



## פרויקט 10

### פיתוח חומרי עזר למורה - מבוא למדעים - מתווה ודוגמאות יישום

### ליחידת לימוד ברוח דמות הבוגר עבור המורה לפיזיקה

#### שבירת אור

כותבים ומפתחים:

ד"ר אריאל אברשקין

ד"ר זהורית קאפח

יעוץ מדעי: פרופ' עידית ירושלמי ופרופ' ירון להבי



## תוכן

|         |                                                                            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| 3.....  | רציונל הפרויקט                                                             |
| 4.....  | מהלך הוראה - מבוא לפיזיקה: שבירה של האור                                   |
| 4.....  | מבט "על" המהלך - תחום תוכן                                                 |
| 6.....  | פירוט מהלך ההוראה והמיומנויות                                              |
| 6.....  | פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה                 |
| 7.....  | מידול תיאורטי: דיון בתופעת השבירה של האור                                  |
| 11..... | חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה?               |
| 11..... | סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי              |
| 12..... | יישום, הסבר תופעות מחי" היום-יום                                           |
| 13..... | סיכום המהלך                                                                |
| 16..... | חומרי עזר                                                                  |
| 16..... | הדגמת פתיחה: עומק מדומה, הנחיות לביצוע ההדגמה                              |
| 17..... | דף עבודה לתלמידים: כיצד ניתן להסביר את התצפית - בחינת השערות חילופיות      |
| 20..... | דוגמת תשובות לדף עבודה: כיצד ניתן להסביר את התצפית - בחינת השערות חילופיות |
| 24..... | תדריך לניסוי: תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה                              |
| 26..... | דוגמת תשובות לתדריך לניסוי: תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה – עבור המורה   |
| 35..... | דף עבודה לתלמידים: החזרה מלאה                                              |
| 36..... | דוגמת תשובות לדף עבודה: החזרה מלאה                                         |
| 37..... | דוגמאות לשאלות הערכה ודוגמת תשובות לשאלות                                  |
| 46..... | פעילות הרחבה: חוק סנל - לתלמידים                                           |
| 49..... | דוגמת תשובות לתדריך פעילות ההרחבה: חוק סנל – עבור המורה                    |

## רציונל הפרויקט

מטרת הפרויקט הנוכחי – פרויקט מספר 10 בתוכנית של מרכז המורים לפיזיקה 2021-2022, היא לפתח אוגדן חומרי עזר למורה, המתייחסים למספר היבטים של אוריינות מדעית. הפרויקט עוסק ב"שבירת האור", נושא מתוך "אופטיקה גיאומטרית" המהווה חלק מהיחידה "קרינה וחומר", המיועדת להילמד בכיתות י' בהיקף כולל של 1 י"ל (3 ש"ש), כמפורט בתוכנית הלימודים של "מבוא למדעים בהוראת הפיזיקה". האוגדן מכיל הצעה לרצף הוראה, המקדם היבטים של הגישה המדעית-אמפירית בנושא תכנון, ביצוע והערכת ניסוי מדעי ובניית מודל להסבר תופעה, וכן מיפוי של הפעילויות המוצעות לפי עקרונות המסמך: "מסמך מיומנויות דמות הבוגר/ת 2030".

הפדגוגיה העדכנית מדגישה את הבניית המיומנויות כחלק אינטגרלי ואף מרכזי בתהליכי הלמידה של התכנים המדעיים על פי תכנית הלימודים. עם זאת, רבים ממהלכי ההוראה המסורתיים הזמינים כיום אינם שמים דגש על פיתוח מיומנויות אורייניות, כגון התנסות בחקר עצמאי ופיתוח מיומנויות המתאימות לכך. לדוגמא, ברוב הכיתות פעילויות המעבדה הן בעלות אופי סגור ומונחה.

אילוצים שונים במסגרת "מבוא לפיזיקה" משפיעים גם הם על עיצוב מהלכי הוראה לאוכלוסיית התלמידים בכיתה י', שרבים מהם מצויים לפני ההחלטה באיזה מקצוע מדעי להרחיב את לימודיהם בחטיבה העליונה. בין האילוצים בהם יש להתחשב ניתן למנות הטרוגניות רבה בידע המתמטי של אוכלוסיית הלומדים, וכנגזר מכך קשיים בהמשגות מתמטיות שונות, וכן מחסור בשעות הוראה לנושאים הנלמדים במסגרת ה"מבוא לפיזיקה". עולה אם כן, הצורך בפיתוח מהלך הוראה אשר במסגרתו יילמד נושא המתאים לאוכלוסיית התלמידים ההטרוגנית של כיתות י', ושיאפשר להם להבנות מיומנויות למידה אורייניות ומדעיות בתחום הפיזיקה, שתסייענה להם גם להפוך ללומדים עצמאיים. מהלך ההוראה בתופעת שבירת האור המוצג באוגדן זה נועד לספק מענה לדגשים ואילוצים אלה.

### מקורות:

- [מבוא למדעים בהוראת הפיזיקה](#), אתר מפמ"ר הפיזיקה.
- [מסמך מיומנויות דמות הבוגר](#): אוריינות מדעית, טבלה 3
- תוכנית הלימודים "[אופטיקה גיאומטרית](#)".

תודה לצביקה רוזנפלד, לבורנט בתיכון אלון ברמה"ש, על הסיוע הטכני.

## מהלך הוראה - מבוא לפיזיקה: שבירה של האור

### מבט "על" המהלך - תחום תוכן

#### א. שלבי המהלך

#### I. פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה

#### II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור

- קישור בין תופעת העומק המדומה לבין שינוי מסלול האור כתוצאה ממעבר בין שתי סביבות שקופות שונות;
- בחינת השערות חלופיות למענה לשאלה היכן מתקיים שינוי מסלול האור;
- בניית שפה, המושגים החדשים: קרן עוברת, זווית שבירה, זווית סטייה;
- הצעת הסבר להתרחשות התופעה: שינוי מהירות האור - אנלוגיית הגלים<sup>1</sup>.

#### III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה?

- ניסוי העוסק במעבר של אור מאוויר לפרספקס ומפרספקס לאוויר;
- צפיה בתופעה "החזרה המלאה", מדידת הזווית הקריטית.

#### IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי

#### V. יישום, הסבר תופעות מחיי היום-יום

דיון בתופעות אופטיות הנובעות משבירה ומהחזרה מלאה, כגון נפצה ו"כביש רטוב".

#### VI. פעילות הרחבה (רשות): חוק סנל

### ב. המקום ברצף ההוראה ורציונל הפעילות

פרק השבירה הוא הפרק השלישי בתוכנית הלימודים. קדמו לפרק זה הפרקים:

**אור וראייה:** ראיית עצמים, אפיון האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים.

**החזרת אור:** חוקי ההחזרה, דמות במראה מישורית.

בפרקים אלה התלמידים בנו את היסודות של מודל הקרניים לתיאור מסלול האור, הכירו את חוקי ההחזרה, ובחנו דוגמאות לתופעות שניתן להסביר באמצעות מודל הקרניים, למשל: צל וצללית, דמות המתקבלת במראה מישורית.

כאמור, בחלק זה של האוגדן מוצע מהלך שלם לפרק השבירה.

המהלך המוצע כאן נפתח בתצפית על תופעה הנובעת משבירת האור, עומק מדומה, בחינה ביקורתית של חלופות לתיאורה ע"י מודל הקרניים ושאלת שאלות על התופעה. על מנת לזהות מה גורם לאור לבצע שינוי במסלולו, מוצע במהלך לעשות שימוש באנלוגיה בין ההתקדמות של האור כשהוא עובר מתווך שקוף אחד לאחר לבין התנועה של גלגלים במעברם ממשטח אחד למשטח אחר בעל מידת חיכוך שונה (ראו להלן "אנלוגיית

<sup>1</sup> מקורות: [בעברית](#), באנגלית, סרטון הסבר

הגלגלים"). כדרך של אנלוגיות, הן לא שלמות ולכן זו הזדמנות לבחון מה ניתן להסיק מהאנלוגיה ומה לא בנוגע לתופעת שבירת האור. במקרה זה מטרת האנלוגיה להתמקד בשינוי של מהירות האור כגורם לשבירה במסלולו. לאחר בניית השפה לתיאור תופעת השבירה של האור (זווית פגיעה, זווית שבירה, התקרבות או התרחקות מהאנך) התלמידים יעסקו באיסוף ממצאים אמפיריים על מנת להסיק מסקנות על הקשר בין זווית השבירה לזווית הפגיעה, שבמהלכו יחשפו וילמדו על תופעת ההחזרה המלאה. בחלק האחרון של המהלך התלמידים יישמו את העקרונות שנלמדו כדי להסביר מגוון תופעות מחיי היום-יום, כגון "עומק מדומה", שאיתה נפתח המהלך, ו"כביש רטוב".

המהלך כולל גם הצעה לשאלות הערכה של הידע והמיומנויות המקודמים במהלך. ניתן להסתפק במהלך שאינו כולל טיפול כמותי בחוק סנל בניסוחו הטריגונומטרי. הוויתור על החישוב הפורמלי של חוק סנל מאפשר:

- להוריד עומס קוגניטיבי שהינו מתמטי ברובו המוחלט (הגדרת פונקציית סינוס ושינוי נושא נוסחה במציאת גדלים מבוקשים בחוק סנל).
- לחסוך שעות כיתה הנדרשות להשלמת הרקע המתמטי הנדרש כדי לעשות שימוש נכון בנוסחת חוק סנל.

- עם זאת המהלך מאפשר לימוד מקיף של תופעת השבירה על מגוון היבטים, ובעיקר:
- להתמקד בהיבטים הפיזיקליים של התופעה ובפרט בהסבר המבוסס על שינוי מהירות האור במעבר בין תווכים.
  - לפרש ממצאי ניסוי ולהעניק להם משמעות בהסבר תופעות (כגון החזרה גמורה, שבירת אור במעבר בין אוויר ומים).
  - לנתח גרפים לא ליניאריים ולהסיק מהם מסקנות (מיומנויות ניתוח נתונים ואוריינות גרפית).
  - יצירת תשתית לבנייה של מהלך קרניים בעדשה (הפרק הבא בתו"ל).
- למעוניינים מוצעת גם פעילות תוספתית הכוללת למידה של חוק סנל.

מקורות לדוגמה לידע התיאורטי הנלמד במהלך הוראה זה:

- עדי רוזן, [קרינה וחומר – כרך א, אופטיקה גיאומטרית](#), פרק ג.
- פול ג' היואיט, [פיזיקה לכל- עקרונות מדע האנרגיה והחומר](#), הוצאת ברנקו-וייס, חלק ו סעיף 27.

## פירוט מהלך ההוראה והמיומנויות

### I. פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה

א. תצפית בתופעה.

צפיה ב**הדגמה** של עומק מדומה (מדבקה בתחתית כלי שהדפנות שלו אטומות לאור).

התלמידים יתארו במלים שלהם את התופעה בה צפו

ב. העלאת שאלות בעקבות הצפייה בהדגמה.

דוגמאות לשאלות שתלמידים יכולים להעלות: "למה לאחר הוספת המים ראינו את המדבקה?", "האם הצפייה

במדבקה תלויה בכמות המים?"

ג. דיון:

- האם מה שאנחנו רואים זו המדבקה?

התלמידים יכולים להציע מגוון של תשובות: החל מ"כן", דרך "אי אפשר לדעת" ועד לתשובה שאיתה

המורה יסכם את הדיון: לא, אנחנו רואים את הדמות של המדבקה.

- כיצד ניתן להסביר את זה שאנחנו צופים בדמות של המדבקה.

כאן ניתן להזכיר לתלמידים שכבר פגשנו תופעה בה צפינו בדמות: דמות במראה מישורית, שנוצרה

בעקבות שינוי מסלול האור בגלל החזרה שלו מהמראה.

ניתן לבקש מהתלמידים לשרטט מהלך אור שמתאים כדי להסביר את הצפייה בדמות המדבקה.

לחילופין, או בנוסף, ניתן להיעזר ב**פעילות להערכת השערות חלופיות**. לא חובה לדון בכל החלופות

המוצעות בפעילות. כמו כן ניתן לחלק את הכיתה לקבוצות, לכל קבוצה לחלק השערה שגויה אחרת

(תרשימים 1, 2, 4, 5) ואת ההשערה הנכונה (תרשים 3), במליאה כל קבוצה תציג את התשובה

שלה להשערה השגויה שקיבלה.

פעילות הערכה של השערות חלופיות מספקת הזדמנות לתלמידים להיחשף לפן מסוים באופן שבו

נבנה ידע במדע: הצעת מגוון הסברים אפשריים לתופעה ובחינתם באמצעות מודלים קיים/קיימים.

במקרה שלנו בחינת הסברים אפשריים לתופעת ה"עומק המדומה" באמצעות מודל הקרניים.

- סיכום: בגלל שינוי מסלול האור, המקום בו תיראה לנו המדבקה אינו המקום בו היא נמצאת.

ד. מידול תיאורטי – במה מתמקדים?

**מיקוד** בשתי שאלות אותן המורה יציג לתלמידים (יתכן והשאלות יעלו על ידי התלמידים):

1: היכן משתנה כיוון ההתקדמות של אלומת האור?

2: מה יכול לגרום לכך שהאור שינה את מסלול ההתקדמות שלו?

יכולות הליבה והמרכיבים שלהן שחלק זה במהלך מקדם:

• יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:

2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות

2.2 לזהות בעיות או כשלים בהסברים מדעיים, באופן חלקי

2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות

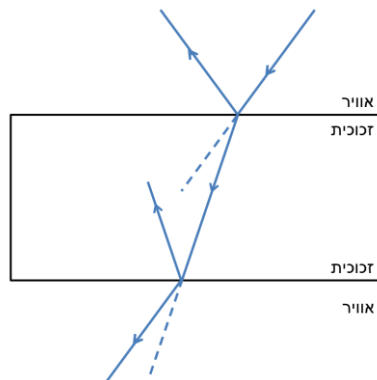
חלק זה מקדם גם:

- חקר מדעי של תופעה: תצפית וניסוח התיאור העולה ממנה במלים פשוטות ואחר כך בעזרת מושגים ברי מדידה (כגון זווית), ניסוח שאלות מסקרנות העולות מהתצפית, ניסוח השערות לגבי תשובות אפשריות לשאלות אלה.
- את המיומנות "שאלית שאלות" שאינה מפורטת במסמך דמות הבוגר.  
שאלית שאלות היא תכונה או נטייה אנושית שבמרכזה הרצון לדעת ולהבין את עצמנו ואת העולם (מדינת ישראל משרד החינוך, 2010). למיומנות היכולת למקד את הלמידה ולהניע את בניית הידע, תוך קישור הרעיונות החדשים לידיע קודם; לעודד דיון ושיח ולפיכך לפתח איכות שיח ודיון בכיתה; לעזור בביצוע הערכה עצמית של ההבנה; ולהעלות מוטיבציה ועניין ע"י עירור סקרנות. בתוך כך עוזרת למורה לאבחן את ההבנה והחשיבה של הלומדים במהלך הלמידה; להעריך יכולות חשיבה גבוהות; לעורר חקר-פתוח מעבר למה שנלמד; לעורר משוב ביקורתי על הלמידה.

## II. מידול תיאורטי: דיון בתופעת השבירה של האור

א. היכן משתנה כיוון ההתקדמות של אלומת האור?

- העלאת תשובות אפשריות לשאלה. דוגמאות: זה קורה בהדרגה בתוך המים; זה קורה במעבר מהמים לאוויר. חשוב לשאול את התלמידים: "כיצד אתם מציעים לבדוק את ההצעות שהעליתם?"
- תצפית: אלומת אור צרה העוברת בין מים לאוויר, או אלומת אור צרה העוברת בין מנסרה מלבנית ואוויר. באופן איכותי, החל מזווית כניסה 0 ועד כ-80 מעלות. את התצפית נתעד ע"י תרשים כדוגמת התרשים הבא:



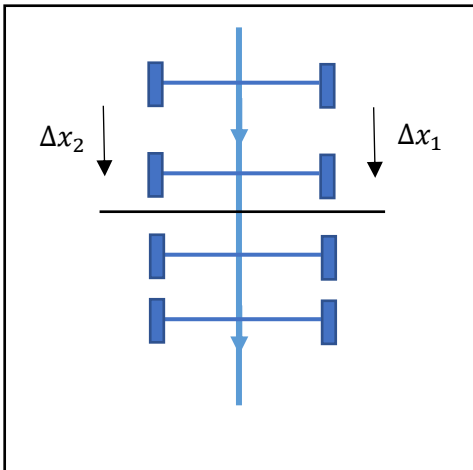
- מסקנות: בתווך אחיד האור מתקדם בקו ישר; שינוי מסלול האור מתקיים במעבר מתווך אחד לאחר; במעבר מקבלת גם החזרה חלקית של האור.
- רפלקציה לאחר הצפייה בהדגמה: מהם מאפייני המערכת שעזרו לנו בהדגמה לענות על השאלה: היכן משתנה כיוון ההתקדמות של האור.
- דוגמאות: הרוחב של המנסרה עוזר לנו לראות את השינוי במסלול האור גם בכניסה וגם ביציאה; יכולנו לראות את הקרן בתוך המנסרה (מה שלא בטוח שרואים במים).

ב. מה גורם לאור לשנות את מסלול ההתקדמות שלו כאשר הוא עובר מתווך שקוף לאחר?

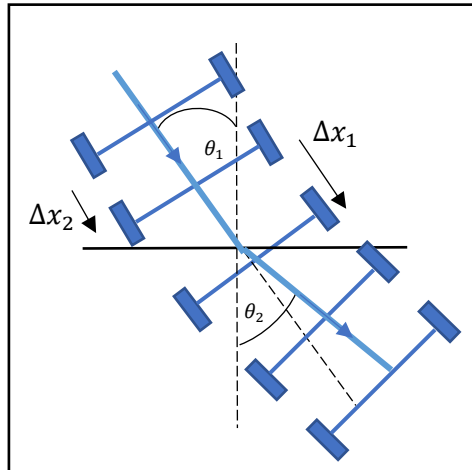
- נבקש מהתלמידים להציע תשובה לשאלה. בד"כ התשובה הנפוצה שעולה מהתלמידים היא הצפיפות של החומר. על הצעה זו ניתן לשאול, למה גורמת צפיפות החומר? התשובה הנפוצה על כך היא שהצפיפות משפיעה על המהירות של האור.

