור א שבגוף השאלה, פרט לכך שבאיור א הדמות I_3 נוצרת על ידי אלומה הפוגעת תחילה במראה א ואחר כך במראה ב, וגם על ידי אלומה הפוגעת תחילה במראה ב ואחר כך במראה א. באיור ב לעומת זאת אין אלומה הפוגעת תחילה במראה ב ושאר כך מגיעה למראה א.

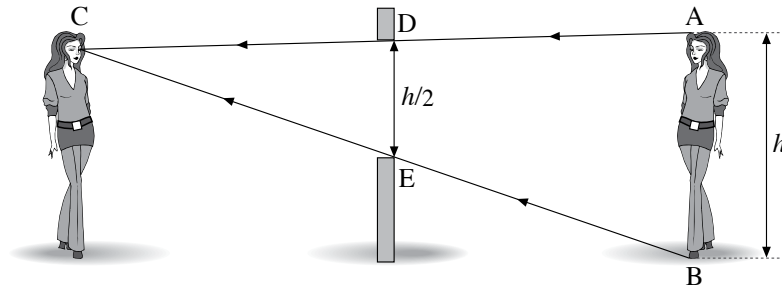
באיור ג שבגוף השאלה נוצרות 3 דמויות, בדומה לאלה הנוצרות באיור ב.
 באיור ד נוצרות רק 2 הדמויות I_1 ו- I_2 ; הדמות I_3 אינה נוצרת, כיוון שאין אלומת אור הפוגעת תחילה באחת המראות, ואחר כך פוגעת במראה האחרת.



איור ד

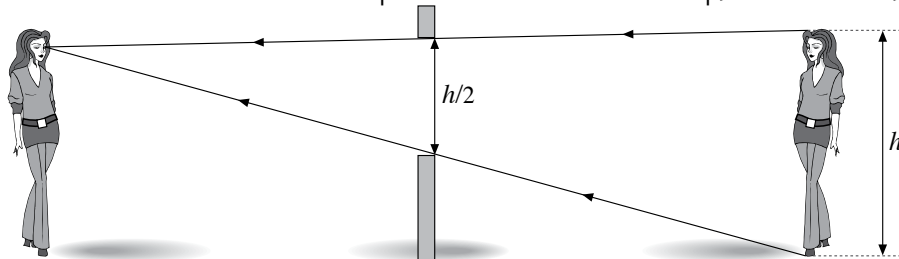
איור ג

42. א. גובהו של החלון צריך להיות שווה למחצית גובהה של נערה כי נוצר משולש ABC (ראה איור א) שבו הקטע DE מקביל ל-AB. בנוסף לכך, מאחר ששתי הנערות עומדות במרחקים שווים מן הקיר, הנקודות D ו-E הן אמצעי הצלעות AC ו-BC. לכן הקטע DE הוא קטע אמצעים במשולש ABC, לכן אורכו שווה למחצית הצלע AB. לכן התנאי היחיד לכך שאותו חלון יאפשר לנערה אחת לראות את אחותה לכל גובהה הוא שהן תעמודנה במרחקים שווים מן הקיר (ולא משנה מהם המרחקים). מקומו של החלון מתואר באיור א שלהלן.



איור א

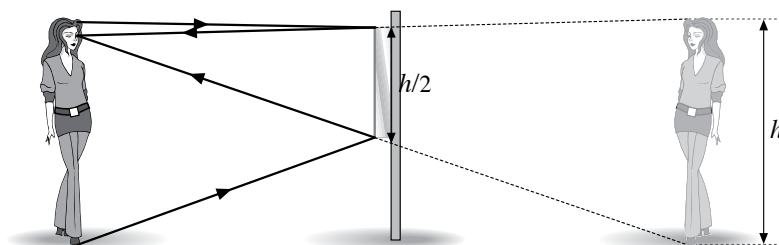
ב. כן. זה נובע מהתשובה לסעיף א. הדבר מוצג באיור ב שלהלן.



