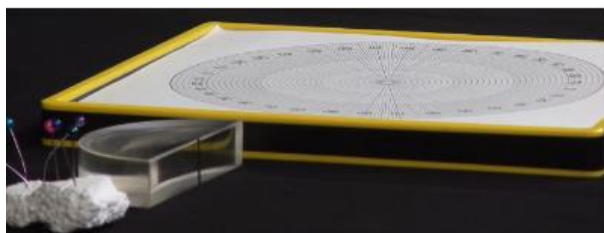


תדריך מעבדה: אופטיקה גיאומטרית- אישור חוק סנל (ניסוי סיכות)



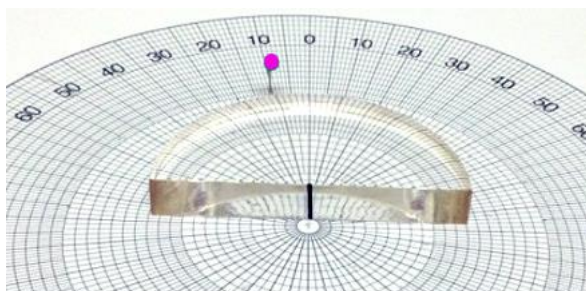
ציוד-

לוח פולארי, לוח קלקר, מנסרה חצי עגולה וסיכות.

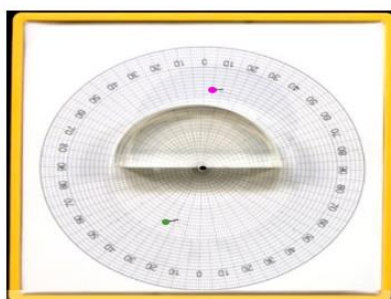
מטרת הניסוי

1. אישור חוק סנל במעבר אור מאוויר לפרספקס.
2. מציאת מקדם השבירה של פרספקס ביחס לאוויר.

מהלך הניסוי



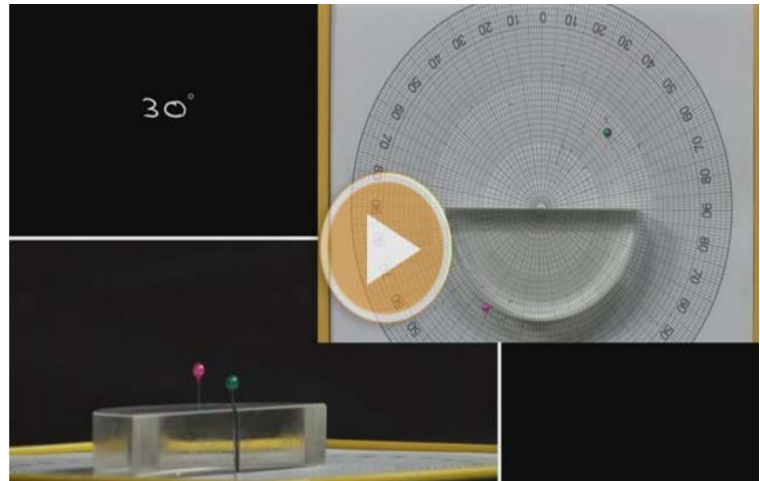
- הציבו על הלוח הפולארי מנסרה חצי עגולה, כך ששפת הדופן המישורית שלה תתלכד עם הקו 90° - 90° ומרכזה יהיה בדיוק במרכז הלוח הפולארי, כמתואר בתרשים.
 - התכופפו אל המשטח והביטו אל תוך המנסרה דרך הדופן הישרה.
 - נעצו סיכה (בצילום- סיכה ורודה) בניצב ללוח מאחורי המשטח העגול של המנסרה.
 - התבוננו על רגל הסיכה ועל ראש הסיכה תוך כדי הזזה של הסיכה מצד אחד לצד שני.
- הציבו סיכה נוספת (ירוקה בצילום) בנקודה שנמצאת לאורך הישר, המחבר בין הקו השחור (המסמן את מרכז המנסרה) לבין רגל הסיכה הורודה.



