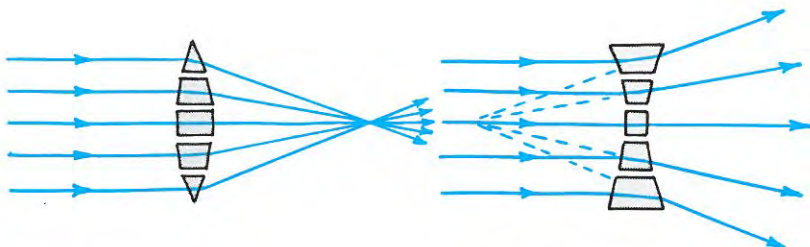


עדשות

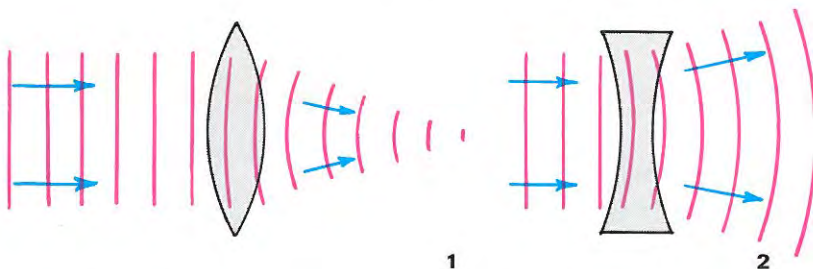
שימוש יעיל ביותר בתופעת השבירה אנו עושים בעדשות. נוכל להבין כיצד פועלות העדשות אם ננתח מסלולי זמן שווה כפי שעשינו קודם לכן, או, לחלופין, נוכל להניח כי הן מורכבות מסדרה של מנסרות וגושי זכוכית תואמים המסודרים כמתואר באיור 27.42. המנסרות וגושי הזכוכית שוברים את קרני האור המקבילות שפוגעות בהם באופן שהן מתכנסות אל נקודה אחת או מתפזרות כאילו יצאו מנקודה אחת. המבנה המתואר באיור 27.42 (משמאל) מכנס את הקרניים ולכן עדשה נקראת עדשה מכנסת. שימו לב לכך שהיא עבה יותר במרכזה.



איור 27.42

ניתן לתאר עדשה כסדרה של מנסרות.

שונה ממנה המבנה המתואר באיור 27.42 (מימין). המרכז דק יותר מהשוליים, והוא מפזר את האור; זו **עדשה מבדרת**. שימו לב לכך שהמנסרות מפזרות את הקרניים באופן שהן נראות כאילו יצאו מנקודה אחת הנמצאת לפני העדשה. בשני סוגי העדשות סטיית הקרניים הגדולה ביותר מתרחשת במנסרות החיצוניות ביותר, מפני שבהן הזווית שבין שני משטחי השבירה היא הגדולה ביותר. בדיוק במרכז העדשה לא חלה כל סטייה בכיוון הקרן מפני ששם משטחי הפנים הנגדיים מקבילים זה לזה. עדשות אמיתיות כמובן אינן מורכבות ממנסרות - כפי שניתן אולי להסיק מאיור 27.42; הן עשויות גוש זכוכית אחד שפניו מלוטשים לרוב כמשטח כדורי. באיור 27.43 אפשר לראות כיצד עדשות חלקות שוברות את גלי האור.



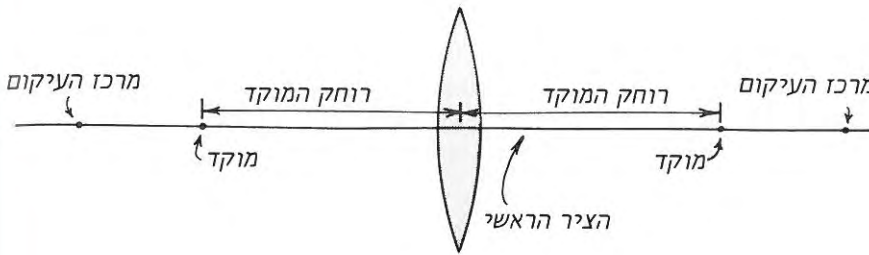
איור 27.43

חזיתות הגל מתקדמות לאט יותר בזכוכית מאשר באוויר. ב-(1) הגלים מתעכבים במרכז העדשה יותר מבשוליה ומתרחשת התכנסות. ב-(2) הגלים מתעכבים יותר בשוליים ומתרחשת התבדרות.

אחדים ממאפייניה העיקריים של עדשה מתוארים באיור 27.44 עבור עדשה מכנסת. הציר הראשי של העדשה הוא הקו המחבר בין מרכזי העיקום של פניה. נקודת המוקד - או בקיצור המוקד - של העדשה היא הנקודה שאלה מתכנסות אלומה של קרניים שהן מקבילות זו לזו ומקבילות לציר הראשי. אלומות של קרניים מקבילות שאינן מקבילות לציר הראשי מתמקדות בנקודות שמעל או מתחת למוקד. כל הנקודות האלה יחד מהוות את מישור המוקד. מכיוון שלעדשה

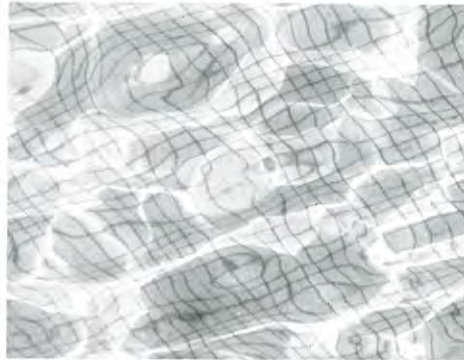
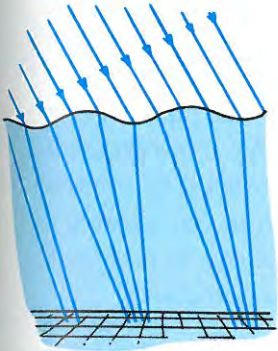
איור 27.44

מאפיינים עיקריים של עדשה מנסת.