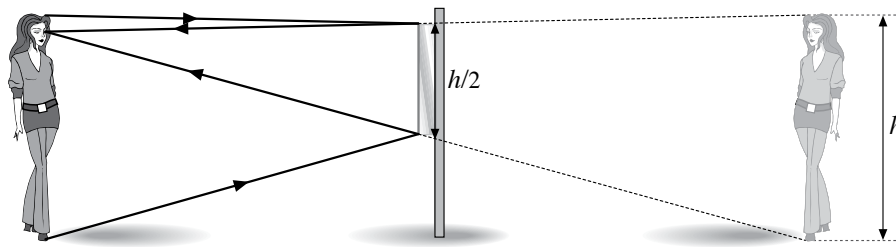
איור ב

ג. ההבדל בין המצב שבו עסקנו בסעיפים א ו-ב לעיל לבין המצב שבו מדובר בסעיף ג הוא: דרך החלון בקיר הנערה השמאלית התבוננה באחותה שעמדה באותו מרחק כמותה מהקיר, מעבר לו, בעוד שהנערה המתבוננת במראה רואה את הדמות של עצמה - דמות הנמצאת באותו מרחק כמו הנערה, מעבר למראה. כלומר, במקום חלון ונערה שמימין יש עכשיו מראה ודמות של הנערה שמשמאל. באיורים ג ו-ד סורטטו הקרניים המאפשרות לנערה לראות את הנקודות הנמוכה ביותר והגבוהה ביותר בגופה באמצעות המראה.

באיור ד הנערה רחוקה יותר מהמראה מאשר באיור ג.

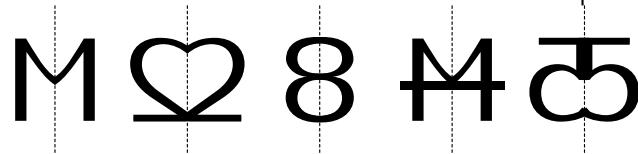


איור ג



איור ד

43. הצורה החמישית מוצגת להלן.

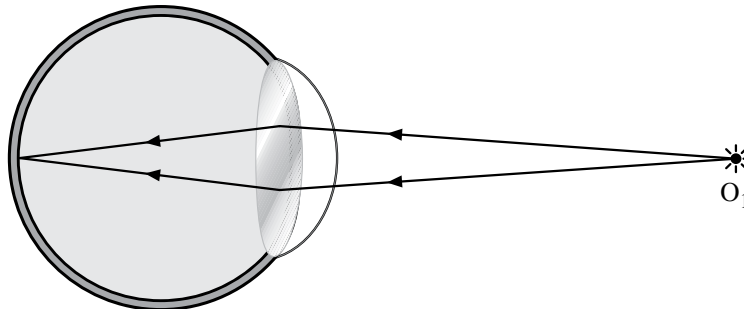


הסבר: הקווים המקווקוים באיור לעיל מייצגים מראות. בצורה הראשונה מופיעה הספרה 1 (מימין לקו המקווקו) והשתקפותה במראה של הספרה 1 משמאל לקו המקווקו. בצורה השנייה - הספרה 2 והשתקפותה במראה. בצורה השלישית - הספרה 3 והשתקפותה. ברביעית - הספרה 4 והשתקפותה. לכן הצורה החמישית היא הספרה 5 והשתקפותה במראה.

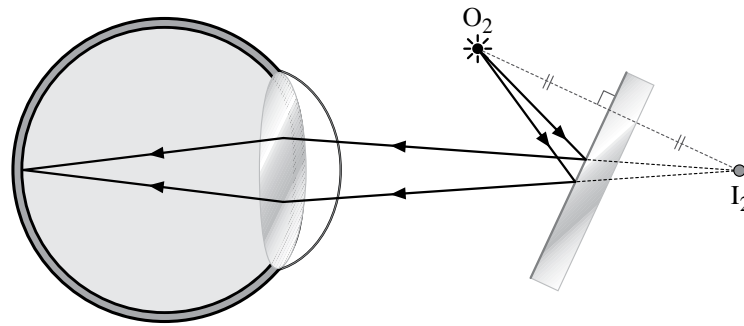
44. מהירותי ביחס לדמות הוא 6 מטרים לשנייה.

