

אופטיקה

קרינה אופטית (אור) היא קרינת גלים אלקטרו-מגנטיים בעלי אורך גל מ-1 nm עד 1 cm. מקורות הגלים האלה הם אטומים ומולקולות שבהם מתרחשים מעברי אלקטרוניים בין מצבי אנרגיה שונים. קרינה אופטית בתחום אורכי גל בין 400 nm לבין 760 nm היא **האור הנראה**.

פוטומטריה

המדע העוסק בתכונות האנרגטיות של אור (עוצמה, הארה וכד') נקרא פוטומטריה. **אנרגיית הקרינה** היא אנרגיית פוטונים או אנרגיית גלים אלקטרו-מגנטיים, הנפלטים על ידי גוף או תווך. **שטף קרינה** על משטח כלשהו הוא הערך הממוצע של אנרגיה המועברת על ידי גל אלקטרומגנטי ביחידת זמן דרך המשטח. שטף הקרינה הנמדד על ידי השפעתה על העין נקרא **שטף אופטי**.

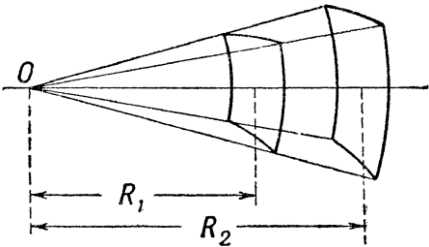
תכונות אנרגטיות של קרינה

<p style="text-align: center;">שטף קרינה</p> <p>אנרגיה המועברת על ידי גלים בשנייה אחת (1 sec):</p> $\Phi_e = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ <p style="text-align: center;">יחידת השטף – וואט, W.</p>	<p style="text-align: center;">שטף אור</p> <p>שטף אנרגיה הנמדד לפי השפעתו על העין:</p> $\Delta \Phi = I \cdot \Delta \Omega$ <p>כאשר I היא עוצמת אור, ו-$\Delta \Omega$ היא זווית מרחבית. יחידת שטף אור היא לומן (1 lumen). 1 lm הוא שטף קרינת אור בעל אורך גל של 555 nm, ושטף קרינה האנרגטי של 1/673 W.</p>
---	--

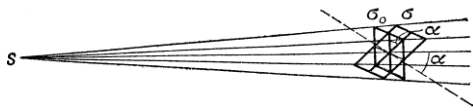
רגישות עין לאור

עין אנושית רגישה בצורה שונה לקרני אור בעלי אור גל שונה. באור יום העין רגישה ביותר לאור הירוק עם אורך גל של 555 nm. בלילה העין רגישה ביותר לאור האדום בעל אורך גל של 507 nm. באור יום, השפעת הקרינה של אור ירוק בעל אורך גל של 555 nm ושטף קרינה של 1 וואט זהה להשפעת אור בעל שטף של 673 lm. בלילה, השפעת הקרינה של אור בעל אורך גל של 507 nm ושטף קרינה של 1 וואט זהה להשפעת אור בעל שטף של 1725 lm.

<p style="text-align: center;">הארה אנרגטית:</p> <p>יחס של שטף קרינה $\Delta \Phi_e$ הפוגעת במשטח כלשהו לשטח ΔS של המשטח:</p> $E = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta S}$ <p style="text-align: center;">יחידת ההארה האנרגטית: $\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$</p>	<p style="text-align: center;">הארה (הארת שטח):</p> <p>יחס של שטף אור $\Delta \Phi$ הפוגע במשטח כלשהו לשטח ΔS של המשטח:</p> $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S}$ <p style="text-align: center;">יחידת ההארה: 1 lux : $1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$</p>
--	---

<p>עוצמת אור אנרגטית יחס של שטף אור אנרגט $\Delta\Phi_e$ לזווית מרחבית $\Delta\Omega$ בה הוא מתפשט:</p> $I = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}$ <p>יחידת עוצמת האור אנרגטית: $1 \frac{\text{Watt}}{\text{srad}}$</p>	<p>עוצמת אור (I) יחס של שטף אור לזווית מרחבית שבה הוא מתפשט:</p> $I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$ <p>יחידת עוצמת האור: 1 cd (1 candela) $1 \text{ cd} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{srad}}$</p>
<p>מהי קנדלה (candela)</p>	
<p>קנדלה אחת היא עוצמת האור הנפלט משטח של $\frac{1}{60} \text{ cm}^2$ של גוף שחור בטמפרטורה של $2042 \text{ }^\circ\text{K}$ (טמפרטורת קיפאון של פלטינה בלחץ אטמוספרי) בכיוון הניצב למשטח. קנדלה היא אחת היחידות הבסיסיות של מערכת היחידות SI, ובמכוני התקנים קיימים מתקנים מיוחדים להגדרתה. מקור אור בעל עוצמה של קנדלה אחת פולט לומן אחד בתוך זווית של סטרדיאן אחד.</p>	
<p>בהירות אנרגטית: יחס של עוצמת הקרינה I_e הנפלטת ממקור קרינה בכיוון מסוים φ להיטל השטח הפולט ΔS_n על המישור הניצב לכיוון φ:</p> $B_e = \frac{I_e}{\Delta S \cdot \cos\varphi}$ <p>יחידת הבהירות האנרגטית: $\frac{\text{Watt}}{\text{srad} \cdot \text{m}^2}$</p>	<p>בהירות של מקור אור בכיוון מסוים φ: יחס של עוצמת אור בכיוון זה I_φ להיטל השטח הפולט ΔS_n על המישור הניצב לכיוון φ:</p> $B_\varphi = \frac{I_\varphi}{\Delta S_n} = \frac{I_\varphi}{\Delta S \cdot \cos\varphi}$ <p>יחידת הבהירות: $1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$</p>
<p>הארת שטח הנוצרת על ידי מקור אור נקודתי</p>	
	<p>חוק הריבועים ההפוכים יחס ערכי ההארה הנוצרת על ידי מקור אור נקודתי בעל עוצמת אור I על שני משטחים הנמצאים במרחקים R_1 ו- R_2 ממקור האור בהתאם, הוא הפוך ליחס ריבועי המרחקים:</p> $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$

הארת שטח הנוצרת על ידי מקור אור נקודתי (המשך)



$$E = E_0 \cdot \cos \alpha$$

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{R^2}$$

חוק הקוסינוסים

הארת המשטח הנוצרת על ידי מקור אור נקודתי בעל עוצמת אור I היא ביחס ישר לקוסינוס זווית α בין הניצב לשטח לבין כיוון התפשטות האור:

שילוב שני חוקי ההארה:

I - עוצמת מקור האור
 R - מרחק בין מקור האור לבין המשטח

האופטיקה הגיאומטרית – מושגי יסוד והחוקים הבסיסיים

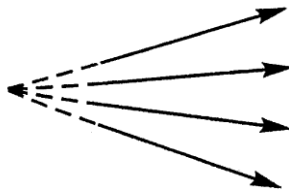
קרן (קרן אור)

קו גיאומטרי המתאר את כיוון התפשטות האור.



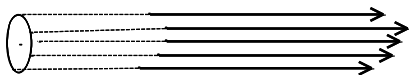
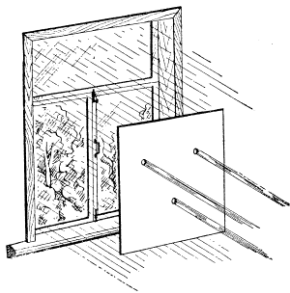
אלומת אור

אוסף קרניים המתפשטות ממקור אחד



אלומת אור מקבילה

אלומת אור שנוצרה על ידי מקור אור הנמצא באינסוף, או שנוצרה בלייזר או מכשיר אופטי מיוחד. הקרניים הבונות את האלומה המקבילה הן מקבילות זו לזו.

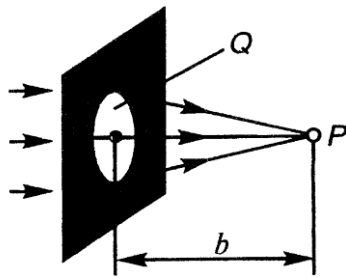


אלומת אור פרקסיאלית

אלומת אור שקרניה עוברות קרוב לציר האופטי של המערכת, ויוצרות זוויות קטנות עם הציר.



האופטיקה הגיאומטרית
מושגי יסוד והחוקים הבסיסיים (המשך)

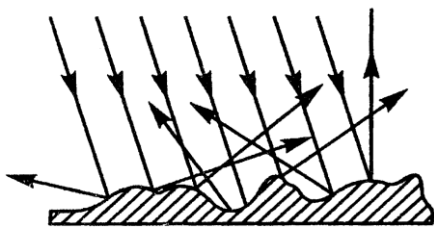


$$Q > b\lambda$$

תנאי שימוש במושגי האופטיקה הגיאומטרית

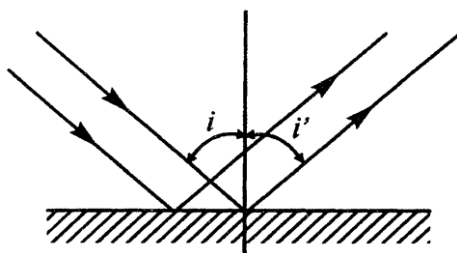
לאור תכונות של גלים ושל חלקיקים. מושגי הקרן והאלומה מתאימים לתיאור האור כחלקיקים, ואפשר להשתמש בהם בתנאי שאורך הגל λ קטן בהרבה מגודל החריר שדרכו עובר האור.

הנוסחה המדויקת הקושרת את השטח Q של מפתח העדשה עם המרחק לנקודת צפייה b :



$$h \cdot \cos i \ll \lambda$$

h – גודל החספוסים



$$i = i'$$

חוקי החזרה

בהתאם לתכונות המשטח המפריד בין שני סוגי התווך שבהם מתפשט האור, מבדילים שני סוגי החזרה. כאשר משטח הגבול הוא מחוספס, וגודלם של החספוסים משתווה לאורך הגל או גדול ממנו, מוחזר האור לכל הכיוונים. החזרה מסוג זה נקראת דיפוזיבית.

כאשר גודל החספוסים קטן בהרבה מאורך הגל, החזרה מתרחשת בכיוון מסוים (החזרה מראנית).

זווית פגיעה

הזווית i בין הקרן הפוגעת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

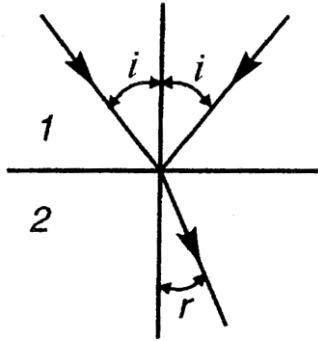
זווית החזרה

הזווית i' בין הקרן המוחזרת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

חוקי החזרה

(א) הקרן הפוגעת, הקרן המוחזרת והאנך בנקודת הפגיעה נמצאים במישור אחד.
 (ב) זווית החזרה שווה לזווית פגיעה.

מעבר אור מתווך לתווך



$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

חישוב זווית השבירה:

$$\sin r = \sin i \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

חוקי שבירה

זווית פגיעה

הזווית i בין הקרן הפוגעת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

זווית החזרה

הזווית i' בין הקרן המוחזרת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

זווית שבירה

הזווית r בין הקרן הנשברת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

חוקי ההחזרה

(א) הקרן הפוגעת, הקרן המוחזרת, הקרן הנשברת והאנך בנקודת הפגיעה הנמצאים במישור אחד.

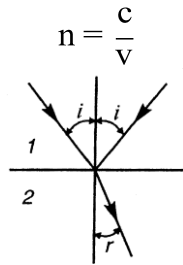
(ב) היחס בין סינוס זווית הפגיעה לסינוס זווית השבירה הוא ערך קבוע עבור אורך גל וסוגי התווך הנתונים.

הערך n נקרא **מקדם השבירה היחסי** של תווך 2 יחסית לתווך 1.

מקדמי שבירה לסוגי תווך שונים עבור האור הנראה בעל אורך גל של 589 ננומטר

1.333	מים
1.46	שמן זית
1.363	כוחל
1.47	גליצרין
1.515	זכוכית
1.31	קרן
1.56	סוכר
2.417	יהלום
1.76	רובי
1.003	אוויר

המשמעות הפיזיקלית של מקדם שבירה



$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

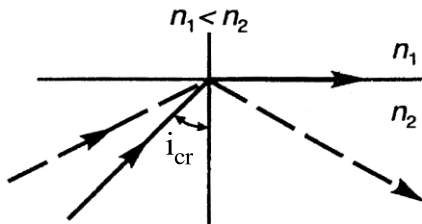
מקדם השבירה המוחלט של התווך n –
הערך הפיזיקלי השווה ליחס מהירות האור
בריק c למהירות האור בתווך v :

ערכו של מקדם השבירה המוחלט של התווך
גדול מאחת: $n > 1$

ביטוי חוק השבירה באמצעות מהירות האור
בתווך:

התווך בעל מקדם השבירה המוחלט גדול
יותר הוא בעל צפיפות אופטית גדולה יותר.

החזרה גמורה



$$\sin r = \sin i_{cr} \cdot \frac{n_2}{n_1}, \quad r = 90^\circ$$

$$\sin 90^\circ = 1 = \sin i_{cr} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin i_{cr} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{n}$$

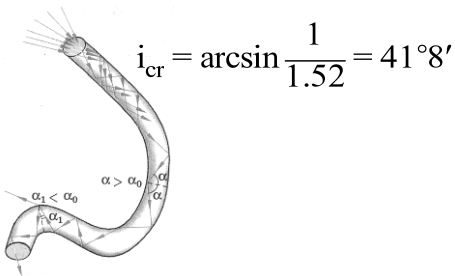
במעבר אור מתווך בעל צפיפות אופטית
גדולה יותר לתווך בעל צפיפות אופטית קטנה
יותר, יכולה הקרן הפוגעת לחזור במלואה.

התופעה נקראת **החזרה גמורה**, והיא
מתרחשת כאשר זווית הפגיעה גדולה מערך
מסוים, עברו זווית השבירה שווה ל- 90°
וסינוס זווית השבירה שווה ל-1:

דוגמה: עבור מעבר האור ממים לאוויר:
 $n = 1.33$

$$i_{cr} = \arcsin \frac{1}{1.33} = 48^\circ 45'$$

שימוש בתופעת ההחזרה הגמורה בסיבים אופטיים

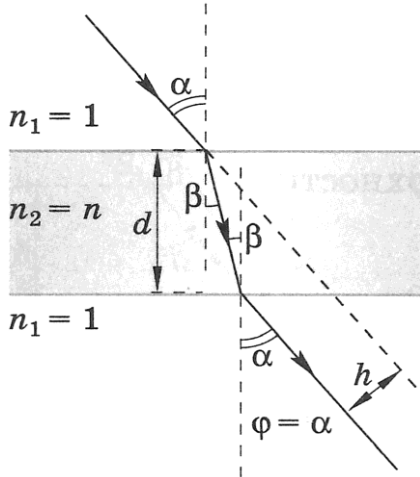


סיב אופטי עשוי מזכוכית בעל מקדם
שבירה של $n = 1.52$.

אלומת אור לייזר נכנסת לתוך הסיב,
ועוברת החזרות מרובות בתוכו.

קרני אור הפוגעות בדפנות הסיב בזווית
גבוהה מזווית ההחזרה הגמורה i_{cr} יעברו
החזרה גמורה ויישארו בתוך הסיב.

מעבר אור דרך מנסרה בעלת דפנות מקבילות



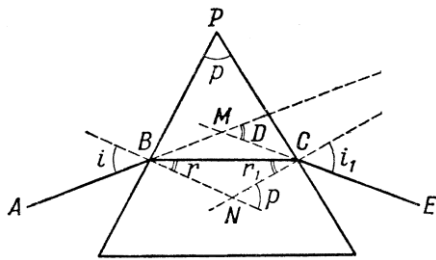
הקרן העוברת יוצאת מהלוחית במקביל לכיוון הקרן הפוגעת.

הסטייה האופקית של הקרן העוברת דרך הלוחית h נמצאת ביחס ישר לעובי הלוחית d , והיא תלויה בזווית הפגיעה α ובמקדם השבירה n של החומר השקוף שממנו עשויה הלוחית:

$$h = \frac{d}{\cos \beta} \cdot \sin (\alpha - \beta)$$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$$

מעבר אור דרך מנסרה משולשת



$$D = (n - 1)p$$

$$n = \frac{\sin (D/2 + p/2)}{\sin (p/2)}$$

הסטייה הזוויתית של הקרן הנכנסת AB שווה לזווית D בין הקרן היוצאת CE לבין כיוון הקרן AB :

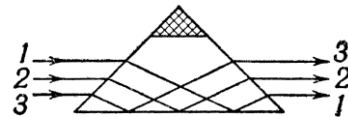
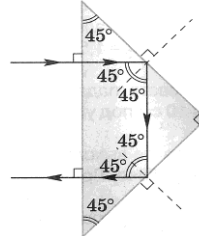
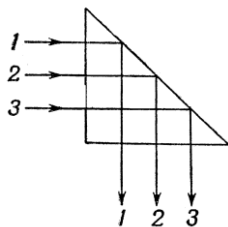
$$D = i + i_1 - p$$

p – זווית ראש של המנסרה.

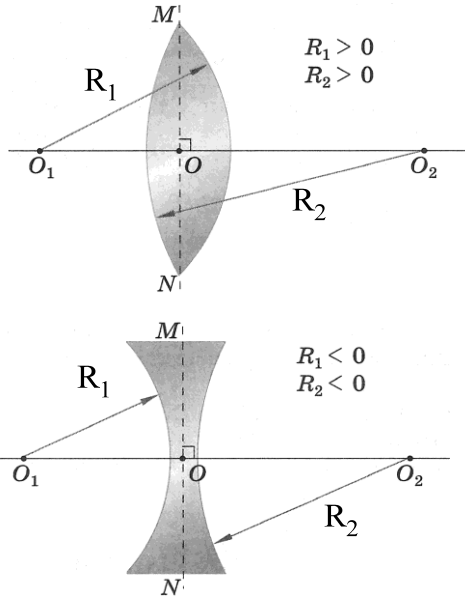
במקרה של מנסרה דקה (הזווית p קטנה), זווית הפגיעה i לא גדולה:

זווית הסטייה קטנה ביותר כאשר הזוויות i ו- i_1 שוות. במקרה זה אפשר לחשב את מקדם השבירה של חומר המנסרה מהנוסחה:

סוגי מנסרות



מעבר אור דרך עדשה כדורית



עדשה – גוף שקוף הבנוי משני משטחים כדוריים (במקרה מיוחד, אחד המשטחים יכול להיות מישור).

רדיוסי המשטחים הכדוריים R_1 ו- R_2 נקראים **רדיוסי עקמומיות**.

העדשה נקראת **עדשה דקה** כאשר העובי שלה קטן בהרבה מרדיוסי העקמומיות.

ציר אופטי ראשי

ישר העובר דרך המרכזים O_1 ו- O_2 של המשטחים הכדוריים הבונים את העדשה.

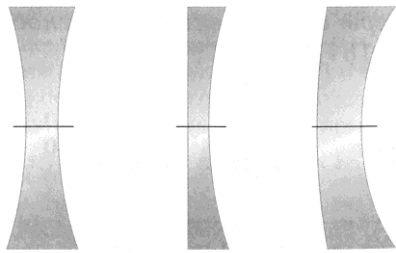
כאשר אחד המשטחים הוא מישור, עובר הציר בניצב אליו.

הנקודה O בתוך העדשה נקראת **המרכז האופטי של העדשה**.

סוגי העדשות

עדשות מפזרות

קעורה-קמורה קעורה-מישורית דו-קעורה



$R_1 < 0$
 $R_2 < 0$

4

$R_1 \rightarrow \infty$
 $R_2 < 0$

5

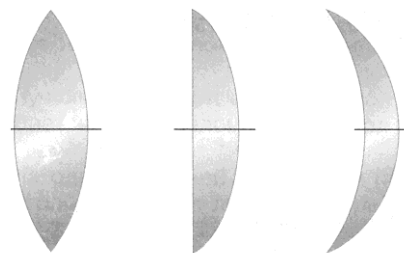
$R_1 > 0$
 $R_2 < 0$
 $R_1 > |R_2|$

6

העדשות הקמורות **מפזרות** אלומת אור מקבילה, כאילו היא יוצאת מנקודה הנקראת **מוקד מדומה**.

עדשות מרכזות

קמורה-קעורה קמורה-מישורית דו-קמורה



$R_1 > 0$
 $R_2 > 0$

1

$R_1 > 0$
 $R_2 \rightarrow \infty$

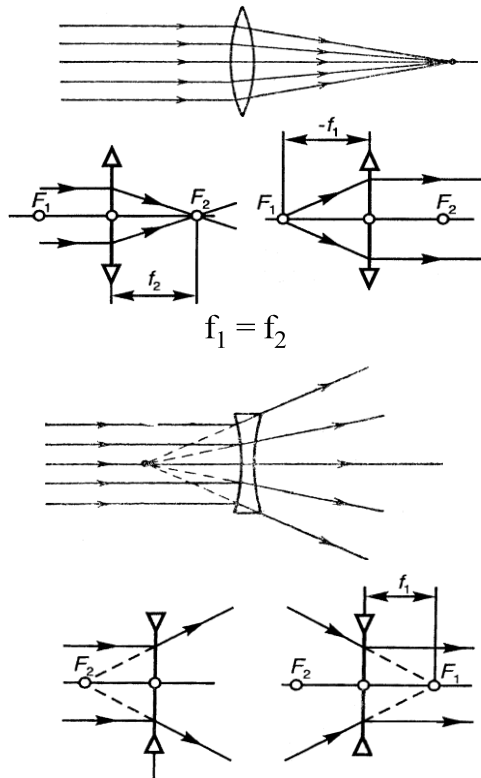
2

$R_1 < 0$
 $R_2 > 0$
 $|R_1| > R_2$

3

העדשות הקמורות **מרכזות** אלומת אור מקבילה בנקודה, הנקראת **מוקד**.

מעבר אור דרך עדשה כדורית (המשך)



העדשה נקראת **מרכזת** כאשר היא הופכת אלומת אור מקבילה לאלומה מתכנסת; אחרת, היא נקראת **מפזרת**.

הנקודה F_2 על ציר האופטי הראשי שבה מתכנסות קרני אלומה פרקסיאלית מקבילה, נקראת **מוקד ראשי אחורי**.

האלומה שיוצאת מנקודה F_1 הופכת, לאחר המעבר דרך העדשה, לאלומה מקבילה. הנקודה F_1 נקראת **מוקד ראשי קדמי**.

המרחק f ממוקד למרכז עדשה נקרא **אורך מוקד** (אחורי וקדמי בהתאם). אורכי המוקד הקדמי והאחורי שווים, כאשר משני צדי העדשה אותו התווך.

המישור העובר דרך נקודת המוקד בניצב לציר האופטי נקרא **מישור מוקד** של העדשה.

נוסחת מלטשי העדשות

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

אורך מוקד F של עדשה נקבע על ידי רדיוסי העקמומיות של המשטחים הכדוריים ועל ידי מקדם השבירה n של החומר שממנו עשויה העדשה:

הערות

1. רדיוס עקמומיות של משטח קעור הוא **שלילי**, ושל משטח מישורי – **אינסוף**.

דוגמה: אורך מוקד של עדשה **קעורה-קמורה** מחושב על פי הנוסחה:

2. משמעותה של **תוצאה שלילית** בחישוב של אורך מוקד היא שהמוקד נמצא בצד השני של העדשה, והעדשה היא **מפזרת**.

מעבר אור דרך עדשה כדורית (המשך)	
$D = \frac{1}{F}$ $F = \frac{1}{D} = \frac{1}{5} \text{ m} = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$	<p>עוצמה אופטית של העדשה הערך ההפוך לאורך מוקד.</p> <p>יחידות של D – דיאופטריות.</p> <p>דוגמה : אורך מוקד של העדשה בעלת עוצמה אופטית של 5 דיאופטריות הוא :</p>
יצירת דמות בעדשה	
עצם נקודתי. עדשה מרכזת	
	<p>אפשר לבנות דמות של כל עצם נקודתי בעזרת שלוש הקרניים העיקריות:</p> <ol style="list-style-type: none"> קרן מקבילה לציר האופטי הראשי עוברת דרך מוקד העדשה. קרן העוברת דרך מוקד העדשה יוצאת במקביל לציר האופטי הראשי. קרן העוברת דרך מרכז העדשה עוברת דרכה באותו הכיוון ללא שבירה.
מישור המוקד של עדשה מרכזת	
	<p>אלומת קרניים מקבילות הפוגעת בעדשה בזווית קטנה לציר האופטי הראשי מתכנסת בנקודה F' הנמצאת על מישור הניצב לציר האופטי ועובר דרך נקודת המוקד F.</p> <p>בכלל זה אפשר להשתמש כדי לשרטט מהלך קרן כלשהי (לדוגמה, קרן 1) דרך עדשה : משרטטים קרן 2, העוברת דרך מרכז העדשה, עד המפגש עם מישור המוקד. קרן 1 תעבור דרך אותה נקודה במישור המוקד.</p>

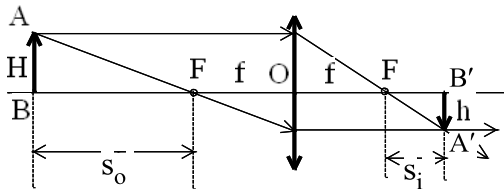
דמות ממשית ודמות מדומה

<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> $\Gamma = \frac{H}{h}$ </div>	<p style="text-align: center;">הגדלה קווית</p> <p>יחס בין גודל הדמות לגודל העצם :</p> <p>הדמות הממשית של עצם נקודתי הנמצא בנקודה A היא הנקודה A', שבה מתכנסות קרני אור היוצאות מהעצם לאחר שבירה בעדשה.</p> <p style="text-align: center;">הערות</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. את הדמות הממשית אפשר לצפות על המסך הנמצא במישור הדמות. 2. בהעדר מסך, הדמות הממשית תשמש מקור (עצם) הפולט אור בעצמו. <p>הדמות המדומה של עצם נקודתי הנמצא בנקודה A היא הנקודה A', שבה נפגשים המשכי הקרניים היוצאות כאלומה מתבדרת לאחר השבירה בעדשה.</p> <p style="text-align: center;">הערות</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. את הדמות המדומה אי-אפשר לצפות על מסך הנמצא במישור הדמות. 2. הדמות המדומה יכולה להיחשב עצם רק בצד העדשה שבו בפועל מתפשטות הקרניים. <p>כאשר העצם נמצא במישור המוקד, הקרניים יוצאות לאחר השבירה בעדשה כאלומה מקבילה, שיוצרת דמות מדומה באינסוף.</p>
---	---

מעבר אור דרך עדשה כדורית

	<p style="text-align: center;">נוסחת העדשה</p> $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{F}$ <p style="text-align: center;">F – אורך מוקד u – מרחק מהעצם לעדשה v – מרחק הדמות מהעדשה</p>
--	---

נוסחת העדשה המרכזת (המשך)



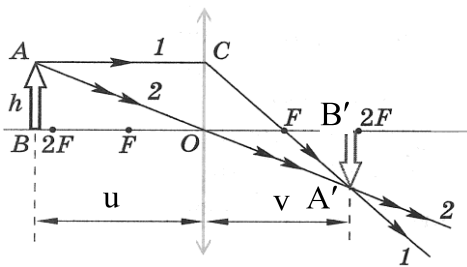
צורה אחרת של נוסחת העדשה:

$$s_o \cdot s_i = f^2$$

s_o – מרחק העצם ממוקד אחורי

s_i – מרחק הדמות ממוקד קדמי

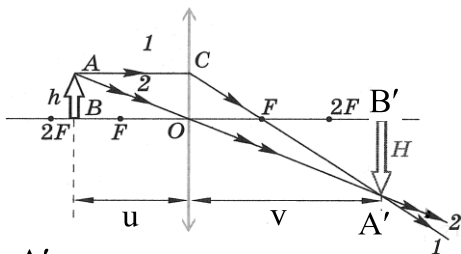
עצם ודמות בעדשה מרכזת



1. מרחק העצם AB מהעדשה גדול מ- $2F$

$$2F < u$$

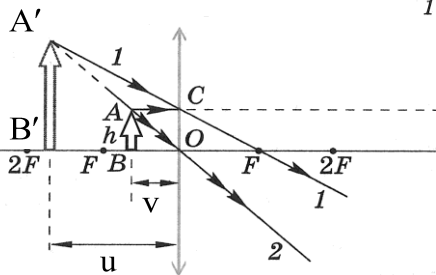
הדמות $A'B'$ היא ממשית, הפוכה ומוקטנת.



2. העצם AB נמצא בין מוקד העדשה לבין פעמיים מרחק מוקד:

$$F < u < 2F$$

הדמות $A'B'$ היא ממשית, הפוכה ומוגדלת.

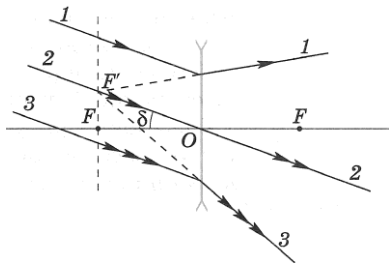


3. העצם AB נמצא בין העדשה למוקד:

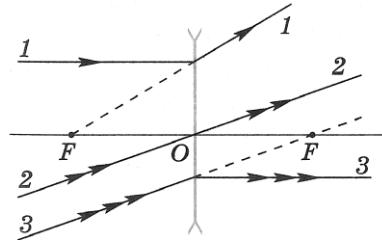
$$u < F$$

הדמות $A'B'$ היא מדומה, ישרה ומוגדלת.

קרניים עיקריות ומישור מוקד בעדשה מפזרת

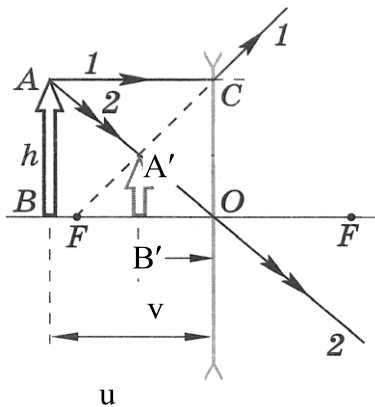


אלומת קרניים מקבילות הפוגעת בעדשה קעורה מתבדרת לאחור השבירה כך, כאילו מקורה בנקודה F' הנמצאת במישור המוקד המדומה.



1. קרן מקבילה לציר אופטי ראשי
2. קרן העוברת דרך מרכז העדשה
3. קרן העוברת דרך מוקד

עצם ודמות בעדשה מפזרת



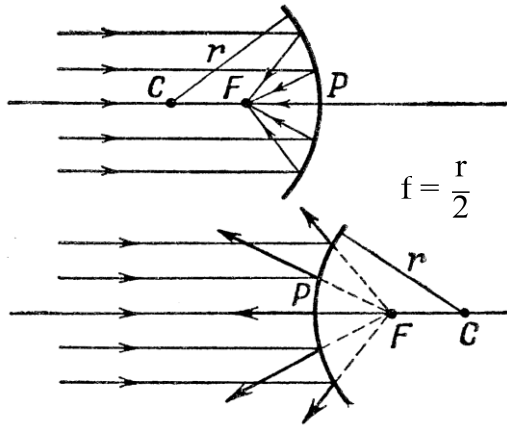
הדמות $A'B'$ של העצם AB בעדשה מפזרת היא **תמיד** מדומה, ישרה ומוגדלת.

מרחק v של הדמות מהעדשה שווה:

$$v = \frac{u \cdot |F|}{u + |F|}$$

הערה: מכיוון שמוקד העדשה המפזרת נמצא בצד העצם (מוקד מדומה), ערכו שלילי.

מראה כדורית



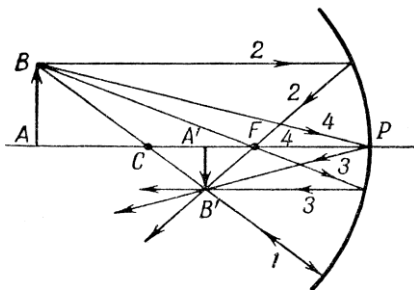
P – קוטב
 C – מרכז המראה
 F – מוקד
 r – רדיוס
 $f = FP$ – רוחק מוקד

מראה קעורה
 המוקד F נמצא בחצי מרחק מהמרכז לקוטב.

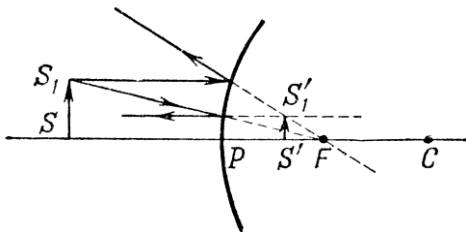
מראה קמורה
 המוקד F נמצא בחצי המרחק מהמרכז לקוטב מימין למראה – המוקד הוא מדומה.

קרניים עיקריות במראה כדורית

מראה קעורה



מראה קמורה



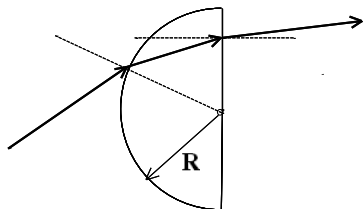
- 1 – קרן העוברת דרך מרכז המראה חוזרת גם דרך המרכז
- 2 – קרן המקבילה לציר אופטי חוזרת דרך המוקד
- 3 – קרן העוברת דרך המוקד מוחזרת במקביל לציר האופטי
- 4 – קרן הפוגעת בקוטב מוחזרת באופן סימטרי יחסית לציר האופטי

משוואת המראה הכדורית

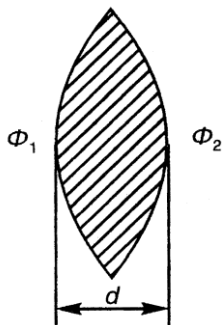
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}$$

u ו-v הם מרחקי העצם והדמות מקוטב המראה, בהתאם, r – רדיוס המראה, f – רוחק מוקד.

עוצמה אופטית של עדשה עבה ומערכת עדשות



$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - \frac{d \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{n}$$



$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

עוצמה אופטית של משטח כדורי המפריד בין שני סוגי תווך אופטי:

$$\Phi = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

כאשר n_1 – מקדם שבירה של התווך שממנו קרן האור נכנסת לתווך השני, בעל מקדם השבירה n_2 , ו- R הוא רדיוס העקמומיות של המשטח.

עוצמה אופטית של עדשה עבה באוויר:

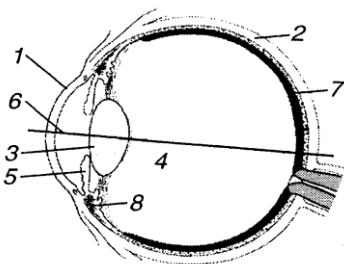
Φ_1, Φ_2 הן עוצמות אופטיות של המשטחים הכדוריים של העדשה, d הוא עובי העדשה, ו- n הוא מקדם השבירה.

עוצמה אופטית של מערכת שתי עדשות דקות:

עוצמה אופטית של שתי עדשות דקות צמודות אחת לשנייה ($|F| \gg d$), כאשר d הוא המרחק בין מרכזי העדשות ו- F הוא אורך המוקד הקטן בין השניים).

יחידת העוצמה האופטית היא דיאופטריה אחת, שהיא עוצמה אופטית של עדשה בעלת אורך מוקד של מטר אחד.

מכשירים אופטיים

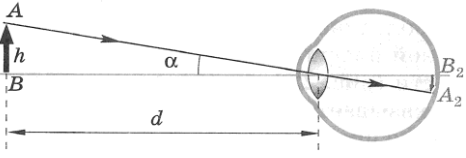
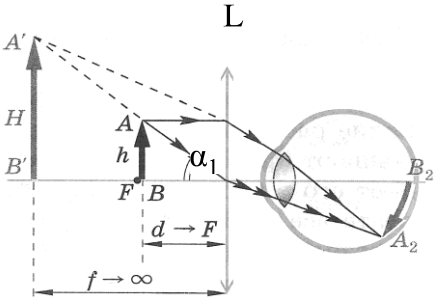


רדיוס של כדור העין: כ-12 מ"מ

העין

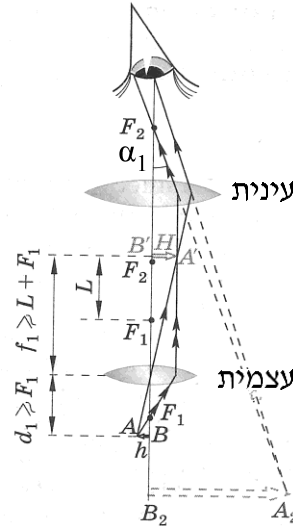
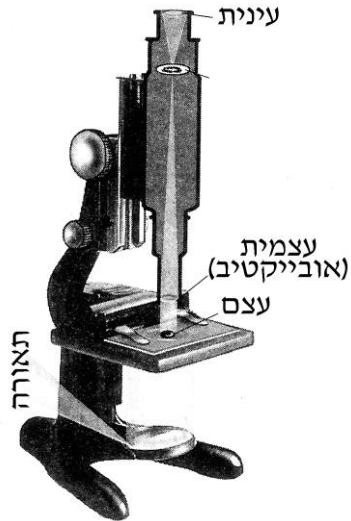
- 1 – קשתית (קרום שקוף חיצוני)
 - 2 – לובן (קרום לבן המכסה את כדור העין)
 - 3 – העדשה
 - 4 – הגוף הזגוגי (המכיל בעיקר מים)
 - 5 – קרנית (עיגול צבעוני עם פתח במרכז)
 - 6 – עישון העין (פתח בקרנית שדרכו נכנס אור)
 - 7 – רשתית (המכילה שני סוגי תאים הרגישים לאור: חרוטים – לראיית יום ומוטות לראיית לילה)
 - 8 – שרירי העין
- קוטר העישון: 2–8 מ"מ (בהתאם לתנאי תאורה)
 אורך מוקד קדמי: $f \approx 23 \text{ mm}$ (נמצא קרוב לרשתית)
 עוצמה אופטית: 58 דיאופטריות ± 10 דיאופטריות
 בגיל צעיר, ± 2 דיאופטריות בגיל מבוגר.

מכשירים אופטיים (המשך)

	<p>זווית ראייה זווית α בין קרני אור הנכנסות לעין מנקודות קצה של עצם.</p> $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}$ <p>עבור זוויות ראייה קטנות ($h \ll d$):</p> $\alpha \approx \frac{h}{d}$
$\Gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha}$	<p>הגדלה הגדלת המכשיר האופטי: היחס בין זווית הראייה של עצם הנצפה בעזרת המכשיר α_1 לזווית הראייה α של העצם בעין בלתי מזוינת.</p> <p>הערה זווית הראייה לעין בלתי מזוינת מחושבת לפי גודל העצם h והמרחק $d = 25$ ס"מ, שהוא מרחק הצפייה הטוב ביותר לעין.</p>
	<p>זכוכית מגדלת את העדשה L מציבים לפני העין כך, שהעצם AB נמצא קרוב למוקד העדשה F. דמות העצם A_1B_1 נמצאת במרחק אינסופי מהעין, והיא ישרה, מוגדלת ומדומה.</p> <p>הגדלת זכוכית המגדלת: $\Gamma = \frac{d}{F} = d \cdot D$</p> <p>כאשר: $d = 25$ ס"מ = 0.25 מ' F – אורך המוקד של זכוכית המגדלת D – עוצמה אופטית</p> <p>אורך המוקד הקטן ביותר של זכוכית מגדלת: $F = 2$ ס"מ ההגדלה הזוויתית: $\Gamma \leq 10$</p>

מכשירים אופטיים (המשך)

מיקרוסקופ



הגדלה

$$\Gamma = D_1 \cdot D_2 \cdot d \cdot L$$

הגדלת המיקרוסקופ היא ביחס ישר לעוצמות האופטיות של העצמית והעינית ולמרחק הקטן ביותר האפשרי L בין מוקדי העדשות (האורך L קובע את גודל המיקרוסקופ).

d הוא מרחק הצפייה הטוב ביותר לעין ($d = 25$ ס"מ).

הגדלת המיקרוסקופ האופטי נמצאת בדרך כלל בין פי 15 עד לפי 1200.

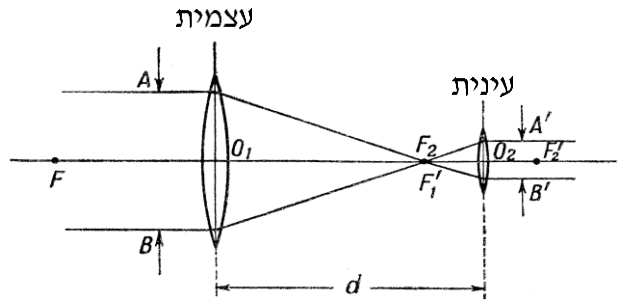
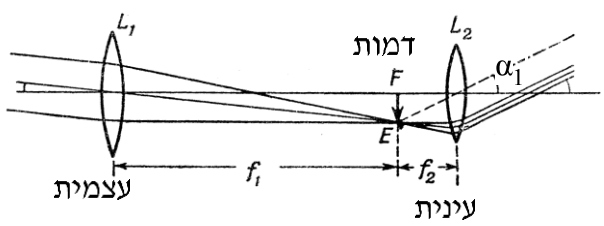
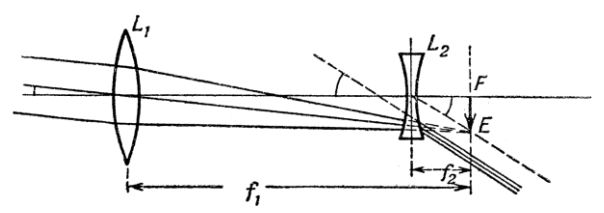
פעולת המיקרוסקופ

במיקרוסקופ, ההגדלה נוצרת פעמיים: פעם אחת האובייקטיב (עצמית) יוצר דמות מוגדלת של העצם לפני העינית; פעם שנייה, העינית מאפשרת הגדלה נוספת.

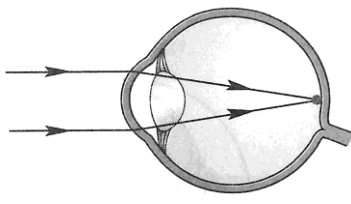
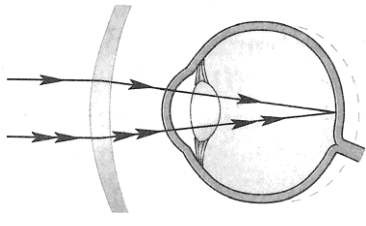
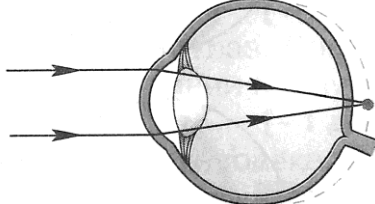
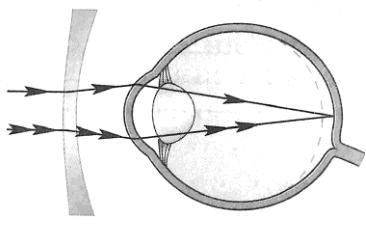
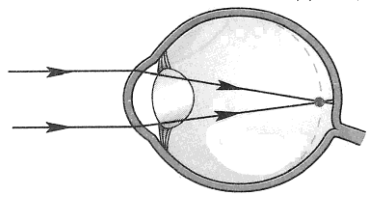
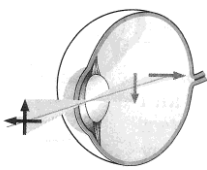
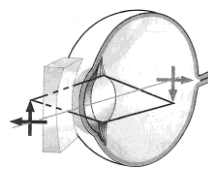
העצם AB נמצא לפני העצמית במרחק גדול במקצת מאורך המוקד F_1 . דמותו A_1B_1 הממשית המוגדלת והישרה של העצם נמצאת קרוב למוקד קדמי F_2 של העינית.

הדמות הזאת נצפית בעין באמצעות העינית, כמו דרך זכוכית מגדלת. העין רואה דמות A_2B_2 של העצם, כדמות מדומה, הפוכה ומוגדלת יחסית לעצם.

מכשירים אופטיים (המשך)

	<p>טלסקופ</p>
<p style="text-align: center;">הגדלה</p> $\Gamma = \frac{f_1}{f_2}$ <p style="text-align: center;"> f_1 אורך המוקד של העצמית f_2 אורך המוקד של העינית </p> <p style="text-align: center;">הדמות הנוצרת על ידי עצמית היא ממשית, הפוכה ומוקטנת.</p>	<p style="text-align: center;">פעולת הטלסקופ</p> <p>הטלסקופ הוא מכשיר אופטי המיועד לצפיית עצמים רחוקים. הוא בנוי משתי עדשות – עצמית ועינית.</p> <p>המוקד הקדמי של העצמית מתלכד עם המוקד האחורי של העינית.</p> <p>הדמות הנוצרת על ידי העצמית נמצאת במישור המוקד של העינית.</p> <p>דמות זאת נצפית בעין דרך העינית, כמו דרך זכוכית מגדלת.</p>
<p>סוגי הטלסקופים</p>	
 <p style="text-align: center;">עצמית דמות עינית</p> 	<p>הטלסקופ של קפלר</p> <p>הדמות הנוצרת בטלסקופ של קפלר היא הפוכה.</p> <p>הטלסקופ של גלילאו</p> <p>העינית היא עדשה מפזרת.</p> <p>הדמות הנוצרת בטלסקופ של גלילאו היא ישרה.</p>

ליקויי ראייה

<p>העין ממקדת דמות של עצם הנמצא באינסוף ברשתית.</p> <p>העוצמה האופטית של עין רגילה:</p> <p>$D = 62.5$ דיאופטריות</p>	<p>עין רגילה</p> 
<p>תיקון רוחק ראייה בעזרת עדשה מרכזת:</p>  <p>עוצמה אופטית של העדשה המתקנת:</p> <p>$D > 0$</p>	<p>רוחק ראייה</p>  <p>דמות העצם הרחוק נמצאת בנקודה מאחורי הרשתית. העוצמה האופטית של העין קטנה מדי.</p>
<p>תיקון קוצר ראייה בעזרת עדשה מפזרת:</p>  <p>עוצמה אופטית של העדשה המתקנת:</p> <p>$D < 0$</p>	<p>קוצר ראייה</p>  <p>דמות העצם הרחוק נמצאת בנקודה לפני הרשתית. העוצמה האופטית של העין גדולה מדי.</p>
<p>תיקון אסטיגמטיות בעזרת עדשה גלילית.</p>  <p>לעדשה בצורת גליל אורכי מוקד שונים בכיוון האופקי והאנכי.</p>	<p>אסטיגמטיות</p>  <p>דמות העצם האופקי נמצאת במרחק שונה מזו של העצם האנכי, עקב עיוות שרירי העין.</p>