יש שני משטחי פנים, יש לה גם שני מוקדים ושני מישורי מוקד. כשמכוונים עדשה של מצלמה לצילום עצם רחוק, סרט הצילום נמצא במישור המוקד שמאחורי העדשה, בתוך המצלמה.

בעדשה המבדרת, אלומה של קרניים פוגעות המקבילות לציר הראשי אינה מתכנסת לנקודה אלא מתפזרת באופן שנדמה כאילו הקרניים בוקעות מנקודה אחת הנמצאת לפני העדשה. רוחק המוקד של עדשה, מכנסת או מבדרת, הוא המרחק בין מרכז העדשה למוקד. בעדשות דקות רוחק המוקד שווה משני הצדדים, גם אם עיקומי המשטחים בשני הצדדים שונים זה מזה.

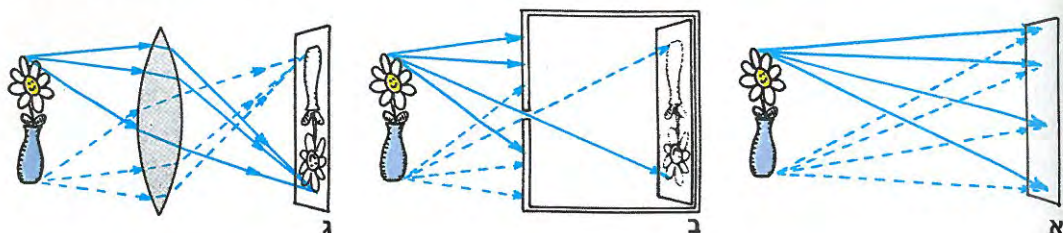


איור 27.45

הכתמים הכהים והבהירים המרצדים בקרקעית הבריכה מקורם בפני המים; פני המים אינם אחידים ומתנהגים כיריעה עשויה עדשות משתנות. דג במים המביט כלפי מעלה אל השמש רואה אותה מהבהבת בעוצמות אור שונות. תנודות דומות באטמוספירה גורמות לכך שהכוכבים נראים לנו מרצדים.

יצירת דמות בעדשה

גם ברגע זה ממש אור מוחזר מפניך אל עמודי הספר הפתוח שלפניך. אור המוחזר מהמצח פוגע בכל חלק של הדף. כך קורה גם לאור המוחזר מן הסנטר. כל חלק של הדף מואר באור המוחזר מן המצח, מן האף, מן הסנטר ומכל חלק אחר בפניך ואורות אלה מוחזרים, בחלקם, מן הנייר אל עיניך. למרות זאת, אינך רואה בבואה, או דמות, של פניך הנשקפת מן הדף מפני שישנה חפיפה רבה מדי של אור. אך אם תוצב מחיצה ובה חריץ זעיר בין הפנים לדף, האור שיגיע לדף מן המצח לא יחפוף את האור שיגיע מן הסנטר. כך גם לגבי יתר חלקי הפרצוף. משנעלמה בעיית החפיפה תופיע על הדף דמות של פניך. הדמות תהיה חיוורת מכיוון שרק חלק זעיר של האור המוחזר מן הפנים עובר דרך החריץ. כדי שניתן יהיה לראות את הדמות יש לחסום את הדף בפני אור ממקורות אחרים.



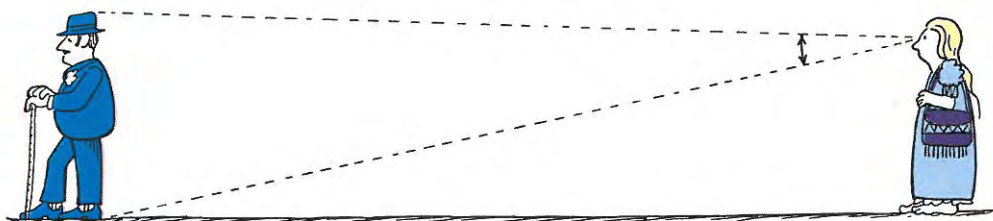
איור 27.46

המידע שבדמות. (א) על הקיר לא תופיע כל דמות מפני שהקרניים שיצאו מכל חלקי העצם חופפות אלו את אלו בכל אזורי הקיר. (ב) פתח זעיר במחיצה מונע מן הקרניים החופפות להגיע לקיר; נוצרת דמות חדה, הפוכה וחיוורת. (ג) פתח גדול יותר מאפשר כניסת אור רב יותר והעדשה מכנסת את הקרניים על הקיר, בלא שתתרחש חפיפה בין קרניים שמקורן בחלקים שונים של העצם; חדירת אור רב יותר יוצרת דמות בהירה יותר.