הסבר: אם מהירותי היא 3 מטרים לשנייה, אז במשך שנייה התקדמתי מרחק של 3 מטרים לעבר המראה, אך גם דמותי התקרבה בשיעור של 3 מטרים לקראתי, לכן במשך שנייה המרחק ביני בין דמותי הצטמצם ב- 6 מטרים, לכן מהירותי ביחס לדמותי היא 6 מטרים לשנייה.

45. א. באיור שלהלן מסורטט העצם O_1 .



ב. (1) הדמות I_2 של העצם O_2 מסורטטת באיור שלהלן. היא נמצאת במקום שבו היה קודם לכן העצם O_1 , מפני שאותן קרניים מגיעות גם עכשיו לעדשת העין.



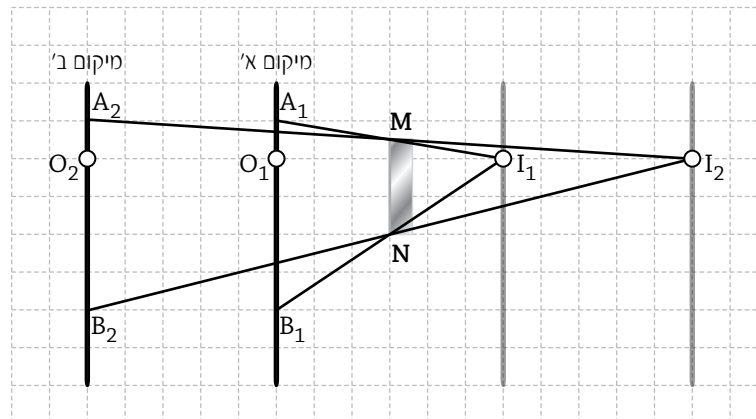
(2) הוספנו במקום **כלשהו** בין העין לבין הדמות I_2 חתך של מראה. בהתאם למקום הדמות ביחס למראה סרטטנו במקום הסימטרי את העצם O_2 . יש לסעיף (2) אינסוף פתרונות, כי אפשר לסרטט את חתך המראה באינסוף מקומות בין העין לבין הדמות I_2 .

46. א. גודלו של חלק הפנים הנצפה במראה אינו משתנה.

ב. לפניך איור המבהיר את התוצאה.

הקו השחור שמשמאל למראה MN מייצג את הפנים של הצופה. קו זה ממוקם בשני מרחקים מן המראה: מיקום א' ומיקום ב'. העיגול המסומן פעם ב- O_1 ופעם ב- O_2 מייצג את העין של הצופה. משמאל למראה MN סרטטנו את השתקפויות של פני הצופה.

הקטע AB הוא חלק הפנים שהצופה רואה כאשר פניו נמצאות במיקום א', והקטע A'B' הוא חלק הפנים שהצופה רואה כאשר פניו במיקום ב'. אפשר לראות כי אורכי הקטעים AB ו- A'B' שווים זה לזה.

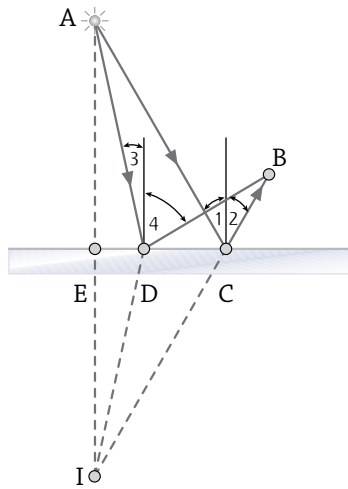


ג. בשאלה 30 מדובר בנוף **שמאחורי** הצופה. מרחקו של נוף זה מן המראה אינו משתנה כאשר הצופה במראה מתקרב אליה או מתרחק ממנה. רק מיקום העין משתנה.

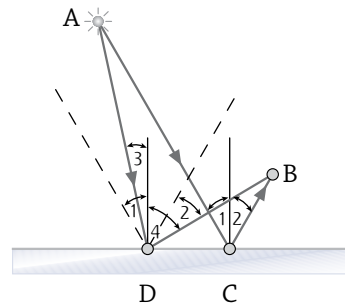
בשאלה הנוכחית ה"נוף" הוא פני הצופה במראה, וכאשר הצופה מתקרב אל המראה או מתרחק ממנה, גם ה"נוף" מתקרב אל המראה ומתרחק ממנה בהתאמה.

47. א. אור מוחזר על פי חוקי ההחזרה.

המסלול $B \leftarrow C \leftarrow A$ הוא מהלך של אור, לכן $\angle 1 = \angle 2$. המסלול $B \leftarrow D \leftarrow A$ המתואר באיור א אינו אפשרי כי $\angle 4 \neq \angle 3$, כלומר חוק ההחזרה אינו מתקיים. כדי להיווכח שהזוויות אינן שוות די להעביר בנקודה D מקביל לקטע CB.



איור ב



איור א

ב. נסרטט (איור ב) את הדמות, I, של מקור האור A. $AE = EI$ ו- $AE \perp EC$ כי I היא הדמות של A.

$\Delta AED \cong \Delta IED$ לכן $AD = DI$

$\Delta AEC \cong \Delta IEC$ לכן $AC = CI$

אורך מסלול האור:

(א) $L_1 = AC + CB = IC + CB = IB$

אורך המסלול האחר:

(ב) $L_2 = AD + DB = ID + DB$

נתבונן במשולש IDB: כידוע, סכום שתי צלעות גדול מהצלע השלישית.

(ג) $ID + DB > IB$

לכן:

$L_1 < L_2$

מ- (א), (ב) ו- (ג) נובע כי:

48. הקווים הרציפים באיור מתארים את המערכת לפני סיבובה. MN - המראה, zA - האנך למראה, zB - הקרן

הפוגעת ו- zB' - הקרן המוחזרת. זווית הפגיעה וההחזרה סומנו באות α .

הקווים המקווקווים באיור מתארים את המערכת לאחר סיבובה בזווית δ . N'M' - המראה, zA' - האנך למראה,

zC - הקרן המוחזרת.

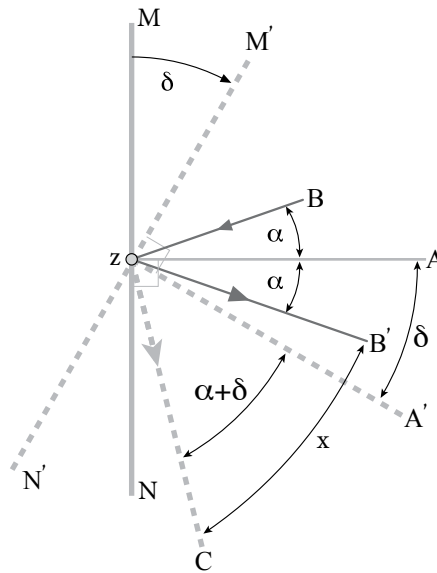
אפשר להיווכח כי הזווית בין שני האנכים zA ו- zA' שווה גם היא ל- δ .

מהאיור אפשר להיווכח כי זווית הפגיעה של הקרן במראה במצבה החדש היא $\angle BzA' = \alpha + \delta$.

לכן זווית ההחזרה מהמראה במצבה החדש היא $\angle Bz'C = \alpha + \delta$.