- במצב זה, סובבו לאט את המערכת ב- 180° (הקפידו שהמנסרה תישאר במקום ולא תזוז). התכופפו והביטו דרך משטח העגול לעבר הסיכה הירוקה, ובדקו שגם במצב זה רגלי הסיכות נמצאות על קו אחד העובר דרך מרכז המנסרה.

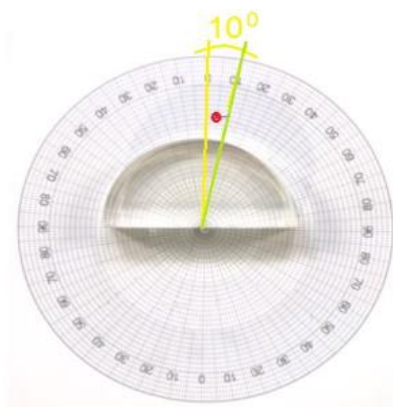
את השלבים הללו תבצעו עבור כמה זוויות במהלך הניסוי, ובהסתמך על המדידות שתבצעו- תוכלו לאמת את חוק השבירה של קרני האור, הידוע כ"חוק סנל".

תוכלו לצפות במורה דני עובדיה, כשהוא מבצע את שלבי הניסוי:



זווית פגיעה וזווית שבירה

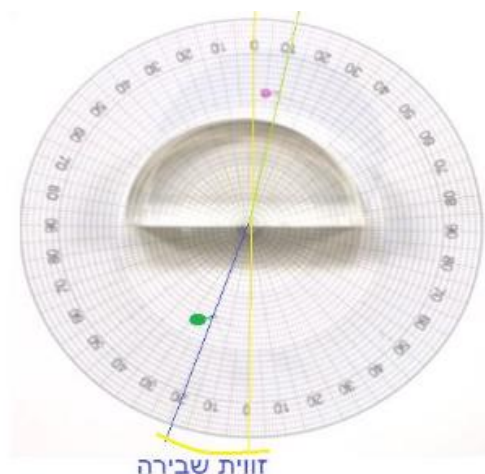
- נעצו סיכה אדומה בנקודה כלשהי לאורכו של קו ה- 10° בלוח הפולארי, קרוב לצד **הקמור** של המנסרה.



הקו הישר בין הסיכה לבין מרכז המנסרה (הקו מודגש בצבע ירוק בשרטוט) מייצג את כיוון התנועה של קרן אור, היוצאת מהסיכה ופוגעת במרכז המנסרה. זוהי **הקרן הפוגעת**. הזווית בין הקו הירוק לבין האנך בנקודת הפגיעה (קו צהוב $0^\circ-0^\circ$) הינה **זווית הפגיעה** (10° במקרה זה).



- החזיקו בידכם סיכה נוספת (בצילום- ירוקה) והביטו דרך הדופן הישרה של המנסרה.
- נעצו סיכה זו בלוח הפולארי מצד הדופן הישרה של המנסרה, בנקודה שבה: **רגל הסיכה הירוקה, הקו השחור** (מרכז המנסרה) ו**רגל הסיכה האדומה** יתלכדו על קו אחד.



מבט דרך הדופן הישרה של המנסרה



רגל הסיכה הירוקה
 רגל הסיכה האדומה
 הקו השחור המסמן את
 מרכז המנסרה

הישר, שמחבר את הסיכה הירוקה עם מרכז המנסרה מייצג את הקרן הנשברת (מסומן בקו כחול בתרשים למעלה).
 הזווית בין קו ה- 0° - 0° (האנך בנקודת הפגיעה) לבין הקרן הנשברת היא זווית השבירה.



שאלה 1

איסוף נתונים:

- נסמן את זווית הפגיעה באות אלפא (α). בניסוי למעלה α הייתה שווה 10° .
- רשמו במקום המתאים בטבלה את גודל זווית השבירה שהתקבלה עבור $\alpha=10^{\circ}$.
- חזרו על הניסוי, כאשר בכל פעם תשנו את זווית הפגיעה α , על פי הערכים הרשומים בטבלה. עבור כל זווית, רשמו את זווית השבירה β המתקבלת בניסוי.