ואמנם, המצלמות הראשונות לא היו מצוידות בעדשות; האור חדר אליהן דרך חריר זעיר. קל לראות מדוע הדמות המתקבלת הפוכה אם עוקבים אחר הקרניים שבאיור 27.46. במצלמות אלו נדרשו זמני חשיפה ארוכים, מפני שעוצמת האור שחדר דרך החריר היתה קטנה מאוד. אילו הגדילו את החריר היה נכנס אור רב יותר, אך חפיפת הקרניים היתה גורמת לדמות להיות מטושטשת. אילו היה החור גדול מדי היתה מתרחשת חפיפה רבה ולא ניתן היה להבחין בדמות כלל. כאן נכנסת לתמונה (תרתית משמע) העדשה המכנסת (איור 27.46). באיור זה העדשה מכנסת את הקרניים אל המסך בלא שתתרחש חפיפת קרניים מפריעה. לעומת מצלמות החריר הראשונות, שהיו שימושיות לצילום עצמים דוממים בלבד בשל זמני החשיפה הממושכים שנדרשו, במצלמת העדשה ניתן לצלם גם עצמים בתנועה, שכן די בזמן חשיפה קצר ביותר. עתה נוכל להבין מדוע התצלומים הראשונים שנעשו במצלמות מצוידות בעדשות נקראו "תצלומי חֶסֶף".

השימוש הפשוט ביותר שנעשה בעדשה מכנסת הוא בזכוכית מגדלת. הגדלה מתרחשת כשדמות נראית בזווית רחבה יותר; התבוננות דרך העדשה המגדלת מרחיבה את הזווית שבה נראה העצם. בעין בלתי מצוידת, עצם מרוחק נראה בזווית ראייה קטנה יחסית, ואילו מקרוב נראה אותו עצם בזווית ראייה גדולה יותר. זווית ראייה גדולה זאת מאפשרת הבחנה בפרטים רבים יותר (איור 27.47). זכוכית מגדלת היא פשוט עדשה מכנסת המגדילה את זווית הראייה, כלומר את השטח שבבואת העצם תופסת על גבי רשתית העין.

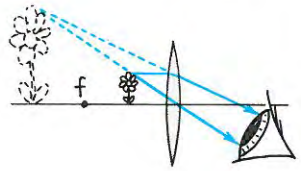
איור 27.47



העצם נצפה בזווית ראייה צרה



העצם נצפה בזווית ראייה רחבה

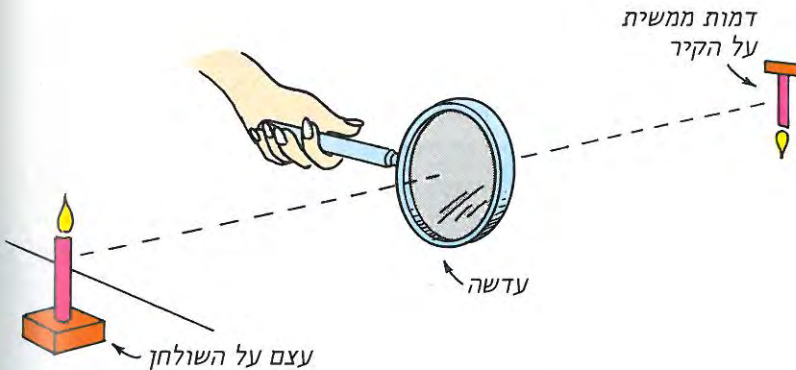


איור 27.48

כאשר העצם סמוך לעדשה מכנסת (קרוב יותר מהמוקד f), העדשה פועלת כמגדלת ויוצרת דמות מדומה. הדמות גדולה מן העצם ומרחקה מהעדשה גדול ממרחקו.

כשאנו משתמשים בזכוכית מגדלת, אנחנו מחזיקים אותה סמוך לעצם שאותו אנו רוצים לראות בהגדלה. הסיבה לכך היא שהעדשה המכנסת מגדילה רק אם העצם נמצא קרוב יותר אליה מנקודת המוקד. הדמות המוגדלת נראית רחוקה יותר מן העצם, והיא ישרה, כלומר - מה שלמעלה בעצם נראה למעלה בדמות. אם נציב מסך כלשהו (למשל דף נייר לבן) במרחק שבו נראית הדמות, לא תופיע עליו כל תמונה. הסיבה לכך היא שהאור אינו מופנה למקום הדמות. הקרניים המגיעות לעינינו מתנהגות כאילו הגיעו ממקומה של הדמות, לכן מכנים דמות זו **דמות מדומה** (איור 27.48).

אם העצם מרוחק יחסית מהעדשה המכנסת כך שהוא נמצא מעבר לנקודת המוקד, לא תיווצר דמות מדומה אלא **דמות ממשית**. באיור 27.49 מתואר מקרה שבו עדשה מכנסת יוצרת דמות ממשית על חיץ. הדמות הממשית מופיעה כשהיא הפוכה. מערך דומה משמש להקרנת שקופיות וסרטי קולנוע על המסך וליצירת דמות ממשית על סרט הצילום במצלמה. דמויות ממשיות הנוצרות באמצעות עדשה יחידה יהיו תמיד הפוכות.



איור 27.49

כאשר העצם רחוק מעדשה מכנסת (מעבר למוקד), נוצרת דמות ממשית הפוכה.

עדשה מבדרת יחידה יוצרת רק דמויות מדומות מוקטנות, ואין זה משנה כמה קרוב או רחוק ממנה מצוי העצם. הדמות הנוצרת בעדשה מבדרת יחידה היא תמיד מדומה, ישרה ומוקטנת ביחס לעצם. לעיתים קרובות, עדשה מבדרת משמשת "כיוונת" של מצלמה. אם צופים בעצם שרוצים לצלם דרך עדשה כזאת, רואים דמות מדומה שיחסי הגדלים בה קרובים לאלה שיופיעו בתצלום.

שאלה

מדוע רובו של הצילום באיור 27.50 אינו ממוקד?

