



יחידת לימוד

אופטיקה אקולוגית

© פיזיקטבה

למי מיועדת היחידה:

- תלמידים חסרי רקע. שיעור שממנו יוצאים ללמידה של אופטיקה גאומטרית. יש להשלים את ביסוי חוק סנל שלא מופיע ביחידה.
- יחידת סיכום אופטיקה גאומטרית.
- שיעור הכנה/ ליווי או לאחר [פעילות פיזיקטבה](#)

הנושאים מתכנית הלימודים המופיעים ביחידה (מסומנים בצהוב):

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
------	-------	---------	------------------



<p>- הדגמות: מבנה העין; יצירת דמות של הנוף המשתקף מחלון (על מסך כגון קיר) באמצעות עדשה.</p> <p>- הדגמה: הצגת מקורות אור שונים.</p> <p>- הדגמה: חיתוך בין שתי אלומות אור.</p> <p>- הדגמה: הצגת אלומות אור שונות והצגת הקשר בין תבניות האור לייצוג הגרפי.</p> <p>- הדגמה: היווצרות צל וצללית.</p>		<p>- מבנה העין ותנאים לראייה.</p> <p>- מקורות אור וגלאי אור.</p> <p>- אפיונים ראשוניים למהות האור: אור כנושא אנרגיה, התפשטות וכיוונית (יצירת צל). בדיקת אינטראקציה בין אור לאור ובין אור לחומר, אפיון גופים לפי תגובתם לאור (החזרה, בליעה, העברה), האם לאור יש מסה?</p> <p>- ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים:</p> <p>· הכרת המושגים: "מקור אור נקודתי", "קרן", "אלומה" ואפיון אלומות אור שונות.</p> <p>· שימוש בתרשימי קרניים לאיתור צל.</p>	<p>1.1</p> <p>ראיית עצמים, אפיון האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים</p>
<p>- הדגמה: החזרה של אלומה צרה ואלומה מתפזרת.</p> <p>- הדגמה: המחשת המושג "דמות מדומה" ואיתור מקומה (בעזרת מראה מישורית ושני ברות).</p>	<p>זווית פגיעה =</p> <p>זווית החזרה</p>	<p>- מושגים: "קרן פוגעת", "קרן מוחזרת", "אנך למישור המראה", "זווית הפגיעה", "זווית ההחזרה".</p> <p>- חוקי ההחזרה.</p> <p>- "דמות" של עצם במראה מישורית:</p> <p>· בניית מהלך האור ואיתור הדמות של עצם נקודתי.</p> <p>· הקשר בין רוחק העצם הנקודתי לרוחק דמותו.</p> <p>· בניית דמות של עצם קווי.</p> <p>· התנאים לראיית "דמות מדומה", "שדה ראייה".</p>	<p>1.2 החזרת אור: חוקי ההחזרה, דמות במראה מישורית</p>



<p>- הדגמה: שינוי מהלכה של אלומת אור צרה הפוגעת במשטח גבול בין תווכים שקופים (אוויר/נוזל/ מוצק). - ניסוי: חקירת תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה. - הדגמה: ראיית מוט זכוכית בתוך אוויר ומים ו'היעלמותו' בגליצרו. - הדגמה: החזרה מלאה במנסרה ובסיב אופטי. - הדגמה: נפיצה במנסרה.</p>		<p>- התופעות המלוות את פגיעת האור במשטח גבול בין תווך שקוף אחד למשנהו: אור מוחזר ואור מועבר. - חוקי השבירה. - המושג "מקדם השבירה" של חומר ביחס לריק. - המושג "זווית גבול", תופעת "החזרה המלאה". - מעבר אור במנסרה, "זווית ההסחה". - תופעת ה"נפיצה" ומשמעותה.</p>	<p>1.3 שבירת אור: חוק השבירה, החזרה חלקית ומלאה</p>
<p>- הדגמה: עדשות כדוריות שונות – מבנה ומוקד. - הדגמה: מהלך 'קרן', אלומה מקבילה ואלומה מתפזרת בעדשות מרכזות ומפזרות. - ניסוי: חקירת עדשה מרכזת - הקשר שבין מיקום עצם למיקום הדמות ואופייה.</p>		<p>- אפיון צורני של עדשות כדוריות. - מושגים: "ציר אופטי", "מוקד עדשה", "רוחק מוקד", "קרניים מיוחדות". - דמותו של עצם בעדשה מרכזת ומפזרת: איתור מקום הדמות בעזרת 'קרניים מיוחדות', סרטוט מהלך קרן כלשהי, סימון שדה הראייה. - "הגדלה קווית".</p>	<p>1.4 עדשות כדוריות דקות: מהלך האור ויצירת דמויות</p>

נושאים נוספים שלא נמצאים בתכנית הלימודים: **קיטוב אור**.

ציוד נדרש

- [מצגת](#)
- [דפי פעילות](#)
- מקרן+ מסך
- לחלק מהפעילויות: מקור אור קווי, לוח שנתות עגול, חצי עיגול מפרספקס או חומר שקוף אחר

פתיחה

1. לשאול ולפתוח דיון: איך ידיעה של אופטיקה יכולה לתרום לדעתכם לשמירת טבע?



או איך פיזיקה יכולה לבוא בשירות שמירת הטבע?

או- מה זה אקולוגיה?

2. דיון על התמונה של השלדג הגמדי שיוצא מהמים עם הדג (שקופית הפתיחה במצגת): לבקש מהתלמידים להעלות שאלות פיזיקליות על התמונה ולכתוב אותן על הלוח.

שאלות:

א. מה יש לו בעין ולמה?

ב. איך נוצרים הצבעים הססגוניים?

ג. איך הנוצות שלו לא נרטבות?

ד. למה אין השתקפות מסודרת של השלדג?

ה. איך בקושי מים משפריצים?

ו. איך השלדג מצליח לאתר את הדג במים למרות עיוותים אופטיים?

הקדמה

אקולוגיה ביונית היא תורת הבית, היא תורת הסביבה. האקולוגיה היא ענף בביווגיה שמדבר על יחסי הגומלין בין האורגניזמים השונים ובינם לבין הסביבה הדוממת.

בפיזיקה אנחנו חוקרים מושגים ואת הקשרים בין המושגים. ופה אנחנו חוקרים אורגניזמים וסביבה דוממת ואת הקשרים ביניהם.

על מנת לבצע פעולות של שמירת טבע עלינו לדעת אקולוגיה. שמירת טבע היא שמירת האיזון והמשך הקיום של הסביבה הטבעית.

למשל- מה יקרה לבעלי חיים שונים אם בריכה מתייבשת?

כמה הם תלויים במים? למה הם צריכים מים? אולי הם צריכים את בעלי החיים במים?

צריך לדעת את הקשרים בין האורגניזם לסביבה ובין האורגניזמים השונים.

אנחנו נחקור את הקשר בין ציפורים טורפות דגים (Piscivorous Birds) ובעלי חיים תת מימיים (submerged) אחרים ובין אותו הטרף שלהם. נתמקד בחוש הראייה עליו מסתמכים בעלי חיים רבים בקשר שלהם לבעלי חיים אחרים.

נתמקד דווקא בנושא הזה כי הוא מדבר על אופטיקה של מעבר אור מתווך לתווך וזה יכול לסכם יפה את הנושא שלנו.

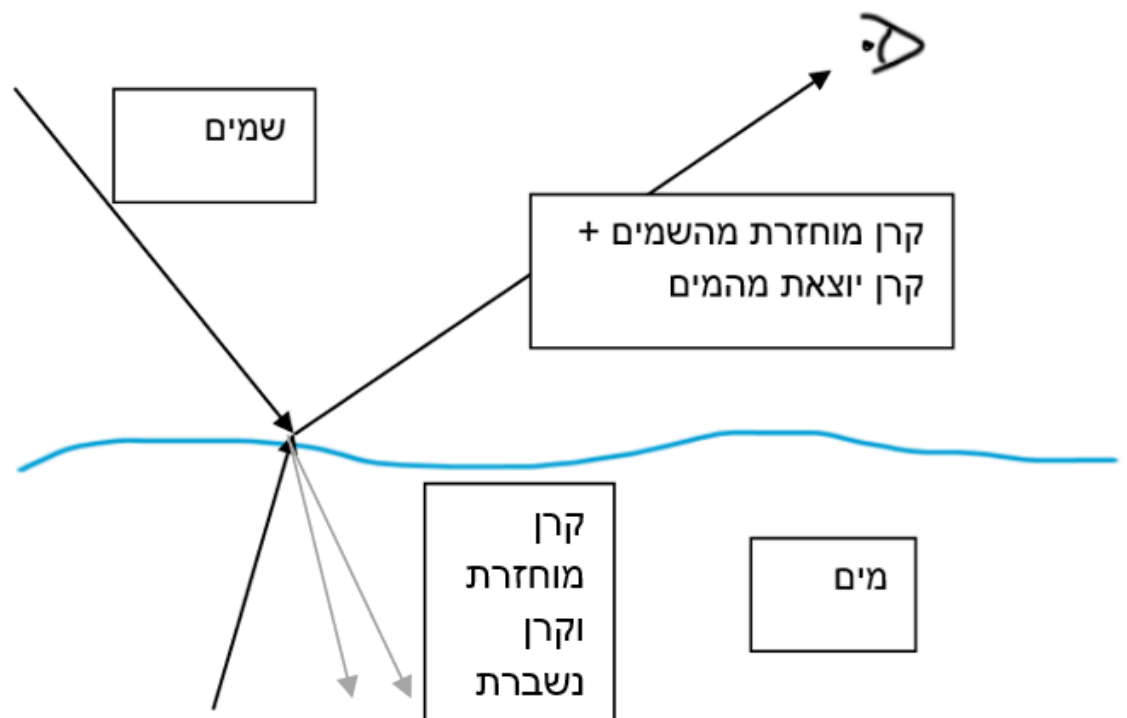


שקופית 2

הסיפור שלנו מדבר על ציפור שרוצה לטרוף דג או בעל חיים תת מימי אחר. הציפור עומדת מחוץ למים. הציפור רואה את הדג בתוך המים, אבל בגלל מעבר התווך ממים לאוויר האור עובר שבירה והכל מסתבך... גם הדג בתוך המים, צריך להתחמק מהציפור.. ואיך הוא רואה אותה ואת העולם החוץ מימי? שלדג עומד על ענף מעל המים ומתבונן במים. הוא מאתר טרף, צולל בחדות וברכות בצניחה צלילה למים, תופס דג בתוך המים ועולה איתו חזרה אל הענף. השלדג מסתכל על המים וגם אם הם חלקים ממש, הוא רואה השתקפויות, והמיקום הנראה של הדג אינו המיקום האמיתי שלו. אם המים גם זזים אז כל הדמות של הדג מתעוותת ומשתנה בכל רגע. למה זה קורה?

השתקפויות:

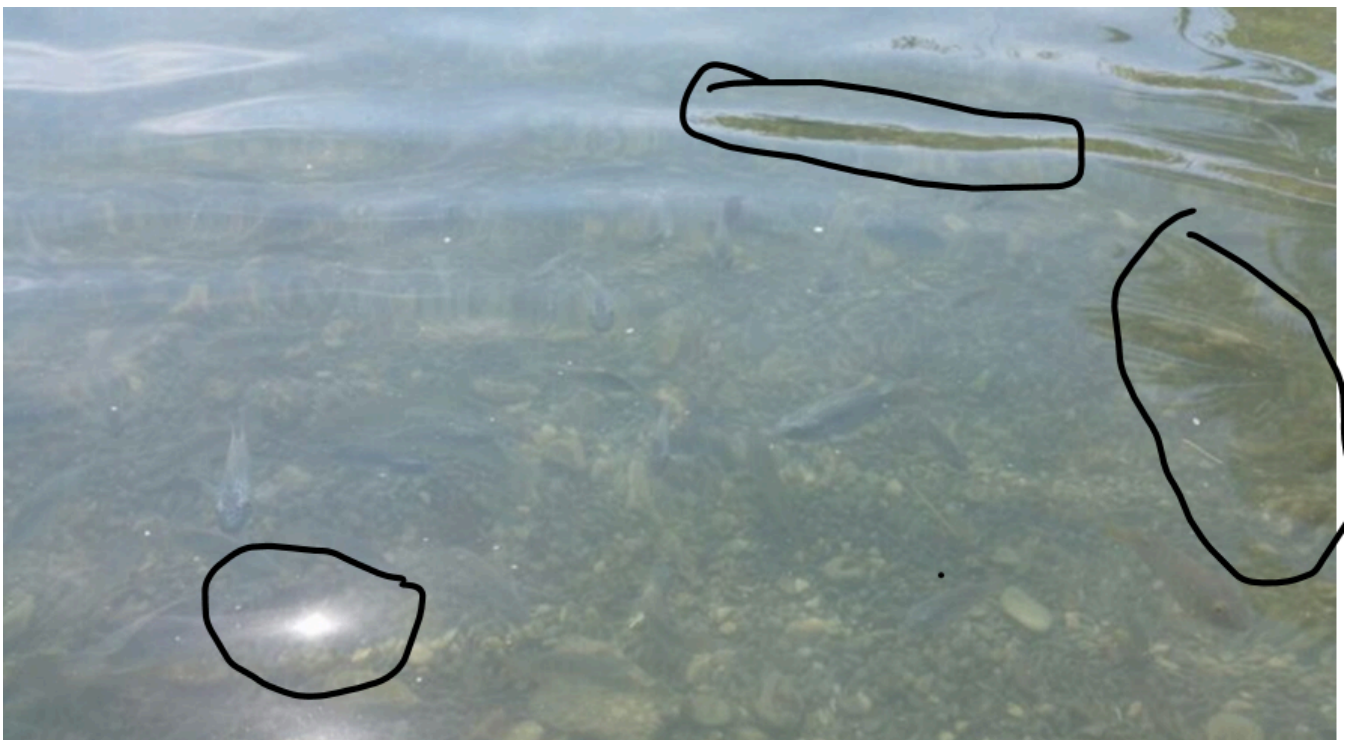
תרגיל כיתה: השלדג מסתכל על המים. תארו את מסלול קרני האור שמגיעים מהמים לאוויר ולעין של השלדג. הוסיפו קרניים מהשמים שמוחזרות ע"י המים אל העין של השלדג. שרטטו את מהלך חלק מהקרניים. תשובה: כאשר אור יוצא מהשמים ומעצמים שונים אל המים, חלק מהאור שהגיע למים מוחזר מהמים וחלק מהאור עובר לתוך המים (ונשבר). בדומה, האור שמגיע מתוך המים, כאשר הוא מגיע לאוויר, חלקו מוחזר לתוך המים וחלקו עובר לאוויר שמחוץ למים ונשבר. כאשר השלדג מסתכל על המים, חלק מהאור שמגיע לעיניו הוא אור שמגיע מתוך המים ויוצא אל האוויר לכיוון העין של השלדג וחלק מהאור הוא אור שמוחזר ע"י פני המים. לצייר על הלוח



שקופית 3

ההשתקפיות מהשמים ומהסביבה מתערבבות עם התמונה שמגיעה מתוך המים ומקשה על השלדג לראות את הטרף התת מימי.

ניתן לדון על התמונה: איך ההשתקפות מפריעה? מה קורה בסביבת ההשתקפות של השמש? האם יש מקומות שרואים יותר טוב ויש שפחות?



באזורים שהמים בזווית כזו כך שההשתקפיות לא מגיעות לצופה, רואים יותר טוב את מה שבתוך המים. באזורים בהם ההשתקפות היא של עצם כהה יותר כמו צמחייה, קל יותר לאות את מה שבתוך המים באזורים בהם העצם המשתקף הוא מאוד בהיר, כמו השמש, כמעט ולא ניתן לראות מה יש בתוך המים באזורים קרובים יותר למצלמה, ניתן לראות טוב יותר מה יש בתוך המים, כלומר ההשתקפיות יותר חלשות.

שקופית 4

לדון על התמונה. מה רואים? איך זה נוצר? איפה רואים טוב יותר מה קורה בתוך המים. האם התמונה מעוותת?

ככל שהעצם המשתקף הוא בהיר יותר, ככה הוא יותר מפריע לראות מה יש בתוך המים. ההשתקפות של השמש הכי מפריעה והשתקפות של דברים כהים פחות מפריעה.

אם המים אינם חלקים אז יש כיוונים שההשתקפות לא תגיע אל הצופה ורואים יותר טוב מה יש בתוך המים (אם כי מעוות).



שקופית 5

מה אפשר ללמוד על השתקפיות מהתמונה הזו? יותר ממוקד - על עוצמת ההשתקפות.

איפה שיש השתקפות כהה יותר כמו של המגדל או הצמחיה רואים טוב יותר מאשר מקומות עם השתקפות של השמים הבהירים.



הסביבה התת מימית נראית יותר בבירור קרוב לצופה. כלומר ככל שהאור מגיע בזווית יותר קטנה ביחס לאנך אל הצופה אז יש פחות השתקפות. ניתן לראות סרטן בין האבנים הגדולות.



שקופית 6

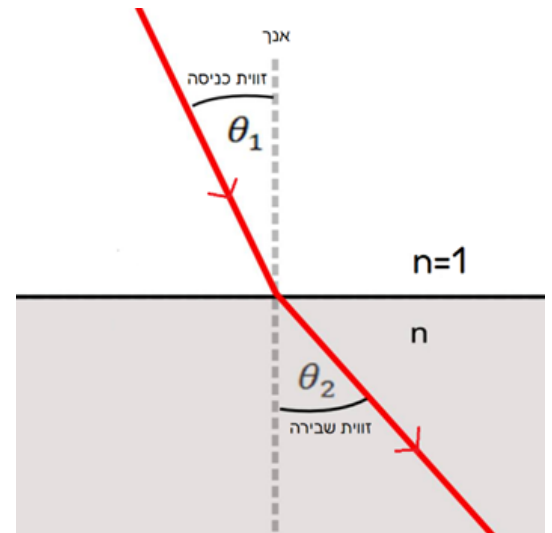
מה קובע את עוצמת ההשתקפות?

פעילות: מקדמי ההעברה והחזרה כתלות בזווית הפגיע של האור במים ביחס לאנר.

דפי הפעילות בקובץ נפרד.

ניסוי מעבר אור מאוויר למים- חקירת עוצמת האור המוחזר. ניתן לעשות את הפעילות במעבדה (ציוד נדרש: מקור אור קווי, תווך שקוף, בחלק מהפעילות מד עוצמת אור) או ע"י סימולציה של [phet: Bending light](https://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light).

הגדרת מושגים: על הלוח בכיתה.



רמה 1: לעשות תצפית איכותית- ככל שזווית הכניסה גדולה יותר כך ההשתקפות חזקה יותר. ניתן לעשות זאת לייזר קווי ועם לוחית פרספקס או כל תווך שקוף. ניתן גם לצפות בהדמיה.

רמה 2: ניסוי כמותי עם מד אור (צריך למדוד את עוצמת האור של הקרן הפוגעת ולכתוב ביומן המעבדה. כדי למדוד את עוצמת האור המוחזר באחוזים יש לחלק את עוצמת האור המוחזר בעוצמת הקרן הפוגעת ולהכפיל ב-100. או בהדמיה של Phet. עושים כמו חוק סנל אבל מודדים כל פעם את עוצמת האור המוחזר ולא את זווית השבירה או החזרה.

דוגמה לתוצאות הניסוי בהדמיה:

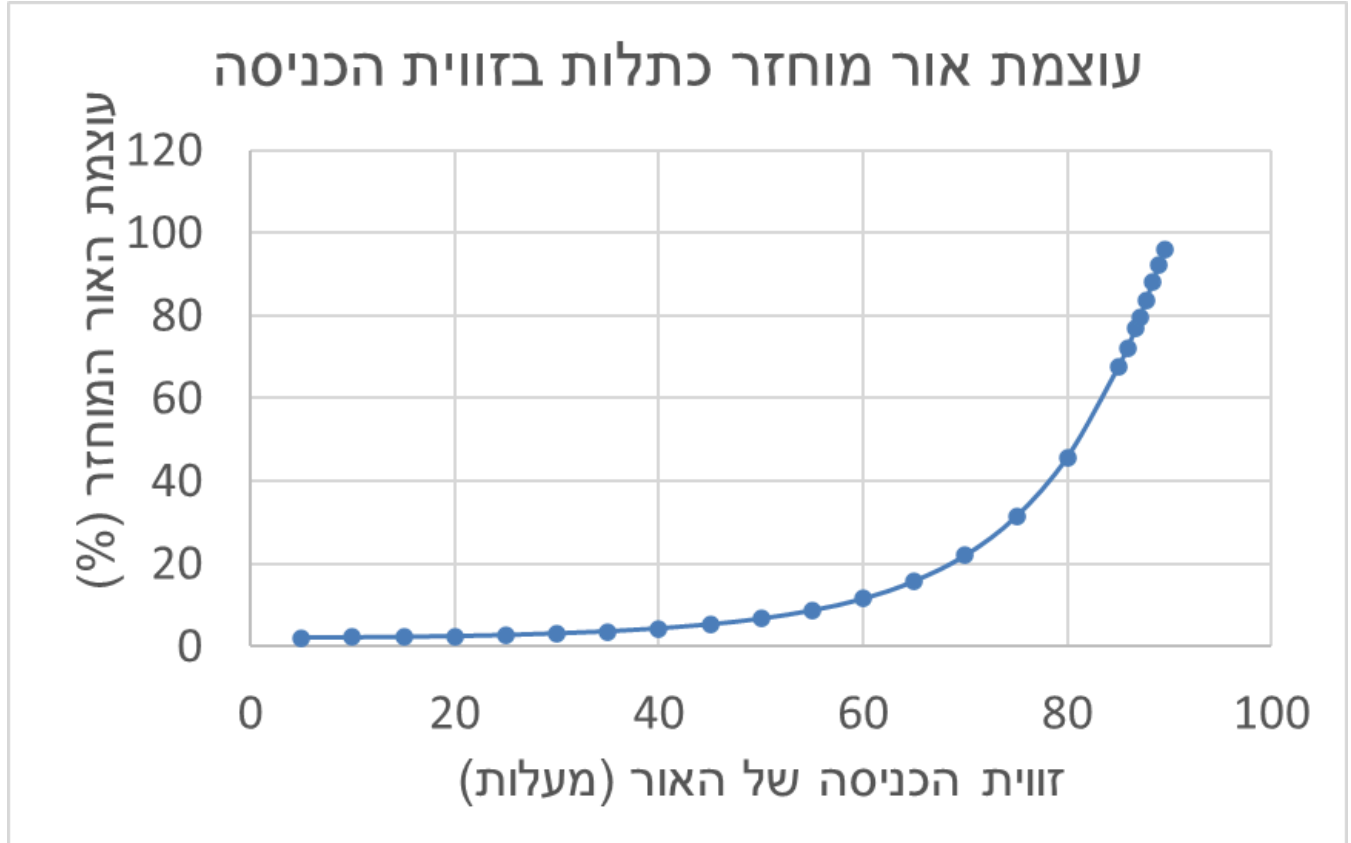
זווית כניסה (מעלות) עוצמת אור מוחזר (%)

2.06

5



2.13	10
2.26	15
2.45	20
2.71	25
3.09	30
3.6	35
4.31	40
5.29	45
6.67	50
8.66	55
11.47	60
15.73	65
21.98	70
31.38	75
45.73	80
67.54	85
72.21	85.9
76.83	86.7
79.39	87.1
83.48	87.7
88.26	88.4
92.32	89
95.85	89.5



ניתן לראות כי עד כ-40 מעלות ביחס לאנך (להסתכל ממש מלמעלה על המים) כמעט ואין החזרה. מעל 40 מעלות ישנה עליה מאוד חדה בהחזרה ביחס לעלייה בזווית. התלות אינה ליניארית.

רמה 3: לבדוק את עוצמת האור המוחזר עבור קיטובים שונים. לא ניתן לעשות בהדמיה. כדי לבדוק את עוצמת האור עבור הקיטובים השונים יש להעביר את הקרן הפוגעת דרך מקטב בחלק הראשון קיטוב מקביל לאנך ובחלק השני קיטוב מקביל למישור המפגש בין המים לאוויר.

ציוד נדרש: מד אור, לוח שנתות פולרי, מקור אור קווי, לוחית פרספקס, מקטב לינארי

שקופית 7-8

מה הפתרונות האפשריים להתגבר על ההשתקפויות?

- לעמוד כמה שיותר מעל המים וכך עוצמת ההשתקפות היא כמה שיותר קטנה. לכן השלדג משתמש בטכניקת ציד שנקראת perch hunting. השלדג עומד על ענף מעל המים ומתבונן לתוך המים. זה עובד כיוון שההחזרות בזווית עד 40 מעלות הן מינוריות.



לא תמיד יש עמדה טובה... השלדג צריך לייצב את הראש שלו ע"י תנועה של כל הגוף, כי הוא תנועת העיניים בתוך הארובות, אצל עופות, היא מוגבלת.

שקופית 9

הפרפור העקוד (ממשפחת השלדגים) למד נגד כל חוקי הפיזיקה לרפרף באוויר מעל המים (ישנה תאורייה שרק ציפורים קטנות, עד משקל של צופית בוהקת מסוגלים לרפרף ללא עזרת רוח). כך הוא לא מוגבל לשום עמדת תצפית. החסרון הוא כמובן שזה גוזל ממנו המון אנרגיה. לא ברור עד עכשיו למדי כיצד השלדג מצליח לבצע רחיפה אמיתית (true hovering) מבלי להיעזר ברוח כמו דורסים אחרים (בז, חיוויאי). לפי חישובים של מסה ושטח כנף נראה שרק ציפורים עד משקל של צופית בוהקת (יונק דבש) יכולים. על כך במאמר של פרופ' גדי קציר:

- מאמר ישראלי של פרופ' קציר על הרחיפה של פרפור עקוד - [Sustained hovering, head stabilization and vision through the water surface in the Pied kingfisher \(*Ceryle rudis*\)](https://doi.org/10.1101/409201)
[Gadi Katzir, Dotan Berman, Moshe Nathan, Daniel Weihs bioRxiv 409201; doi: https://doi.org/10.1101/409201](https://doi.org/10.1101/409201)

תקציר המאמר: פרפור עקוד תופס דגים ע"י טכניקת צניחה- צלילה (Plunge diving) מרחיפה במקום (hovering) שיכולה להימשך כמה דקות. רחיפה היא סוג התעופה שצורך הכי הרבה אנרגיה ותלוי בנפנוף כנפיים אקטיבי והתבוננות כלפי מטה. הספק הרחיפה תלוי במסה. ההספק גדל ביחס קובי (חזקה שלישית) לגודל הציפור ואילו הכוחות האווירודינמיים גדלים רק בקשר ריבועי לגודל. לכן ציפורים מעל מסה מסוימת יכולות לחרך רק בעזרת רוח (שמגבירה את העילוי) ורק לזמן קצר. מייחסית לצופית (יונק דבש) כציפור היחידה שיכולה לרחף בלי רוח בגלל שהן קטנות (2-20 גרם), מנפנפות בתדר מאוד גבוה ובעלות מבנה גוף ייחודי.

במאמר חקרו את מאפייני הרחיפה של פרפור עקוד ביחס לכיוון הרוח והשמש ב139 רחיפות. בנוסף, טכניקת צניחה- צלילה מצריכה התמודדות עם אפקטים ויזואלים של האור בממשק מים אוויר. הפרפורים מכוונים את ציר גופם כלפי הרוח יותר מאשר כלפי השמש. רחיפה עם רוח קלה או ללא רוח בכלל הייתה נפוצה. כאשר מהירות הרוח התגברה, דיוק הכיוון העצמי גדלה. משרעת הנפנוף לא השתנתה, תדירות הנפנוף קטנה וזווית הנטייה של הגוף נהייתה אופקית יותר. הראש היה מיוצב ברמה גבוה ובאוריינטציה שהראתה שיש לפרפור ראייה מונוקולרית של הטרף.

פרפור עקוד יכול לרחף במקום ללא רוח. זה קורה למרות שהפרפור כבד יותר משמעותית מהמשקל המקסימלי התאורטי שמראה קינמטיקה רגילה ומורפולוגיה. ייצוב הראש זה אמצעי לעזור לציפור לראות את הטרף התת מימי.

פרפור מרפרף - https://www.youtube.com/watch?v=hafbgORYSpU&ab_channel=WildFilmsIndia
https://www.youtube.com/watch?v=P0_B6RjpeC0&ab_channel=Guy%27sworldofphotographyandvideo



שקופית 10-11

- פתרון שני לטיפול בהשתקפויות: הצללה. ההצללה יוצרת השתקפות של חפץ כהה. צבע כהה זה אומר עוצמה פחותה של אור ולכן השתקפות כהה מפריעה פחות לראות את מה שקורה בתוך המים.

שקופית 12-13

זה דומה להתבוננות על ההשתקפות שלנו בחלון בנסיעה באוטובוס. כאשר הרקע כהה רואים את הבבואה של עצמינו טוב יותר. זאת מכיוון שהאור המוחזר מהחלון פחות מתערבב עם האור שמגיע מבחוץ.

אפשר לשאול על התמונות: מאיפה הן צולמו? אילו חלקים של הבבואות רואים טוב וברור יותר ולמה?

- התמונה הצבעונית צולמה מהחוץ על הפנים. האשה המבוגרת זה אור שעבר מהפנים לחוץ. האשה הצעירה היא השתקפות. ניתן לראות שההשתקפות ברורה יותר כאשר הרקע כהה, כמו באזור הראש של האשה הצעירה וברורה פחות כשהרקע בהיר כמו באזור שמשתקף על סוודר התכלת של האשה שבפנים.



- התמונה בשחור לבן צולמה מהפנים לחוץ. דמות האשה היא בובה בחלון ראווה. האור שמגיע למצלמה חלקו מגיע מבחוץ וחלקו מוחזר מחלון הראווה. ניתן לראות שהבבואה הכי ברורה על רקע כהה כמו באזור פנים ופחות ברורה על רקע בהיר כמו המדרכה בחוץ.
- זו תמונה שצולמה בנובמבר 2023 בירושלים, פיצריה קראפט. מי בפנים ומי בחוץ? כמה דמויות נמצאות? איפה הבבואות יותר ברורות?
- תשובה: הבחורה עם המשקפיים והשיער הבלונדיני (טליה) יושבת בפנים על הבר מול החלון. ידה על הבא. לידה בעיקר ניתן לראות בבואה של הידיים שלי (שפרה) מחזיקה בטלפון ומצלמת את התמונה. הבחור שעובד בפיצריה מסדר בחוץ את הכסאות והשולחנות. הבבואות נראות טוב יותר כאשר הרקע בחוץ הוא כהה.

שקופית 14 - 15

מה לדעתכם מפחית את ההשתקפות?

בשקופית 15 אחת התמונות מסובבת 180 מעלות בציר האופקי.

התמונות צולמו דרך מקטב, פעם אחת מכוון במקביל לפני המים ופעם אחת במאונך.

שקופית 16

מהו קיטוב אור? (אפשר לדלג על קיטוב לשקופית 33)

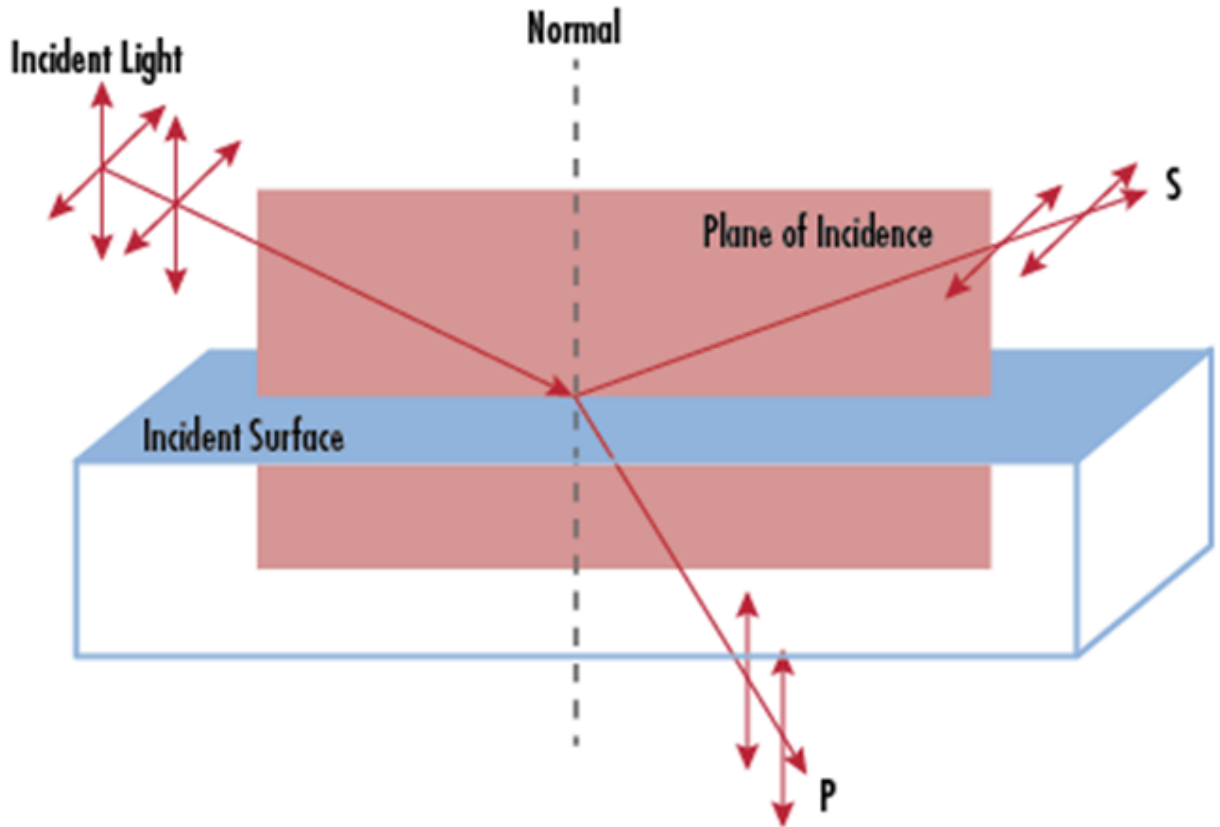
תרגיל: כל אחד מברר במרשתת מהו קיטוב אור וכותב במחברתו. משתפים את הכיתה.

ניתן להדגים עם קפיץ/ סלינקי. כיוון הקיטוב של האור זה כיוון נדנוד השדה החשמלי. אור = גל אלקטרומגנטי- שינוי הרמוני מחזורי בשדה החשמלי והמגנטי.

האם זה משנה באיזה קיטוב מגיע גל האור לפני המים? **מסתבר שכן.**

האור המגיע מהשמש הוא אור "מבולגן" או "לא מקוטב". כלומר כל פוטון מגיע עם קיטוב אחר. אבל כמו שניתן לייצג כל נקודה במישור ע"י הצירים x ו y כך ניתן לייצג את כל הקיטובים השונים כסכום לינארי של קיטובים בשני צירים. כלומר ניתן "לפרק" את הקיטוב של כל פוטון לקיטוב מאונך וקיטוב מקביל.

לצייר על הלוח:



גל אור שכיוון הנדנוד של השדה החשמלי הוא במאונך לפני המים מוחזר הרבה פחות מגל אור עם נדנוד מקביל.

שקופית 17

בשקופית זו ניתן לראות את מקדמי ההעברה והחזרה של אור העובר מאוויר למים. הקווים המקווקוים הם מקדמיה ההחזרה והשלמים עם ההעברה. הסכום שלהם הוא כמובן 1. ניתן לראות גם שמקדמי ההחזרה הם אפסיים עבור הזוויות הקטנות כמו שראינו בניסוי של שקופית 5. אבל בגרף הזה, ניתן גם לראות את המקדמים עבור הקיטובים השונים. אז ניתן לראות שהקיטוב המאונך לפני המים, כמעט לא חוזר עד 60 מעלות. אבל הקיטוב המקביל חוזר כבר 20 מעלות. זווית ברוסטר היא זווית שבה יש 0 החזרה של קיטוב מאונך ויש רק החזרה של קיטוב מקביל.

כלומר בזווית ברוסטר כל האור המוחזר מהמים הוא אור מקוטב לינארית בכיוון מקביל למים. אבל עד 60 מעלות רוב האור המוחזר הוא גם מקוטב לינארית אופקית. מתחת ל-20 מעלות כמעט ואין אור מוחזר. בין 40 ל-60 מעלות יש אור מוחזר מקוטב חלקית. מעל 60 מעלות האור המוחזר הוא גם מקוטב חלקית. כמות האור המוחזר מעל 60 מעלות גדלה בצורה מהירות עם הזווית.

הפתרון שאנו רואים בגרף הוא פתרון למשוואות פרנל: חוקי החזרה ושבירה של אור, חוקי מקסוול וחוק שימור האנרגיה.



שקופית 18 - 19

אור מוחזר ממשטחים מבודדים הוא אור מקוטב לינארית חלקית.

האור המגיע לצופה בשקופיות אלו מורכב בחלקו מאור שהגיע מתוך המים ובחלקו אור שהוחזר ע"י פני המים. הערבוב מקשה על הראייה של מה שבתוך המים.

האור המוחזר הוא מקוטב חלקית. הקיטוב החלקי הוא הכיוון אופקי. לכן מקטב לינארי אנכי יסנן את האור המוחזר. בזווית ברוסטר כל האור המוחזר הוא מקוטב אופקית ולכן המקטב מסלק לגמרי את ההשתקפות. בזוויות אחרות האור מקוטב חלקית ולכן הסינון הוא חלקי.

שקופית 19

כאשר המקטב בכיוון מאונך הוא מסנן את ההשתקפות מהמים שעל האבן הרטובה (ואז רואים יותר את האבן עצמה) וכאשר הוא בכיוון אופקי הוא מעביר את ההשתקפות.

שקופית 20

המקטב מסנן את ההחזרה ע"י מהים המצפים את האבן.

שקופית 21 - 22

ים המלח. המים יותר כחולים כאשר יותר השתקפות של השמים. יותר ירוקים ללא ההשתקפות.

שקופית 23 - 27

גם אור מהשמש שמוחזר ע"י האטמוספירה הוא מקוטב חלקית. דרגת הקיטוב תלוי בזווית של החלק בשמים המאטמוסרה. 90 מעלות מהשמש השמים הכי מקוטבים (אבל הם לא לגמרי מקוטבים). כיוון הקיטוב של השמים הוא בכיוון משיק למעגל סביב השמש שעובר בנקודה.

שקופית 28

תבנית הקיטוב של השמים. כיוון הקיטוב של השמים הוא בכיוון משיק למעגלים סביב השמש העוברים בנקודה בה מתבוננים. עוצמת הקיטוב משתנה כתלות בזווית מהשמש. על השמש עצמה ומולה, השמים אינם מקוטבים כלל ואילו 90 מעלות מהשמש השמים מקוטבים חלקית בעוצמה הכי חזקה.

גם אנחנו בני אדם יכולים לראות קיטוב - עוצמה וכיוון. אני (שפרה) התאמנתי כאשר הסתכלתי על צגי מחשב, על קיר לבן דרך מקטב או על השמים. ניתן לראות צורה חלשה שנקראת מברשת היידיגר. כיוון הקיטוב הוא מקביל לכיוון הישר הכחול בצורה.



יש תאורייה שויקינגים ניווטו באמצעות תבנית הקיטוב בלב ים כאשר היה סגרירי. למעשה לפי כיוון הקיטוב בשתי נקודות בשמים ניתן לדעת איפה השמש.

תבנית הקיטוב נשאר גם כאשר כל השמים מעוננים אך במקרה הזה התבנית מאוד חלשה ואני לא הצלחתי לראות אותו גם לא עם אבן השמש.

שקופית 29-30

ראיית קיטוב עוזרת לבעל חיים לזהות כמות מים בצמחייה ולבחור על איזה עלה להטיל את הצאצאים.

שקופית 31-32

גם אור שמוחזר מכביש, מחלונות, מפאנלים סולאריים, ומעלים. אור מוחזר = אור מקוטב חלקית בהרבה מקרים.

בעלי חיים רבים מבחינים באור מקוטב. מבחינים בעוצמת קיטוב וגם בכיוון קיטוב.

ראיית הקיטוב עוזרת לבעל החיים לנווט (לפי תבנית הקיטוב בשמים), לזהות מקורות מים (ולכן "זיהום אור מקוטב" = שנובע מכבישים, שדות סולאריים, מבנים ועוד) - היא [בעיה אקולוגית](#):

ציפור יכולה לנחות על שדה של פאנלים סולאריים ולחשוב שזה גוף מים וכך להתרסק. בנוסף היא יכולה לבחור נקודת עצירה לפי זה שהיא חושבת שיש שם מים אבל למעשה יש שם כביש/ פאנלים ואין מים וכך זה יכול להשפיע על הישרדות הציפור.

יכול להיות שיש ציפורים שיכולות לסנן את האור המקוטב וכך לראות טוב יותר מה יש במים? לציפורים רבות יש מסננים שונים שהם טיפות שמן על הרשתית של הציפור. לא מצאתי במחקר ידיעה על מסנן שהוא מקטב.

ראיית קיטוב יכולה לעזור לבעלי חיים לזהות גופים שקופים בתוך המים, כיוון שהאור המוחזר מהם הוא מקוטב חלקית.

שקופית 33

אתגר נוסף לציפורים הללו הוא מיקום מדומה של הטרף במים שנובע בגלל שבירת האור כאשר הוא יוצא מהמים אל הצופה.

בתמונה הימנית רואים שהגוף של חיה לא ממשיך את הראש! וכך גם בתמונה השמאלית. כולנו יודעים שהגוף אמור להיות חתיכה אחת. הסיבה שלא רואים אותו ככה כי האור מתוך המים יוצא ונשבר והמוח שלנו ממשיך את הקרן שמגיע לעין ומדמיין את המיקום בהמשך של הקרן.

שקופית 34



כנ"ל. ניתן גם לראות שהאורכים מתקצרים בתוך המים. העומק נהיה רדוד יותר. בתמונה השמאלית רואים חנית של ציד דגים. בענף הדיג הזה יודעים שצריך לכוון למיקום קצת שונה מהמיקום האמיתי של הטרף.

האם הס"מ בין 0 ל-1 זהה לס"מ שבין 4 ל-5 והאם הם זהים לס"מ שבין 6 ל-7??

שקופית 35

המצלם מכוון את הצינור הארוך ככה שיצביע בדיוק למטרה הכחולה בתוך המים בעזרת לייזר. אבל לאחר מכן כאשר הוא משחיל בצינור מקל הוא לא מגיע למטרה! כי המיקום הנראה שלו הוא מדומה.

אפשר לעשות פעילות דומה בכיתה עם blue tak, קשיות וקיסמים. אפשר להראות איך המיקום האמיתי שונה מהמדומה.

[אפשר למצוא את המיקום המדומה ע"י הצלבה של 2 שיפודים או יותר.](#)

שקופית 36

כל תלמיד מנסה במחברת לצייר את המלך הקרניים ולכתוב הסבר על המיקום המדומה והמיקום האמיתי. להניח שהמיקום האופקי לא משתנה.

שקופית 37

תשובה לשרטוט מהלך קרניים. המוח שלנו חושב שהעצם נמצא במקום ממנו קרן האור מגיעה.

שקופית 38

תרגיל - חישוב העומק המדומה. פיתוח ביטוי של העומק המדומה כתלות בזווית השבירה. [דף עבודה נפרד](#) בחוברת דפי פעילות.

חישוב עומק מדומה של דג במים. האור יוצא מהמים לאוויר. חישוב המיקום המדומה כתלות בזווית השבירה (תטא 2).

על מנת לפתור יש להשתמש: בחוק סנל, בטריוגומונטריה (לבטא טנגנסים של זוויות), בזהויות טריגונומטריות המקשרות בין טנגנס לסינוס ואפשר עוד זהויות. בהנחה - מיקום אופקי זהה.

יש דף עבודה לפעילות ויש גם [דף תשובות](#).

שקופית 39-41

איך עובדת העין מהבחינה של מיקוד הראייה?



בעין ישנה הקרנית וישנה העדשה, שהתפקיד שלהם הוא לשבור את קרני האור כך שיתמקדו על רשתית העין- שם קולטני האור מעבירים את המידע על התמונה הויזרואלית למוח דרך עצב הראייה.

בניח שאלומה מקבילה של אור פוגעת בעדשה. בכל נקודה בעדשה, כתלות במרחז מציר העדשה, האור נשבר בזווית אחרת. ככך שמתרחקים מציר העדשה, זווית הכניסה גדלה ולכן זווית השבירה גדלה וכך הקרניים מתמקדות.

כדאי לצייר על הלוח. הצורה של עדשה היא חלק ממעגל. ככל שאדיוס המעגל קטן יותר כך עוצמת העדשה חזקה יותר. עוצמת העדשה נקראת דיופטר. דיופטר של 30 מרכז את האור המקביל למרחק של 1/30 מטר מהעדשה.

בעין ישנה הקרנית שעוצמתה כ-40 דיופטרים. מקדם השבירה שלה דומה לשל מים. לאחר שהאור מתרכז ע"י הקרנית הוא עובר ריכוז נוסף דרך העדשה. מכיוון שאנחנו רואים לפעמים מרחוק ולפעמים מקרוב אנחנו יכולים לשנות את עוצמת העדשה ע"י שרירי שיערה שמחוברים לעדשה ויכולים ללחץ עליה. עוצמת העדשה יכולה להגיע עד 10 דיופטרים. אנחנו משתמשים בעוצמה המלאה כאשר אנחנו רוצים לראות מקרוב כי אז קרני האור באות הכי מפוזרות וצריך למקד אותן בעוצמה חזקה יותר. כשמתבגרים, שרירי העדשה וגם גמישות העדשה הולכים וקטנים ולכן ראייה מקרוב מידרדרת ואנחנו צריכים לתקן ולהוסיף דיופטרים ע"י עדשה חיצונית.

כאשר אנחנו נכנסים למים, הקרנית מאבדת כמעט את כל עומצת המיקוד שלה מכיוון שהאור כבר לא עובר מתווך האוויר לתווך הקרנית שהיא מים אלא ממים למים. לכן הקרנית כבר לא עובדת ונשארה רק העדשה. לכן חסרים לנו 40 דיופטרים של הקרנית ואנחנו רואים מטושטש מאוד במים. האור מתמקד במרחק של 1/40 מטרים רחוק מדי לעדשה, כלומר אחרי הרשתית.

לשם השוואה סימולטורים :

העין שלנו מרכזת בעוצמה של 60 דיופטרים (זה אומר שהיא מרכזת קרניים מקבילות למרחק של 1/60 מטר, כלומר במרחק של 1.5 ס"מ מהעדשה. גלגל העין), כאשר היא במנוחה. הקרנית- 40 דיופטרים והעדשה עוד 20. שרירי העין יכולים לסגל את העדשה ולשנות את עוצמתה במשרעת של 16-11 דיופטרים בגיל 15, 10 דיופטרים בגיל 25 ורק דיופטר אחד מעל גיל 60.

המס' שלנו במים = -43. זה בגלל שמעבדים מכוח הקרנית 40 דיופטרים.

תצפית: בדיקת ראייה במים. בתוך גיגית. מניחים נייר A4 עם קווים באוריינטציות שונות ובעוביים שונים בתחתית הגיגית. תלמיד מכניס את העיניים למים ומנסה לזהות את האוריינטציה של העצמים. מדהים כמה שלא רואים כלום!

[#https://www.feelgoodcontacts.com/tools/vision-simulator](https://www.feelgoodcontacts.com/tools/vision-simulator)

<https://visionsimulations.com/extreme-blur.htm?background=beach.jpg>

אז איך בעלי חיים רואים בתוך המים?

היכנסו [להדמייה של phet](#) ונסו לחשוב באיזו דרך ניתן לפקס יותר טוב מבלי לשנות את עוצמת העדשה:

אפשר לשנות את מקדם השבירה של העדשה (מקדם שבירה גדול לראייה מקרוב ומקדם קטן בראייה לרחוק),



אפשר להשתמש בעדשה קטנה ולהגדיל את כמות הקולטנים ברשתית.

אפשר לשנות את המרחק בין העדשה לרשתית (המסך).

יש בעלי חיים (לוויתנים, כלבי ים) שיש להם 2 עדשות אחת לאוויר ואחת למים.

אצל זוחלים וציפורים יש פדים נוספים שלוחצים על העדשה ומשנים את צורתה.

אצל דגים ודו חיים העדשה לא משנה את צורתה אלא את מיקומה.

לפעמים בעל החי לא רואה טוב מבחינת ניגודיות אבל רואה טוב מבחינת תנועה

יש בעלי חיים עם עדשה שטוחה אבל מקדם השבירה משתנה לאורך העדשה.

ואיך יש בעלי חיים שרואים טוב גם במים וגם באוויר?

לקורמורן יש עדשה שעוצמתה מגיעה עד 80 דיופטרים!

קורמורן:

צולל לכחצי דקה לעומקים של מטרים. כנראה מסתמך על שמיעה שהתפתחה בהתאמה למים.

ראייה במים:

ספקרום הפליטה של מים: צבע האוקיינוס הוא בגלל התכונות האופטיות של האור, נוכחות של פיטופלנקטון- ירוק של כלורופיל וכמה תוצרים של רקבון אורגני מוסיפים או צהוב. מים הם בדרך כלל יותר ירוקים, ירוקים צהובים, או חומרים, כתלות בכמות החומרים הללו. כל גוף מים הוא בצבע שהוא נוצר בקומבינציה הייחודית למקווה. אפשר לפי הצבע של המקווה לדעת עליו הרבה דברים. המים הכי נקיים הם הכי כחולים, באורך גל 475 ננומטר:





תרגיל מהספר אופטיקה גאומטרית. אפשר להוסיף שאלה- כמה דיופטרים העדשה בהנחה שכל משבצת היא חצי ס"מ. תשובה: 50 דיופטרים. רצוי להיעזר בהסברים בשקופית 46.

תרגיל: קרבו את אצבעתכם למרחק המינימלי מהעין אותו עדיין ניתן לפקס את האור.

מדדו את מרחק זה מהעין: _____

השתמשו בנוסחת העדשה הדקה וחשבו את

1. דיופטר המינימלי של מנגנון העין שלכם (עדשה + קרנית)- ראייה כשהעין רפויה, למרחק גדול.
2. הדיופטר המקסימלי של מנגנון העין- ראייה למרחק המינימלי.
3. מהי משרעת עוצמת העדשה בעין?

לפי [האתר הזה](#) משרעת העוצמה של העדשה היא 12-14 לילדים, 4-8 למבוגרים ו- יורד לפחות מ-2 דיופטרים מעגל גיל 50. העדשה מתקשחת עם השנים.

4. שרטטו את מהלך הקרניים מהאצבע, דרך הקרנית, העדשה, ועד הרשתית.

ניתן לשפר את משרעת העוצמה של העדשה ע"י [תרגילים לחיזוק סיגול העין](#).

המשקפת יוצרת חציצה של אוויר בין המים לקרנית. ולכן רואים טוב עם משקפת!

שקופית 43-44

לציפורים רבות יש עפעף שלישי - nictating membrane. ייתכן ובמידה ועפעף זה משאיר מרווח של אוויר בין הקרנית לעפעף אז הוא יכול לשמש כמשקפת. בתמונה בשקופית 44 זה נראה כך.

שקופית 45

יש אנשים שיכולים לראות טוב יותר במים. באי אחד בים אנדמן ולאורך החוף המערבי של תאילנד חיים הרבה שבטים קטנים שנקראים אנשי ה

מוקן (Moken)- נוודי הים. הילדים שלהם מבלים רוב הזמן בים, צוללים ומחפשים מזון (צדפות, מלפפוני ים). מסתבר שהם רואים טוב במים ומסתבר שכל ילד יכול להתאמן וללמוד את זה.

בניסוי הראו לילדים מתחת לעין קווים שכיוון מסוים והם היו צריכים להתבונן במים ואז לצאת ולדווח באיזה כיוון הקו. בכל פעם הקווים הלכו והיו דקים יותר. הילדים התאילנדים ראו פי 2 טוב מהשוודים.

איך זה קורה?

- יכול להיות שהילדים התאילנדים יודעים יותר לשנות את צורת העדשה של העין באמצעות השרירים ולכן העדשה מצליחה יותר למקד את האור. קוראים לזה סיגול העדשה - lens accommodation. עדשה של ילדים היא גמישה יותר והשרירים חזקים יותר מאשר מבוגרים.



- ראו שהילדים התאילנדים מכווצים את האישון עד המקסימום האפשרי. יכול להיות שהם יכולים להקטין את האישונים שלהם וככה לחדד את הראייה (בלמד בהמשך כיצד!).

עשו את הניסוי גם על המבוגרים וראו שאין להם יכולות מיוחדות. כאשר גדלים, העדשה פחות גמישה.

עורכי המחקר עשו ניסוי ובוא אימנו ילדים שוודים ונתנו להם לנסות לזהות כיוון של קווים מתחת למים. תוך חודש 11- אימונים הראייה שלהם הגיעה לרמה של התאילנדים! הילדים לא ידעו מה הם עושים אחרת.

ארבעה חודשים לאחר הניסוי וללא שום אימון נוסף, הילדים השוודים נבדו שוב וראו שחל שיפור נוסף ללא שום אימון! מה שלמלמד אותנו שהמוח ממשיך להתפתח לאחר למידה וזה לוקח זמן. כדאי ללמוד מנות קטנות לאורך זמן מאשר מרתון!

הילדים התאילנדים נבדקו שוב כאשר הם היו בני נוער, וראו שהם עדיין יכולים לראות טוב מתחת למים.

בימים אלו הילדים התאילנדים כבר לא מבלים כל כך הרבה במים אז כנראה שהיכולת המיוחדת שלהם אבדה.

לקריאה נוספת:

<https://www.bbc.com/future/article/20160229-the-sea-nomad-children-who-see-like-dolphins>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982203002902>

שקופיות 46-47

פעילות סיגול העדשה

דפי הפעילות בקובץ נפרד.

1. קרבו את האצבע שלכם אל העין ובדקו מה המרחק המינימלי שאתם יכולים לראות בצורה ממוקדת. מדדו את המרחק של האצבע מהעין: _____ ס"מ.

במרחק זה עוצמת העדשה של העין שלכם היא מקסימלית.

2. החליפו את מיקוד המט בין האצבע הקרובה לעין לבן הנוף המרוחק. מה שאתם חשים הוא שינוי העקמומיות של עדשה ע"י השרירים העוטפים אותה.

הדמיה של phet:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

בחרו ב-lens



בחרו בעדשה גדולה, מקדם שבירה 1.35. בחרו ב-2 מקורות אור. הציבו מקור אור אחד קרוב לעדשה ואחד רחוק. בחרו לראות הרבה קרניים.

1. שנו את עקמומיות העדשה כך שמקור האור הקרוב יהיה ממוקד על המסך. על האור להגיע לנקודה אחת בלבד על המסך על מנת שייחשב ממוקד. הזיזו את המסך במקרה הצורך.

כתבו את רדיוס העקמומיות: _____ 52 _____ ס"מ _____

2. כעת ללא הזזה של המסך, שנו את עקמומיות העדשה על מנת למקד את מקור האור הרחוק על המסך.

כתבו את רדיוס העקמומיות: _____ 100 _____ ס"מ _____

בעין האנושית כאשר השרירים במצב רפוי המיקוד הוא לרחוק. כלומר במצב רפוי רדיוס העקמומיות גדול ועל מנת להתפקס קרוב יותר עלינו להקטין את הרדיוס הזה.

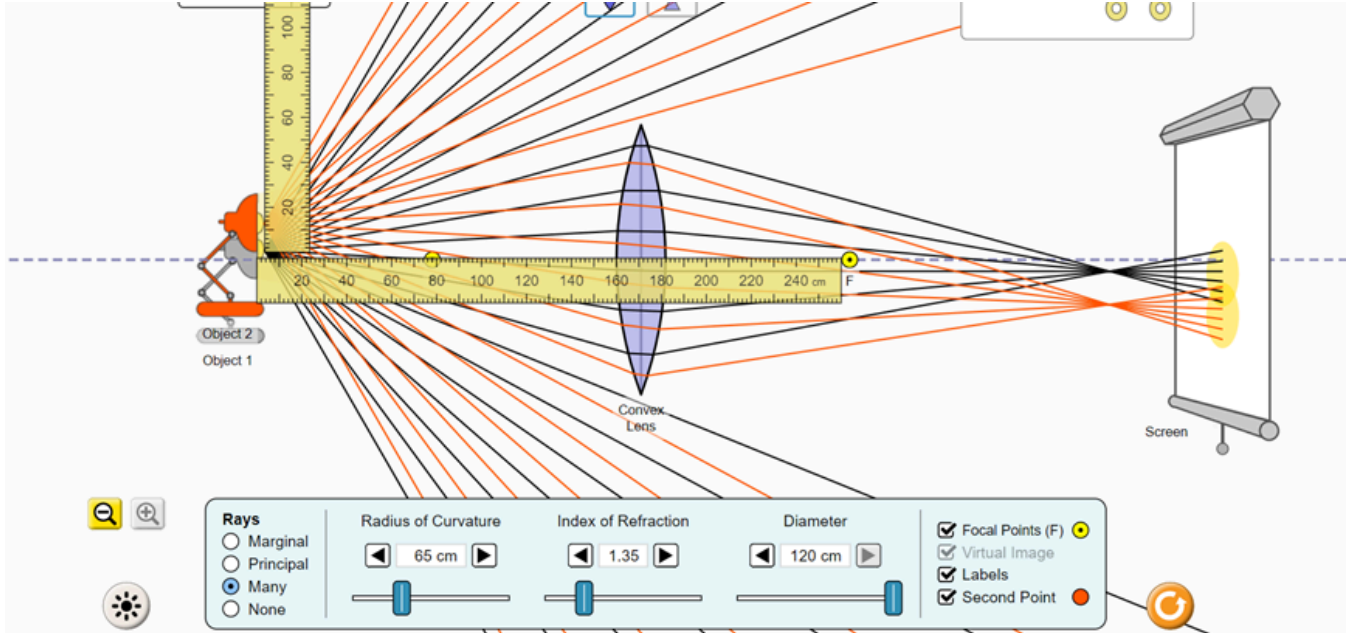
כאשר העין נמצאת במים, על העדשה להיות חזקה יותר על מנת לפקס טוב יותר כי הקרנית כבר לא מתפקדת. לכן שרירי עדשה חזקים יותר ועדשה גמישה יותר מאפשרים ראייה טובה יותר במים (ובאוויר ראייה ליותר מקרוב). השרירים האלו מושכים שיערות שמחוברות לעדשה ומשנות את צורתה.

צמצום האישון לחידוד ראייה:

למי מכם שיש משקפיים אתם בוודאי התנסתם כאשר שכחתם את המשקפיים להציץ דרך חור קטן שאתם יוצרים באצבעות ופתאום ראייתם מתחדדת. איך זה מתרחש?

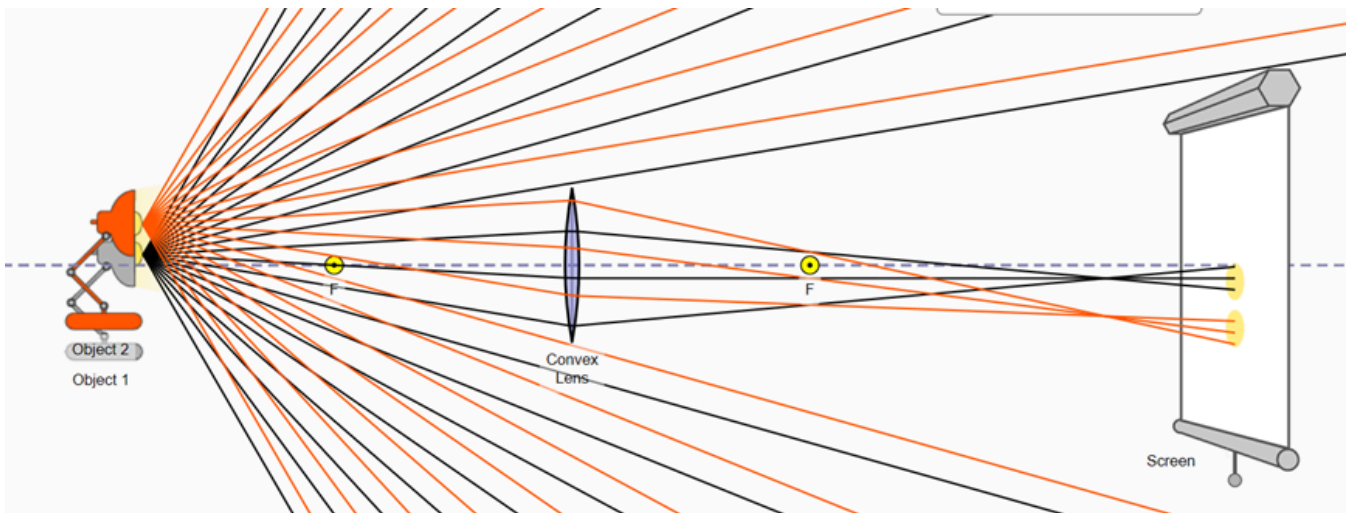
ילדי המוקן מקטינים את האישון שלהם במים (המוח לומד כנראה לעשות זאת במהלך האימונים) וכך הם רואים טוב יותר במים. למה הקטנת האישון מגבירה את חדות הראייה?

1. הניחו את שתי מקורות האור במרחק של 170 ס"מ מציר העדשה ובמרחק אנכי של כ-12 ס"מ.



2. תארו מה רואים על המסך והסבירו למה במצב זה התמונה אינה חדה. יש 2 עיגולי אור מכל נקודה בכל מקור (כלומר הם מטושטשים) ושניהם חופפים אחד לשני ולכן הראייה אינה חדה.

הקטנת האישון היא כמו הקטנת הקוטר של העדשה. הקטנת האישון גורמת לכך שפחות קרניים יתמקדו על המסך/רשתית. הקטינו את רדיוס העדשה ותארו מה קורה.



כתמי האור קטנו (כלומר הם פחות מטושטשים) וכבר אין חפיפה ביניהם. כלומר יש יותר אבחנה והראייה יותר חדה.

3. חישוב: הקטנת העדשה, כלומר צמצום האישון, מגביר את חדשות הראייה. מה עוד משתנה בעקבות צמצום האישון? תשובה: בהירות העצם. כי יש פחות קרניים שמתפקסות.

שקופית 48-53

התבוננו בתמונות בשקופית ודונו בקבוצות- איך התמונות האלו התקבלו? מה רואים בהן?

שאלות מנחות- מאיפה צולמה התמונה? איך זה שרואים חלק מהרגל? איפה הרגל הזו נמצאת? מה עוד רואים בתמונה ומאיפה האור מגיע? הסיפּו ציורים ומהלכי קרניים להסביר את מה שרואים.

נציג מכל קבוצה מגיעה להציג מול הכיתה ולצייר על הלוח את השערות. ואז הנציגים יכולים להתווכח ביניהם או להסכים. הכיתה יכולה לעזור.

תשובה= המוח שלנו מפרש את מיקום העצם לפי הכיוון שממנו מגיע האור מהעצם. אם קרן האור שינתה כיוון באמצע המוח שלנו לא לוקח את זה בחשבון.

החלק היותר תכלת עם הפסים הכחולים הכהים זה השתקפות של קרקעית הבריכה. הרגל היא השתקפות של מי שמחזיק את המצלמה במים. ויש גם את השמים והעצים שהם אור שמגיע מחוץ למים לתוך המים אחרי שבירה.

בתוך חלון סנל רואים את השמים ואת החוץ. כל התמונה שבחוץ למעשה נדחסת ומתעקמת לתוך חלון סנל. ניתן לראות בתוך חלון סנל גם דברים שעל הקרקע מחוץ למים.

נחזור לניסוי שעשינו של מעבר אור ממים לאוויר. זווית השבירה המקסימלית היא 90 מעלות כמובן. אם ככה מה זווית הכניסה המקסימלית כתלות במקדם שבירה?

תרגיל כיתה: הציבו בחוק סנל וגלו מהי זווית הפתיחה של קונוס האור שמגיע לצופה התת מימי

נציב בחוק סנל:

$$n \sin \theta_1 = \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \theta_2}{n} = \frac{1}{n}$$

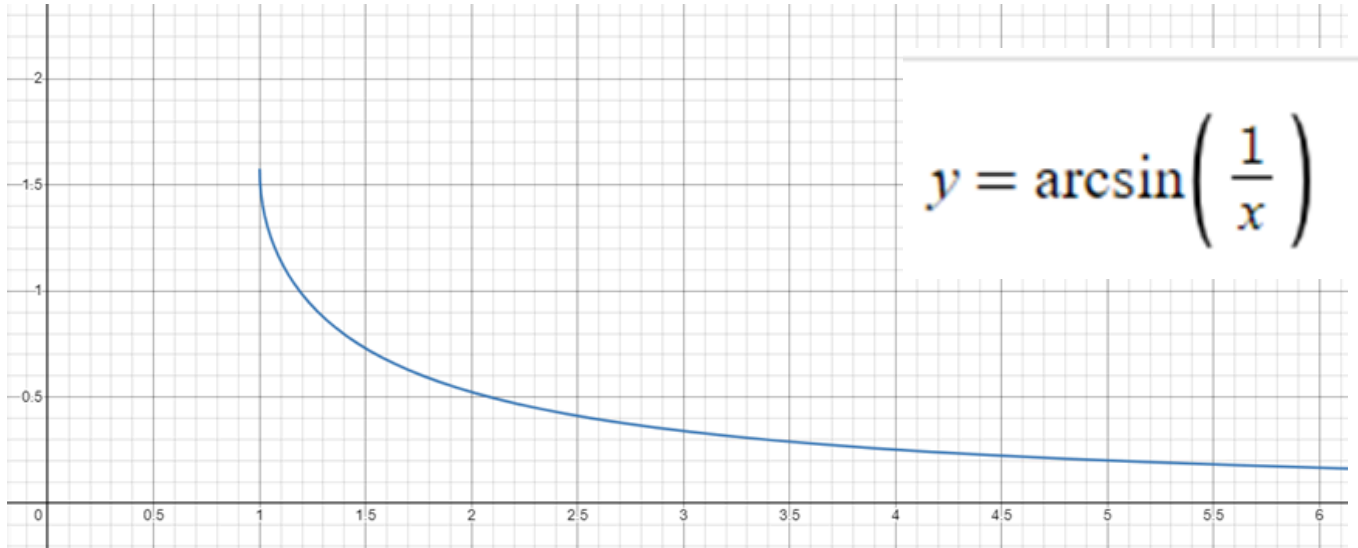
$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \right)$$

$$n = 1.33$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.33} \right) = 48.7^\circ$$



כלומר הזווית של קונוס האור היא כמעט 49 מעלות. כמובן שזה תלוי במקדם השבירה של המים. אם המים יותר מלוחים מקדם השבירה גבוהה יותר ואז זווית הפתיחה של הקונוס תהיה קטנה יותר.



עד כ49 מעלות של זווית בין הקרן היוצאת מהמים לאנך, הקרן תצא ותישבר אבל מהזווית הזו ומעלה הקרן תחזור מפני המים לפי חוקי ההחזרה. זה נקרה החזרה פנימית מלאה.

תרגיל: כתבו את הביטוי המלא לזווית הקריטית, כתלות במקדמי השבירה של התווכים והסבירו מדוע החזרה פנימית מלאה מתרחשת רק במעבר מתווך בעל מקדם שבירה גבוה יותר לנמוך יותר.

פתרון: הפתרון מסתמך על כך שפונקציות סינוס מוגבלת עד 1.

נקרא החזרה פנימית **מלאה** כי כל האור מוחזר ולא רק חלקו. תמיד חלק מהאור מוחזר וחלק עובר אבל מעל הזווית הקריטית כל האור מוחזר.

מה קורה לפרופורציות בשולי ובמרכז חלון סנל?

הקשר לאקולוגיה- מה שנמצא בשולי החלון הוא מעוות.

ככל שמתקרבים לשול א2 האובייקטים יותר מכווצים ביחס למרכז.



ככל שמתקרבים לשולי החלון דברים מתכווצים אבל הם לוקחים חלק גדול יותר מהתמונה. לכן היד שלי בתמונה נראית ענקית כי היא הגדול רגיל אבל השאר מכווץ. לכן השולחן פיקניק בתמונה השניה נהיה ארוך ועגול. כי הוא לוקח חלק גדול מהתמונה.

תרגיל: מה רדיוס חלון סנל ביחס לעומק הצופה?

תשובה בשקופית 53

השלימו: ככל שהדג בעומק יותר רדוד חלון סנל שלו יותר _____.

שקופית 54

עדשת עין הדג- העדשה שבחלון הדלת. עדשה רחבה עם תמונה מעוותת. עכשה היוצאת תמונה פונורמית או תמונה כדורית. העדשה נקראת כך לא בגלל שהיא כמו עדשת העין של הדג כי זה מה שרואה הדג בגלל המים, עם חלון סנל.

שימוש נרחב שלהם- מטאורולוגיה. שצריך לצלם את כיפת השמים. עדשת כל- השמים. עוד שימושים:

- פלניטריום. דרך עדשה עין הדג מקרינים את השמים בכיפה בפלנטריום.
- סימולטורים של טיסה
- חורי הצצה בדלת

סיכום

מה למדנו?- אילו חוקים ועקרונות פיזיקלים למדנו?



- חוק ההחזרה של אור - אור מוחזר בזווית שווה לאור הפוגע. הזווית נמדדת ביחס לאנך למפג בין התווכים.
- באינטראקציה של אור עם חומר - מים, חלק מהאור מוחזר וחלק עובר ונשבר.
- אור כהה הוא עוצמתי פחות מאור בהיר
- מקדמי ההעברה וההחזרה תלויים בזווית הפגיעה של האור במים. ככל שהזווית גדולה יותר ביחס לאנך, ישנה השתקפות גדולה יותר. עד 40 מעלות עוצמת ההשתקפות נמוכה.
- כוח העילוי בתעופה
- קיטוב אור - מה זה ואיזה אור מקוטב או מקוטב חלקית יש בטבע.
- תופעת שבירת האור ועומק מדומה כתלות בזווית השבירה
- אופן פעולת עדשות מרכזות דקות
- מדוע רואים מטושטש במים ואיך ניתן להתגבר על כך
- חלון סנל ועדשת עין הדג
- החזרה פנימית מלאה

פעילות סיכום:

- ['ציאה לפעילות פיזיקטבע בטבע!](#)
- אם כבר יצאתם לפעילות, אפשר לסכם בעבודה מעמיקה יותר:
כל קבוצה קטנה בוחרת נושא, מצלמת תמונה בטבע שקשורה לתופעה וכותבת הסבר ופרזנטציה לכיתה על התופעה. הקבוצה גם כותבת שאלות ש"ב לכיתה על ההצגה. התלמידים יציגו לכיתה את תמונתם, ההסבר והשאלות ויקבלו ציון על פי [מחווון](#).