- האם וכיצד גורם השינוי במהירות של האור לשינוי המסלול שלו?  
כדי לענות על השאלה אנחנו מציעים להיעזר באנלוגיה - תופעה של שבירת מסלול ההתקדמות בהקשר אחר המוכר מחיי היום יום: תנועה של גלגלים המחוברים בציר, שעוברים ממשטח אחד לאחר (אנלוגיית הגלגלים<sup>2</sup>).

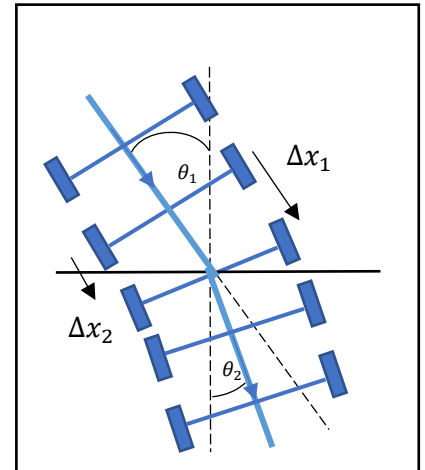
נניח שלרשותנו זוג גלגלים המחוברים בציר. בנוסף לרשותנו מישור נטוי המורכב משני משטחים רציפים. חלקו העליון שיש וחלקו התחתון חול. נשחרר את הגלגלים מראש המשטח בכיוון המתואר באיור (1). כל זמן שהגלגלים ינועו בשיש, באותו פרק זמן הם יתקדמו את אותו המרחק. אלא שהגלגל השמאלי יגיע ראשון לחול, ובו הוא ינוע לאט יותר מהגלגל הימני שעדיין נע על השיש. כתוצאה, כל זמן שהם נעים במשטח שונה, תתקבל הטיה של הציר המחבר בין הגלגלים כמוראה באיור (1). מהרגע שגם הגלגל הימני יעבור לחול שני הגלגלים ינועו במהירות זהה ויעברו מרחקים שווים, כך שהציר המחבר ביניהם יישאר באותה הטייה.



איור (3)



איור (2)



איור (1)

באיור (2) מוצג המצב ההפוך, בו הגלגלים עוברים מחול לשיש.  
באיור (3) מוצג מצב בו הציר המחבר את הגלגלים מקביל לקו המפריד בין המשטחים. במקרה זה הם עוברים יחדיו למשטח האחר (לא משנה אם משיש לחול, או מחול לשיש).  
בכל האיורים הקווים הכחולים עם החיצים מתארים את מסלול ההתקדמות של נקודת מרכז ציר הגלגלים. שלושת האיורים דומים לאיור שמתעד את ההדגמה של מעבר האור בין אוויר לזכוכית. דומה אך לא זהה.

**הדומה:** בשימוש באנלוגיה זו ניתן לראות כי כאשר מהירות האור קטנה במעבר בין התווכים, מסלול האור (הקרן הנשברת) יתקרב לאנך, כלומר זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה; כאשר מהירות האור

<sup>2</sup> עמ' 498 בקבץ שנפתח בקישור.



גדלה במעבר בין התווכים, מסלול האור (הקרן הנשברת) מתרחק מהאנך; וכאשר זווית הפגיעה אפס אין שינוי במסלול ההתקדמות של האור.

**השונה:** באנלוגיית הגלגלים אין החזרה חלקית; לקרן האור אין רוחב ואילו לצמד הגלגלים יש ציר המחבר ביניהם שבלעדיו הם לא היו סוטים ממסלולם.

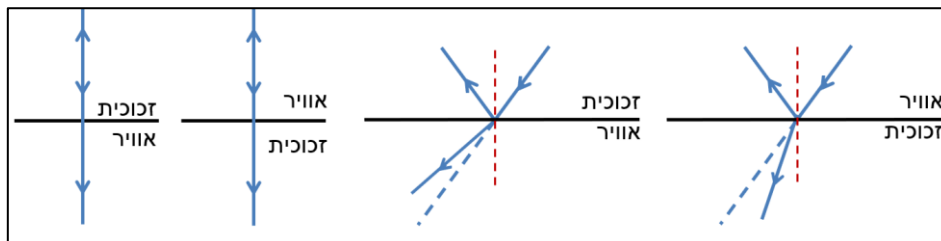
על אף המודעות לכך שבאנלוגיה יש אלמנטים השונים במהותם מאלה שבתופעה הנצפית, השימוש בה הוא דרך פעולה מקובלת בניסיון להסביר תופעה מדעית. למשל עבור תופעת השבירה: (1) לחפש תופעה דומה של שבירה בהקשרים אחרים (כגון תנועה של חלקיקי חומר) (2) למצוא בהקשרים אלה את הגורמים לשבירה (3) לשער כי התנהגותו של האור מושפעת גם היא מגורמים אלה. (4) - ביסוס ההשערה, יתבצע באם ימצא מודל מתאים לתיאור של אור, אשר יכלול את הגורמים הנ"ל ואת השפעותיהם<sup>3</sup>.

בכיתת מבואות נעצור בשלב (3), אין לנו את הכלים לבצע את שלב (4). כמו כן נדגיש: לא מצאנו כאן הסבר לשבירת אור. בסך הכל ראינו שאם אור מתקדם במרחב בדומה לצמד גלגלים, ואם מהירותו נקבעת בהתאם לסוג התווך, אז אמורה להתקיים תופעת שבירה. כדי להשלים מודל כזה לתופעת השבירה באור, כלומר ליצור תקפות לשימוש באנלוגיית הגלגלים, יש להסביר באיזה מובן אור "מתנהג" כמו צמד גלגלים, ומדוע; וכן למצוא מהם הגורמים בתווך המשפיעים על מהירות התקדמות האור.

ג. מהם הגדלים הפיזיקליים המאפיינים שבירה?

(1) בניית השפה:

- הגדרות קרן שבירה, זווית שבירה, זווית הסטייה.
- תיאור במילים של מסלולי האור: "מתקרב לאנך", "מתרחק מהאנך".
- הצגת תרשימים מתאימים (ניתן לצייר את ההדגמות שהוצגו קודם): לזווית פגיעה בת  $0^\circ$  ולזווית פגיעה הגדולה מ- $0^\circ$ , למעבר מאוויר למים/זכוכית ולמעבר ממים/זכוכית לאוויר. לדוגמה:



(2) זיהוי קשרים אפשריים בין הגדלים הפיזיקליים ופרמטרים נוספים (כגון מהירות האור).

- תיאור איכותי של הגורמים שבהם יכול להיות תלוי הגודל של זווית השבירה.
- טענה (1): הגודל של זווית השבירה תלוי בגודל של זווית הפגיעה. כיצד? ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה תגדל. את הטענה ניתן להצדיק ע"י ההדגמה של מעבר אור בין אוויר למנסרה.
- טענה (2): הגודל של זווית השבירה תלוי במידת השינוי של המהירות של האור במעברו לסביבה השקופה השנייה. כיצד? ככל שההבדל בין המהירויות של האור גדול יותר, כך הסטייה שלו

<sup>3</sup> מודל כזה הוא מודל הגלים האלקטרומגנטיים, שהינו מעבר לנלמד במבואות לפיזיקה.

ממסלול גדולה יותר. את הטענה ניתן להצדיק ע"י אנלוגיית הגלגלים (בכפוף למגבלות של אנלוגיה זו לתיאור שבירה באור, כפי שנדונו קודם לכן) באופן הבא:

- אם לא יהיה הבדל במהירות בין שני הגלגלים לא תהיה סטייה במסלול של הגלגלים.
- אם יהיה הבדל קטן במהירויות, הגלגלים יעברו מרחקים יחסית דומים בכל אחד מהמשטחים, וזווית הסטייה מהמסלול המקורי תהיה קטנה יחסית.
- אם יהיה הבדל גדול במהירות, ההבדלים במרחקים שהגלגלים יעברו יהיו גדולים יחסית, וזווית הסטייה מהמסלול המקורי תשתנה במידה רבה.

|                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>בזמן <math>\Delta t</math> מסוים, גלגל 1 עובר מרחק <math>\Delta x_1</math> וגלגל 2 עובר מרחק <math>\Delta x_2</math>. מתקיים: <math>\Delta x_1 \gg \Delta x_2</math>. במידה רבה מפני שמהירויות הגלגלים שונות במידה רבה זו מזו.</p> | <p>בזמן <math>\Delta t</math> מסוים, גלגל 1 עובר מרחק <math>\Delta x_1</math> וגלגל 2 עובר מרחק <math>\Delta x_2</math>. מתקיים: <math>\Delta x_1 &gt; \Delta x_2</math>. במידה מועטה מפני שמהירויות הגלגלים קרובות זו לזו.</p> | <p>בזמן <math>\Delta t</math> מסוים, גלגל 1 עובר מרחק <math>\Delta x_1</math> וגלגל 2 עובר מרחק <math>\Delta x_2</math>. מתקיים: <math>\Delta x_1 = \Delta x_2</math> מפני שמהירויות הגלגלים שוות.</p> |
| <p>זווית סטייה גדולה</p>                                                                                                                                                                                                              | <p>זווית סטייה קטנה</p>                                                                                                                                                                                                         | <p>זווית סטייה 0</p>                                                                                                                                                                                   |

הערה: את טענה 1 הצענו להצדיק בדרך אמפירית, ע"י הדגמה. הבעיה עם הצדקה מסוג זה – היא שמה שהדגמנו נכון לסביבות שאיתן הדגמנו בלבד. להשערה כי הטענה נכונה למעבר אור בין כל שתי סביבות אין כאן הצדקה המבוססת על חוקי טבע; על כן יש לבדוק אותה עבור כל זוג חומרים בנפרד, ולראות האם היא מתקיימת או לא. את טענה 2 הצדקנו באמצעות אנלוגיה, על אף חסרונותיה שהוצגו לעיל. התבססנו על אינטואיציה שאינה בהכרח מוצדקת תאורטית, כלומר אינה מסתמכת על חוקי טבע ידועים. שני אלה הם שלבים בחשיבה מדעית, המספקים אפשרות להרחיב את החקר ובמידת הצורך לתקן / לעדכן ולבסס את המודלים הזמניים (למשל בבניית מודל המבוסס על חוקי טבע הקשורים לאור).

יכולות הליבה והמרכיבים שלהן שחלק זה במהלך מקדם:

- יכולת ליבה מספר 1: התמצאות מדעית. המרכיבים:
  - 1.2 להכיר מאפיינים של הסברים מדעיים, באופן חלקי
  - 1.3 הכרת מאפיינים של מחקר מדעי (בדרכי ההצדקה של תלות זווית השבירה בגורמים שונים), באופן חלקי.
- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:
  - 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות
  - 2.3 להשתמש בידע מדעי בהקשרים מגוונים (שבירת אור, שינוי מסלול של גוף – אנלוגית הגלגלים)
  - 2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות
  - 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם
- יכולת ליבה מספר 3: תכנון, ביצוע והערכת מחקר. המרכיב:
  - 3.3 לזהות מגבלות מחקריות, באופן חלקי

### III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה?

- א. סיכום המידע האיכותי: מוטיבציה לביצוע ניסוי.
 

ראינו שככל שזווית הפגיעה גדלה, גם זווית השבירה גדלה. האם (בדומה לחוקי ההחזרה) היחס ביניהן קבוע?
- ב. ביצוע ניסוי: מדידת זווית השבירה עבור מספר זוויות פגיעה במעבר אור מאוויר לפרספקס ומפרספקס לאוויר; צפייה והיכרות עם התופעה "החזרה פנימית מלאה" ומדידת זווית קריטית; הצגת המדידות ע"י טבלאות וגרפים; הסקת מסקנות, יישומן במעבר האור בין מים ואוויר, והכללה שלהן. הניסוי מתבצע עם המערכת המוכרת של ניסוי חוק סנל.
 

דוגמה לתדריך. (ראו תמונות בהמשך).

בהמשך מובאים מיפויים של יכולות הליבה ומרכיביהן במשימות התדריך המוצע ובתדריך המסורתי.

### IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי

- א. הסבר לתופעת ההחזרה המלאה: כיצד ניתן להיעזר בממצא לפיו ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה גדלה על מנת להסביר:
  - (1) מדוע החזרה מלאה התקבלה רק במעבר מהפרספקס לאוויר (ולא מהאוויר לפרספקס).
  - (2) מדוע החזרה מלאה התקבלה החל מערך מסוים של זווית פגיעה.

ניתן להיעזר בדף העבודה.
- ב. סיכום ורפלקציה על המהלך שבוצע:

- **מה למדנו בתחום התוכן:** שבירת אור ותיאורה; הצעת הסבר אפשרי לתופעה באמצעות אנלוגיה לתופעת שבירה מחיי היום-יום, בהקשר אחר; קשר בין זווית השבירה וזווית הפגיעה; החזרה פנימית מלאה והסבר לה.
- **מה למדנו בתהליך החקר:** שאלת שאלות מדעיות, בחינה אמפירית של התופעה: תצפית, מידול, ניסוי מבוקר, ניבוי וחוזר חלילה, מידול כולל פירוק בעיה מורכבת לתת בעיות, בחינה של מערך ניסויי למתן מענה לשאלה וזיהוי מגבלות אפשריות בו (כגון התרחבות אלומת האור ליד החזויות הקריטיות).
- **מה ניתן להסיק מהחקר האמפירי:** האם הניסוי עונה לשאלת התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה? האם מהניסוי ניתן להסיק לגבי התלות של זווית השבירה בפרמטרים נוספים? - הניסוי נותן מענה לתלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה במעבר בין הסביבות אוויר ופרספקס. אינו נותן מענה למעבר בין סביבות אחרות.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| יכולות הליבה והמרכיבים שלהן שחלק זה במהלך מקדם:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• יכולת ליבה מספר 1: התמצאות מדעית. המרכיב: <ul style="list-style-type: none"> <li>1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי</li> </ul> </li> <li>• יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות</li> <li>2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות</li> <li>2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם</li> </ul> </li> <li>• יכולת ליבה מספר 4: פרשנות מדעית של נתונים וראיות. המרכיב: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.4 ניתוח תוצאות, פירוש ממצאים והסקת מסקנות המבוססות עליהם</li> </ul> </li> </ul> |

## V. יישום, הסבר תופעות מחיי היום-יום

חלק זה עוסק בהסבר של התופעות הבאות באמצעות שבירת אור ומידע רלוונטי נוסף אם נדרש (למשל השינוי במהירות האור באוויר בטמפרטורות שונות). דוגמאות לתופעות: עומק מדומה - התופעה שאיתה פתחנו את הפרק וסרגל עקום; נפיעה; "כביש רטוב"; סיב אופטי. ניתן לבצע פעילות עם התלמידים: כל קבוצה תתמקד באחת התופעות, תחפש מידע רלוונטי על מנת להציג בכיתה הסבר לתופעה.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| יכולות הליבה והמרכיבים שלהן שחלק זה במהלך מקדם:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות</li> <li>2.3 להשתמש בידע מדעי בהקשרים מגוונים</li> <li>2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות, באופן חלקי</li> <li>2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם</li> </ul> </li> </ul> |

## VI. פעילות הרחבה: חוק סנל

למורים המעוניינים, מוצעת פעילות בעזרתה התלמידים והתלמידות יכירו את חוק סנל. פעילות זו נוספת על הפעילות הניסויית, ואינה מחליפה אותה.

בפעילות התלמידים והתלמידות יעבדו עם הדמיה, ויבצעו מדידות של המיתרים שמול זוויות הפגיעה והשבירה; יציגו את הממצאים בטבלאות ובגרפים; יעמדו על הדומה והשונה בין התבניות של הממצאים שנאספו בפעילות זו ובפעילות המעבדתית (המיתרים לעומת הזוויות); יעמדו על הדומה והשונה בעבודה עם מערכת אמיתית ובעבודה עם ההדמיה; ויכירו את חוק סנל בצורתו הטריגונומטרית.

יכולות הליבה והמרכיבים שלהן שחלק זה במהלך מקדם:

- יכולת ליבה מספר 1: התמצאות מדעית. המרכיבים:  
1.3 הכרת מאפיינים של מחקר מדעי
- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:  
2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות  
2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם
- יכולת ליבה מספר 3: תכנון, ביצוע והערכת מחקר. המרכיב:  
3.3 לזהות מגבלות מחקריות
- יכולת ליבה מספר 4: פרשנות מדעית של נתונים וראיות. המרכיב:  
4.4 ניתוח תוצאות, פירוש ממצאים והסקת מסקנות המבוססות עליהם  
4.7 שימוש בכלי נתונים בסיסיים לניתוח תוצאות

## סיכום המהלך

במהלך חמישה שלבים מרכזיים. **שלב ראשון** של הצגת תופעת השבירה באמצעות "קסם" העומק המדומה. התופעה מעוררת שאלות אצל התלמידים וקישור לתופעת הדמות במראה מישורית, לפיו הצפייה היא בדמות כתוצאה משינוי מסלול אור. התופעה והקישור לידע שנלמד קודם מעורר את המוטיבציה לדון בסיבה לשינוי במסלול האור. **שלב שני** נועד לבנות שפה על מנת לתאר את תופעת השבירה באופן איכותי, וכן להציע לה הסבר ע"י אנלוגיה לתופעה מוכרת מחיי היום-יום (מעבר גלגלים ממשטח אחד לאחר) ובכך להצדיק את הקשר האפשרי של השבירה לשינוי במהירות האור בתווכים שונים. **בשלב השלישי** התלמידים עוסקים בחקירה אמפירית של התלות של זווית הפגיעה בזווית השבירה כאשר האור עובר בין אוויר לפרספקס, ועיסוק בתופעת ההחזרה הפנימית המלאה. **שלב רביעי** נועד לסכם את הממצאים האמפיריים, וסיכום ידע התוכן שנרכש והמיומנויות שנרכשו. **השלב החמישי** הוא שלב היישום של הידע שנלמד כדי ללמוד על תופעות שבירה נוספות מחיי היום-יום וכיצד ניתן להסביר אותן באמצעות עקרונות השבירה שנלמדו. למהלך נוסף **שלב שישי**, שהוא רשות, העוסק בחוק סנל בצורתו הטריגונומטרית.

המהלך מבוסס על מעורבות של התלמידים, ע"י הצפת תפישות, בחינת הסברים חלופיים, ביצוע ניסוי הלכה למעשה (הכולל שאלות רפלקטיביות הנוגעות למערכת הניסוי והתאמתה לחקירת השבירה, כמו גם הסקת מסקנות מהנתונים שהתקבלו), ולבסוף אפשרות של למידה עצמית, לימוד עמיתים ולמידה מעמיתים.

המהלך מדגיש אספקטים של חקר אמפירי, פרשנות נתונים והסקת מסקנות מהם, מידול, ובניית הסברים לתיאור של תופעות וכן החצנת ופיתוח מגוון רחב של מיומנויות אוריינות מדעית, כפי שמנוסחות במסמך "דמות הבוגרת והבוגר".

| יכולת ליבה             | מרכיבים                                                                                                      | חלק המהלך שמקדם את המרכיבים                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. התמצאות מדעית       | 1.1 הבחנה בין שאלות מדעיות ולא מדעיות                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | 1.2 להכיר מאפיינים של הסברים מדעיים                                                                          | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור – באופן חלקי                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                        | 1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי                                                                              | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור – באופן חלקי<br>III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה.                                                                                                                      |
|                        | 1.4 להעריך דיווחים במדיה הנסמכים על נתונים אמפיריים                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | 1.5 להבין היבטים אתיים של ניסויים                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2. הסבר מדעי של תופעות | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                                                                  | I. פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה<br>II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור<br>III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי<br>V. יישום, הסבר תופעות מחי' היום-יום                                                                                                                  |
|                        | 2.2 לזהות בעיות או כשלים בהסברים מדעיים                                                                      | I. פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה – באופן חלקי                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                        | 2.3 להשתמש בידע מדעי בהקשרים מגוונים                                                                         | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור<br>V. יישום, הסבר תופעות מחי' היום-יום                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                        | 2.4 לחבר בין רעיונות בתחומי המדעים השונים ובניהם לתחומים אחרים להסבר וחיזוי של תופעות ולפתרון סוגיות מורכבות |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | 2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות                                                               | I. פתיחה: צפיה בתופעה אופטית הנובעת משבירה של אור: עומק מדומה<br>II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור<br>III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה – באופן חלקי<br>IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי<br>V. יישום, הסבר תופעות מחי' היום-יום – באופן חלקי<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה. |
|                        | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                                                        | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור<br>III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי<br>V. יישום, הסבר תופעות מחי' היום-יום<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה.                                                                                            |



| יכולת ליבה                       | מרכיבים                                                                        | חלק המהלך שמקדם את המרכיבים                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.1 העלאת שאלות מחקר ותכנון מערך מחקר                                          | III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה – באופן חלקי                                                                                                                                                |
|                                  | 3.2 לזהות ולהעריך ניסויים מדעיים                                               | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור                                                                                                                                                                                      |
|                                  | 3.3 לזהות מגבלות מחקריות                                                       | II. מידול תיאורטי: תופעת השבירה של האור – באופן חלקי<br>III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה.              |
|                                  | 3.4 להכיר ולהעריך שיטות להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של הסברים          | III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה – באופן חלקי                                                                                                                                                |
|                                  | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו                    | III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה                                                                                                                                                             |
| 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.1 להעריך ראיות וטיעונים ממקורות שונים                                        |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                  | 4.2 לזהות את ההנחות, ההטיות, הראיות והמסקנות המוצגות במחקרים                   |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                  | 4.3 להבחין בין טיעונים המבוססים על ראיות ותיאוריות מדעיות לבין כאלה שאינם      |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                  | 4.4 לנתח תוצאות                                                                | III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>IV. סיכום הפעילות הניסויית, הקשר בין ההסבר התיאורטי לממצאי הניסוי<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה. |
|                                  | 4.5 להשתמש בחשיבה הסתברותית                                                    |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                  | 4.6 לזהות את ההשלכות האפשריות של ידע מדעי על סוגיות חברתיות, סביבתיות ומוסריות |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                  | 4.7 שימוש בכלי נתונים בסיסיים לניתוח תוצאות                                    | III. חקר אמפירי כמותי, כיצד תלוי גודל זווית השבירה בזווית הפגיעה<br>VI. (רשות) היכרות עם חוק סנל על ידי חקר הדמיה, והשוואת חקר זה לניסוי אמפירי במעבדה.                                                                      |

## חומרי עזר

### הדגמת פתיחה: עומק מדומה, הנחיות לביצוע ההדגמה

#### קישור לסרטון

#### שלב 1: הכנה לפני השיעור

- כלי עם דפנת האטומות לאור (למשל סיר), בתחתיתו תודבק מדבקה קטנה (כדאי צבעונית).
- קנקן עם מים.



#### שלב 2:

הכלי הנ"ל יונח על שולחן אופקי.

נזמין את התלמידים/ות לעמוד סביב השולחן שעליו מונח הסיר הנ"ל. נבקש מהתלמידים/ות להביט אל מדבקה הקבועה בתחתית הסיר.



#### שלב 3:

התלמידים/ות יתרחקו לאט לאט מהסיר ויעצרו ברגע הראשון שבו הם/ן לא רואים/ות את המדבקה, כי דופן הסיר מסתירה אותה.



#### שלב 4:

נוסיף בהדרגה מים לתוך הסיר. התלמידים/ות ימשיכו לצפות בסיר.



#### שלב 5:

נשאל את התלמידים: האם אנחנו צופים במדבקה? אם כן – אז למה לא ראינו אותה לפני הוספת המים?, אם לא – אז במה אנחנו כן צופים?



## דף עבודה לתלמידים: כיצד ניתן להסביר את התצפית - בחינת השערות חילופיות

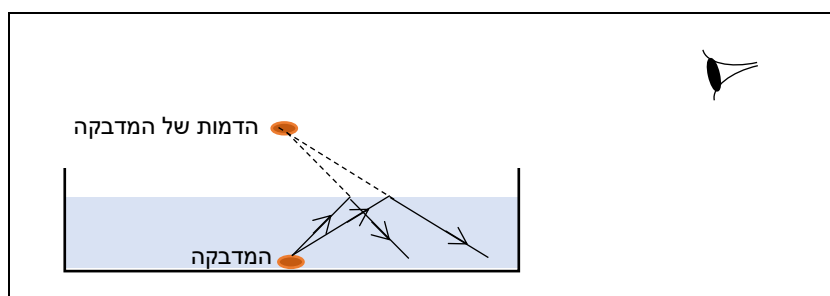
שמות חברי הקבוצה:

### כיצד ניתן להסביר את זה שאנחנו צופים בדמות של המדבקה

#### בחינת השערות חלופיות

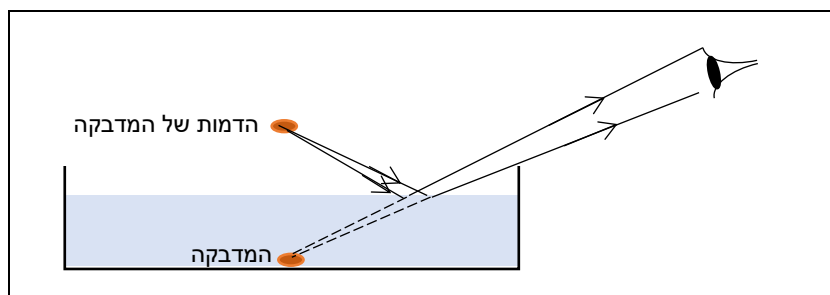
לפניכם שלושה תרשימים שונים של מהלך אור, שהוצעו ע"י תלמידים במטרה לענות על השאלה: כיצד ניתן להסביר את זה שאנחנו צופים בדמות של המדבקה.  
עבור כל תרשים בנפרד קבעו האם מתאר נכון את ההסבר המבוקש ונמקו קביעתכם.

#### תרשים מספר 1



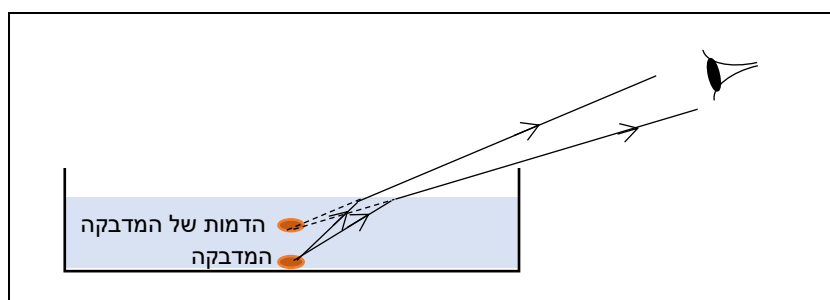
האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

#### תרשים מספר 2



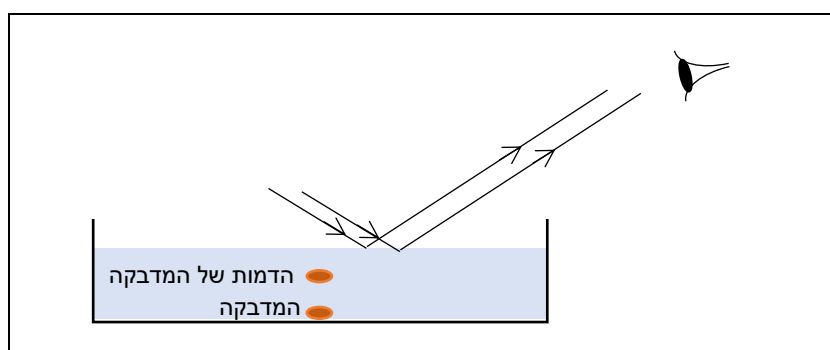
האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

### תרשים מספר 3



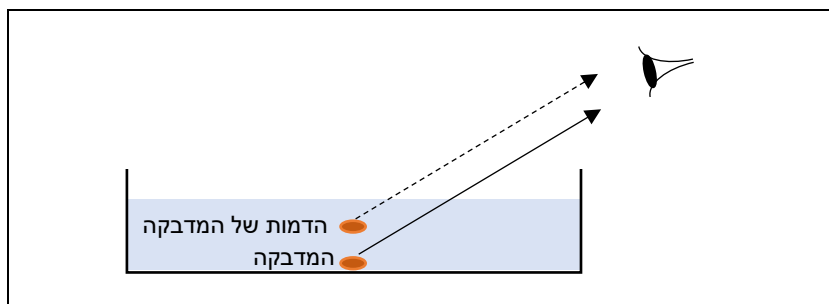
האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

### תרשים מספר 4



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

## תרשים מספר 5



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

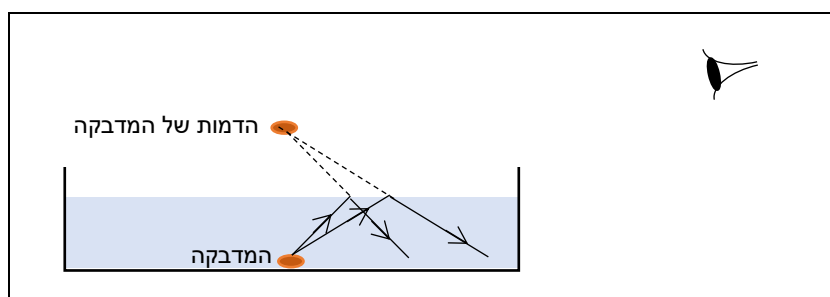
דוגמת תשובות לדף עבודה: כיצד ניתן להסביר את התצפית - בחינת השערות חלופיות

### כיצד ניתן להסביר את זה שאנחנו צופים בדמות של המדבקה

#### בחינת השערות חלופיות

לפניכם שלושה תרשימים שונים של מהלך אור, שהוצעו ע"י תלמידים במטרה לענות על השאלה: כיצד ניתן להסביר את זה שאנחנו צופים בדמות של המדבקה.  
עבור כל תרשים בנפרד קבעו האם מתאר נכון את ההסבר המבוקש ונמקו קביעתכם.

#### תרשים מספר 1



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

התרשים אינו מתאים להסבר כיצד אנחנו צופים בדמות של המדבקה:

קיימות בו מספר שגיאות:

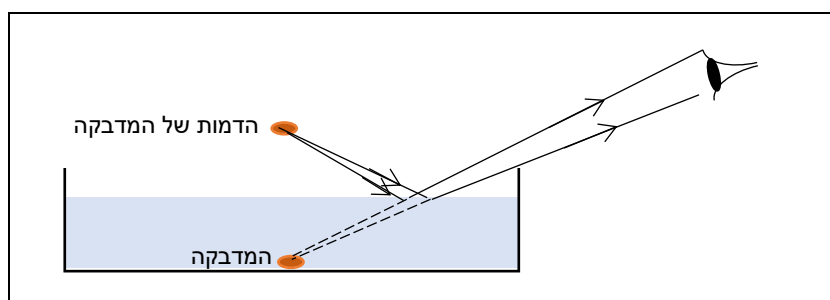
1. **אי התאמה לידע קודם – תנאים לראייה:** הקרניים המתוארות בתרשים אינן מגיעות לעין, בעוד שתנאי בסיסי לראיית עצם מסוים הוא שקרני אור יגיעו מהעצם לעין (גם במידה והן נעות במסלול מורכב, למשל ממוחזרות ממראה). הקרניים בתרשים מוחזרות מפני המים ולא ממשיכות באוויר. אמנם מפגש ההמשכים הדמיוניים של הקרניים הוא דמות מדומה הנובעת מהחזרת אור, אך זאת עבור צופה שימוקם בתוך הכלי, מתחת למים, כך שהקרניים המוחזרות מפני המים יגיעו אליו.
2. **אי התאמה לתצפית:** דמות המדבקה על פי ההסבר נמצאת בבירור מעל פני המים, בעוד שבתופעה הנצפית היא מתחת לפני המים.

**הערה:** בהסבר קיימת אי ודאות נוספת, הנוגעת לשאלה האם פני המים מתפקדים כמראה, כלומר מחזירים תמיד כמות משמעותית של אור. זו אמנם לא השגיאה בהסבר, אך כיוון שמהלך הקרניים מבוסס על הנחה זו, יש להתייחס אליה ולבחון אותה, כאשר זהו ההסבר המוצע לתופעה.

הערות דידקטיות:

1. מדוע ניתן לחשוב על תרשים זה כפתרון:  
מפני שמתוארת כאן יצירת דמות באופן שמוכר לתלמידים (החזרה). תלמידים עשויים ליישם את המוכר להם מבלי לבחון את הסיטואציה ואת ההתאמה לתופעה.
2. בניגוד להשערה השלישית, כאן מהלך הקרניים אכן מתאים ליצירת דמות, אך לא זו הנצפית על ידי העין מבחוץ. ניתן לדון בכך עם התלמידים – האם דמות נראית מכל מקום, ולקשר לתנאים לראייה.

## תרשים מספר 2



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

התרשים אינו מתאים להסבר כיצד אנו צופים בדמות של המדבקה:

קיימות בו מספר שגיאות:

1. **אי התאמה לידע קודם – החזרת אור:** הקרניים המתוארות בתרשים יוצאות מהדמות והמשכיהן המדומים נחתכים בעצם.

2. **אי התאמה לתצפית:** דמות המדבקה על פי ההסבר נמצאת בבירור מעל פני המים, בעוד שבתופעה הנצפית היא מתחת לפני המים.

הערה: בהסבר קיימת אי ודאות נוספת, הנוגעת לשאלה האם פני המים מתפקדים כמראה, כלומר מחזירים תמיד כמות משמעותית של אור. זו אמנם לא השגיאה בהסבר, אך כיוון שמהלך הקרניים מבוסס על הנחה זו, יש להתייחס אליה ולבחון אותה, כאשר זהו ההסבר המוצע לתופעה.

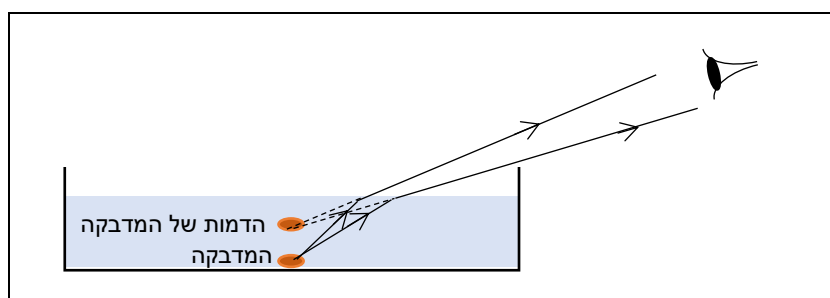
הערות דידקטיות:

1. מדוע ניתן לחשוב על תרשים זה כפתרון:

מפני שמתוארת כאן יצירת דמות באופן שמוכר לתלמידים (החזרה). תלמידים עשויים ליישם את המוכר להם מבלי לבחון את הסיטואציה ואת פרטי התרשים (מקור הקרניים הוא הדמות).

2. בניגוד להשערה הראשונה, כאן מהלך הקרניים אינו מתאים ליצירת דמות, על אף שעל פניו, מהלך הקרניים דומה לזה בהשערה הראשונה. ניתן לעמוד על ההבדל ביניהם בעת הדיון עם התלמידים.

## תרשים מספר 3



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

התרשים מתאים כהסבר אפשרי לתופעה.

1. **מהלך הקרניים מתאים ליצירת דמות מדומה:** הדמות נוצרת בנקודת המפגש של המשכים הדמיוניים של הקרניים המגיעות לעין. מסלול קרני האור אינו קווים ישרים ועל כן הדמות נצפית במקום שונה מהעצם.

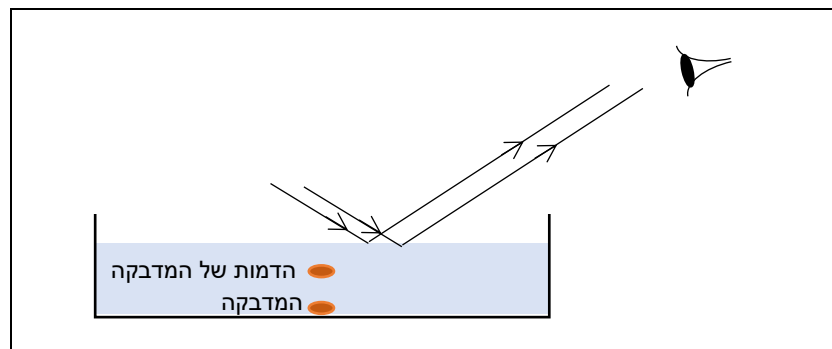
2. **התאמה לתצפית:** מיקום דמות המדבקה על פי ההסבר תואם את מיקומה הנצפה.

הערה: במהלך הקרניים המוצע חסר הסבר לשינוי מהלך קרני האור בין המים לאוויר. מאחר ומהלך הקרניים מבוסס על כך, על ההסבר לתצפית להכיל התייחסות לנושא זה.

הערות דידקטיות:

כדאי לשלב בהסבר שרטוט של קרניים שיוצאות מהעצם ללא מים, ולא מגיעות לעין, כדי להדגיש את העובדה שהשבירה היא זו המאפשרת את מהלך הקרניים לעין, והן לא היו מגיעות אליה ללא השבירה.

#### תרשים מספר 4



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

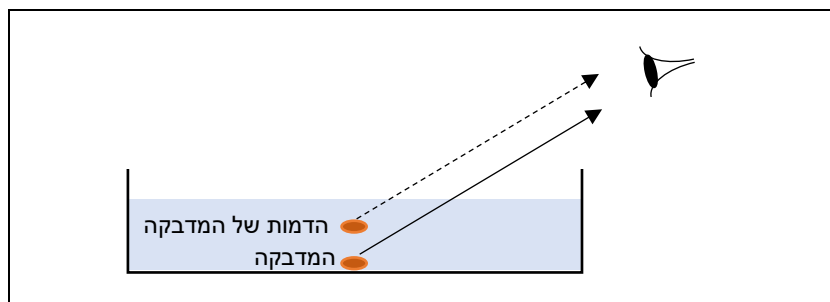
התרשים אינו מתאים להסבר כיצד אנו צופים בדמות של המדבקה:

קיימות בו מספר שגיאות:

1. אין קשר בין הקרניים לדמות ולעצם. מקור הקרניים אינו בעצם, והן, או המשכיהן המדומים, אינם נחתכים בדמות. קרניים אלה אינן מתאימות ליצירת דמות נקודתית כפי שמופיע בשרטוט.
2. הקרניים מקבילות זו לזו, בהתאם לנאמר בסעיף 1, קרניים מקבילות אינן יכולות לתאר היווצרות של דמות.

הערות דידקטיות:

1. תרשים זה, לא רק שאינו מתאים להסבר התופעה, אלא שאינו מתאר מהלך קרניים אפשרי לקרניים שמקורן בעצם. בכך הוא שונה מהאפשרות הראשונה.
2. ניתן גם לשנות את ההשערה/ להוסיף השערה שבה נשרטט המשכים דמיוניים של הקרניים, כך שאחת תעבור בעצם והשנייה בדמות, ולדון עם התלמידים האם מהלך זה מתאים.



האם התרשים מתאר הסבר נכון למה שראינו בהדגמה? אם כן -נמקו, אם לא- ציינו מהי השגיאה בתרשים.

התרשים אינו מתאים להסבר כיצד אנו צופים בדמות של המדבקה.

קיימות בו מספר שגיאות:

1. לא יתכן שאור הגיע אל העין גם ישירות מהמדבקה וגם מהדמות של המדבקה, כי אז היינו צופים בשתייה, בעוד שבתצפית ראינו רק אחת.
2. התרשים לא מתאר קשר בין האור המגיע מהמדבקה לבין האור המגיע אל העין מהדמות, שכן הדמות אינה מפיצה אור, היא לא באמת קיימת.

הערות דידקטיות:

כדאי לשלב בהסבר שרטוט של קרניים שיוצאות מהעצם ללא מים, ולא מגיעות לעין, כדי להדגיש את העובדה שהשבירה היא זו המאפשרת את מהלך הקרניים לעין, והן לא היו מגיעות אליה ללא השבירה.

## תדריך לניסוי: תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה

שמות חברי הקבוצה:

### מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר בין אוויר לפרספקס

#### יש להקפיד לשמור על הבטיחות!

#### 1. הכירו את המערכת

- א. הדביקו כאן תמונה של מערכת הניסוי.  
ב. רשמו ליד כל אחד ממרכיבי המערכת מספר והשלימו את הטבלה. ניתן להוסיף שורות לטבלה.

| # | שם הרכיב | מה תפקידו בניסוי? |
|---|----------|-------------------|
| 1 |          |                   |
| 2 |          |                   |
|   |          |                   |

#### 2. מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר מ-אוויר ל-פרספקס

- א. **צפייה איכותית:** שנו בהדרגה את זווית הפגיעה של האור בכניסתו למנסרה מזווית בת  $0^\circ$  ועד לזווית בת כ- $80^\circ$ . תארו במילים את "ההתנהגות" של הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה.

- ב. **מדידה כמותית:** כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה ומדדו בכל פעם את זווית השבירה.

|                           |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| זווית הפגיעה ( $^\circ$ ) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| זווית השבירה ( $^\circ$ ) |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

- ג. הדביקו לכאן תמונות של המערכת כאשר זווית הפגיעה בת  $0^\circ$  וכאשר זווית הפגיעה בת  $30^\circ$ .
- ד. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה. הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.
- ה. תארו במילים את הקשר בין זווית השבירה לזווית הפגיעה כפי שהוא עולה מהגרף.
- ו. האם יש חשיבות למקום שבו תפגע אלומת האור בחלק הישר של המנסרה? הסבירו. אפשר להדגים תשובתכם עם תמונות מתאימות של המערכת.



### 3. מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר מ-פרספקס ל-אוויר

א. צפייה איכותית: שנו בהדרגה את זווית הפגיעה של האור בכניסתו למנסרה מזווית בת  $0^\circ$  ועד לזווית בת כ- $80^\circ$ . תארו במילים את "ההתנהגות" של הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה.

ב. **מדידה כמותית:** כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה ורק עבור המצבים שבהם מתקבלת זווית שבירה, מדדו את ערכה ורשמו אותו במקום המתאים בטבלה. ביתר הזוויות רשמו X.

|                           |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| זווית הפגיעה ( $^\circ$ ) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| זווית השבירה ( $^\circ$ ) |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

ג. הדביקו לכאן תמונות של המערכת כאשר זווית הפגיעה בת  $0^\circ$ , כאשר זווית הפגיעה בת  $30^\circ$ , וכאשר הזווית בת  $50^\circ$ . מתחת לכל תמונה רשמו את שם התופעה שמתוארת בה.

ד. התופעה בה לא התקבלה שבירה, אלא התקבלה החזרה בלבד נקראת "החזרה פנימית מלאה". לזווית הפגיעה הגדולה ביותר שעבורה עדיין מתקבלת תופעת השבירה קוראים בשם "זווית פגיעה קריטית". מדדו את ערכה של "זווית הפגיעה הקריטית". תארו במילים כיצד ביצעתם את המדידה ורשמו את הערך שמדדתם.

ה. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה. הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.

ו. תארו במילים את הקשר בין זווית השבירה לזווית הפגיעה כפי שהוא עולה מהגרף.

### 4. מה היה קורה אם בניסוי היינו מודדים זוויות שבירה במעבר של אור בין אוויר ומים?

**ידוע שבמים אור נע מהר יותר מאשר בפרספקס.**

א. כשהאור היה עובר מ-האוויר ל-מים, האם כשזווית הפגיעה הייתה  $25^\circ$  זווית השבירה הייתה קטנה יותר מזו שמדדתם בניסוי, גדולה ממנה או שווה לה? נמקו.

ב. כשהאור היה עובר מ-מים ל – אוויר, האם כשזווית הפגיעה הייתה  $25^\circ$  זווית השבירה הייתה קטנה יותר מזו שמדדתם בניסוי, גדולה ממנה או שווה לה? נמקו.

ג. (1) האם תצפו לקבל את התופעה "החזרה פנימית מלאה" כאשר האור יעבור מ-אוויר ל-מים או כאשר האור יעבור מ-מים ל-אוויר? נמקו.

(2) האם תצפו שערכה של "זווית הפגיעה הקריטית" היה גדול מזה שמדדתם בניסוי, קטן ממנו או שווה לו. נמקו.

ד. תארו מה היה משתנה בגרפים והצדיקו טענתכם.

ה. **הכללה:** תארו במילים כיצד משפיע על זווית השבירה השינוי במהירותו של האור, כאשר הוא עובר בין שתי סביבות שקופות שונות.

**עבודה נעימה!**

דוגמת תשובות לתדריך לניסוי: תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה – עבור המורה

## מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר בין אוויר לפרספקס

### יש להקפיד לשמור על הבטיחות!

#### 1. הכירו את המערכת

א. הדביקו כאן תמונה של מערכת הניסוי.



ב. רשמו ליד כל אחד ממרכיבי המערכת מספר והשלימו את הטבלה. ניתן להוסיף שורות לטבלה.

| # | שם הרכיב                   | מה תפקידו בניסוי?                                  |
|---|----------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | פנס הפולט אלומה צרה של אור | האור שיעבור מתווך לתווך                            |
| 2 | ספק מתח + תיילי הולכה      | להפעלת הפנס                                        |
| 3 | מנסרה בצורת חצי עיגול      | תווך הפרספקס, האור יעבור מאוויר אליו וממנו לאוויר. |
| 4 | משטח פולרי                 | מד זווית למדידת זוויות                             |

#### 2. מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר מ-אוויר ל-פרספקס

א. צפייה איכותית: שנו בהדרגה את זווית הפגיעה של האור בכניסתו למנסרה מזווית בת  $0^\circ$  ועד לזווית

בת כ- $80^\circ$ . תארו במילים את "ההתנהגות" של הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה.

ככל שמגדילים את זווית הפגיעה בכניסת האור למנסרה, הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה הולכת ומתרחקת יותר מקו האפס.

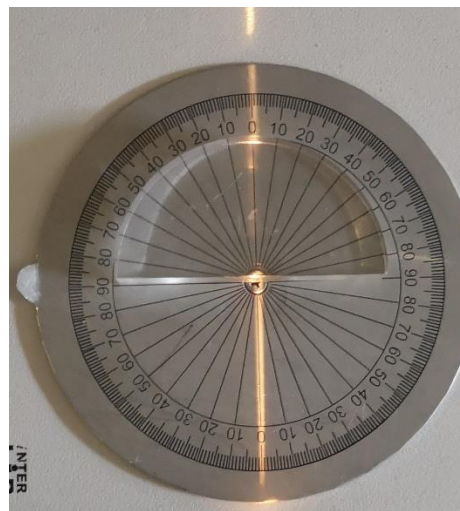
ב. מדידה כמותית: כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה ומדדו בכל פעם את זווית השבירה.

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |              |              |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|--------------|--------------|
| 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 | ( $^\circ$ ) | זווית הפגיעה |
| 38 | 37 | 35 | 32 | 30 | 26 | 23 | 20 | 17 | 14 | 10 | 6  | 3 | 0 | ( $^\circ$ ) | זווית השבירה |

ג. הדביקו לכאן תמונות של המערכת כאשר זווית הפגיעה בת  $0^\circ$  וכאשר זווית הפגיעה בת  $30^\circ$ .

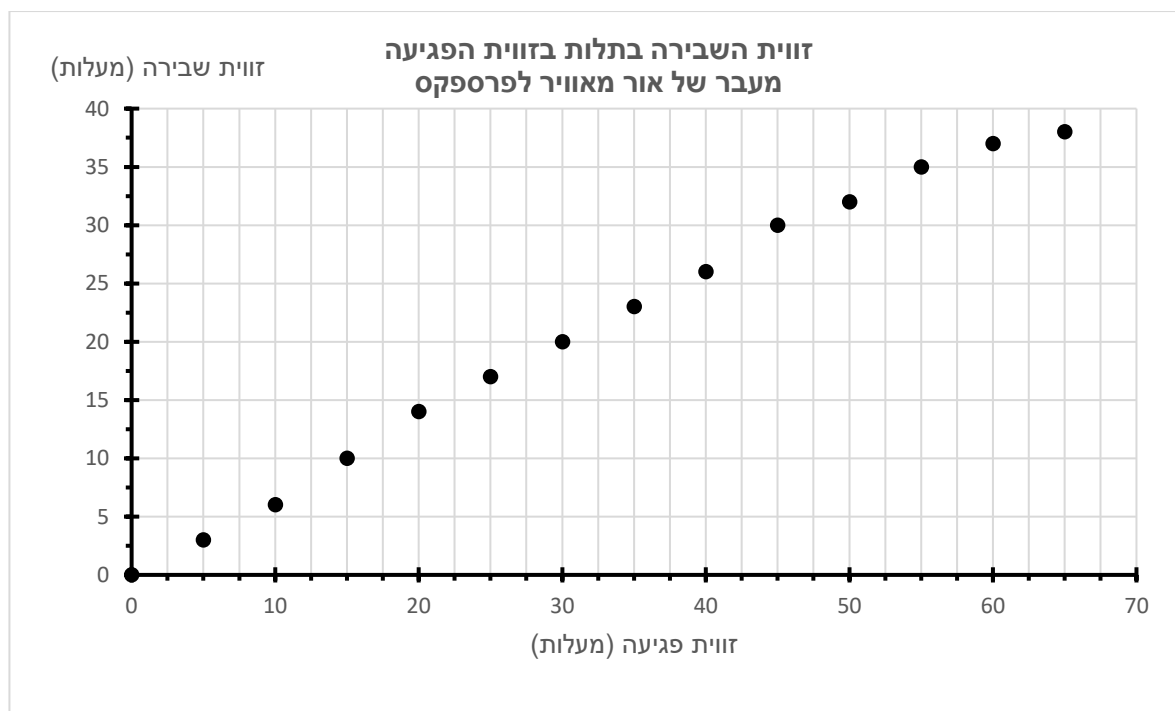


זווית פגיעה בת  $30^\circ$



זווית פגיעה בת  $0^\circ$

ד. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה. הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.



- ה. תארו במילים את הקשר בין זווית השבירה לזווית הפגיעה כפי שהוא עולה מהגרף.
- הערכים של זווית השבירה קטנה מהערכים של זווית הפגיעה.
  - ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה גדלה
  - עד לזווית של כ-  $30^\circ$  מעלות זווית השבירה גדלה בקירוב בקבוע ולאחר מכן קצב הגדילה שלה הולך וקטן.
- ו. האם יש חשיבות למקום שבו תפגע אלומת האור בחלק הישר של המנסרה? הסבירו. אפשר להדגים תשובתכם עם תמונות מתאימות של המערכת.

כן. בגלל שקשה לאתר את האלומה כאשר היא בתוך המנסרה קשה למדוד את זווית השבירה. לכן אנחנו מודדים את זווית השבירה בכניסה למנסרה באמצעות הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה. לשם כך יש לוודא שלא תהיה שבירה של האור ביציאה מהמנסרה. כלומר שהקרן תפגע בחלק העגול של המנסרה בזווית אפס. לשם כך על הקרן להתלכד עם רדיוס המעגל, שכן רדיוס מאונך למשיק למנסרה בנקודת הפגיעה. כדי שזה קרה על הקרן להגיע אל החלק העגול של המנסרה ממרכז עיגול המנסרה. לכן נדאג שבנקודה זו תפגע הקרן בכניסתה למנסרה.

### 3. מדידת זווית השבירה כאשר האור עובר מ-פרספקס ל-אוויר

א. **צפייה איכותית:** שנו בהדרגה את זווית הפגיעה של האור בכניסתו למנסרה מזווית בת  $0^\circ$  ועד לזווית בת כ- $80^\circ$ . תארו במילים את "ההתנהגות" של הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה.

ככל שמגדילים את זווית הפגיעה בכניסת האור למנסרה, הקרן לאחר יציאתה מהמנסרה הולכת ומתרחקת יותר מקו האפס. מזווית פגיעה מסוימת לא רואים יותר קרן שבירה אלא רק קרן החזרה.

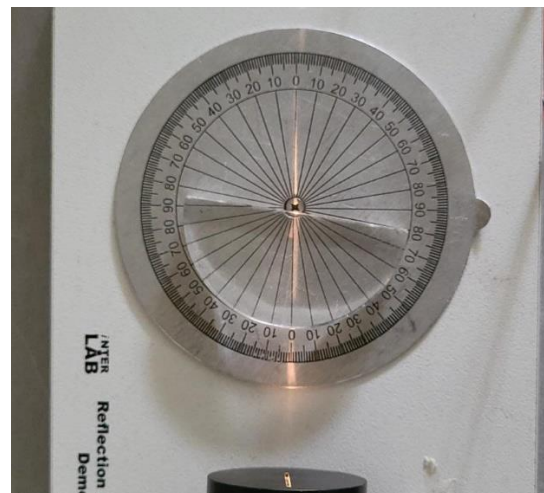
ב. **מדידה כמותית:** כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה ורק עבור המצבים שבהם מתקבלת זווית שבירה, מדדו את ערכה ורשמו אותו במקום המתאים בטבלה. ביתר הזוויות רשמו X.

|                           |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| זווית הפגיעה ( $^\circ$ ) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| זווית השבירה ( $^\circ$ ) | 0 | 7 | 15 | 22 | 31 | 41 | 51 | 63 | 85 | X  | X  | X  | X  |

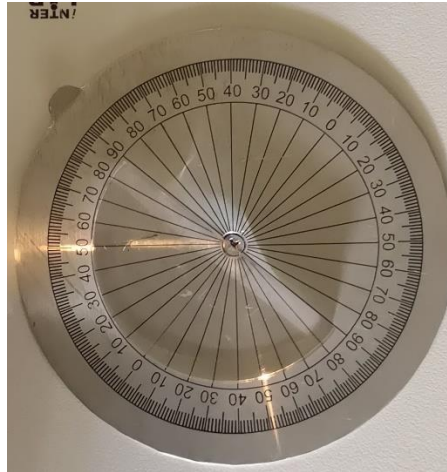
ג. הדביקו לכאן תמונות של המערכת כאשר זווית הפגיעה בת  $0^\circ$ , כאשר זווית הפגיעה בת  $30^\circ$ , וכאשר הזווית בת  $50^\circ$ . מתחת לכל תמונה רשמו את שם התופעה שמתוארת בה.



זווית פגיעה  $30^\circ$ , שבירה



זווית פגיעה  $0^\circ$

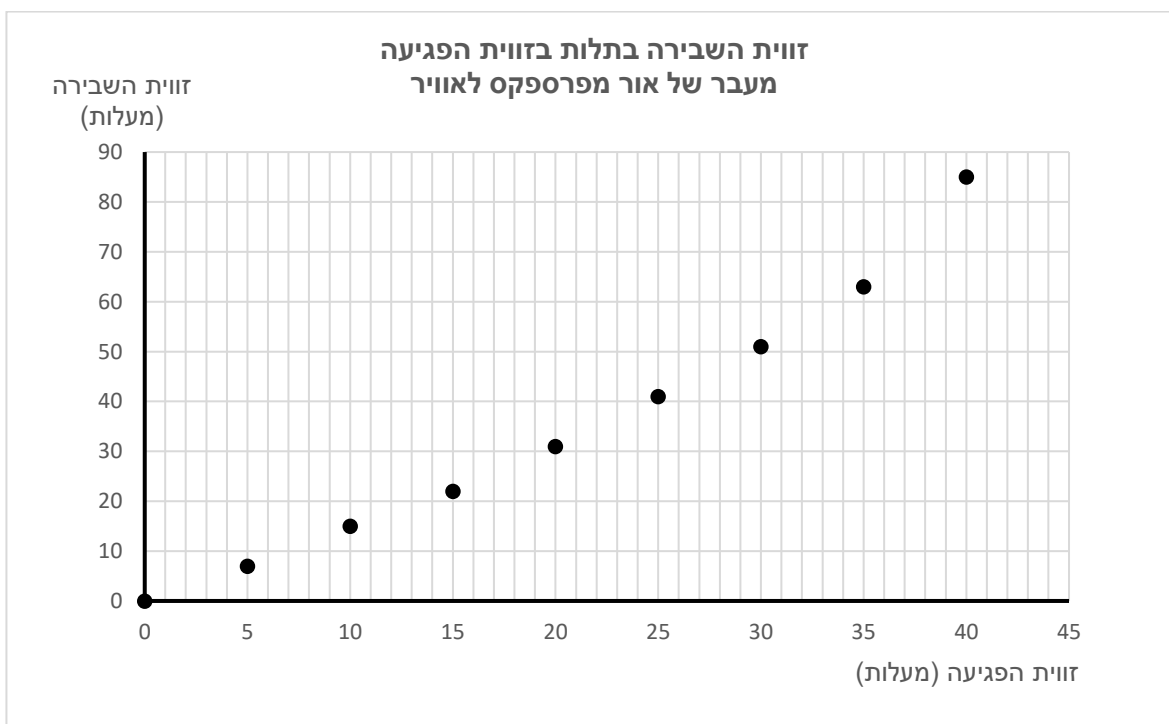


זווית פגיעה  $50^\circ$ , החזרה מלאה

ד. לזווית הפגיעה הגדולה ביותר שעברה עדיין מתקבלת תופעת השבירה קוראים בשם "זווית פגיעה קריטית". מדדו את ערכה של "זווית הפגיעה הקריטית". תארו במילים כיצד ביצעתם את המדידה ורשמו את הערך שמדדתם.

ערכה של "זווית הפגיעה הקריטית" הוא  $42^\circ$ . כיוונו את זווית הפגיעה ל-0 מעלות, הגדלנו בהדרגה את ערכה של זווית הפגיעה ע"י סיבוב המשטח ועצרנו ברגע שבו קרן השבירה נעלמה. סביב מצב זה סובבנו את המשטח הלך חזר עד שהצלחנו לתפוס את המצב האחרון שבו עדיין רואים את קרן השבירה.

ה. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה. הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.



ו. תארו במילים את הקשר בין זווית השבירה לזווית הפגיעה כפי שהוא עולה מהגרף.

- הערכים של זווית השבירה גדולים מהערכים של זווית הפגיעה.

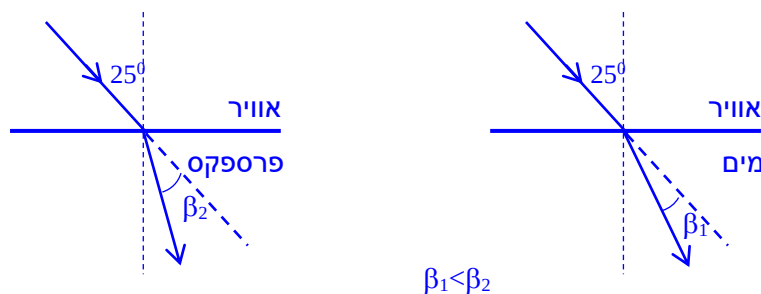
- ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה גדלה.
- עד לזווית של כ- 30 מעלות זווית השבירה גדלה בקירוב בקצב קבוע ולאחר מכן קצב הגדילה שלה הולך וגדל.

#### 4. מה היה קורה אם בניסוי היינו מודדים זווית שבירה במעבר של אור בין אוויר ומים?

ידוע שבמים אור נע מהר יותר מאשר בפרספקס.

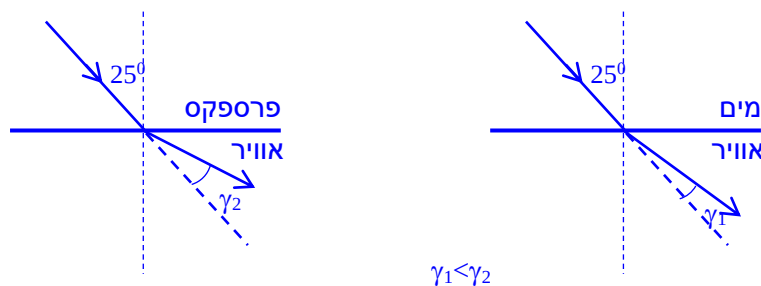
א. כשהאור היה עובר מ-האוויר ל-מים, האם כשזווית הפגיעה הייתה  $25^\circ$  זווית השבירה הייתה קטנה יותר מזו שמדתם בניסוי, גדולה ממנה או שווה לה? נמקו.

מאחר והאור נע מהר יותר במים מאשר בפרספקס נצפה שהסטייה מהמסלול המקורי תהיה קטנה ביותר במעבר של האור מהאוויר למים מאשר מהאוויר לפרספקס. כלומר נצפה לזווית שבירה גדולה יותר.



ב. כשהאור היה עובר מ-מים ל- אוויר, האם כשזווית הפגיעה הייתה  $25^\circ$  זווית השבירה הייתה קטנה יותר מזו שמדתם בניסוי, גדולה ממנה או שווה לה? נמקו.

גם במקרה זה נצפה לזווית סטייה קטנה יותר עבור זווית פגיעה נתונה. כלומר ההבדל בין זווית הפגיעה במים לזווית השבירה באוויר יהיה קטן יותר מאשר במעבר אור מפרספקס לאוויר. היות וזווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה (האור נע באוויר מהר יותר מאשר במים או בפרספקס), סטייה קטנה יותר במסלול האור תתבטא בזווית שבירה קטנה יותר ביחס לזווית השבירה במעבר אור מפרספקס לאוויר עבור אותה זווית פגיעה.



ג. (1) האם תצפו לקבל את התופעה "החזרה פנימית מלאה" כאשר האור יעבור מ-אוויר ל-מים או כאשר האור יעבור מ-מים ל-אוויר? נמקו.

(2) האם תצפו שערכה של "זווית הפגיעה הקריטית" היה גדול מזה שמדתם בניסוי, קטן ממנו או שווה לו. נמקו.

(1) נצפה לקבל "החזרה פנימית מלאה" כאשר האור יעבור מ-מים ל-אוויר. שכן בניסוי קיבלנו את התופעה רק כשהאור עבר מהפרספקס לאוויר.

(2) ניתן לשער כי כשהאור היה עובר מ-מים לאוויר ערכה של "זווית הפגיעה הקריטית" היה גדול יותר מאשר בניסוי, זאת מאחר וראינו בסעיף הקודם כי במעבר אור ממים לאוויר זווית השבירה קטנה יותר מאשר בניסוי שלנו, כך שנדרשת זווית פגיעה גדולה יותר כדי שזווית השבירה תהיה קרובה מאוד ל- $90^\circ$ .

ד. תארו מה היה משתנה בגרפים והצדיקו טענתכם.

אוויר ←מים: מאחר ועדיין כשזווית הפגיעה תהיה בת  $0^\circ$  נקבל זווית שבירה בת  $0^\circ$ , אולם ערכי זוויות השבירה יהיו גדולים יותר, נצפה לשיפוע גרף גדול יותר.

מים ←אוויר: מאחר ועדיין כשזווית הפגיעה תהיה בת  $0^\circ$  נקבל זווית שבירה בת  $0^\circ$ , ונצפה לערכי זוויות השבירה קטנים יותר, וערך גדול יותר של זווית הפגיעה הגדולה ביותר שבה עדיין תתקבל שבירה, נצפה לשיפוע גרף קטן יותר.

ה. **הכללה:** תארו במילים כיצד משפיע על זווית השבירה השינוי במהירותו של האור, כאשר הוא עובר בין שתי סביבות שקופות שונות.

ככל שהשינוי במהירותו של האור בין הסביבות השונות גדול יותר, הסטייה של האור ממסלולו המקורי גדולה יותר. לכן עובר אותה זווית פגיעה, כאשר המהירות של האור תקטן, נמדוד זווית שבירה קטנה יותר; וכאשר מהירותו של האור תגדל, נמדוד זווית שבירה גדולה יותר.

| מיפוי הביטוי של יכולות הליבה ומרכיביהן במשימות <a href="#">התדריך</a> המוצע |                                  |                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| המשימה בתדריך                                                               | יכולות הליבה                     | מרכיבי יכולות הליבה                                                     |
| 1 א-ב                                                                       | 1. התמצאות מדעית                 | 1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי                                         |
|                                                                             | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                   |
| 2 א-ג                                                                       | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו             |
|                                                                             | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים |
| 2 ד                                                                         | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                         |
| 2 ה                                                                         | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                   |
|                                                                             | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.3 לזהות מגבלות מחקריות – באופן חלקי                                   |
|                                                                             |                                  | 3.4 להכיר ולהעריך שיטות להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של הסברים   |
| 3 א-ב                                                                       | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                             |
|                                                                             | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו             |
|                                                                             | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים |
| 3 ג                                                                         | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.1 העלאת שאלות מחקר ותכנון מערך מחקר – באופן חלקי                      |
|                                                                             |                                  | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו             |
| 3 ד                                                                         | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו             |
|                                                                             | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים |
| 3 ה                                                                         | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                         |
| 4 א – ג                                                                     | 1. התמצאות מדעית                 | 1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי                                         |
|                                                                             | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחזוי של תופעות – באופן חלקי              |
|                                                                             |                                  | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                   |
|                                                                             | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                         |
| 4 ד                                                                         | 1. התמצאות מדעית                 | 1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי                                         |
|                                                                             | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                             |
|                                                                             |                                  | 2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחזוי של תופעות – באופן חלקי              |
|                                                                             |                                  | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                   |



| מיפוי הביטוי של יכולות הליבה ומרכיביהן במשימות <a href="#">התדריך המסורתי המפורסם באתר המורים</a> |                                  |                                                                                      |                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| המשימה בתדריך                                                                                     | יכולות הליבה                     | מרכיבי יכולות הליבה                                                                  |                                                                         |
| רקע תיאורטי                                                                                       | -                                | -                                                                                    |                                                                         |
| 1. כיוון המערכת, א-ה                                                                              | -                                | -                                                                                    |                                                                         |
| 2. מעבר מאויר לפרספקט ו-ט                                                                         | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.4 להכיר ולהעריך שיטות להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של הסברים – באופן חלקי   |                                                                         |
| יג. מעבר מפרספקט לאוויר י-יא                                                                      | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים – באופן חלקי |                                                                         |
|                                                                                                   | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.4 להכיר ולהעריך שיטות להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של הסברים – באופן חלקי   |                                                                         |
| יב / טו                                                                                           | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים              |                                                                         |
|                                                                                                   | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים              |                                                                         |
| יג-יד / טז                                                                                        | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות – באופן חלקי                             |                                                                         |
|                                                                                                   | 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו                          |                                                                         |
|                                                                                                   | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                                      | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים |
| יז                                                                                                |                                  | 2. הסבר מדעי של תופעות                                                               | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                             |
|                                                                                                   | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                                      | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים |
|                                                                                                   |                                  | 2. הסבר מדעי של תופעות                                                               | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                             |
| ש: 1                                                                                              | 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                                          |                                                                         |
| ש: 2-6, 8                                                                                         | -                                | -                                                                                    |                                                                         |
| ש: 7                                                                                              | 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.4 לנתח תוצאות                                                                      |                                                                         |

### השוואה בין המיפויים של התדריכים

| יכולות הליבה                     | מרכיבי יכולות הליבה                                                                                          | ביטוי בתדריך המוצע כאן       | ביטוי בתדריך המסורתי                                               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1. התמצאות מדעית                 | 1.1 הבחנה בין שאלות מדעיות ולא מדעיות                                                                        | -                            | -                                                                  |
|                                  | 1.2 להכיר מאפיינים של הסברים מדעיים                                                                          | -                            | -                                                                  |
|                                  | 1.3 להכיר מאפיינים של מחקר מדעי                                                                              | 1 א-ב<br>4 א-ג<br>4 ד        | -                                                                  |
|                                  | 1.4 להעריך דיווחים במדיה הנסמכים על נתונים אמפיריים                                                          | -                            | -                                                                  |
|                                  | 1.5 להבין היבטים אתיים של ניסויים                                                                            | -                            | -                                                                  |
| 2. הסבר מדעי של תופעות           | 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות                                                                  | 3 א-ב<br>4 ד                 | יג-יד / טז באופן חלקי<br>ז<br>ש: 1                                 |
|                                  | 2.2 לזהות בעיות או כשלים בהסברים מדעיים                                                                      | -                            | -                                                                  |
|                                  | 2.3 להשתמש בידע מדעי בהקשרים מגוונים                                                                         | -                            | -                                                                  |
|                                  | 2.4 לחבר בין רעיונות בתחומי המדעים השונים ובניהם לתחומים אחרים להסבר וחיזוי של תופעות ולפתרון סוגיות מורכבות | -                            | -                                                                  |
|                                  | 2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות                                                               | 4 א-ג, באופן חלקי<br>4 ד     | -                                                                  |
|                                  | 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם                                                                        | 1 א-ב<br>2 ה<br>4 א-ג<br>4 ד | -                                                                  |
| 3. תכנון, ביצוע והערכת מחקר      | 3.1 העלאת שאלות מחקר ותכנון מערך מחקר                                                                        | 3 ג, באופן חלקי              | -                                                                  |
|                                  | 3.2 לזהות ולהעריך ניסויים מדעיים                                                                             | -                            | -                                                                  |
|                                  | 3.3 לזהות מגבלות מחקריות                                                                                     | 2 ה                          | -                                                                  |
|                                  | 3.4 להכיר ולהעריך שיטות להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של הסברים                                        | 2 ה, באופן חלקי              | ו-ט<br>י-יא                                                        |
|                                  | 3.5 להתנהל ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסוי ובדיווח על תוצאותיו                                                  | 2 א-ג<br>3 א-ב<br>3 ג<br>3 ד | יג-יד / טז                                                         |
|                                  | 4.1 להעריך ראיות וטיעונים ממקורות שונים                                                                      | -                            | -                                                                  |
| 4. פרשנות מדעית של נתונים וראיות | 4.2 לזהות את ההנחות, ההטיות, הראיות והמסקנות המוצגות במחקרים                                                 | -                            | -                                                                  |
|                                  | 4.3 להבחין בין טיעונים המבוססים על ראיות ותיאוריות מדעיות לבין כאלה שאינם                                    | -                            | -                                                                  |
|                                  | 4.4 לנתח תוצאות                                                                                              | 2 ד<br>3 ה<br>4 א-ג          | יג-יד / טז<br>ז<br>ש: 7                                            |
|                                  | 4.5 להשתמש בחשיבה הסתברותית                                                                                  | -                            | -                                                                  |
|                                  | 4.6 לזהות את ההשלכות האפשריות של ידע מדעי על סוגיות חברתיות, סביבתיות ומוסריות                               | -                            | -                                                                  |
|                                  | 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים                                      | 2 א-ג<br>3 א-ב<br>3 ד        | ו-ט, באופן חלקי<br>י-יא, באופן חלקי<br>יב / טוב<br>יג-יד / טז<br>ז |

## דף עבודה לתלמידים: החזרה מלאה

שמות חברי הקבוצה:

### דף עבודה לדיון מסכם – החזרה מלאה

בניסוי צפיתם בתופעה של החזרה מלאה.

1. באיזה חלק של הניסוי צפיתם בתופעה: כאשר חקרתם את המעבר של האור מהאוויר לפרספקס או כאשר חקרתם את המעבר של האור מהפרספקס לאוויר?

2. תארו בקצרה את התופעה.

3. כיצד ניתן להיעזר בממצא לפיו ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה גדלה על מנת להסביר: (1) מדוע החזרה מלאה התקבלה רק במעבר מהפרספקס לאוויר (ולא מהאוויר לפרספקס).

(2) מדוע החזרה מלאה התקבלה רק מזווית פגיעה מסוימת, "זווית פגיעה קריטית".

4. **הכללה:** בתופעה החזרה מלאה ניתן לצפות אם מתקיימים בו זמנית שני תנאים. נסחו אותם.

|         |  |
|---------|--|
| תנאי 1: |  |
| תנאי 2: |  |

## דוגמת תשובות לדף עבודה: החזרה מלאה

### דף עבודה לדיון מסכם – החזרה מלאה

בניסוי צפיתם בתופעה של החזרה מלאה.

1. באיזה חלק של הניסוי צפיתם בתופעה: כאשר חקרתם את המעבר של האור מהאוויר לפרספקס או

כאשר חקרתם את המעבר של האור מהפרספקס לאוויר?

כאשר חקרנו את המעבר של האור מהפרספקס לאוויר.

2. תארו בקצרה את התופעה.

האור לא עבר כלל מהפרספקס לאוויר, אלא חזר במלואו לכיוון הפרספקס.

3. כיצד ניתן להיעזר בממצא לפיו ככל שזווית הפגיעה גדלה גם זווית השבירה גדלה על מנת להסביר:

(1) מדוע החזרה מלאה התקבלה רק במעבר מהפרספקס לאוויר (ולא מהאוויר לפרספקס).

במעבר מפרספקס לאוויר זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה, כי מהירות האור בפרספקס קטנה

ממהירותו באוויר. החזרה מלאה מתרחשת החל מהמזב שבזווית השבירה קרובה מאוד ל -  $90^\circ$ .

אם זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה, הרי שקיימת זווית פגיעה מסוימת (בניסוי -  $42^\circ$  לערך)

שעבורה זווית השבירה אמורה להיות  $90^\circ$  והחל ממנה תתקבל החזרה מלאה. במעבר אור מאוויר

לפרספקס, לעומת זאת, זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה, ולכן זווית השבירה תהיה קטנה מ-

$90^\circ$  עבור כל זווית פגיעה (שערכיה הם בין  $0^\circ$  -  $90^\circ$ ). מכאן שלא תתכן החזרה מלאה במעבר אור

מאוויר לפרספקס.

(2) מדוע החזרה מלאה התקבלה רק מזווית פגיעה מסוימת, "זווית פגיעה קריטית".

זווית השבירה גדלה ככל שזווית הפגיעה גדלה. מכאן שאם הייתה מתרחשת החזרה מלאה בזוויות

מסוימות ולאחריה הייתה מתרחשת שבירה רגילה, היינו מקבלים מצב שבו זווית השבירה גדלה עד

$90^\circ$  ולאחר מכן קטנה שוב (כך שהייתה מתאפשרת שבירה), דבר העומד בסתירה לממצא הניסויני

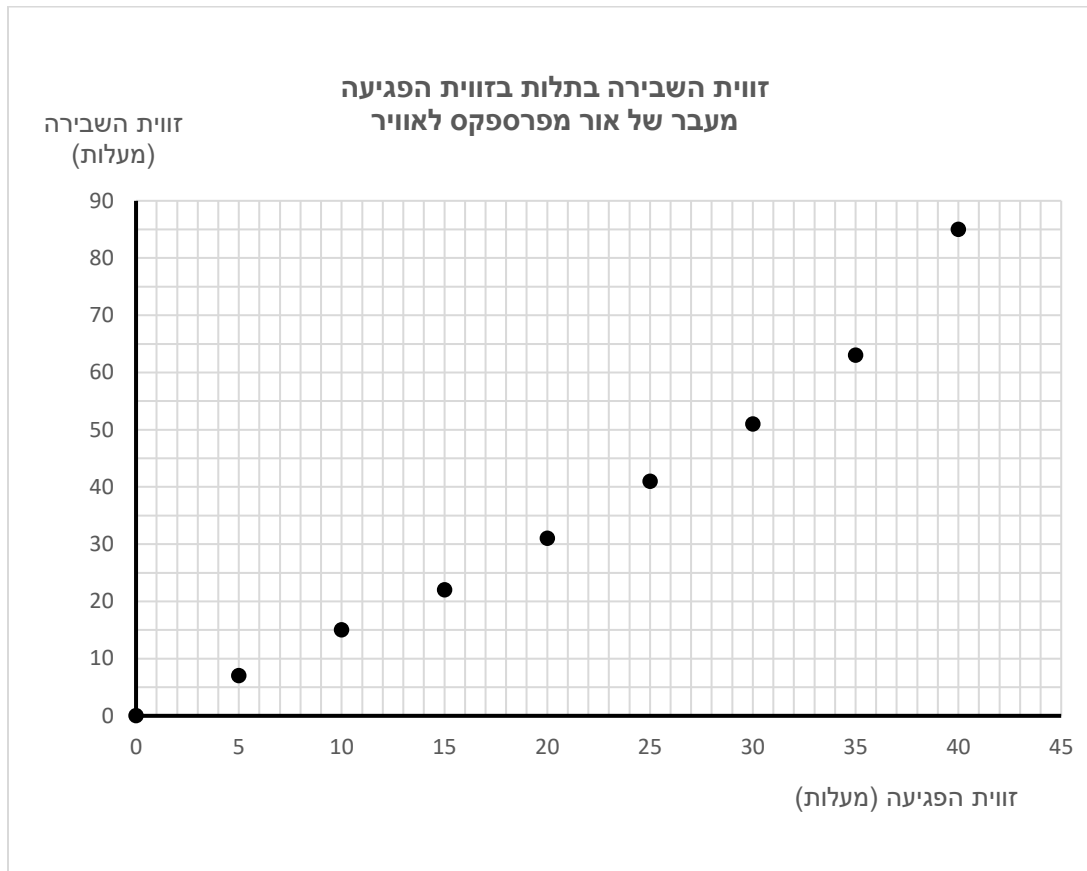
שמצאנו.

4. הכללה: בתופעה החזרה מלאה ניתן לצפות אם מתקיימים בו זמנית שני תנאים. נסחו אותם.

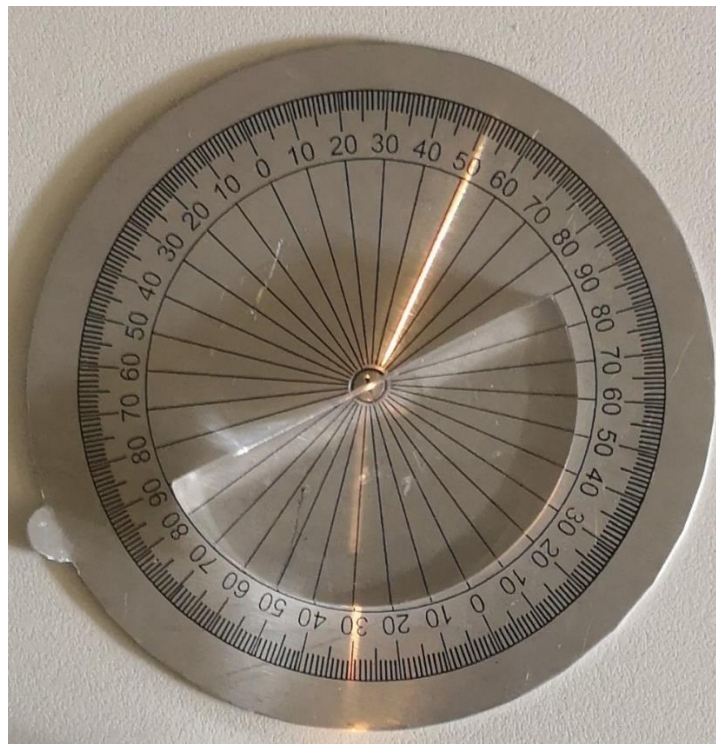
|         |                                                                         |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| תנאי 1: | כאשר האור עובר מסביבה בה מהירותו קטנה יותר מהסביבה אליה הוא אמור לעבור. |
| תנאי 2: | כאשר זווית הפגיעה של האור גדולה מערך "זווית פגיעה קריטית".              |

## דוגמאות לשאלות הערכה ודוגמת תשובות לשאלות

1. לפניכם גרף שהתקבל בניסוי לחקירת התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה כשהאור עובר בין אוויר לבין מנסרת זכוכית.



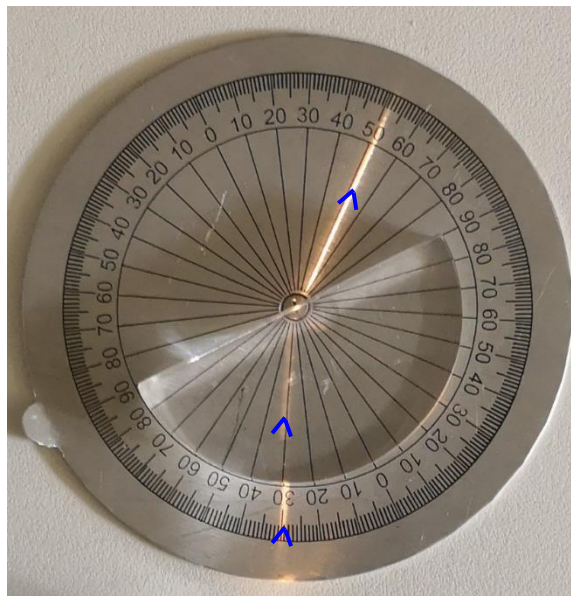
- לפניכם תמונה של מערכת הניסוי לאחת המדידות המופיעה בגרף.



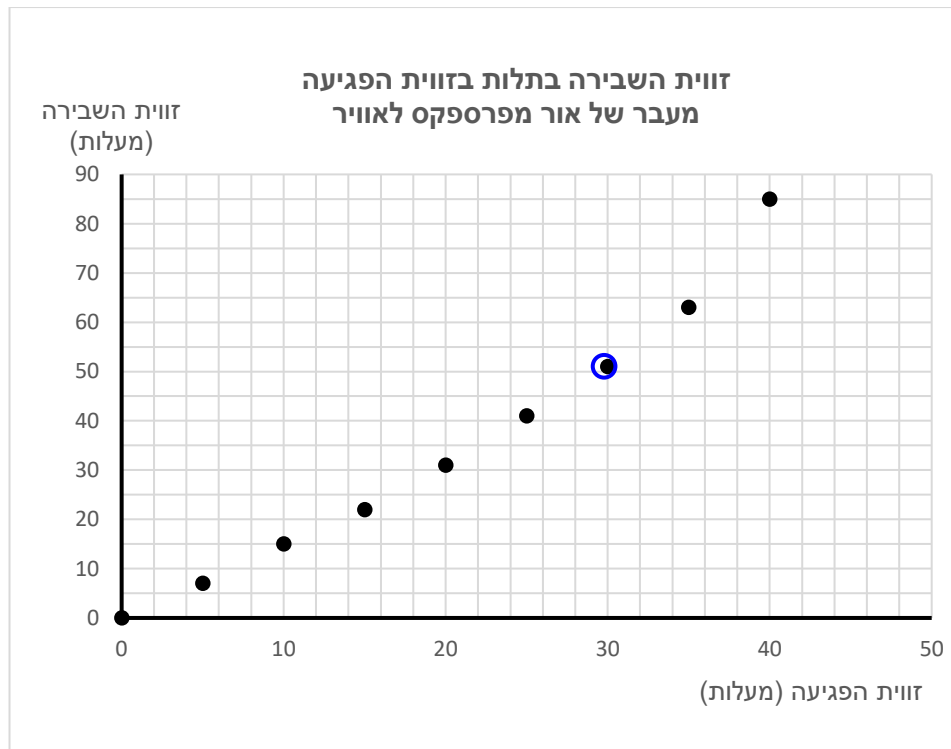
- א. סמנו על גבי התמונה חיצים שיתארו את כיוון ההתקדמות של האור. הסבירו כיצד קבעתם זאת.
- ב. סמנו על גבי הגרף את המדידה המתאימה למצב המוצג בתמונה.
- ג. בתמונה לא ניתן להבחין בחלק של אור המוחזר מהמנסרה. תלמיד בכיתה טוען שלא מבחינים בהחזרה של אור מהמנסרה מאחר והחזרה מתקבלת למשל ממראה, בעוד שבניסוי משתמשים במנסרה שקופה. האם התלמיד צודק? אם כן – הסבירו קביעתכם, אם לא- הסבירו קביעתכם והציעו שינוי בערכת הניסוי שבאמצעותו ניתן יהיה להבחין בחלק האור המוחזר.
- ד. תארו במילים את ההשפעה של ההגדלה של זווית הפגיעה על ערכה של זווית השבירה, המתוארת בגרף.
- ה. מה יקרה כאשר זווית הפגיעה תהיה בת  $60^\circ$ ? הסבירו קביעתכם.

#### דוגמת תשובות לשאלה 1

- א. הגרף מתאר שבירה של אור העובר מזכוכית לאוויר, מאחר וזווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה. מהירות האור בזכוכית קטנה מאשר באוויר, ולכן מסלול האור באוויר יתרחק מהאנך: ראינו כי כשמירות האור קטנה במעבר בין התווים מסלול האור מתקרב לאנך, וכאשר היא גדלה מסלול האור מתרחק מהאנך, כלומר זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה.



ב.

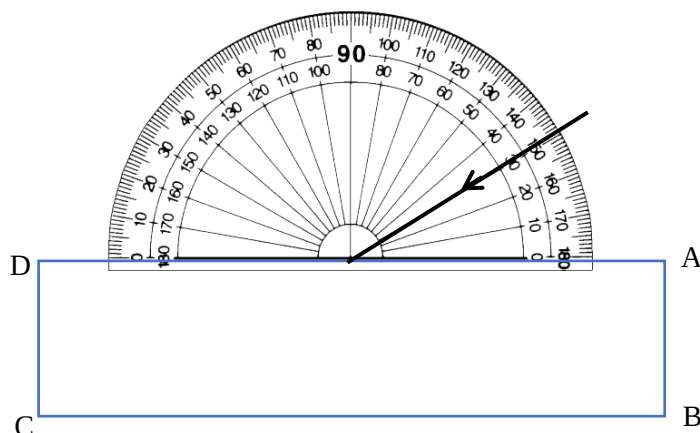


- ג. התלמיד לא צודק. מכל משטח חלק של אור מוחזר. במקרה זה לא ניתן להבחין בחלק המוחזר מאחר ועוצמתו נמוכה. שינויים אפשריים: בניסוי ראינו שכאשר מגדילים את זווית הפגיעה, עצמת האור המוחזר גדלה; אפשר להחשיך יותר את אזור העבודה עם המערכת.
- ד. מהגרף ניתן לראות שכאשר מגדילים את זווית הפגיעה גם זווית השבירה גדלה. עד זווית פגיעה של כ- $25^\circ$  זווית השבירה גדלה בקירוב בקצב קבוע ולאחר מכן קצב הגדילה שלה הולך וגדל.
- ה. זווית השבירה מגיעה ל  $90^\circ$  עבור זווית פגיעה של כ  $42^\circ$ . עבור זוויות פגיעה גדולות יותר לא תהיה שבירה אלא החזרה מלאה.

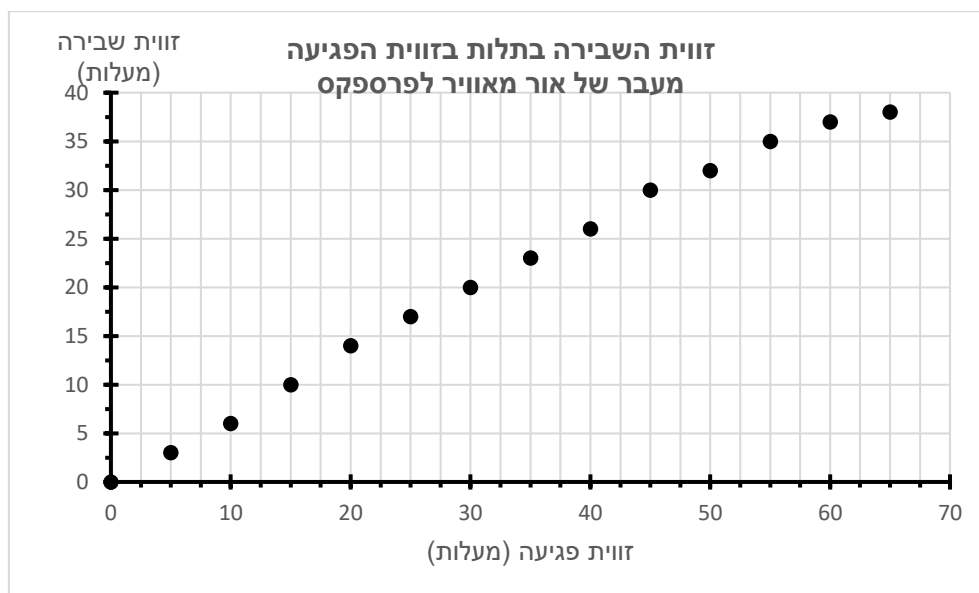
יכולות הליבה והמרכיבים שלהן הבאים לביטוי בשאלה 1 :

- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:
  - 2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות
  - 2.2 לזהות בעיות או כשלים בהסברים מדעיים, באופן חלקי
  - 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם
- יכולת ליבה מספר 4: פרשנות מדעית של נתונים וראיות. המרכיב:
  - 4.4 ניתוח תוצאות, פירוש ממצאים והסקת מסקנות המבוססות עליהם

2. באיור מוצג חתך של מנסרה מלבנית ABCD העשויה מזכוכית, אלומה צרה של אור המתפשטת באוויר ומד זווית.



א. לפניכם גרף המתאר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה כאשר האור נכנס למנסרה הנ"ל דרך הדופן AD. הערך את גודלה של זווית השבירה של האור בכניסתו למנסרה. הסבירו כיצד קבעתם זאת.

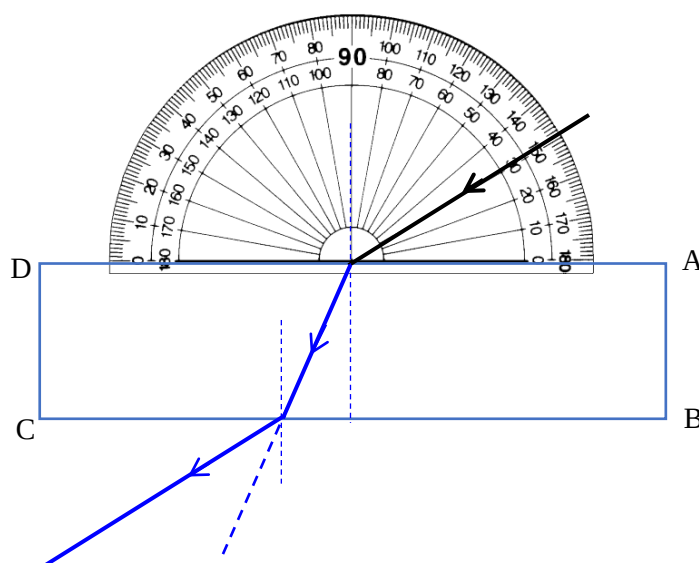


- מה גודלה של הזווית בה פוגע האור בדופן BC? הסבירו.
- מה גודלה של הזווית בה האור יוצא מהמנסרה חזרה לאוויר. הסבירו.
- השלימו באיור, באופן מקורב, את מסלול האור בתוך המנסרה וביציאתו בחזרה לאוויר.

## דוגמת תשובות לשאלה 2

- $\alpha = 30^\circ$  היא הזווית בין הקרן הפוגעת למשטח הפגיעה. לפיכך, זווית הפגיעה המוגדרת בין האנך למשטח הפגיעה לבין קרן הפגיעה, שווה  $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ . לפי הגרף זווית השבירה  $\approx 37.50^\circ$ .
- נתון שהמנסרה מלבנית, לפיכך  $AD \parallel BC$ . זווית הפגיעה בדופן BC וזווית השבירה בדופן AD הן זוויות מתאימות בין ישרים מקבילים. לכן זווית הפגיעה בדופן BC היא  $\approx 37.50^\circ$ .
- לפי הפיכות מסלול האור, כאשר האור עבר מהאוויר לזכוכית זווית הפגיעה הייתה בת  $60^\circ$  וזווית השבירה בת  $37.50^\circ$ , לכן כאשר האור יעבור מהזכוכית לאוויר בזווית פגיעה בת  $37.50^\circ$ , זווית השבירה היא בת  $60^\circ$ . מכאן שהקרן תצא מהמנסרה במקביל לקרן הפוגעת.





יכולות הליבה והמרכיבים שלהן הבאים לביטוי בשאלה 2 :

- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:  
2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות  
2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות  
2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם
- יכולת ליבה מספר 4: פרשנות מדעית של נתונים וראיות. המרכיב:  
4.4 ניתוח תוצאות, פירוש ממצאים והסקת מסקנות המבוססות עליהם

3. קבוצת תלמידים ערכה את הניסוי החוקר את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה, כאשר האור עובר מהאוויר אל זכוכית. בכל פעם הם קבעו ערך של זווית פגיעה ומדדו את הערך של זווית השבירה שהתקבל. לפניכם טבלה ובה תוצאות הקריאות של ערכי הזוויות.

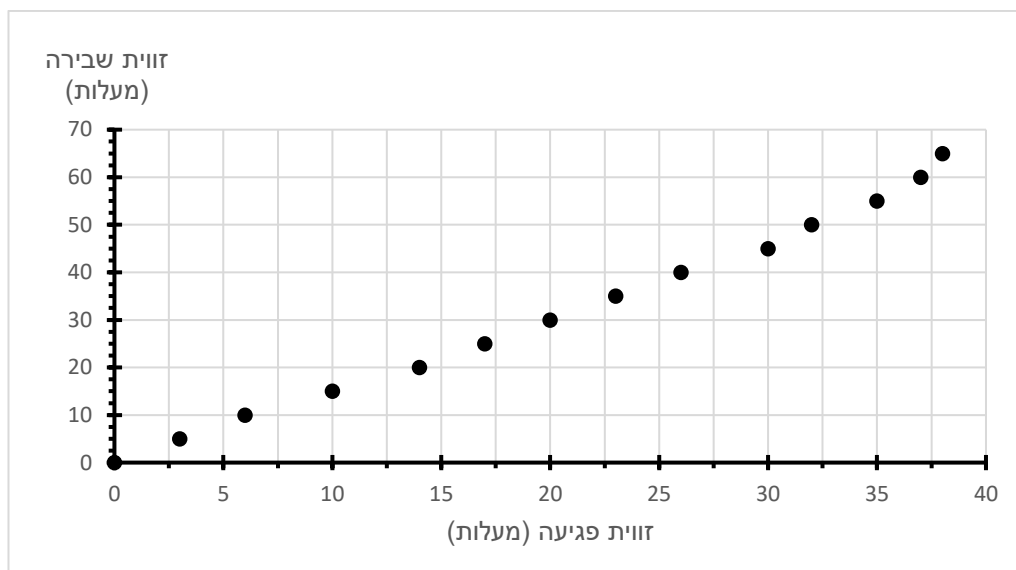
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |                             |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-----------------------------|
| 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 | זווית הפגיעה ( $^{\circ}$ ) |
| 38 | 37 | 35 | 32 | 30 | 26 | 23 | 20 | 17 | 14 | 10 | 6  | 3 | 0 | זווית השבירה ( $^{\circ}$ ) |

במשימתם הבאה התלמידים התבקשו להציג את הנתונים המופיעים בטבלה גם באמצעות גרף.

א. קבעו ונמקו איזו מבין האפשרויות הבאות מתאימה כדי לתאר בעזרת גרף את הנתונים שאספו התלמידים בניסוי שערכו.



- ב. לפניכם הגרף שהפיקו התלמידים. האם יש התאמה בין המוצג בגרף לבין המוצג בטבלה? אם כן – נמקו, אם לא- נמקו וצינו מהי הטעות.



### דוגמת תשובות לשאלה 3

- א. האפשרות הנכונה היא אפשרות ב. מאחר ובניסוי המשתנה הבלתי תלוי הוא זווית הפגיעה, ומשתנה זה אמור להופיע בציר האופקי של הגרף. כך המשתנה התלוי בניסוי יופיע בציר האנכי של הגרף.
- ב. אין התאמה בין המוצג בטבלה לבין המוצג בגרף. למשל, לפי הטבלה כאשר זווית הפגיעה בת  $20^\circ$  זווית השבירה בת  $14^\circ$ , אך לפי הגרף זווית השבירה בת  $30^\circ$ .
- הטעות בגרף היא שהערכים המופיעים בציר האופקי של הגרף הם ערכי זווית השבירה ולא ערכי זווית הפגיעה.

יכולות הליבה והמרכיבים שיש להם ביטוי בשאלה 3 :

- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיב: 2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם
- יכולת ליבה מספר 4: פרשנות מדעית של נתונים וראיות. המרכיב: 4.7 להשתמש בכלי נתונים בסיסיים כדי להפיק ייצוגים בעלי משמעות של הנתונים

4. תלמידים בשיעור פיזיקה התבקשו לבצע ניסוי בו הם יבדקו את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה, כאשר האור עובר מהאוויר אל זכוכית, ומהזכוכית אל האוויר. אחד התלמידים החליט להסתפק במדידה אחת של זווית פגיעה וזווית השבירה שהתקבלה. כאשר נשאל התלמיד מדוע ביצע רק מדידה אחת השיב: "ראיתי מהמדידה שכשהאור עובר מהאוויר לזכוכית זווית השבירה תמיד קטנה יותר מזווית הפגיעה, וזה מה שביקשו לבדוק בניסוי".
- א. מה לדעתכם מטרת (או מטרות) הניסוי שהתלמידים התבקשו לבצע?
- ב. האם המדידה שביצע התלמיד עונה למטרות הניסוי?

ג. האם אתם מסכימים עם דברי התלמיד "ראיתי מהמדידה שזווית השבירה תמיד קטנה יותר מזווית הפגיעה"? הסבירו את תשובתכם.

התלמיד החליט להרחיב את תשובתו והוסיף: "מכיוון שמהלך קרני האור הוא הפיך, אני מסיק גם שכשהאור עובר מהזכוכית לאוויר, הוא תמיד ימשיך הלאה בזווית גדולה יותר, כי האור ירצה להתרחק מהאנך".

ד. האם תשובת התלמיד נכונה לדעתכם? הסבירו.  
ה. מה דעתכם על הנימוק שהציג התלמיד: "כי האור ירצה להתרחק מהאנך"?

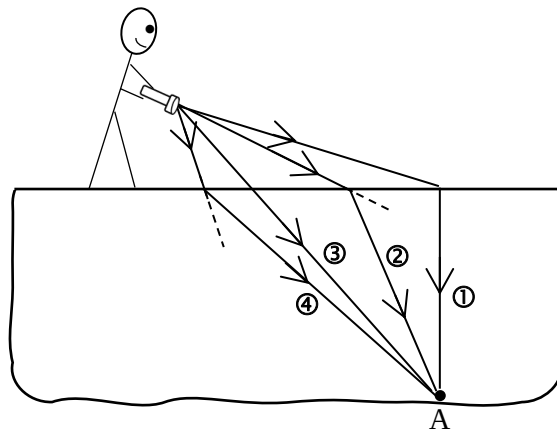
#### דוגמת תשובות לשאלה 4

- א. מטרת הניסוי הינה לחקור את תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה עבור מעבר אור מאוויר לזכוכית.
- ב. לא. מדידה אחת אינה מצביעה על תלות. כאשר בודקים תלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה אנו מעוניינים לדעת האם זווית השבירה תהיה גדולה או קטנה יותר מזווית הפגיעה עבור טווח הזוויות האפשרי לזווית הפגיעה ( $0^\circ-90^\circ$ ), באיזו מידה הזוויות שונות זו מזו, וכן האם ההבדל בין הזוויות קבוע או משתנה (גדל / קטן) כתלות בזווית הפגיעה. מדידה עבור זווית אחת אינה עונה למטרות אלה.
- ג. התלמיד ביצע מדידה אחת אך דבריו מהווים הכללת יתר של התוצאה שקיבל, וזאת במספר היבטים:
- התלמיד מדד רק זווית אחת ולכן אינו יכול לדעת אם הקשר שמצא נכון גם עבור זוויות אחרות.
  - התלמיד בדק את מהלך האור במעבר בין שני חומרים מסוימים. הוא אינו יכול להסיק מכך שהקשר שמצא מתקיים עבור כל זוג חומרים.
- ד. תשובת התלמיד אינה נכונה מאחר ועבור זוויות פגיעה הגדולות מזווית מסוימת במעבר אור מזכוכית לאוויר תחל החזרה מלאה, ואלומת האור לא תמשיך הלאה לאוויר.
- ה. דבריו של התלמיד: "כי האור ירצה להתרחק מהאנך" אינם מהווים נימוק, אלא "האנשה" – מתן תכונה של רצון לאור, כנימוק לתופעה. ייחוס תכונות אנושיות כגון רצון לגדלים פיזיקליים הינו שגוי. בנימוק למהלך האור יש להתבסס על חוקי טבע המתייחסים לאופן התפשטותו, במקרה של שבירה – שינוי במהירות האור בתווך (הנובעת מתגובות חשמליות ומגנטיות של החומר לאור).

יכולות הליבה והמרכיבים שיש להם ביטוי בשאלה 4:

- יכולת ליבה מספר 1: התמצאות מדעית. המרכיב: 1.4 להעריך דיווחים במדידה (כאן המדידה היא תלמיד), להגיב באופן ביקורתי על מידע קיים וחסר.
- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיב: 2.4 זיהוי בעיות או כשלים בהסברים מדעיים, כגון הכללת יתר או האנשה.

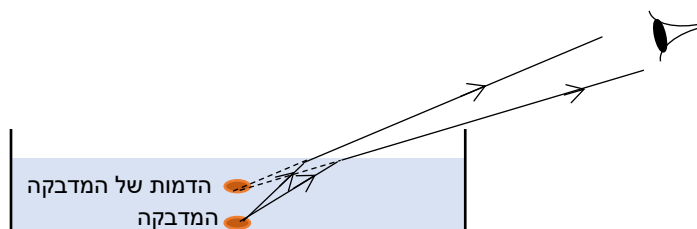
5. פועל התבקש לנקות פסולת מתחתית בריכה גדולה לגידול דגים. כדי להאיר מקום מסוים בקרקעית הבריכה הוא כיוון את הפנס אל פני המים, ראו איור.



- א. באיור מתוארים ארבעה מסלולי אור הפוגעים בפני המים. קבעו ונמקו מי מהמסלולים מתאר בצורה הנכונה את מסלול האור המגיע אל הנקודה A שבקרקעית הבריכה.
- ב. כאשר הפועל מביט אל עבר קרקעית הבריכה האם הוא רואה את הנקודה A קרובה יותר לפני המים או רחוקה יותר מפני המים? כיצד נקראת התופעה? הסבירו בקצרה ולוו הסברכם בתרשים.

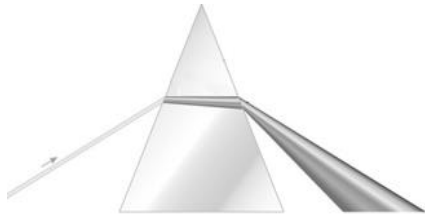
#### דוגמת תשובות לשאלה 5

- א. המסלול הנכון הוא (2). במעבר אור מאוויר למים מתרחשת שבירה, והיות ומהירות האור נמוכה יותר במים מאשר באוויר, זווית השבירה קטנה יותר מזווית הפגיעה, זהו המסלול המתואר ב (2). מסלול (3) לא יתכן מפני שלא מתרחשת בו שבירה. מסלול (4) לא יתכן מפני שבו זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה. מסלול (1) לא יתכן מפני שבו זווית השבירה היא  $0^\circ$ , דבר המתקיים אך ורק אם זווית הפגיעה היא  $0^\circ$ .
- ב. כפי שראינו בתופעת העומק המדומה, הפועל אינו רואה את הנקודה A אלא את דמותה המדומה הנמצאת בנקודת החיתוך של ההמשכים המדומים של הקרניים המגיעות לעיני הפועל. המשכים אלה נפגשים בנקודה קרובה יותר לפני המים מאשר עומקה האמיתי של נקודה A.



יכולות הליבה והמרכיבים שלהן הבאים לביטוי בשאלה 5 :

- יכולת ליבה מספר 2: הסבר מדעי של תופעות. המרכיבים:  
2.1 להשתמש בידע מדעי לתיאור והסבר של תופעות  
2.5 בניית מודלים לתיאור, הסבר וחיזוי של תופעות



6. בתמונה מוצגת תופעה.

א. כיצד נקראת התופעה?

ב. תארו במילים את התופעה?

ג. מתופעה זו ניתן ללמוד שזווית השבירה תלויה ב (הקיפו

את התשובה הנכונה): זווית הפגיעה / המהירות של האור

בסביבה השקופה / בצבע של האור.

דוגמת תשובות לשאלה 6

א. נפיצה.

ב. אור לבן המגיע מהאוויר עובר דרך מנסרה, וביציאה מהמנסרה מתקבלת אלומה רחבה המורכבת מרצף

של צבעים, מאדום עד סגול. למעשה כבר בתוך המנסרה נפרד האור לרצף של צבעים, וביציאה

מהמנסרה האלומה הצבעונית מתרחבת עוד.

ג. בצבע של האור.

הערה: למעשה יש קשר בין הצבע למהירות האור בתווך, אך זאת לא ניתן להסיק מתופעת הנפיצה לבדה. אם

נשתמש בידע הקודם שלנו לגבי תלות זווית השבירה במהירות האור, ובידע שנוסף לנו כאן – הזווית תלויה בצבע

האור, נוכל להסיק כי קיימת תלות של מהירות האור בתווך בצבע האור.

יכולות הליבה והמרכיבים שלהן הבאים לביטוי בשאלה 6 :

• יכולת ליבה מספר :. הסבר מדעי של תופעות. המרכיב:

2.6 זיהוי רכיבים במערכת וקשרים ביניהם

## פעילות הרחבה: חוק סנל - לתלמידים

### תלות כיוון השבירה של אור בכיוון הפגיעה שלו בעוברו מאוויר לזכוכית ומזכוכית לאוויר

#### בפעילות תעבדו עם הדמיה. לכניסה להדמיה לחצו כאן

בפעילות הנוכחית תמדדו את כיוון התפשטות האור באוויר ובזכוכית באמצעות מדידת המרחק של נקודה נבחרת באלומה הפוגעת והעוברת, מהאנך למשטח הפגיעה בנקודת הפגיעה. מדידה זו תבצעו באמצעות "סרגל מסך" שניתן להורידו למחשב [כאן](#).

#### 1. הכירו את ההדמיה

א. היכנסו [להדמיה](#).

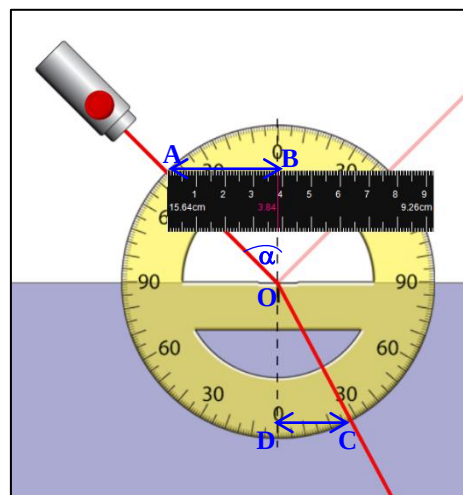
- קבעו שהתווך שממנו מגיע האור הוא אוויר, והתווך שאליו עובר האור הוא זכוכית.
- הדליקו את הפנס.
- העמידו את מד הזווית כך שתוכלו למדוד זוויות במערכת.
- הדביקו כאן תמונה של מסך ההדמיה.

ב. תארו המילים את המוצג בתמונה שצירפתם.

#### 2. מדידת התלות של כיוון השבירה בכיוון הפגיעה כאשר האור עובר מ-אוויר ל-זכוכית

א. כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה, מדדו בכל פעם את אורכי הקטעים AB ו-CD ורשמו את הערכים במקומות המתאימים בטבלה (ראו תמונה מתחת לטבלה).

| זווית הפגיעה, $\alpha$ ( $^{\circ}$ ) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| AB (mm)                               |   |    |    |    |    |    |    |    |
| CD (mm)                               |   |    |    |    |    |    |    |    |



ב. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את המרחק CD כתלות במרחק AB. הוסיפו לגרף קו מגמה ואת משוואתו.

הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו של הגרף יהיה כחצי עמוד.

ג. תארו במילים את הקשר בין המרחק CD למרחק AB כפי שהוא עולה מהגרף.

ד. עצרו וחישבו:

בכל המדידות של AB ו-CD המרחקים OA ו-OC שווים. מדוע זה חשוב כדי למצוא את אופי התלות של CD ב-AB?

3. מדידת התלות של כיוון השבירה בכיוון הפגיעה כאשר האור עובר מ-זכוכית ל-אוויר

א. שנו בהדמיה את התווך העליון לזכוכית ואת התווך התחתון לאוויר. כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה ורק עבור המצבים שבהם מתקבלת שבירה של האור, מדדו את אורכי הקטעים AB ו-CD ורשמו את הערכים במקומות המתאימים בטבלה. ביתר הזוויות רשמו X.

| זווית הפגיעה ( $^{\circ}$ ) | 0 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| AB (mm)                     |   |    |    |    |    |    |    |    |
| CD (mm)                     |   |    |    |    |    |    |    |    |

ב. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את המרחק CD כתלות במרחק AB. הוסיפו לגרף קו מגמה ואת משוואתו.

הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.

ג. תארו במילים את הקשר בין המרחק CD למרחק AB כפי שהוא עולה מגרף (2).

ד. הגרפים המתארים את התלות של CD ב-AB מתארים קשר של קו ישר.

א. רשמו כאן את השיפוע של כל אחד מגרפים אלה וכתבו מה הקשר בין שני מספרים אלה.

| כאשר האור עובר | ערך השיפוע של הגרף |
|----------------|--------------------|
| מאוויר לזכוכית |                    |
| מזכוכית לאוויר |                    |

ב. שיפוע של קו ישר הוא קבוע. מהו/מהם הקבועים בניסוי שיתכן ושיפוע גרף זה מתאר?

ה. עצרו וחשבו:

את תופעת השבירה חקרתם כמותית בשני אופנים.

בניסוי בכיתה מדדתם את כיווני קרן הפגיעה וקרן השבירה ע"י מדידת זוויות הפגיעה וזוויות השבירה, באמצעות מד זווית.

בפעילות הנוכחית מדדתם את כיווני קרן הפגיעה וקרן השבירה ע"י מדידת אורכי המיתרים AB ו-CD, באמצעות סרגל.

א. מהו היתרון של חקירת השבירה של האור באמצעות מדידת הזוויות על פני חקירה באמצעות מדידת אורכי המיתרים?

ב. לאור הגרפים שהתקבלו, מדוע בכל זאת כדאי למדוד גם את התלות של CD ב-AB ולא להסתפק במדידת התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה?