כפי שלמדתם, על פי חוק סנל קיים יחס ישר בין סינוס זווית השבירה לבין סינוס זווית הפגיעה. בניסוי זה אנו מנסים לאשש את הקשר הזה, ולכן נוסיף לטבלה גם את ערכי הסינוסים המתאימים.



חשבו (באמצעות מחשבון) והשלימו בטבלה את הערכים של $\sin \alpha$ ושל $\sin \beta$ בהתאמה.

α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
β	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$\sin \alpha$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$\sin \beta$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

שאלה 2

בכל מדידה קיימת אי ודאות (שגיאה) אקראית, הנובעת מכך שלא ניתן לקרוא במדויק ערכים שבין שתי שנתות סמוכות של מכשיר המדידה. במקרה שלנו, מכשיר המדידה הוא הלוח הפולארי. נסמן את אי הודאות ב- $\Delta\theta$.



מהו ערך אי הודאות בניסוי שלנו? $\Delta\theta =$

שאלה 3

אי וודאות יחסית (שגיאה יחסית) היא היחס בין השגיאה המוחלטת של המדידה לבין הגודל אותו אנו מודדים. נהוג להציג את אי הוודאות באחוזים ולשם כך מכפילים את התוצאה ב-100%. שגיאה יחסית היא חסרת ממדים. לדוגמה: נניח שאי הוודאות בקריאת הזווית 1° וגודל זווית השבירה שווה ל 20° , אז חישוב אי הודאות היחסי:

$$\frac{1}{20} \cdot 100\% = 5\%$$

ככל שהגודל הנמדד גדול יותר ביחס לשגיאת המדידה, כך השגיאה היחסית קטנה יותר.



▪ חשבו באחוזים את השגיאה היחסית הגדולה ביותר במדידת זווית השבירה.

תשובה: השגיאה היחסית הגדולה ביותר במדידת הזווית:

עבור איזו זווית פגיעה התקבלה שגיאה זו?

- זווית פגיעה הקטנה ביותר שנבדקה בניסוי.
- זווית פגיעה הגדולה ביותר שנבדקה בניסוי.
- זווית פגיעה של 90° מעלות.
- אי אפשר לדעת.

▪ חשבו באחוזים את השגיאה היחסית הקטנה ביותר במדידת זווית השבירה.

תשובה: השגיאה היחסית הקטנה ביותר במדידת הזווית:

עבור איזו זווית פגיעה התקבלה שגיאה זו?

- עבור זווית פגיעה הקטנה ביותר שנבדקה בניסוי.
- עבור זווית פגיעה הגדולה ביותר שנבדקה בניסוי.
- עבור זווית פגיעה של 90° מעלות.
- אי אפשר לדעת.

ניתוח תוצאות הניסוי

זווית הפגיעה וזווית ההחזרה בניסוי שביצעתם

שימו לב:



- בניסוי שתואר, הסיכה האדומה שימשה כמקור האור. הקרן שיוצאת מהסיכה האדומה (בצד הקמור של המנסרה) אינה נשברת במעבר מאוויר למנסרה, מכיוון שהקרן נעה לאורך ישר המתלכד עם רדיוס המנסרה (זווית פגיעה בין האוויר למנסרה היא אפס).
 - קרן אור זו מתפשטת בתוך המנסרה (מתלכדת עם קו הרדיוס) ומגיעה לנקודת המרכז של המנסרה (המסומנת בקו שחור). בנקודה זו, האור יוצא מהמנסרה (העשויה פרספקס, תווך "צפוף" מבחינה אופטית) אל האוויר (תווך "דליל" מבחינה אופטית) ובמעבר זה נוצרת שבירה של הקרן.
 - את זווית השבירה שנוצרה במעבר מהפרספקס לאוויר מדדתם בעזרת הסיכה הירוקה. זווית זו תלויה כמובן בזווית הפגיעה (שאותה קבעתם כאמור, כאשר נעצתם את הסיכה האדומה).
- לכן זווית הפגיעה הינה המשתנה הבלתי תלוי ואילו זווית השבירה היא המשתנה התלוי.