תשובה:

הן ג'ימי וחתולו והן הדמות המדומה של ג'ימי וחתולו מהווים "עצמים" לעדשת המצלמה שבה נעשה הצילום. הואיל ושני העצמים מרוחקים מרחקים שונים מעדשת המצלמה, הדמויות שהם יוצרים נמצאות במרחקים שונים ביחס לסרט הצילום שבתוך המצלמה. לכן ניתן למקד על סרט הצילום רק אחת מהן. דבר דומה מתחולל גם בעינינו. איננו יכולים למקד את המבט בעצם קרוב ובעצם רחוק בעת ובעונה אחת.

עדשה מבדרת יוצרת דמות
מדומה וישרה של ג'מי
וחתולו.

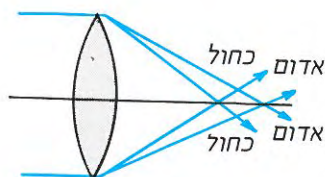


פגמים בעדשות

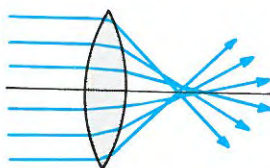
שום עדשה אינה יוצרת דמות מושלמת. עיוות הדמות בעדשה נקרא **אברציה**. בעזרת צירופים מתאימים של עדשות ניתן למזער את האברציות. זו הסיבה לכך שרוב המכשירים האופטיים בנויים מעדשות מורכבות, הבנויות כל אחת מכמה עדשות פשוטות, ולא כעדשות יחידות.

אברציה כדורית נובעת מאור העובר דרך שולי העדשה ומתמקד במקום שונה מעט מהמקום שבו מתמקד האור שעובר דרך מרכז העדשה (איור 27.51). ניתן לפתור בעיה זו אם מכסים את שולי העדשה, כפי שעושים בעזרת הצמצם במצלמה. במכשירים אופטיים משוכללים ניתן לתקן את האברציה הכדורית בדרך של צירוף מתאים של עדשות.

אברציה צבעית (אברציה כרומאטית) היא תוצאה של המהירויות השונות שיש לאורות בעלי הצבעים השונים בתוך זכוכית העדשה, דבר הגורם לשיעורי שבירה שונים (27.52). בעדשה פשוטה (כמו במנסרה), האור האדום והאור הכחול אינם מתמקדים באותה נקודה. ניתן לתקן ליקוי זה בעדשות אכרומאטיות, שהן צירוף של עדשות פשוטות העשויות מסוגי זכוכית שונים.



איור 27.52
אברציה צבעית.



איור 27.51
אברציה כדורית.

האישון מווסת את כמות האור הנכנסת לעין על ידי שינוי מפתחו. חדות ראייה מרבית מתקבלת כשהאישון צר ביותר, מפני שאז האור עובר רק דרך מרכז של עדשת העין, אזור שבו האברציה הכדורית והאברציה הצבעית הן מזעריות. כמו כן, במרכז העדשה שיעור ההטיה של הקרניים הוא הנמוך ביותר, ונדרש מיקוד מזערי לשם קבלת דמות חדה. דמות שיוצרות קרני אור שלא סטו ממסלולן המקורי תיראה ממוקדת בכל מקום. באור בהיר אנו מיטיבים לראות מפני שאז האישונים צרים יותר*.

אסטigmatism של העין היא ליקוי הנובע מכך שעיקום הקרנית שבעין גדול יותר בכיוון מסוים מבכיוונים אחרים, ואז היא סגלגלה ולא כדורית. התוצאה היא שהדמויות הנוצרות בעין אינן חדות. הפתרון לליקוי זה הוא משקפיים בעלי עדשות גליליות, שעיקומן בכיוון אחד גדול יותר מעיקומן בכיוון האחר.

שאלות

1. אילו היתה מהירות האור בזכוכית שווה למהירותו באוויר, האם עדיין היו עדשות זכוכית משנות את כיוון של קרני האור?
2. מדוע מתרחשת אברציה צבעית באור העובר דרך עדשה אך לא באור המוחזר ממראה?

זה 500 שנה משתמשים אנשים בעלי ליקויי ראייה במשקפיים, ובעשרות השנים האחרונות גם בעדשות מגע, לצורך שיפור ראייתם. כדאי לציין שכיום קיימת חלופה הן למשקפיים והן לעדשות מגע עבור הסובלים מליקויי ראייה מסוימים. קיימות כיום שיטות, חלקן ניסיוניות וחלקן אף שנויות במחלוקת, המאפשרות לשנות את צורת הקרנית בניתוח או בעזרת לייזר. בעולם המחר, ייתכן שהרכבת משקפיים או שימוש בעדשות מגע יהיו תופעות שעבר זמנן. אכן, אנו חיים בעולם המשתנה במהירות.

תשובות:

1. לא.
2. אורות בעלי תדירויות שונות מתקדמים במהירויות שונות בתווך חומרי שקוף, ולכן הקרניים נשברות בזוויות שונות, עובדה הגורמת לאברציה צבעית. אך זווית ההחזרה של האור אינה תלויה כלל בתדירות. כל הצבעים מוחזרים בדיוק באותה צורה. זה היתרון בבניית טלסקופים שאינם מבוססים על עדשות כי אם על מראות – בהחזרה אין אברציה צבעית.

* אם שכחתם היכן הנחתם את המשקפיים או שאתם מתקשים לקרוא אותיות ועירות, למשל במדריך הטלפונים, החזיקו פיסת נייר ובה חריץ קטן לפני העין וקרוב לדף. תוכלו לקרוא בבידור את הכתוב, ומכיוון שהעין קרובה האותיות יראו גדולות יחסית. נסו ותיווכחו!