**ו. הידעתם? – חוק סנל**

בשנת 1621 ניסח וילברד סנל את הקשר בין זווית הפגיעה  $\alpha$ , זווית השבירה  $\beta$ , המהירות של האור בתווך הראשון  $v_1$  ומהירות האור בתווך השני  $v_2$  באופן הבא:

$$\sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha$$

א. מהיכרותכם עם פונקציית הסינוס, הסבירו מדוע צורת הגרפים המתארים את התלות של  $CD$  ב- $AB$  היא קו ישר.

ב. העזרו בחוק סנל כדי להסביר את הקשר בין שיפועי הגרפים המתארים את התלות של  $CD$  ב- $AB$ .

ג. מהירות האור באוויר היא בקירוב טוב 300,000 ק"מ לשנייה. חשבו בעזרת הממצאים שלכם את מהירות האור בזכוכית שאיתה עבדתם בהדמיה.



## דוגמת תשובות לתדריך פעילות ההרחבה: חוק סנל – עבור המורה

### תלות כיוון השבירה של אור בכיוון הפגיעה שלו בעוברו מאוויר לזכוכית ומזכוכית לאוויר

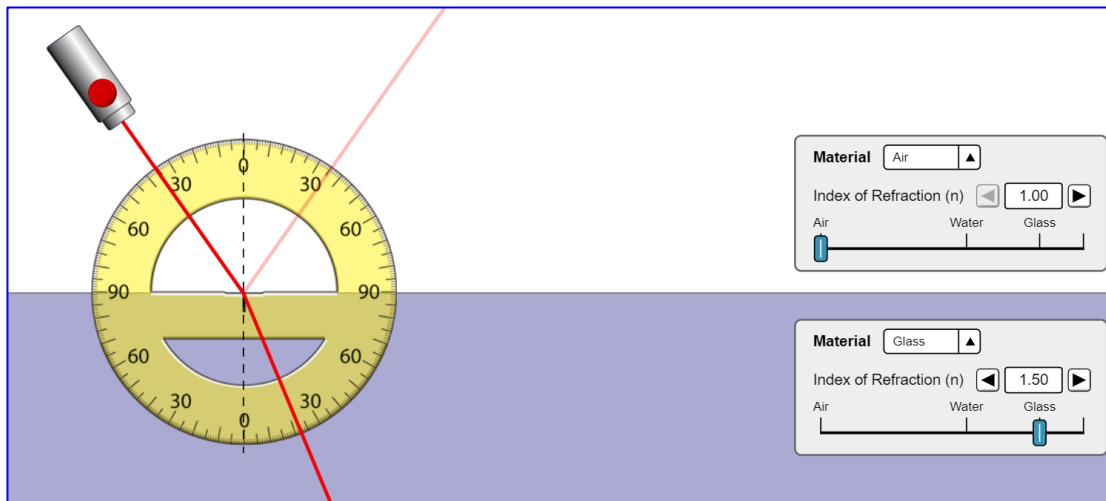
#### בפעילות תעבדו עם הדמיה. לכניסה להדמיה לחצו כאן

בפעילות הנוכחית תמדדו את כיוון התפשטות האור באוויר ובזכוכית באמצעות מדידת המרחק של נקודה נבחרת באלומה הפוגעת והעוברת, מהאנך למשטח הפגיעה בנקודת הפגיעה. מדידה זו תבצעו באמצעות "סרגל מסך" שניתן להורידו למחשב [כאן](#).

#### 1. הכירו את ההדמיה

ג. היכנסו [להדמיה](#).

- קבעו שהתווך שממנו מגיע האור הוא אוויר, והתווך שאליו עובר האור הוא זכוכית.
  - הדליקו את הפנס.
  - העמידו את מד הזווית כך שתוכלו למדוד זוויות במערכת.
- הדביקו כאן תמונה של מסך ההדמיה.



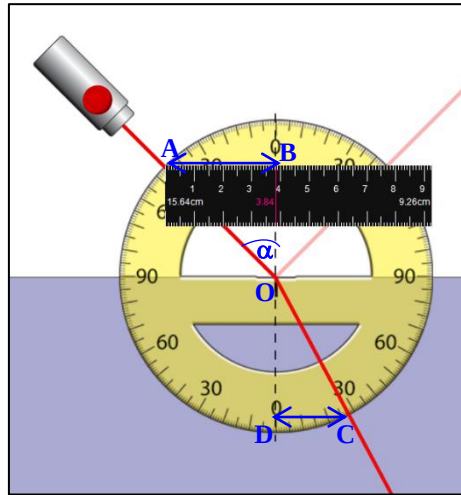
ד. תארו במילים את המוצג בתמונה שצירפתם.

אלומת אור צרה היוצאת מהפנס ופוגעת בשטח הגבול בין האוויר לזכוכית, חלק מהאלומה חוזר מהמשטח בזווית השווה לזווית הפגיעה במשטח; חלק מהאלומה ממשיך לנוע דרך הזכוכית בזווית הקטנה מזווית הפגיעה. עצמת האלומה החוזרת והנשברת שונות.

## 2. מדידת התלות של כיוון השבירה בכיוון הפגיעה כאשר האור עובר מ-אוויר ל-זכוכית

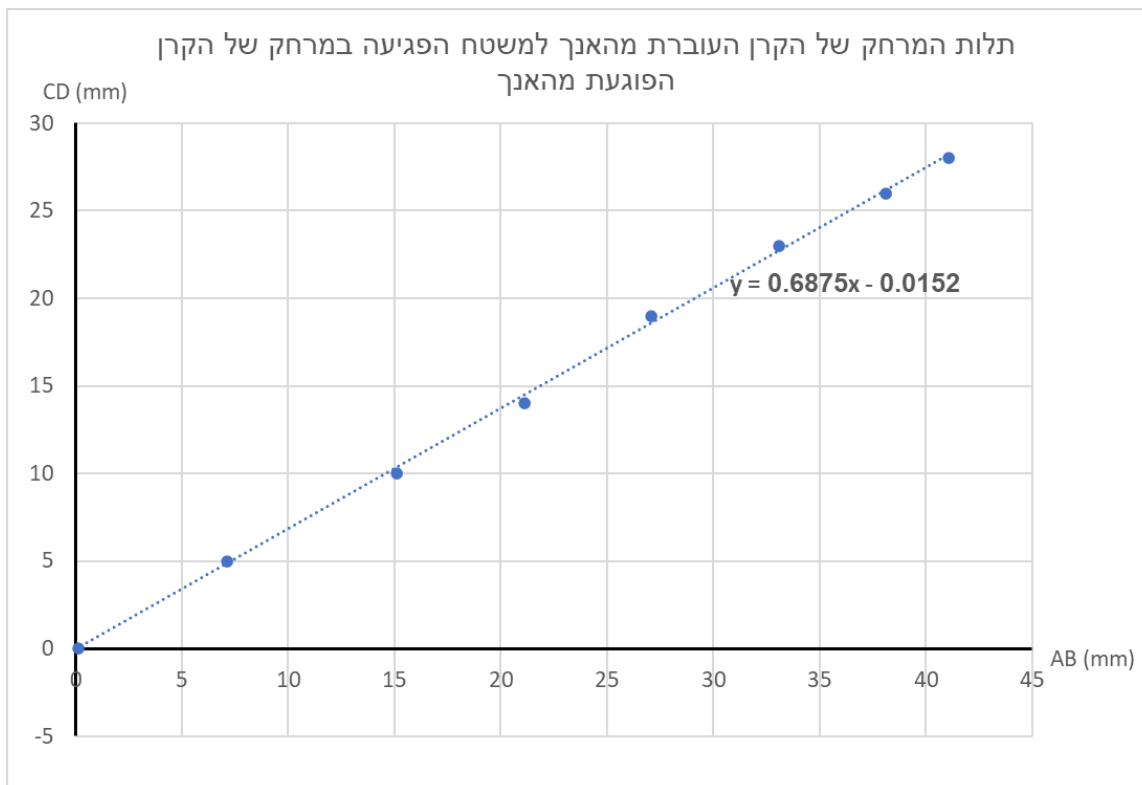
א. כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים הרשומים בטבלה, מדדו בכל פעם את אורכי הקטעים AB ו-CD, ורשמו את הערכים במקומות המתאימים בטבלה (ראו תמונה מתחת לטבלה).

| זווית הפגיעה, $\alpha$ ( $^{\circ}$ ) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| AB (mm)                               | 0 | 7  | 15 | 21 | 27 | 33 | 38 | 41 |
| CD (mm)                               | 0 | 5  | 10 | 14 | 19 | 23 | 26 | 28 |



ב. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את המרחק CD כתלות במרחק AB. הוסיפו לגרף קו מגמה ואת משוואתו.

הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו של הגרף יהיה כחצי עמוד.



ג. תארו במילים את הקשר בין המרחק CD למרחק AB כפי שהוא עולה מהגרף.  
 קיים יחס ישר בין CD ל-AB. בכל המדידות בהן זווית הפגיעה גדולה מאפס מתקיים  $CD < AB$ . הם  
 שווים לאפס כאשר זווית הפגיעה אפס.

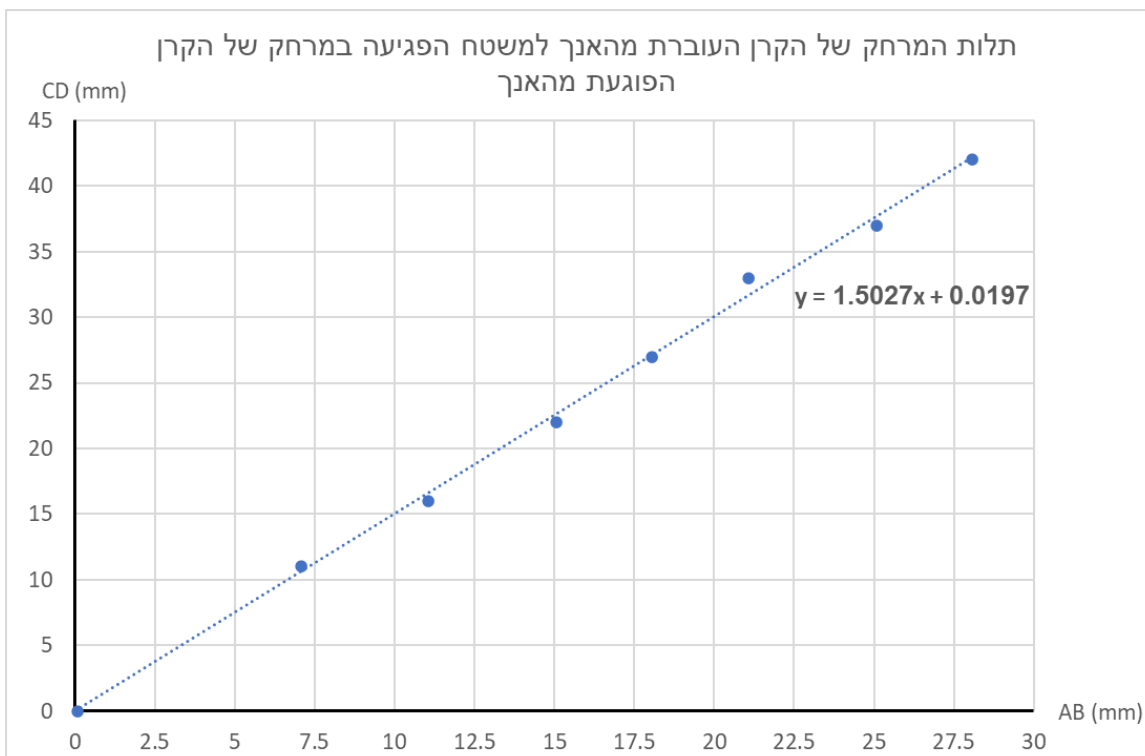
ד. עצרו וחישוב:  
 בכל המדידות של AB ו-CD המרחקים OA ו-OC שווים. מדוע זה חשוב כדי למצוא את אופי התלות  
 של CD ב-AB?  
 אם אנשים שונים ימדדו את CD במרחק שרירותי מ-O (OC שונים) יש סיכוי שיקבלו תוצאות שונות.  
 ואז CD יהיה תלוי לא רק ב-AB אלא גם ב-OC. בעוד שבניסוי התבקשנו לבדוק את התלות של CD ב-  
 AB בלבד.

### 3. מדידת התלות של כיוון השבירה בכיוון הפגיעה כאשר האור עובר מ-זכוכית ל-אוויר

א. שנו בהדמיה את התווך העליון לזכוכית ואת התווך התחתון לאוויר. כווננו את זווית הפגיעה על פי הערכים  
 הרשומים בטבלה ורק עבור המצבים שבהם מתקבלת שבירה של האור, מדדו את אורכי הקטעים AB  
 ו-CD ורשמו את הערכים במקומות המתאימים בטבלה. ביתר הזוויות רשמו X.

| זווית הפגיעה ( $^{\circ}$ ) | 0 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| AB (mm)                     | 0 | 7  | 11 | 15 | 18 | 21 | 25 | 28 |
| CD (mm)                     | 0 | 11 | 16 | 22 | 27 | 33 | 37 | 42 |

ב. שרטטו בעזרת האקסל גרף המתאר את המרחק CD כתלות במרחק AB. הוסיפו לגרף קו מגמה ואת  
 משוואתו.  
 הדביקו כאן את הגרף ששרטטתם. הקפידו שגודלו יהיה כחצי עמוד.



ג. תארו במילים את הקשר בין המרחק CD למרחק AB כפי שהוא עולה מגרף (2).  
 קיים יחס ישר בין CD ל-AB. בכל המדידות בהן זווית הפגיעה גדולה מאפס מתקיים  $CD > AB$ . הם  
 שווים לאפס כאשר זווית הפגיעה אפס.

4. הגרפים המתארים את התלות של CD ב-AB מתארים קשר של קו ישר.  
 א. רשמו כאן את השיפוע של כל אחד מגרפים אלה וכתבו מה הקשר בין שני מספרים אלה.

| כאשר האור עובר | ערך השיפוע של הגרף |
|----------------|--------------------|
| מאוויר לזכוכית | 0.688              |
| מזכוכית לאוויר | 1.503              |

ב. שיפוע של קו ישר הוא קבוע. מהו/מהם הקבועים בניסוי שיתכן ושיפוע גרף זה מתאר?  
 המהירות של האור בכל אחת מהסביבות.  
 הערה למורה: תלמידים נוטים לענות ש"הסביבות" הן הקבועים בניסוי. במידה וכך, ניתן לשאול אותם "כיצד הסביבה  
 מתקשרת לאור" ולהזכיר שניתן לתאר את שינוי הכיוון של תנועה כתוצאה משינוי מהירות במעבר לסביבה אחת לשנייה.

#### 5. עצרו וחשבו:

את תופעת השבירה חקרתם כמותית בשני אופנים.  
 בניסוי בכיתה מדדתם את כיווני קרן הפגיעה וקרן השבירה ע"י מדידת זוויות הפגיעה וזוויות השבירה,  
 באמצעות מד זווית.  
 בפעילות הנוכחית מדדתם בעזרת הדמיה את כיווני קרן הפגיעה וקרן השבירה ע"י מדידת אורכי המיתרים  
 AB ו-CD, באמצעות סרגל.

א. מהו היתרון של ביצוע הניסוי באמצעות מדידת הזוויות על ביצועו באמצעות מדידת אורכי המיתרים?  
 ב. לאור הגרפים שהתקבלו, מדוע בכל זאת כדאי למדוד גם את התלות של CD ב-AB ולא להסתפק  
 במדידת התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה?

א. המדידה של AB ו-CD תלויה בשמירה על מרחקים קבועים מהנקודה O, בעוד שהזווית נכונה לכל  
 מרחק כזה.

הערה למורה: ניתן גם להצביע על כך ש- (1) במערכת הבית ספרית המרחקים AB ו-CD קטנים מאוד בגלל שממדי  
 המערכת קטנים, דבר שמגדיל את השגיאה היחסית במדידה; (2) בגלל שבניסוי מסובבים את המשטח ולא את  
 מקור האור, כלומר משנים את הכיוון של משטח הפגיעה, דבר המחייב להקפיד שהסרגל יקביל בכל פעם למשטח  
 הפגיעה

ב. הגרפים שמתארים את התלות של זווית השבירה בזווית הפגיעה מתארים קשר עולה בקצב משתנה,  
 מה שמקשה לנבא מה יהיה ערכה של זווית השבירה לזוויות פגיעה שלא מדדנו. לעומת זאת הגרפים  
 שמתארים את התלות של CD ב-AB צורתם קו ישר, אותו ניתן לתאר באופן אלגברי ( $y=ax$ ) ובכך לנבא  
 את ערכי CD לכל AB שלא מדדנו.

## 6. הידעתם? – חוק סנל

בשנת 1621 ניסח וילברד סנל את הקשר בין זווית הפגיעה  $\alpha$ , זווית השבירה  $\beta$ , המהירות של האור בתווך הראשון  $v_1$  ומהירות האור בתווך השני  $v_2$  באופן הבא:

$$\sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha$$

א. מהיכרותכם עם פונקציית הסינוס, הסבירו מדוע צורת הגרפים המתארים את התלות של  $CD$  ב- $AB$  היא קו ישר.

$$\sin \alpha = \frac{AB}{OA} ; \sin \beta = \frac{CD}{OC}$$

במידות של  $AB$  ו- $CD$  הקפדנו ש- $OA=OC$  אז לפי חוק סנל:

$$\sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha$$

$$\frac{CD}{OC} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{AB}{OA}$$

$$CD = \frac{v_2}{v_1} \cdot AB$$

התקבל יחס מהצורה  $y=Ax$ .

ב. העזרו בחוק סנל כדי להסביר את הקשר בין שיפועי הגרפים המתארים את התלות של  $CD$  ב- $AB$ .

על פי חוק סנל במעבר של האור מהאוויר אל הזכוכית השיפוע 0.688 מייצג את  $\frac{v_{\text{זכוכית}}}{v_{\text{אוויר}}}$ , ובמעבר של

האור מהזכוכית אל האוויר השיפוע 1.503 מייצג את  $\frac{v_{\text{אוויר}}}{v_{\text{זכוכית}}}$ . ניתן לומר שאכן 0.688 הוא בקירוב המספר

ההופכי ל-1.503.

ג. מהירות האור באוויר היא בקירוב טוב 300,000 ק"מ לשנייה. חשבו בעזרת הממצאים שלכם את מהירות האור בזכוכית שאיתה עבדתם בהדמיה.

$$\frac{v_{\text{זכוכית}}}{v_{\text{אוויר}}} = 0.688$$

$$\frac{v_{\text{זכוכית}}}{300,000} = 0.688$$

$$v_{\text{זכוכית}} = 206,400 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$