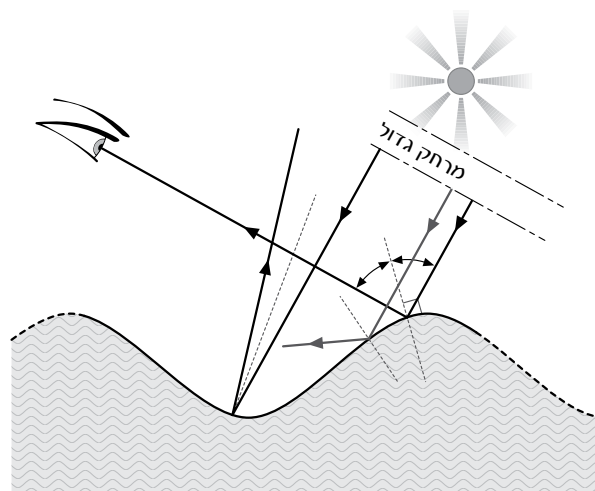
$\angle B'zA' = \delta - \alpha$. לכן הזווית בין הקרן המוחזרת במצב החדש לבין הקרן המוחזרת במצב הישן היא:

$$x = \angle B'zA' + \angle A'zC = (\delta - \alpha) + (\delta + \alpha) = 2\delta$$



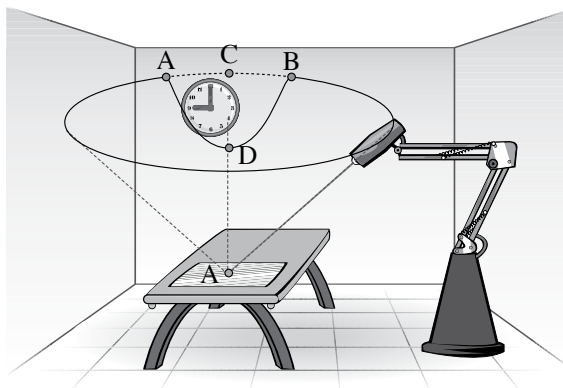
49. מהתצלום אפשר ללמוד כי מכל מקום על "שביל האור" מגיע אור לעין של הצופה (או לעדשה של המצלמה). הדבר נובע מכך שפני המים אינם מישוריים, אלא מתפשטים על פניהם פולסים קטנים לעבר הצופה. לכן בכל פולס לאורך "שביל האור", בכל רגע נתון, יש פני מים הנטויים כך שאור השמש הפוגע בהם מוחזר לעבר הצופה. הסבר: אור השמש מוחזר לפי חוקי ההחזרה - הקרן המוחזרת נמצאת במישור שנקבע על-ידי הקרן הפוגעת והאנך, ובמישור זה נמצאת גם העין של הצופה. דבר שני: עקב צורת פני המים באזור של פולס אחד של הגל נוצר רצף של זוויות פגיעה, לכן קיימת קרן אחת המוחזרת לכיוון העין של הצופה. טיעון זה תקף לכל פולס של גל.

באיור מוצג (לא בקנה מידה) גל מים, ושלוש קרניים המגיעות מן השמש ופוגעות בנקודות שונות של הפולס. אחת הקרניים מוחזרת אל עין הצופה.



נדגיש כי בגלל מרחקה הגדול של השמש מאיתנו ביחס לגודל השמש, קרני השמש המגיעות אלינו (לכדור הארץ) הן בקירוב מקבילות זו לזו.

50. א. קיימות אינסוף נקודות כאלה, הנמצאות על חרוט שקודקודו A, כמתואר באיור שלהלן.



הערה למורה: חיתוך החרוט עם הקיר הוא הפרבולה ABD. הקשת ACB נמצאת מאחורי הקיר. האור המוחזר מן המראה אינו פוגע בקיר שעליו תלוי השעון, כי קרן מוחזרת צריכה לקיים לא רק שזווית ההחזרה שווה לזווית הפגיעה (את התנאי הזה ממלאות הנקודות שבהן מדובר בסעיף א) אלא גם שהיא תתפשט במישור שנקבע על-ידי הקרן הפוגעת והאנך. לכן אור שיוחזר מן המראה יפגע בקיר השמאלי של החדר, ולא בקיר שעליו תלוי השעון.