שאלות חזרה

1. הסבירו את ההבדל בין החזרה לבין שבירה.

החזרה

2. מהי ההשפעה של האור הפוגע בחומר על ענן האלקטרונים הסובבים את גרעין האטום?

3. מה עושים ענני האלקטרונים כשגורמים להם להתנדוד?

עקרון הזמן המזערי

4. מהו עקרון הזמן המזערי של פֶּרְמָה?

חוק ההחזרה

5. מהו חוק ההחזרה?

מראות מישוריות

6. באיזה מרחק מאחורי המראה נמצאת הדמות בהשוואה למרחק העצם לפניה?

7. האם תקף חוק ההחזרה גם במראות עקומות? הסבירו.

8. כמה אור מוחזר מפניה של זכוכית שקופה?

החזרה מפוזרת

9. האם מתקיים חוק ההחזרה לגבי החזרה מפוזרת? הסבירו.

10. כיצד ייתכן שמשטח יהיה מלוטש עבור גלים מסוימים ובלתי מלוטש עבור גלים אחרים?

שבירה

11. בעת מעבר אלכסוני של אלומת אור מתווך אחד לתווך אחר היא נוטה מכיוונה. האם נטייה זו מגדילה את זמן המעבר של האור או מקטינה אותו?

12. מהו היחס בין זווית הפגיעה של האור בזוגית חלון שטוחה לבין הזווית שבה הוא יוצא מצידה השני?

13. תארו את כיוונה של קרן אור היוצאת ממנסרה משולשת ביחס לכיוון שבו נכנסה הקרן למנסרה.

14. היכן מהירות האור גדולה יותר, באוויר צפוף או באוויר קלוש? כיצד קשור הדבר למשך הזמן שבו שורר אור יום?

15. מהי "פאטה מורגנה"?

16. מדוע מרצדים הכוכבים?

17. האם יש הכרח להניח כי האור "יודע" איזה הוא המסלול שבו יידרש זמן מזערי למעבר מנקודה לנקודה, או שמא יש הסבר אחר לאופן בחירת המסלול, שאינו דורש הנחת "ידיעה"?

תקציר מונחים

החזרה

החזרת קרני האור ממשטח באופן שהזווית שבה קרן מסוימת מוחזרת שווה לזווית שבה היא פגעה במשטח. אם המשטח המחזיר אינו מלוטש ההחזרה תהיה בכל הכיוונים; זו החזרה מפוזרת.

שבירה

הטייתו של קרן אור העוברת מתווך שקוף אחד למשנהו אם היא פוגעת באלכסון ולא במאונך במשטח הגבול. השבירה נובעת ממהירויות האור השונות בשני החומרים השקופים. אם השינוי בתווך חל באופן חד (למשל ממים לאוויר), כיפוף הקרניים חד גם הוא; אם השינוי בתווך הדרגתי (למשל מאוויר קריר לאוויר חם), כיפוף הקרניים הדרגתי גם הוא, וכך נוצרת תופעת ה"פאטה מורגנה".

עקרון הזמן המזערי של פֶּרְמָה

כשאור עובר ממקום למקום הוא נע במסלול שבו נדרש למעבר זמן מזערי.

חוק ההחזרה

זווית הפגיעה שווה לזווית ההחזרה. הקרן הפוגעת והקרן המוחזרת נמצאות במישור מאונך למשטח המחזיר.

החזרה פנימית גמורה

החזרה מלאה של האור הנע בתווך שקוף ופוגע בזווית - העולה על זווית גבולית מסוימת - במשטח הגבול שבין תווך זה לבין תווך שבו מהירות האור גדולה יותר.

זווית גבולית

זווית הפגיעה הקטנה ביותר שבה האור מוחזר החזרה פנימית גמורה בתוך תווך שקוף.

עדשה מכנסת

עדשה שעוביה במרכז גדול מבשוליים; עדשה כזו ממקדת קרניים מקבילות שעוברות דרכה לנקודת מוקד אחת.

עדשה מבדרת

עדשה שעוביה במרכז קטן מבשוליים; עדשה כזו גורמת לקרניים מקבילות העוברות דרכה להתפזר כאילו יצאו מנקודה אחת.

דמות מדומה

דמות הנוצרת על ידי קרניים שאינן מתכנסות ולכן אי אפשר להציגה על מסך. לעינינו היא נראית כניצבת במקום שממנו הקרניים יוצאות כביכול. הדמות המשתקפת במראה היא דמות מדומה.

דמות ממשית

דמות שיוצרות קרניים מתכנסות ושניתן להציגה על מסך.

אֶבְרָצִיָה

תופעה המתבטאת בהיווצרות דמות שאינה מושלמת, וטבועה במידה זו או אחרת כמעט בכל מכשיר אופטי.

הגורמים לשבירה

18. מהו הגורם לשבירת האור?

19. כשגלגל של עגלת צעצוע מתגלגל ממדרכה חלקה אל משטח דשא, העשבים מקטינים את מהירות הגלגל. מה מאט את תנועת האור העובר מאוויר לזכוכית או למים?

20. כשאור עובר מחומר שקוף אחד לאחר, הוא נשבר; לעיתים הוא מתקרב לעבר האנך אל משטח הגבול, ולעיתים הוא מתרחק מן האנך. באילו תנאים מתרחש כל אחד מהליכים אלה?

21. האם השבירה גורמת לבריכת שחייה להיראות עמוקה יותר או רדודה יותר?

נפיצה

22. מה קורה לאור בעל תדירות מסוימת כשהוא פוגע בחומר בעל אותה תדירות טבעית?

23. איזה אור מתקדם לאט יותר בזכוכית, אור אדום או אור סגול?

24. אם אור בעל תדירויות שונות נע במהירויות שונות בחומר מסוים, האם תחול שבירה שונה בכל תדירות עם כניסת האור לחומר? הסבירו.

הקשת בענן

25. מהו הגורם לכך שלא כל הקשתות בענן הן מעגלים שלמים?

26. האם גורמת טיפת גשם יחידה, שאור השמש פוגע בה, לנפיצה של צבע יחיד או של ספקטרום הצבעים כולו?

27. האם צופה המתבונן בטיפת גשם יחידה ורחוקה רואה צבע אחד שעבר בה נפיצה או את ספקטרום הצבעים כולו?

28. מדוע חיוורת יותר הקשת המשנית מהקשת הראשונית?

החזרה פנימית גמורה

29. למה הכוונה בביטוי הזווית הגבולית?

30. מתי יוחזר האור החזרה פנימית גמורה בתוך מנסרת זכוכית?

31. מתי יוחזר האור החזרה פנימית גמורה בתוך יהלום?

32. מנו שני יתרונות לשימוש במנסרות בבניית משקפות שדה.

33. נהוג לומר שהאור מתקדם בקווים ישרים. הסבירו כיצד הוא מסוגל להתפתל בסיב אופטי.

עדשות

34. מהו ההבדל בין עדשה מכנסת לבין עדשה מבדרת?

35. מהו רוחק המוקד של עדשה?

יצירת דמות בעדשה

36. מהו ההבדל בין דמות מדומה לבין דמות ממשית?

37. באיזו עדשה אפשר להשתמש כדי לקבל דמות ממשית? באילו עדשות ובאילו תנאים תתקבל דמות מדומה?

פגמים בעדשות

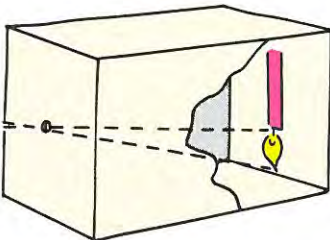
38. מהו ההבדל בין אברציה כדורית לבין אברציה צבעית?

39. מדוע ראייתנו חדה ביותר כשאישוני העין קטנים מאוד?

40. מהי אסטיגמטיות? כיצד אפשר לתקנה?

מטלות בית

1. בנו לכם מצלמת חריר, כמתואר באיור למטה. הסירו דופן אחת של קופסת קרטון קטנה וכסו את הפיאה החסרה בנייר שקוף למחצה. נקבו חריר עגול בדופן שממול (אם הקרטון עבה החליפו דופן זו ב"נייר אלומיניום" ובו נקבו את החריר). כוונו את המצלמה אל עצם בהיר בחדר חשוך ותראו את דמותו ההפוכה על הנייר השקוף למחצה. בחדר אפל, החליפו את הנייר השקוף למחצה בנייר צילום בלתי מפותח וכסו את גבו כך שיהיה אטום לאור. את החריר כסו במכסה שניתן להסירו. המצלמה מוכנה לפעולה. משך החשיפה תלוי בסוג נייר הצילום ובכמות האור. נסו זמני חשיפה שונים החל ב-3 שניות. נסו גם קופסאות באורכים שונים. תגלו שהדמויות בתמונה ממוקדות אך גבולותיהן אינם חדים. ההבדל העיקרי בין מצלמת החריר שלך לבין מצלמות מסחריות הוא בעדשת הזכוכית, הגדולה יותר מן החריר; העדשה מאפשרת כניסת אור רב יותר במשך זמן קצר יותר, ומכאן השם תצלום חטף.

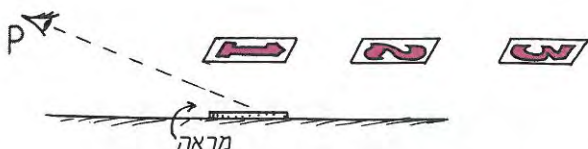


6. התבוננו בהשתקפויות של מנורת תקרה בשני המשטחים של זוגיות משקפיים ונראה שתי דמויות שונות ביותר. מדוע הן שונות זו מזו?

תרגילים

1. לפי עקרון פרמה, מסלול האור נקבע לפי הזמן המזערי ולא לפי המרחק המזערי. האם ניתן היה ליישם גם עיקרון של מרחק מזערי לגבי החזרת האור? לגבי שבירת האור? מדוע שונות התשובות?

2. העין בנקודה P צופה במראה. איזה מן הקלפים הממוספרים היא תראה משתקף במראה?



3. גיוני הקאובוי מעוניין לירות בפושע הרודף אחריו ולפגוע בו על ידי התזת הקליע מלוח פלדה מלוטש כמראה. האם עליו לכוון את הכדור פשוט אל דמותו של הפושע המשתקפת בלוח? הסבירו.

4. מה צריך להיות גובהה המזערי של מראה מישורית כדי שתוכלו לראות בה את דמות גופכם לכל גובה?

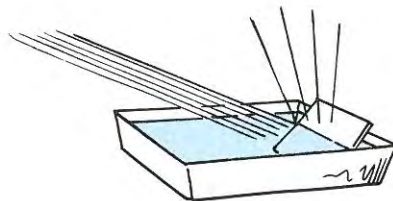
5. כיצד תלויה התשובה לשאלה הקודמת במרחק מהמראה? (נסו ותיווכחו!)

6. החזיקו מראת כיס קטנה במרחק של כמעט זרוע פשוטה מן הפנים ושימו לב איזה חלק של הפנים אפשר לראות במראה. כדי לראות חלק גדול יותר, האם יש לקרב את המראה או להרחיקה? או אולי דרושה מראה גדולה יותר? (נסו ותיווכחו!)

7. באיור מתוארות נערה ואחותה התאומה הזוהר, העומדות במרחק שווה משני צידי של קיר דק. מעוניינים לפתוח חלון בקיר שדרכו תוכל כל נערה לראות את אחותה לכל אורכה. הראו את גודלו ומקומו של החלון הקטן ביותר המאפשר זאת. (רמז: העבירו קרן מראשה ומכפות רגליה של כל תאומה אל עיניה של אחותה.)

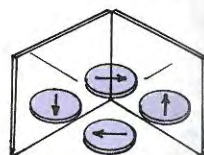


2. אם אין לכם מנסרה משולשת תוכלו ליצור ספקטרום אם תציבו תבנית או מגש מלא מים באור שמש חזק. השעינו מראת כיס קטנה בפנים המגש וכוונו אותה עד שיתקבל ספקטרום על הקיר או על התקרה.



3. העמידו שתי מראות על צידן זו מול זו. הציבו עצם קטן, למשל מטבע, בין המראות והביטו בהשתקפויותיו בשתי המראות. נחמד, הלא כן?

4. העמידו שתי מראות כיס בזווית ישרה והניחו מטבע ביניהן. תראו ארבעה מטבעות. שנו את הזווית בין המראות והתבוננו - בכמה מטבעות אתם מבחינים? במצב שבו המראות מאונכות זו לזו התבוננו בפנים במראה. עתה נסו לקרוע בעין ימין. מה קורה? כעת אתם רואים את עצמכם כפי שאחרים תמיד רואים אתכם. החזיקו דף מודפס מול המראות והשוו את המראה לזה המתקבל במראה יחידה.



5. מיצאו את כושר ההגדלה של עדשה: מקדו אותה בדף שורות; סיפרו את מספר השורות בדף המתאים לרווח שבין שתי שורות מוגדלות. כך תקבלו את כושר ההגדלה של העדשה. תוכלו לחזור על

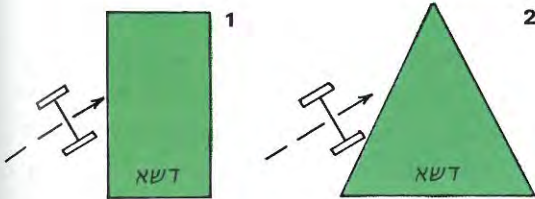
הניסוי במשקפת המכוונת אל קיר לבנים מרוחק. התבוננו דרך המשקפת בעין אחת בלבד, בעוד העין השנייה צופה ישירות בקיר. מספר שורות הלבנים שניתן לראות בעין הבלתי מצוידת, "הנכנסות" בשורת לבנים מוגדלת אחת במשקפת, היא ההגדלה של המשקפת.



3 רווחים מתאימים לרווח מוגדל אחד

שמאל. אם כך, מדוע כשאתם מנדנדים את הראש, הדמות מנדנדת את ראשה ולא את רגליה?

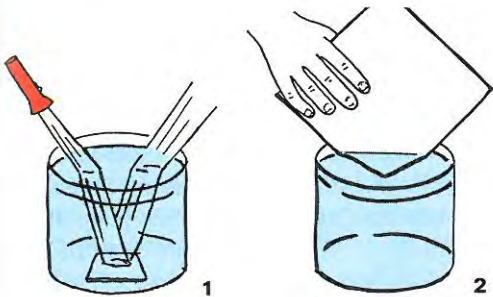
17. מגלגלים זוג גלגלים של עגלת משחק באלכסון ממשטח חלק אל שני משטחי דשא, משטח אחד מלבני (1) ומשטח אחד משולש (2). הקרקע משופעת מעט, כך שאחרי ההאטה בדשא מהירות הגלגלים שוב תגדל לאחר יציאתם אל המשטח החלק. השלימו את האיור: תארו את מצבם של הגלגלים במספר נקודות על הדשא ולאחר היציאה ממנו, תוך שאתם מציינים את כיוון ההתקדמות בכל מקום.



18. אילו היו האורות השונים בכל התדירויות נעים במהירות שווה בזכוכית, כיצד היה נראה האור הלבן לאחר מעברו במנסרה משולשת?

19. סיכויי של מי לנצנץ גדולים יותר: של יהלום קרוב או של יהלום רחוק? הסבירו.

20. קרן אור הפוגעת במים נשברת כמתואר באיור 1, ואילו שולי של ריבוע הקרטון השקוע נשברים כבאיור 2. האין סתירה בין שני האיורים? הסבירו.



21. אם ברצונכם לירות חץ אל דג במים, האם עליכם לכוונו מעל לדמות הדג שאתם רואים, מתחתיה או בדיוק אליה כדי לפגוע בדג? אם תשתמשו בקרן לייזר כ"חץ", האם יהיה עליכם לכוון מעל לדמות הדג, מתחתיה או בדיוק אליה כדי לפגוע בדג? נמקו.

22. אם צבעו של הדג הקטן מהתרגיל הקודם הוא כחול וצבע אור הלייזר שלכם הוא אדום, כיצד יש לתקן את הכיוון? הסבירו.

23. כשדג מתבונן בזווית של 45° כלפי מעלה, האם הוא

8. נניח שאתם מתקדמים במהירות של 1 מ'ש' לעבר מראה. מהי מהירות ההתקרבות ביניכם לבין דמותכם המדומה המשתקפת במראה?



9. מה לא בסדר בציור של האדם המתבונן בראי? (בקשו מחבר לעמוד מול ראי כמתואר, ותראו.)

10. מדוע הפוכות (שמאל-ימין) האותיות המצוירות בחזיתן של מכוניות מסוימות?

AMBULANCE

11. אדם הנמצא בחדר חשוך ומביט דרך שמשות החלון יכול בקלות לראות אדם אחר הנמצא בחוץ באור היום, ואילו האדם שבחוץ אינו יכול לראות את זה שבפנים. הסבירו.

12. מדוע קשה לנו לראות את הדרך שלפנינו כשאנו נוהגים בלילה גשום?

13. האם השתקפות הנוף במים שקטים נראית בדיוק כמו הנוף עצמו, פרט להיותה הפוכה? (רמז: האם ניתן לראות את השתקפות חלקו העליון של סלע הבולט מעל לפני המים?)



14. מדוע נראה אור השמש או הירח המוחזר מפני האגס כפס אור מוארך (ראו תמונה)? כיצד היתה נראית ההשתקפות אם פני המים היו חלקים לחלוטין?

15. הראו בעזרת תרשים פשוט כי אם קרן אור פוגעת במראה מישורית ומסובבים את המראה בזווית מסוימת, הקרן

המוחזרת מהמראה תסתובב בזווית גדולה כפליים. (הכפלה זו מבליטה מאוד פגמים בזוגיות החלון.)

16. אם אתם צופים בדמותכם בראי ומנופפים לשלום בידיכם הימנית, דמותכם המקסימה שבראי מנופפת ביד

29. שני צופים העומדים במרחק מה זה מזה אינם רואים "אותה" קשת בענן. הסבירו.

30. אם צופים ממטוס בקשת בענן, היא עשויה להיראות כעיגול שלם. היכן יימצא צילו של המטוס? הסבירו.

31. במה דומה הקשת להילה המקיפה לעיתים את הירח בלילה שבו יש גבישי קרח באטמוספירה העליונה?

32. מהו הגורם לצבעי הקשת הנראים בשוליו של כתם האור הלבן המוטל מפנס או ממטול שקופית?

33. מה תהיה התוצאה אם במצלמת נקב (איור 27.46) ומטלת בית (1) יהיו שני נקבים ולא אחד? ואם יהיו בה נקבים רבים?

34. באילו תנאים תיצור עדשה מכנסת דמות מדומה? האם ניתן ליצור דמות ממשית בעזרת עדשה מבדרת?

35. האם תוכלו לצלם את דמותכם במראה ולמקד את המצלמה הן בדמות והן במסגרת המראה? הסבירו.

36. באיזה מרחק אחרי עדשת המצלמה נמצא סרט הצילום כשמצלמים עצם רחוק? נסחו את תשובתכם במונחים של רוחק המוקד של העדשה.

37. מפות של הירח הן למעשה הפוכות מעלה-מטה. מדוע?

38. אנשים מבוגרים שאינם מרכיבים משקפי קריאה נוטים להרחיק את הדף מפניהם יותר משנוהגים צעירים. מדוע?

39. קרני אור המקבילות לציר הראשי של עדשה מכנסת עוברות דרך העדשה ומתמקדות בנקודה הנמצאת במרחק מסוים אחריה - נקודת המוקד. אם נטבול את העדשה במים, האם תהיה נקודת המוקד קרובה יותר לעדשה, רחוקה יותר, או באותו מרחק כמו באוויר?

40. שום זכוכית אינה שקופה לחלוטין. עקב החזרות, רק כ-92 אחוזים של אנרגיית האור מועברים דרך לוח ממוצע של זכוכית חלונות בהירה ונקייה מאבק. בלוח זכוכית יחיד לא נבחין בשמונת האחוזים האבודים, אך הדבר בולט כאשר האור עובר דרך לוחות אחדים. איזה חלק של האור יעבור דרך שני לוחות שכל אחד מהם מעביר 92 אחוזים?

רואה את השמים או את השתקפות הקרקעית? נמקו את תשובתכם.

24. אילו הוטל עליכם לשגר קרן לייזר לחללית הנמצאת מחוץ לאטמוספירה וממש מעל לאופק, האם היה עליכם לכוון את הקרן הישר אל החללית הנראית, מעט מעליה או מתחתיה? נמקו.

25. מהו הגורם לכתמי הצל הגדולים שמטילים קצות הרגליים הדקיקות של רץ-המים? מהו הגורם לטבעות האור הבהיר שמסביב לכתמי הצל?



26. לעיתים מכסים בריכות שחייה ביריעות פלסטיק שקופות ובהן אלפי עדשות קטנות העשויות מבוועות ממולאות אוויר. הן מכוונות יריעות לחימום סולארי. יצרניהן טוענים כי העדשות שביריעות ממקדות את קרני השמש במים וגורמות להתחממותם. לדעתכם, האם מכוונות עדשות אלה אנרגיית שמש רבה יותר למים? נמקו את תשובתכם.

27. אם נמדוד את העוצמה הממוצעת של אור השמש בתחתית הבריכה שבאיור 27.45 בעזרת מד-אור, האם תהיה העוצמה הממוצעת שונה אם המים יהיו שקטים?

28. באיור 27.30 נראים קטעים של קשתות בענן בצורת אליפסות כדי לציין שמדובר במבט מהצד. האם במציאות ניתן לראות קשת מן הצד כך שהיא תיראה אליפטית ולא מעגלית? נמקו את תשובתכם.