הצגת נתונים בגרף



- גרף מתאר את תוצאות הניסוי בצורה ויזואלית ועוזר בתהליך הסקת המסקנות.
- גרף פיזור נקודות הוא גרף, שבו מסומנות הנקודות, שערכיהן מתייחסות לתוצאות הניסוי. כיצד משרטטים גרף?
- הציר האופקי (לרוב נהוג להתייחס אליו כ"ציר X") מייצג את המשתנה הבלתי תלוי של הניסוי (במקרה שלנו זווית הפגיעה).
 - הציר האנכי (שלרוב נהוג להתייחס אליו כ"ציר Y") מייצג את המשתנה התלוי בניסוי (במקרה שלנו- זווית ההחזרה).
 - יש לבחור כותרת מושכלת לכל ציר, המבטאת את משמעותו, וכן לציין את יחידות המידה במידה וישנן.
 - יש לבחור כותרת מושכלת לגרף, המתארת את התוצאות המשוטרטות בו (תוך התייחסות לשני הצירים).

שאלה 4

פתחו גיליון חדש באקסל. הכניסו לגיליון את ערכי הטבלה.

1. צרו גרף פיזור נקודות של זווית השבירה (β) כתלות בזווית הפגיעה (α).

- הוסיפו כותרת לגרף:

גרף מספר 1: זווית השבירה בתלות בזווית הפגיעה במעבר אור מתווך צפוף לתווך דליל.

- הוסיפו כותרת לציר האופקי: "זווית הפגיעה".

- הוסיפו כותרת לציר האנכי: "זווית השבירה".

- התבוננו בצורת פיזור הנקודות:

האם קיים יחס ישר למראית עין?

נסו להתאים קו מגמה לינארי. האם הקו מתאים לפיזור כל הנקודות? (הוספת קו מגמה)

2. לאותו גיליון הוסיפו גרף פיזור נקודות נוסף, המתאר את **סינוס זווית השבירה** ($\sin\beta$) כתלות ב**סינוס זווית הפגיעה** ($\sin\alpha$).

- הוסיפו כותרת לגרף :
- **גרף מספר 2: סינוס זווית השבירה בתלות בסינוס זווית הפגיעה במעבר אור מתווך צפוף לתווך דליל.**
- הוסיפו כותרת לציר האופקי: "**סינוס זווית הפגיעה**".
- הוסיפו כותרת לציר האנכי: "**סינוס זווית השבירה**".
- הוסיפו לגרף קו מגמה לינארי.

האם התאמת הקו במקרה זה טובה יותר מהתאמת הקו בגרף מספר 1? (**הוספת קו מגמה**)

הוספת קו מגמה

מתוך התבוננות בנקודות שבגרף ניתן לראות שקיימת חוקיות מסוימת, אותה ניתן להתאים למודל מתמטי. לפעמים המודל המתמטי פשוט ולפעמים הוא מורכב. כאשר מתקבלות תוצאות, שמראות על קשר ברור בין המשתנה הבלתי תלוי ובין המשתנה התלוי (לדוגמה, הגדלת ערכו של המשתנה הבלתי תלוי גורר הגדלת ערכו של המשתנה התלוי), אנו יכולים להעביר **קו מגמה** בין הנקודות בגרף, ולהניח שזו תהיה מגמת התוצאות שתתקבלנה גם עבור ערכים שלא בדקנו בטווח הניסוי. המטרה היא להתאים פונקציה, שתקרב בצורה הטובה ביותר את ההתנהגות הנצפית בניסוי. פעולה זו נקראת **אינטרפולציה**.

לעתים, כאשר יש מקום להניח שמגמת הגרף תמשך בלא שינוי גם מעל לתחום שנבדק, אפשר למצוא את התוצאות המשוערות בערכים הגבוהים מהטווח שנבדק ע"י הארכת הגרף באותה מגמה והורדת אנכים התוצאות המשוערות בערכים הגבוהים מהטווח שנבדק ע"י הארכת הגרף באותה מגמה והורדת אנכים לצירים. פעולה זו נקראת **אקסטרפולציה**.

