

פיזיקה

תורת האור

אופטיקה גיאומטרית

מותאם לתוכנית הלמודים פעימ"ה של משרד החינוך

תשע"ה - 2015

תוכן עניינים

אופטיקה גיאומטרית

5	מבוא	
6	האור ותופעותיו	פרק א'
	מהו אור, כיצד נוצר אור, מקורות אור, בליעה העברה והחזרה, גופים אטומים ושקופים, ספקטרום האור הנראה לעין, כיצד רואים צבעים	
16	התפשטות האור	פרק ב'
	כיצד מתפשט אור, תופעת האור והצל	
20	החזרת אור	פרק ג'
	מהי החזרת אור, מאפייני החזרת אור מסודרת, חוק ההחזרה	
24	מראה מישורית	פרק ד'
	מהי מראה מישורית, כיצד נוצרת השתקפות, היכן נמצאת דמות, זווית הראיה, תכונות המראה, הפריסקופ, מראות מחזירות בחלקן	
32	מראות כדוריות	פרק ה'
	מהי מראה כדורית, מבנה מראה כדורית, מוקד המראה הכדורית	
38	יצירת דמות במראות כדוריות	פרק ו'
	יצירת דמות במראה קעורה, מהי דמות ממשית, השפעת מיקום הגוף על מיקום הדמות, יצירת דמות במראה קמורה	
44	נוסחת המראות הכדוריות	פרק ז'
	מהי נוסחת המראות הכדוריות, נוסחת ההגדלה של מראות כדוריות, פנס כיס, מראות פרבוליות, פנסי רכב קדמיים	
57	שבירת אור	פרק ח'
	מהי שבירת אור, הגורמים לשבירת אור, חוק סנל, מנת שבירה	
67	תופעת החזרת אור פנימית גמורה	פרק ט'
	מהי החזרת אור גמורה, הגורמים לתופעה, הזווית הקריטית ומציאתה	
75	עדשות	פרק י'
	מהי עדשה, סוגי עדשות, יצירת דמויות בעדשות ומיקומן	
84	נוסחת העדשות הדקות	פרק יא'
	נוסחת העדשות, נוסחת הגדלה בעדשות, עוצמת העדשה, צירוף עדשות	
92	עדשות ומראות במכשירים אופטיים	פרק יב'
	העין, תהליך הראיה, ליקויי ראייה, זכוכית מגדלת, מיקרוסקופ, טלסקופ, מצלמה, מקרן	

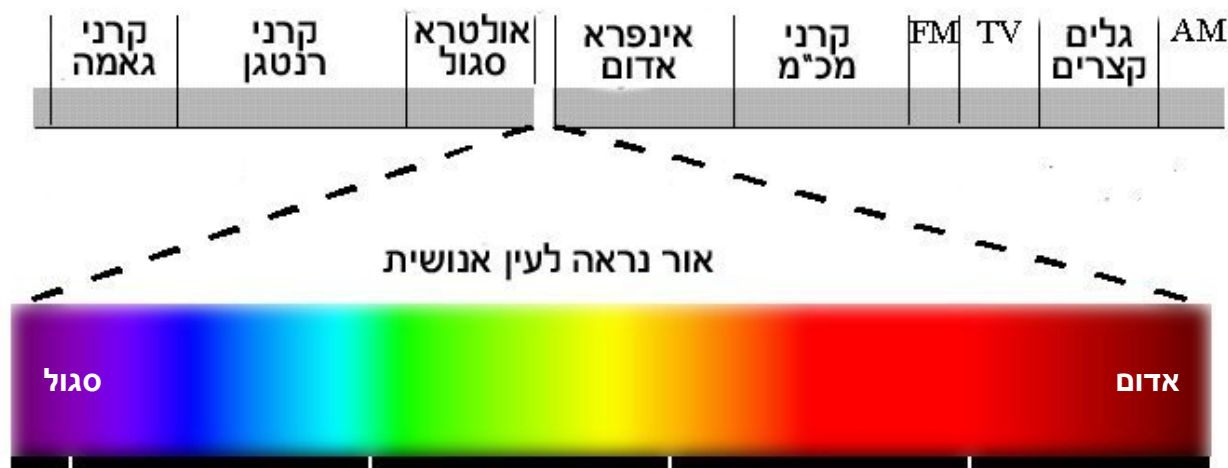
אופטיקה

גיאומטריה

פרק א' - האור ותופעותיו

מהו אור?

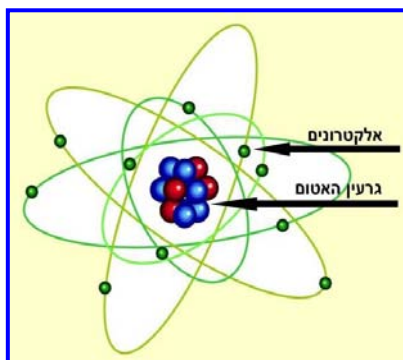
מבחינה פיזיקלית, אור הוא סוג של אנרגיה המהווה חלק מהאנרגיה של קרינה אלקטרומגנטית בעלת צורה של גל המוקרנת על ידי גופים חמים. אור נראה לעין הוא בעל אורך גל מסוים בספקטרום הקרינה האלקטרומגנטית.



האור הנראה לעין בתוך ספקטרום קרינה אלקטרומגנטית אור מורכב למעשה מחלקיקים קטנים מאד, חסרי מסה הטעונים אנרגיה ונקראים **פוטונים**. פוטונים אלו נוצרים באטומים של חומר בזמן שהוא מתחמם, והם נפלטים מגוף חם ונעים בצורה של גל בקו ישר במהירות של 300,000 ק"מ בשנייה, ומעבירים את האנרגיה שלהם לכל גוף אתו הם באים במגע.

אור הוא אנרגיה המהווה חלק מקרינה אלקטרומגנטית

כיצד נוצר אור?



מבנה האטום

כל דבר בעולם עשוי מחומר, וכל חומר בנוי מאטומים שבכל אחד מהם יש גרעין הכולל נויטרונים חסרי מטען ופרוטונים בעלי מטען חשמלי חיובי (+), וסביבו מסתובבים במספר מסלולים אלקטרונים בעלי מטען חשמלי שלילי (-). כוח המשיכה הקיים בין מטענים חשמליים מנוגדים מחזיק את האלקטרונים במסלולם סביב הגרעין. לכל אטום של חומר יש את מספר אלקטרונים המאפיין אותו, ואין שני חומרים זהים.

פרק ב' - התפשטות האור

כיצד מתפשט האור?



אור הוא גל אלקטרומגנטי אשר נע ממקור אור בקו ישר שקוראים לו: **קרן אור**.

אור היוצא ממקור אור רחוק כמו השמש הירח והכוכבים או מקור אור קרוב כמו מנורה, מתפשט לכל הכיוונים ונע בצורה של קווים ישרים מקבילים, ולכן הם נקראים: **אלומת קרני אור**.



דוגמה לכך ניתן לראות כאשר אלומת קרני אור השמש חודרת דרך צמרות העצים ביער, או דרך חלון של חדר חשוך. אז רואים את קרני האור הישירות החודרות דרך הפתח הפתוח. מכאן המסקנה היא: **אור היוצא ממקור אור, מתפשט לכל הכיוונים, ונע תמיד בצורה של קרניים ישרות ומקבילות.**

קרני אור השמש

קרני אור נעות תמיד בקווים ישרים ומקבילים

תופעת האור והצל



צל של גדר

אחת התופעות המסבירות את תכונת האור לנוע בקווים ישרים היא: **תופעת האור והצל**. כאשר קרני אור פוגעות בגוף אטום הן אינן מצליחות לעבור, ולכן ניתן לראות את הצל שמטיל הגוף על הקרקע. **צורת הצל כצורת הגוף**.

אור השמש גורם לכך שלגופים רבים יש צל בשעות היום. זווית השמש והגובה שלה בשמיים גורמים לשינוי אורך הצל.

מדענים גילו כי ניתן לנצל את תופעת האור והצל לחישוב מידות של גופים

הסמוכים זה לזה, בתנאי שמתקיימים התנאים הבאים:

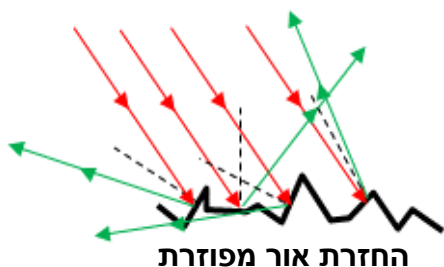
א. שני הגופים חייבים להיות סמוכים ומאונכים לקרקע (90° לקרקע).

פרק ג' - החזרת אור

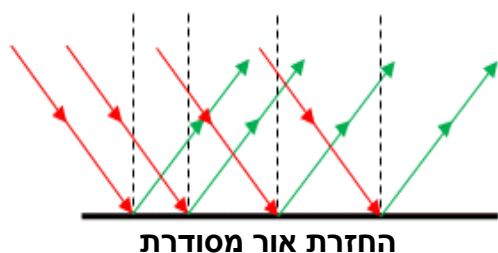
מהי החזרת אור?

החזרת אור היא תופעה המתרחשת בעת פגיעה של קרני אור במשטח. צורת החזרת האור תלויה במאפייני המשטח בו פגע האור.

- **במשטח מחוספס** - קרני האור החוזרות מתפזרות לכיוונים שונים. להחזרת אור כזו קוראים: **החזרת אור מפוזרת**.

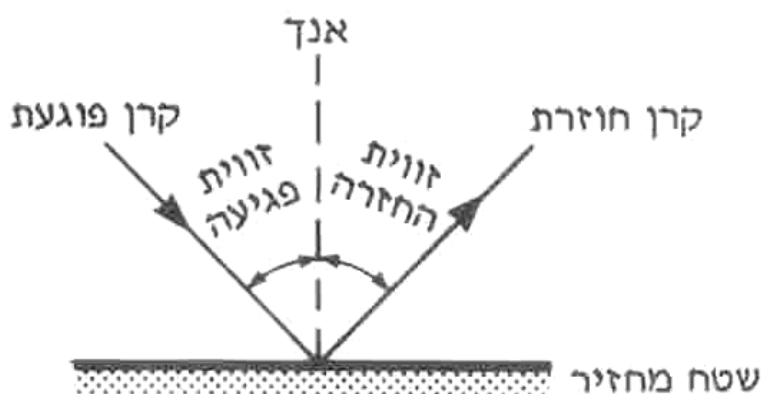
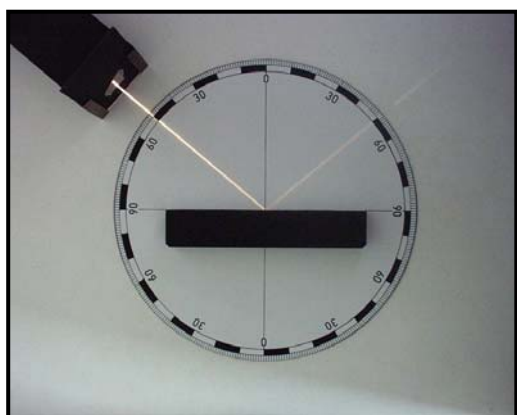


- **במשטח חלק מבריק ומלוטש** - קרני האור חוזרות באופן מסודר, ולכן להחזרת אור כזו קוראים: **החזרת אור מסודרת**.



מאפייני החזרת אור מסודרת

נתאר החזרת אור מסודרת בצורה גרפית:



הדגמת החזרת אור

מהתיאור הגרפי ניתן לראות שנקודת הפגיעה של קרן אור במשטח היא גם נקודת ההחזרה שלה, כאשר:

- **קרי פוגעת** - מייצגת את כיוון האור הפוגע במשטח.
- **קרי חוזרת** - מייצגת את כיוון האור המוחזר מהמשטח.
- **אנך** - הוא אנך דמיוני למשטח בנקודת הפגיעה של קרן האור.
- **זווית פגיעה** - היא הזווית בין הקרן הפוגעת לאנך הדמיוני.
- **זווית החזרה** - היא הזווית בין הקרן החוזרת לאנך הדמיוני.

חשוב לזכור! - כל הזוויות הן כלפי האנך הדמיוני

פרק ד' - מראה מישורית

מהי מראה מישורית?

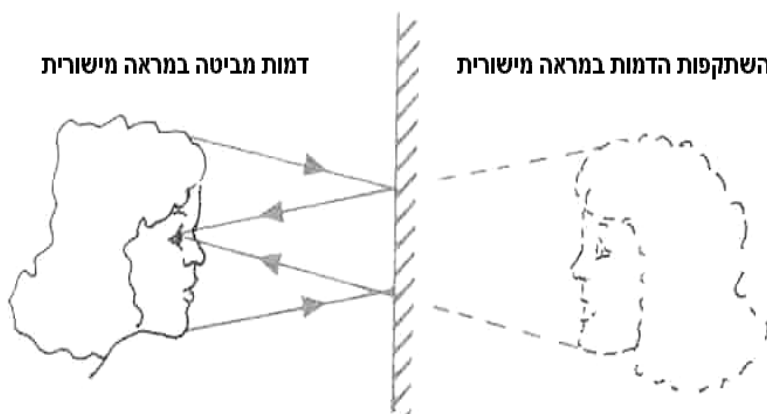


מראה מישורית

מראה היא משטח חלק ושקוף (לרוב זכוכית) המצופה מצידה האחד בחומר מיוחד (לרוב מתכת) האוטם אותה, וכתוצאה מכך מחזירה את קרני האור הפוגעות בה בצורה מסודרת. החזרת האור יוצרת במראה השתקפות של כל העצמים העומדים מולה. אם נעמוד מול מראה ונביט בה, אז נראה את השתקפות הדמות שלנו, ואת השתקפות העצמים שמאחורינו. הסיבה לכך היא שכאשר קרן אור פוגעת במראה, היא מוחזרת ממנה בזווית החזרה השווה לזווית הפגיעה. מכיוון שהמראה ישרה היא נקראת: **מראה מישורית**.

מראה מישורית היא גוף חלק ומבריק המחזיר אור בצורה מסודרת

כיצד נוצרת השתקפות דמות במראה המישורית?



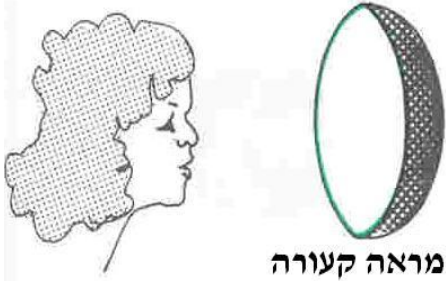
גוף, שקרני מקור אור פוגעות בו, מחזיר את קרני האור לכל הכיוונים. בזמן שגוף נמצא מול מראה מישורית, קרני האור המוחזרות מכל נקודה של הגוף פוגעות במראה המישורית ומוחזרות ממנה לעין, אשר רואה את בבואת הגוף משתקפת במראה. למעשה, הדמות המדומה (בבואה) המשתקפת במראה נוצרה מהמשך קרני האור של הגוף שפגעו במראה.

הדמות המדומה במראה נוצרת מהמשך קרני האור של הגוף הפוגעות במראה

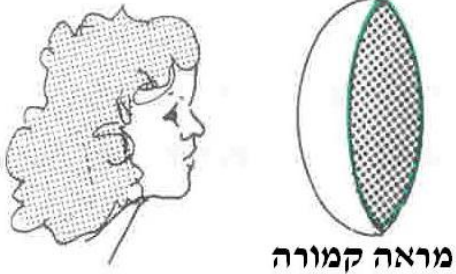
פרק ה' - מראות כדוריות

מהי מראה כדורית?

מראה כדורית היא מראה המיוצרת מכדור חלול מזכוכית, פלסטיק או מתכת אשר נחתך לשני חלקים, ולכל חלק צורה של כיפה. כדי ליצור מראה מהכיפות שנחתכו מהכדור, יש לצפות אותן בציפוי שיאפשר להן להחזיר את קרני האור הפוגעות בהן.



מראה קעורה



מראה קמורה

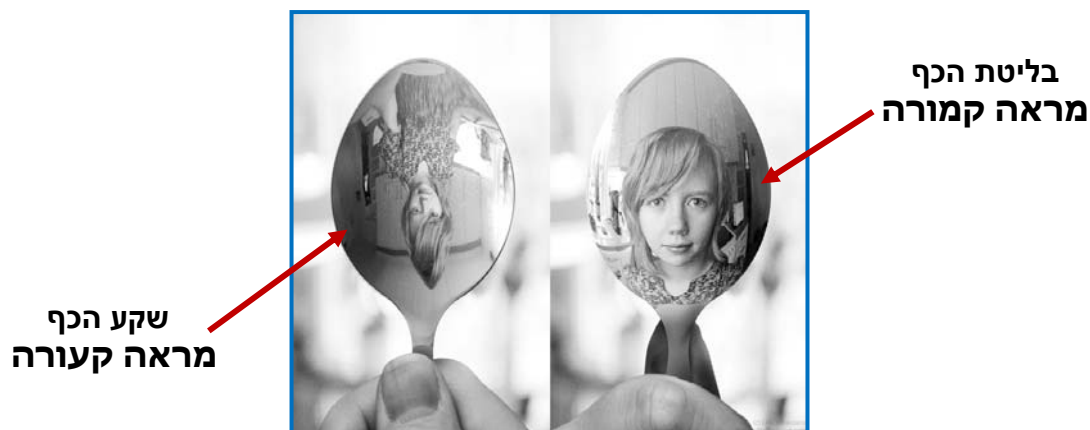
- **ציפוי חיצוני של הכיפה - הופך את המשטח הפנימי של הכיפה למראה. מראה זו נקראת: מראה קעורה.**

- **ציפוי פנימי של הכיפה - הופך את המשטח החיצוני של הכיפה למראה. מראה זו נקראת: מראה קמורה.**

כלומר, במראה קעורה השקע הפנימי של הכיפה משמש כמראה, ואילו במראה קמורה המעטפת החיצונית של הכיפה משמשת כמראה. ההבדל בין המראות הכדוריות הוא למעשה המשטח המשמש כמראה. הבדל זה יוצר מאפיינים מיוחדים לכל מראה.

- **מראה קעורה - היא כיפה שהמשטח הפנימי שלה משמש כמראה**
- **מראה קמורה - היא כיפה שהמעטפת החיצונית שלה משמשת כמראה**

לצורך המחשה פשוטה ניתן לקחת כף גדולה ומבריקה. שקע הכף מהווה מראה קעורה, ואילו בליטת הכף מהווה מראה קמורה.



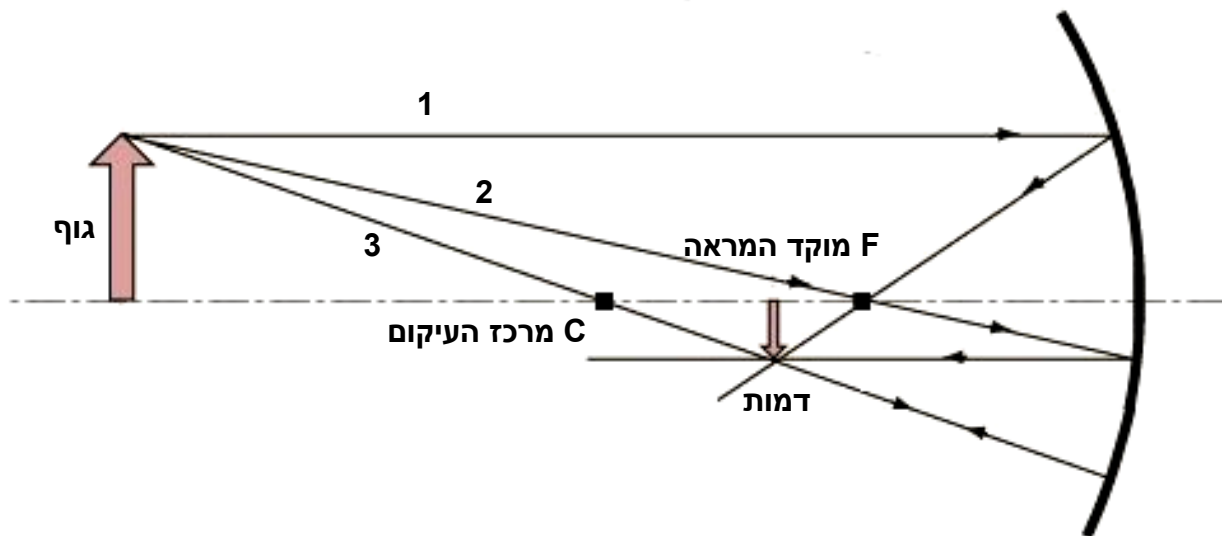
פרק ו' - יצירת דמות במראות כדוריות

כל נקודה בגוף שפוגעות בו קרני אור ממקור אור, מחזירה את קרני האור. כאשר קרני האור החוזרות מהגוף פוגעות במראות כדוריות, מתקבלת בכל מראה דמות שמיקומה וגודלה תלוי בתכונות החזרת האור של כל מראה.

יצירת דמות במראה קעורה

נתאר יצירת דמות במראה קעורה, באמצעות שלוש קרני אור מייצגות היוצאות מגוף הנמצא מול המראה במרחק כלשהו. ניתן לראות ש:

- קרן אור 1 פוגעת במראה וחוזרת דרך המוקד.
- קרן אור 2 עוברת דרך מוקד המראה וחוזרת במקביל לציר האופטי.
- קרן אור 3 עוברת דרך מרכז העיקום וחוזרת על אותו קו.



בנקודת מפגש הקרניים החוזרות מהמראה, בין מוקד המראה למרכז העיקום, נוצרת במראה קעורה דמות שהיא **דמות ממשית קטנה מגודל הגוף והפוכה**.

מה משמעותה של דמות ממשית?

דמות ממשית היא דמות שנוצרת מהחזרת קרני אור ממשיות, ומקומה בחזית המראה הקעורה היכן שנמצא גם הגוף. אם נשים מסך בנקודת מפגש קרני האור נראה על המסך את הדמות שהן יוצרות.



הדמות משתקפת על המסך

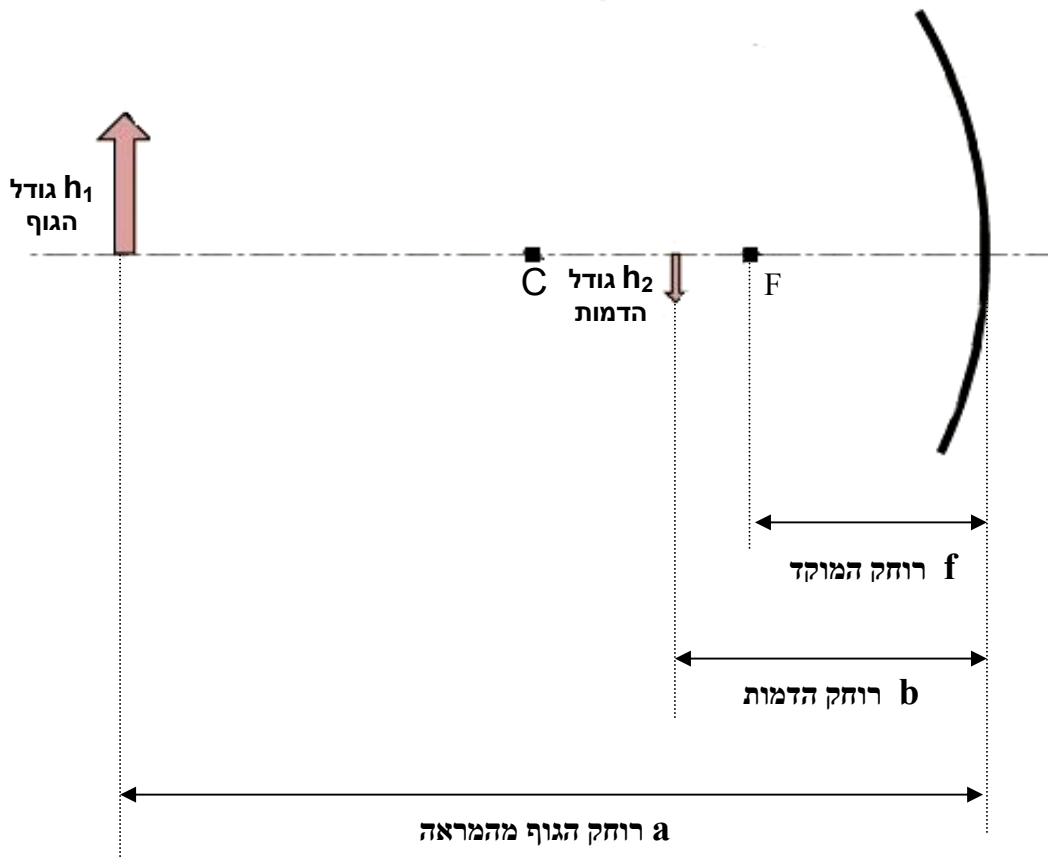
פרק ז' - נוסחת המראות כדוריות

מהי נוסחת המראות כדוריות?

מחקרים מדעיים הוכיחו כי במראות כדוריות, מקומה של הדמות נקבע על פי מקומו של הגוף הניצב לפני המראה. כדי לקבוע באופן מדויק את מקום הדמות במראות כדוריות קבעו המדענים נוסחה מתמטית הנקראת: **נוסחת המראות הכדוריות**.

במראה קעורה

הגורמים שבאים לידי ביטוי בנוסחת המראות הכדוריות במראה קעורה הם:



לאחר ניסויים רבים שנערכו, ומדידות שנעשו על פי החוקים הגיאומטריים נקבעה הנוסחה הנקראת: **נוסחת המראות הכדוריות**

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

רוחק הגוף רוחק הדמות רוחק המוקד

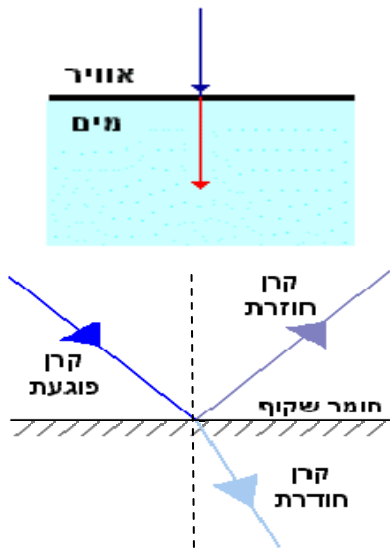
פרק ח' - שבירת אור

מהי שבירת אור?

שבירת אור היא תופעה שמתרחשת כאשר קרני אור הנעות באוויר פוגעות במשטח העשוי מחומר שקוף. למעשה קיימים שני מצבים:

- פגיעת אור בניצב למשטח שקוף - במצב זה קרני האור חודרות בקו ישר לפנים.
- פגיעת אור בזווית במשטח שקוף - במצב זה חלק מקרני האור חוזרות מהמשטח השקוף וחלק מקרני האור חודרות דרך המשטח השקוף, אך הן אינן ממשיכות בתנועתן בקו ישר לפנים אלא משנות את מסלול התקדמותן בתוך החומר. לתופעה זו קוראים:

שבירת אור.



שבירת אור היא סטיית קרני האור ממסלולן

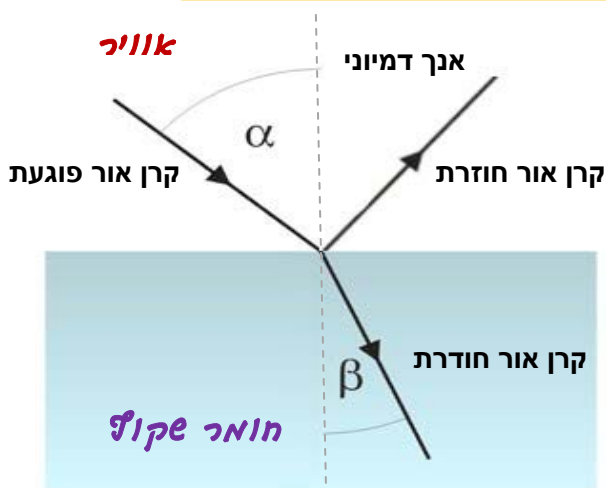
מה גורם לשבירת האור?

אור נע באוויר במהירות של 300 אלף קילומטר בשנייה. כאשר האור הנע באוויר (חומר שקוף) פוגע בחומר שקוף אחר וחודר דרכו, קטנה מהירות התנועה של האור בגלל צפיפות החומר. כתוצאה מכך נוצרת סטייה של האור מהמסלול שלו שאנו קוראים לה: **שבירה של האור.**

שבירת אור נגרמת עקב הקטנת מהירות האור בחומר צפוף

כיצד סטיית האור באה לידי ביטוי?

כאשר קרן אור הנעה באוויר פוגעת במשטח שקוף כלשהו בזווית α כלפי האנך הדמיוני, חלק מהאור מוחזר אך קרן האור החודרת נשברת וסוטה ממסלולה בתוך החומר בזווית β כלפי האנך הדמיוני.



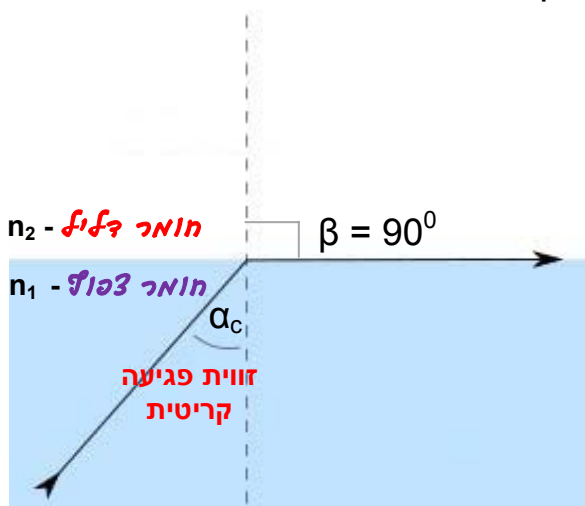
פרק ט' - תופעת החזרת אור פנימית גמורה

מהי החזרת אור פנימית גמורה?

החזרת אור פנימית גמורה היא תופעה שמתרחשת רק במעבר אור מחומר צפוף בעל מנת שבירה גדולה (n_1), לחומר דליל בעל מנת שבירה קטנה (n_2). התופעה היא למעשה מצב בו האור היוצא מחומר צפוף לכיוון החומר הדליל, אינו עובר את קו ההפרדה ביניהם אלא חוזר במלואו פנימה אל תוך החומר הצפוף. לכן לתופעה זו קוראים: **החזרה פנימית גמורה**.

מה גורם לתופעה של החזרה גמורה?

תופעת החזרה גמורה קשורה לזווית הפגיעה של האור בקו ההפרדה בין חומר צפוף לחומר דליל. הוכח, שאור העובר מחומר צפוף לחומר דליל, זווית השבירה שלו גדלה. כלומר, ככל שזווית הפגיעה תגדל, גם זווית השבירה תגדל, וקרן האור היוצאת תתרחק מהאנך. אולם, בזווית פגיעה מסוימת של האור, תהפוך זווית השבירה שלו לזווית ישרה של 90° כלפי האנך, ואז קרן האור היוצאת לא תצא אל החומר הדליל, אלא תנוע בקו ההפרדה בין שני החומרים.

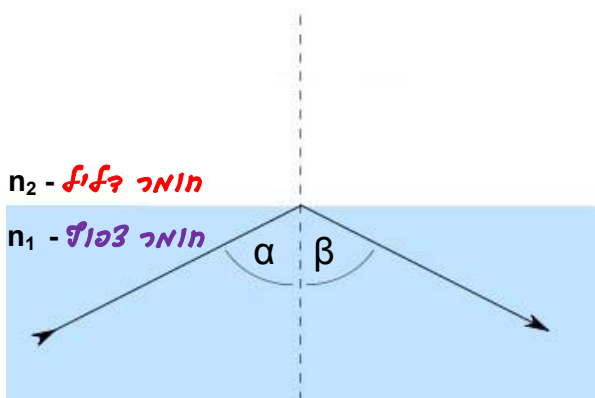


אור הפוגע בזווית קריטית

לזווית פגיעה זו קוראים: **זווית קריטית** (זווית הגבול) - α_c .

אור הפוגע ב"זווית קריטית" יוצר זווית שבירה של 90°

מתי מתרחשת החזרה גמורה?



החזרת אור גמורה

כאשר זווית הפגיעה α של האור תהיה גדולה מהזווית הקריטית α_c , האור יוחזר במלואו בזווית β אל תוך החומר הצפוף, ותתרחש

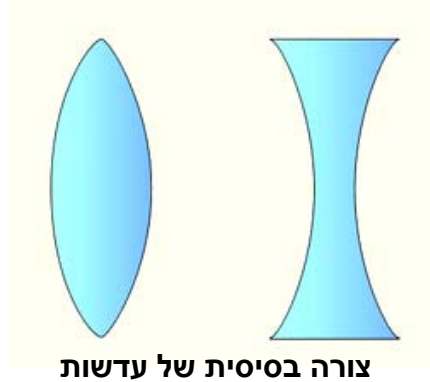
תופעה של החזרה גמורה.

החזרה גמורה מתרחשת כאשר זווית הפגיעה גדולה מהזווית הקריטית

פרק י' - עדשות

מהי עדשה?

עדשה היא רכיב אופטי שקוף העשוי בדרך כלל מזכוכית או פלסטיק, העוברים



צורה בסיסית של עדשות

תהליכי עיבוד כדי לשמש לריכוז או פיזור של אור. לעדשות יש שני משטחים כדוריים, כאשר כל משטח שובר את קרני האור הפוגעות בו, כך שלמעשה **קרני האור נשברות פעמיים** כשהן יוצאות מהעדשה. לעדשות יש שימושים רבים. הן משמשות אותנו כעדשות במשקפיים לתיקון ליקויי ראייה, אך הן מורכבות גם במכשירים אופטיים רבים כמו: טלסקופ, מיקרוסקופ, מצלמה ועוד.

סוגי עדשות

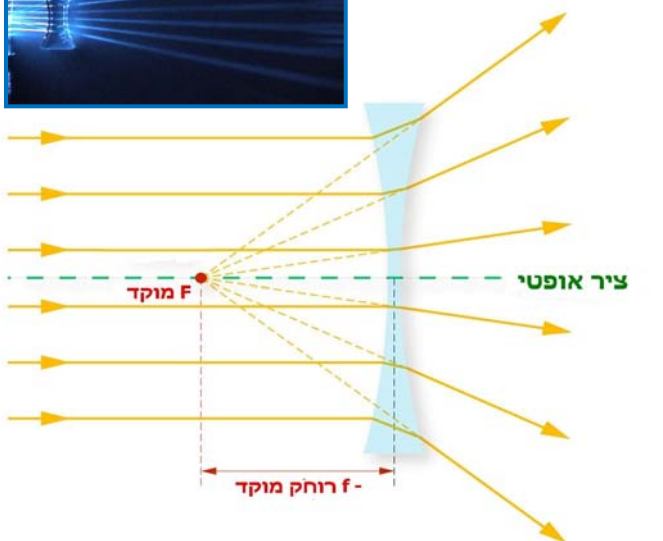
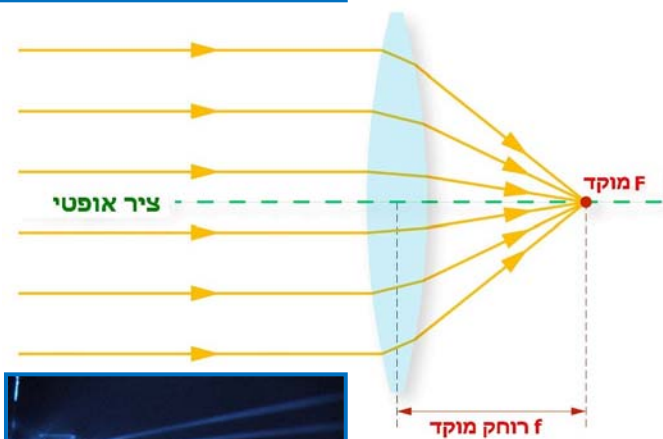
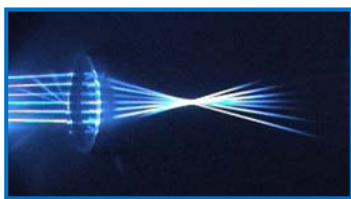
את העדשות ניתן לחלק לשני סוגים עיקריים:

עדשה מרכזת

היא עדשה קמורה משני צדדיה, אשר יש לה מרכז עדשה עבה ושוליים דקים. קרני האור המקבילות העוברות דרך העדשה מתרכזות בנקודת המוקד שלה F שהוא **מוקד ממשי** אשר נמצא בצד השני שלה במרחק f ממרכז העדשה. לעדשה יש שני צדדים, לכן יש לה גם שתי נקודות מוקד שהרוחק שלהם ממרכז העדשה שווה.

עדשה מפזרת

היא עדשה קעורה משני צדדיה, אשר יש לה מרכז עדשה דק ושוליים עבים. קרני האור המקבילות העוברות דרך העדשה מתפזרות. המשכי הקרניים נפגשים בנקודת המוקד שלה F שהוא **מוקד מדומה** אשר נמצא לפני העדשה במרחק f ממרכז העדשה. לעדשה יש שני צדדים, לכן יש לה גם שתי נקודות מוקד שהרוחק שלהם ממרכז העדשה שווה.

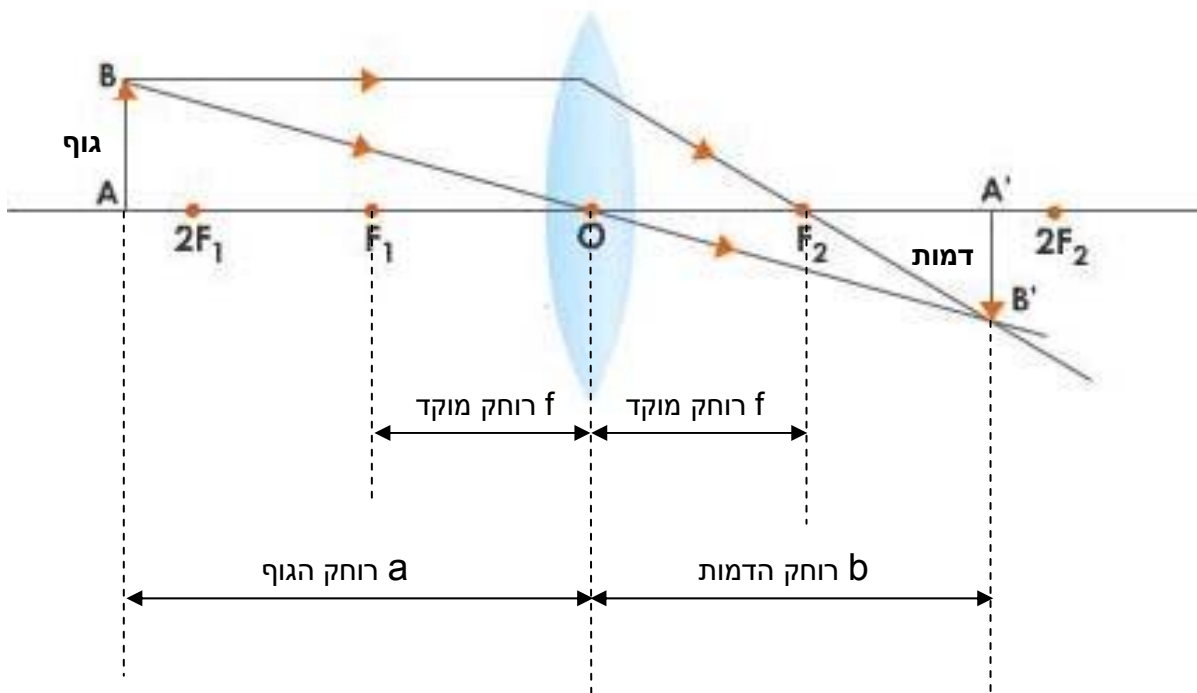


פרק יא' - נוסחת העדשות הדקות

מהי נוסחת העדשות הדקות?

מחקרים מדעיים הוכיחו כי גם בעדשות דקות כמו במראות, מקומה של הדמות נקבע על פי מקומו של הגוף הניצב לפני העדשה. הממצאים הוכיחו שנוסחת המראות הכדוריות נכונה גם לגבי עדשות דקות. נבחן זאת לגבי כל עדשה.

עדשה מרכזת



ניתן לראות כי בעדשה מרכזת קיים שוויון בין שני צדדי העדשה, ונשמר הקשר בין: רוחק הגוף a , רוחק הדמות b ורוחק המוקד f כמו במראות כדוריות.

לכן הביטוי המתמטי של הקשר נקרא: **נוסחת העדשות הדקות**

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

רוחק הגוף רוחק הדמות רוחק המוקד

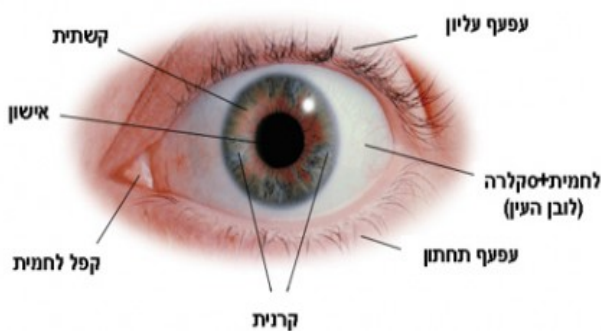
נוסחה זו נכונה עבור הדמויות הממשיות הנוצרות באמצעות עדשה מרכזת. אך כאשר נוצרת דמות מדומה, רוחק הדמות יהיה עם סימן שלילי (b -).

פרק יב' - עדשות ומראות במכשירים אופטיים

עדשות ומראות הן רכיבים הכרחיים במכשירים אופטיים. תפקידן ליצור תופעות אופטיות של ריכוז או פיזור של אור במכשיר האופטי, שמאפשר לראות אותן. רוב המכשירים האופטיים נבנו על ידי האדם מתוך מטרה לאפשר לו לראות בצורה טובה וברורה גופים ותופעות שהעין הטבעית אינה יכולה לראות.

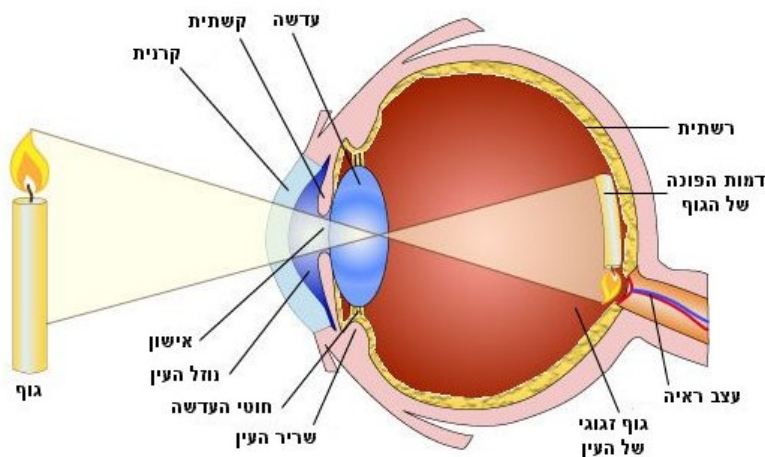
העין

העין היא איבר הראיה של כל יצור חי. זוג העיניים מאפשרות לנו שדה ראייה רחב, וכמובן לראות צבעים, צורות ותנועות. יכולת הראיה שלנו מוגבלת למרחק מסוים של גופים מהעיניים, וכל זאת בתנאי שיש מקור אור המאיר את הגופים והסביבה.



תהליך הראיה של העין

תהליך הראיה של העין מתרחש כאשר קרני אור של גוף פוגעות בקרנית וחודרות לעין דרך האישון. הקרניים נשברות בעדשה של העין, והדמות שמתקבלת נוצרת על הרשתית שמחוברת לעצב הראיה, אשר מעביר את המידע למוח, והמוח מפענח אותו לדמות מתאימה כולל מיקומה המדויק במרחב.



מבנה העין

הדמות הנוצרת על רשתית העין היא דמות ממשית, מוקטנת והפוכה. המוח מתרגם אותה כדמות ישרה הנמצאת במקום המצאה.