צרפו את הקובץ שיצרתם ובו נתוני הטבלה ושני הגרפים.

כתבו מסקנה לגבי מידת ההתאמה של קו המגמה הלינארי בשני המקרים.

אם קו המגמה מתאים, לדעתכם, כתבו את משוואת הקו שהתקבל.

תשובה:

שאלה 5

א. מה המסקנה שתוכלו להסיק מהקשר בין פיזור הנקודות שהתקבל בגרף מספר 2 לבין קו המגמה הלינארי? האם ממצאי הניסוי תומכים בחוק סנל?

תשובה:

ב. על פי משוואת קו המגמה הלינארי שהתקבלה, כתבו את ערך שיפוע הגרף. מה המובן הפיזיקלי של ערך זה?

תשובה:

ג. חשבו את מקדם השבירה של הפרספקס, החומר ממנו עשויה המנסרה. מהן יחידות המידה של מקדם השבירה?

תשובה:

שאלה 6

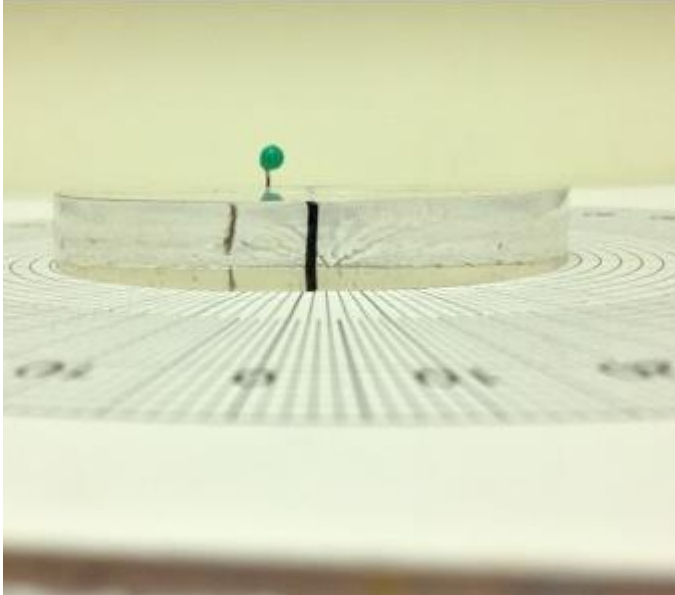
בניסוי זה בדקתם את תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה במעבר של אור מפרספקס (תווך צפוף מבחינה אופטית) לאוויר (תווך דליל מבחינה אופטית). הציעו: איך הייתם משנים את הניסוי, כדי לבדוק את תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה **במעבר מאוויר לפרספקס** באותה מערכת ניסוי?

תשובה:

תופעת החזרה מלאה במנסרה חצי עגולה

הרחבה: תופעת החזרה גמורה במנסרה חצי עגולה.

שאלה 7



- הציבו סיכה ירוקה מאחורי המשטח הישר בצמוד לו (אל תנעצו אותה, החזיקו אותה בידכם).
- התכופפו והביטו מכיוון המשטח העגול, כמראה בצילום.
- הזיזו את הסיכה שמאלה או ימינה לאורך ישר המקביל למשטח הישר והביטו בדמות רגל הסיכה.
- מצאו אזור בו לא ניתן לראות יותר את דמות רגל הסיכה מאף זווית ראייה. נעצו שם את הסיכה.
- במצב הזה סובבו את המערכת ב- 180° כך שהמשטח הישר יימצא מול עיניכם.
- במידה והסיכה הירוקה נמצאת בצד ימין של המשטח הזיזו אותה מעט ימינה ושמאלה והביטו בצד השמאלי של המשטח.

האם תוכלו לזהות את דמות רגלי הסיכה? שרטטו את מערכת הניסוי ואת מהלך הקרן היוצאת מרגלי הסיכה.

תשובה: