

(8.5+) 8

מטרה 1 - לאשר חוק סובל במעבר מאויר לפרספקט:

מטרה 2 - לאשר חוק סובל במעבר מפרספקט לאויר + מדידת חזית הקרטית.

מטרה 3 - לאשר חוקי החזבה

מטרה 4 -شرطוט מהלך קרב בפנימה במנסחה משולשת

מבוא תיאורטי:

חוק סNEL על שם וילברורד סNEL שגילה את החוק בשנת 1626. סNEL לא היה הראשון שגילה את החוק, על פי ההיסטוריה רושדי רشد, אפשר למצוא את החוק בכתביו של איבן סאל משנת 984 לפני הספירה. ידוע גם שתומאס הרויט גילה את החוק ב-1601 אך כמו סNEL, מעולם לא פרסם אותו. רנה דקארט, ניסח את החוק לראשונה על ידי שימוש בפונקציית הסינוס והוא מופיע בספרו: "מאמר על המתודת" שיצא לאור בשנת 1637. לאחר שהויגנס קרא את ספרו של דקארט ואת מחברותיו של סNEL הוא האשים את דקארט בגנבה ספרותית. עד היום בצרפת נקרא החוק "חוק דקארט" או "חוק סNEL-דקארט".

לאחר כל מעלי הסיפור האלה, חוק סnal-דקארט נראה כיוון ✓

$$n1 * \sin(\Theta i) = n2 * \sin(\Theta r)$$

תופעת השבירה

העלנו מספר אפשרויות לניסוח שאלת החקירה, וזהו הנוסח שהתקבל לבסוף:
מהו הקשר בין דוית השבירה לבין דוית הפניה במעבר אוור מאויר לפרספקט
ולהפר?

מושגים:

- **זווית פגעה**: הזווית הנוצרת בין קרן אוור הפגעת במשטח, לבין אן למשיק המשטח בנקודת הפגיעה. מסומנת ב- γ , ונמדדת במעלות או ברדיאנים.
 - **זווית שבירה**: הזווית הנוצרת בין קרן אוור שנשברה כתוצאה מעבר בין שני תווים שונים, לבין האן לנקודת השבירה של הקרן. מסומנת ב- α , ונמדדת במעלות או ברדיאנים.
 - **זווית החזרה**: הזווית הנוצרת בין קרן אוור מוחזרת כתוצאה מפגיעה במשטח, לבין אן למשטח בנקודת הפגיעה של קרן האור. לפי חוק החזרה, זווית ההזרה שווה תמיד לזווית הפגיעה. נמדדת במעלות או ברדיאנים.
 - **מקדם השבירה**: תכונה ייחודית של כל חומר. מסומן ב- n , והוא חסר יחידות פיזיקליות. הוא מוגדר באופן הבא: $n = v_1/v_2$, כאשר v_1 הוא מהירות האור בריק, ו- v_2 הוא מהירות האור בחומר.
 - **חוק החזרה**: כאשר קרן אוור פוגעת במשטח היא מוחזרת בזווית החזרה. זווית החזרה שווה בוגדלה לזווית הפגיעה והיא נמדדת מהאנר למשטח בנקודת שבירה הקרן פוגעת.

✓ Right - if right, what is the right?

X א. מ. ו. ז. נזקינו

- **תקן השבירה:** כאשר קרן אוր עוברת בין שני תווים, נוצרת שבירה של קרן האור והיא למשה ממשיכה את עצמה בכיוון שונה. שבירה לא קורית במצב אחד: כאשר מקדם החומר שמננו עברת הקרן גדול ממקדם המשטח שלו עוברת הקרן, במקרה כזה אם דוית הפגיעה גדולה מהדוית הクリיטית, לא תהיה שבירה אלא החזרה מלאה.

- **התנאים לקבלת החזרה גמורה, דויתות קרייטית:** תופעת החזרה גמורה, ככלומר תופעה שבה לא מתרחשת שבירה של קרן אוור ועוצמתה אינה נחלשת, מתרחשת כאשר 2 התנאים הבאים קיימים:

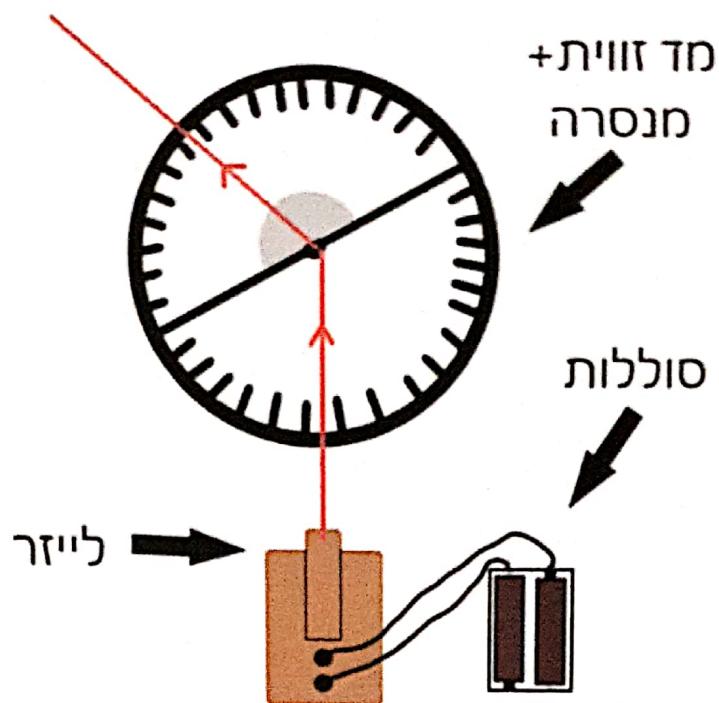
- קרן האור עוברת מתווך בעל מקדם שבירה גבוה לתווך בעל מקדם שבירה נמוך.
- דוית הפגיעה זו גדולה מדוית הפגיעה הクリיטית $Z_i > Z_c$ (דוית הפגיעה המקסימלית שעבורה מתרחשת שבירה של קרן האור במעבר בין התווים 1 ו-2).

מקדם השבירה של אויר הוא 1, ומוקדם השבירה של פרספקט, חומר דמי זכוכית, הוא 1.513.

רשימת ציוד

1. לוח מגנטי
2. מד דוית פולרי
3. מקור אוור לייזר אדום
4. בית סוללות וסוללות להפעלת מקור האור
5. מנסרה חצי עגולה עשוית מחומר שקוף-פרספקט

תיאור מערכת הניסוי

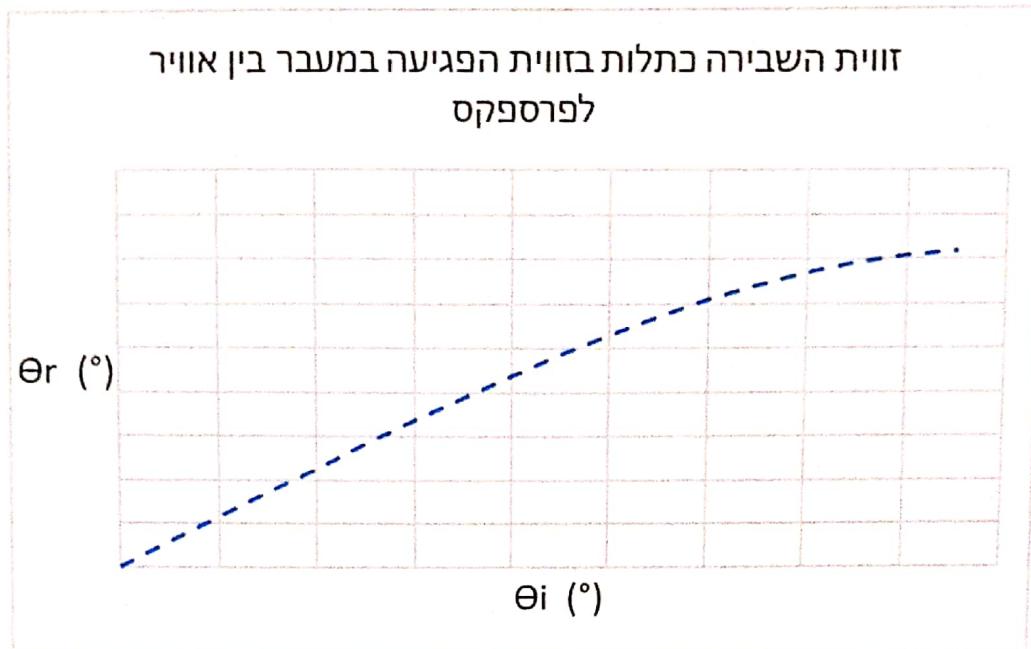


מהלך הניסוי

- מניחים את המנסרה החצי ענולה על מד הזווית הפולרי. מקפידים שהפאה הישרה תתלכד עם הקו שعلיו רשום 90° (כלומר במרכז).
- מניחים את מקור אור הליזר האדום על הלוח המגנטי (על מנת שלא יוז במהלך ביצוע הניסוי). שמים את הסוללות בבית הסוללות ומחברים את מקור אור הליזר האדום אליהם.
- מדיליקים את מקור אור הליזר האדום ומכוונים אותו כך שקרן האור היוצאת ממנו תפגע בדיק במרכז הפאה הישרה של חצי המעגל.
- בכל מדידה מכונים בעדרת מד הזווית הפולרי את זווית הפגעה (מסובבים אותו כך שאלומת האור תחדור לפרשקס דרך הפאה הישרה), ומודדים את זווית השבירה.
- מניחים את המנסרה כמו בשרטוט, כדי שקרן האור תמיד תפגע במרכז חצי המעגל: משפט מתמטי, המשיק למעגל תמיד מאונך לרדיווס הפוגע בנקודות ההשקה, ולכן זווית הפגעה בנקודות יציאת האור מן חצי המעגל היא 0° מעלה, וכך אין שבירה נוספת, וכך תנאי הניסוי הרצוי נשמרים. *זה נכון: לא נזקף על מזקף!*

גרפים צפויים + נוסחאות מתאימות + הסבר

גרף 1



פיתוח הנוסחה של הפונקציה על פי חוק סnell

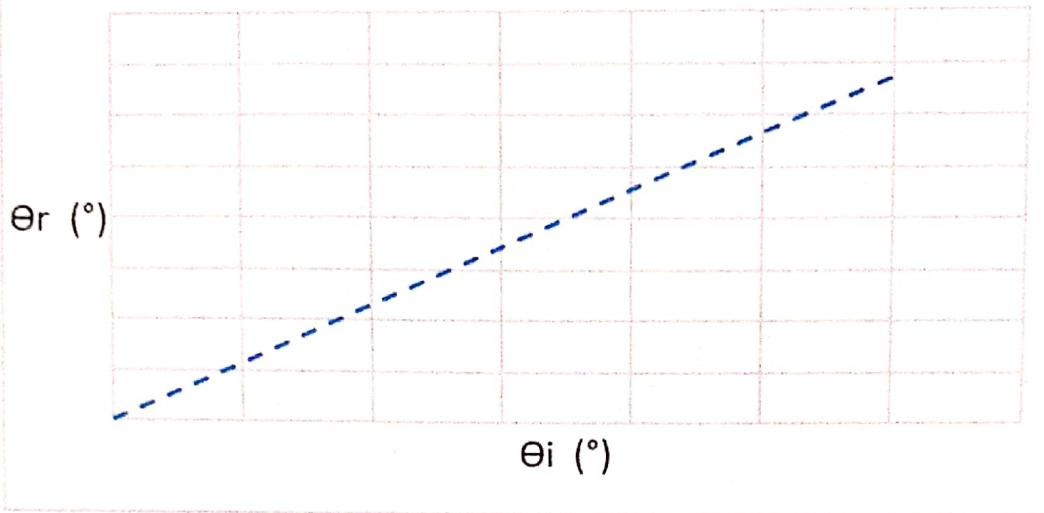
$$\begin{aligned} n_1 * \sin(\theta i) &= n_2 * \sin(\theta r) \\ \sin(\theta i) * n_1/n_2 &= \sin(\theta r) \\ \sin^{-1}(\sin(\theta i) * n_1/n_2) &= \theta r \end{aligned}$$

הסבר לגרף והנוסחה

אפשר לראות בבירור שאין קשר לינארי בין הזווית שכך ה תלות בפונקציה היא בסינוס ולא בזווית עצמה. הגרף עצמו נראה כך, מכיוון שכך שזווית השבירה עולה הסינוס שלה גם עולה וכך זווית הפגיעה גדל בהתאם גם היא. החיתוך של הפונקציה יהיה ב(0,0) מכיוון שם נציב בחוק סnell זווית אחת 0 איז השניה גם תהיה חייבת להיות 0, כי הרו קרן הליזר תהיה ישרה ולא תישבר כלל.

גרף 2

דוית השבירה כתלות בזווית הפגיעה מעבר בין אויר
לפרנסקס (בזווית קטנות)



פיתוח הנוסחה של הפונקציה על פי חוק סnell

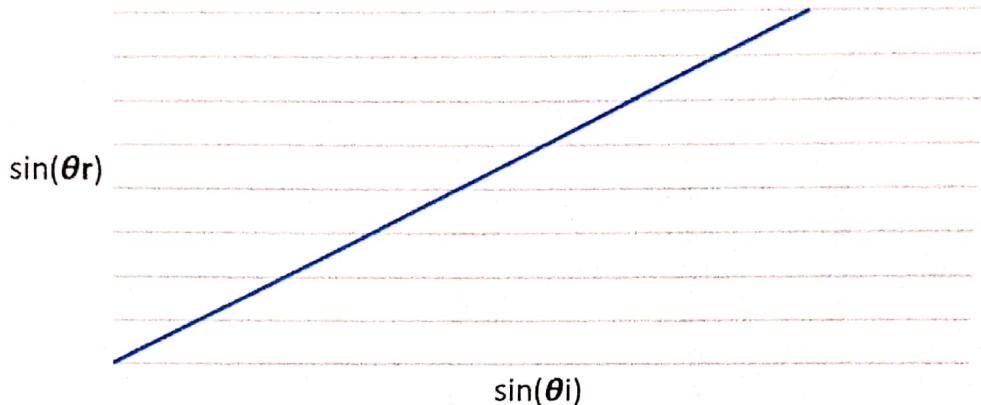
$$\begin{aligned}
 0 &\leq \theta_i \leq 30 \\
 \sin(\theta) &\approx \theta \text{ ברדיאנים} \\
 n_1 * \sin(\theta_i) &= n_2 * \sin(\theta_r) \\
 \sin(\theta_r) &= \frac{n_1}{n_2} * \sin(\theta_i) \\
 \theta_r &= \frac{n_1}{n_2} * \theta_i \\
 (y) &= k * x
 \end{aligned}$$

הסבר לגרף והנסתה

הסינוס של זווית קטנות ברדיאנים שואף למעשה להיות הזווית עצמה, ולכן נוצר גраф של הזווית הקטנות הוא בהכרח יהיה לינארי. אפשר לראות על פי הנוסחה את האנלוגיה לטוסחת קו ישר. הגраф יעלה מכיוון שני מקדמי השבירה שייצרים את השיפוע חיוביים ולכן השיפוע חיובי. החיתוך של הפונקציה יהיה ב(0,0) מכיוון שם נציב בחוק סnell זווית אחת 0 אז השניה גם תהיה חייבת להיות 0, כי הרि קרן הליזר תהיה ישירה ולא תישבר כלל.

/

סינוס זווית השבירה כתלות בסינוס זווית הפגיעה
במעבר מאויר לפרשף



פיתוח הנוסחה של הפונקציה על פי חוק סנל

$$n_1 * \sin(\theta_i) = n_2 * \sin(\theta_r)$$

$$\sin(\theta_r) = \frac{n_1}{n_2} * \sin(\theta_i)$$

(נציב את x וу)

$$y = \frac{n_1}{n_2} * x$$



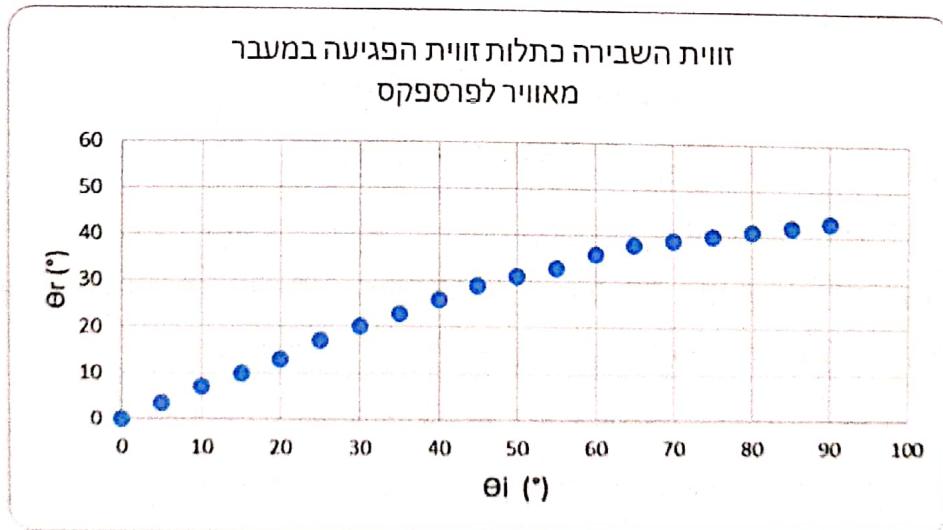
הסבר לנגרף והנוסחה

על פי חוק סnal, סינוס זווית השבירה כפונקציה של סינוס זווית הפגיעה, יהיה ביחס לינאריו מכיוון השיפוע של הנגרף יהיה יחס המקדמים וזה כל מה שיופיע על הנגרף. אפשר לראות על פי הנוסחה את האנלוגיה לנוסחת קו ישר. הנגרף יעלה מכיוון שני מקדמי השבירה שייצרים את השיפוע חיוביים ולכן השיפוע חיובי. החיתוך של הפונקציה יהיה ב(0,0) מכיוון שם נציב בחוק סnal זווית אחת 0 אז השניה נס תהיה חייבת להיות 0, כי הרוי קרבן הלייזר תהיה ישירה ולא תישבר כלל.

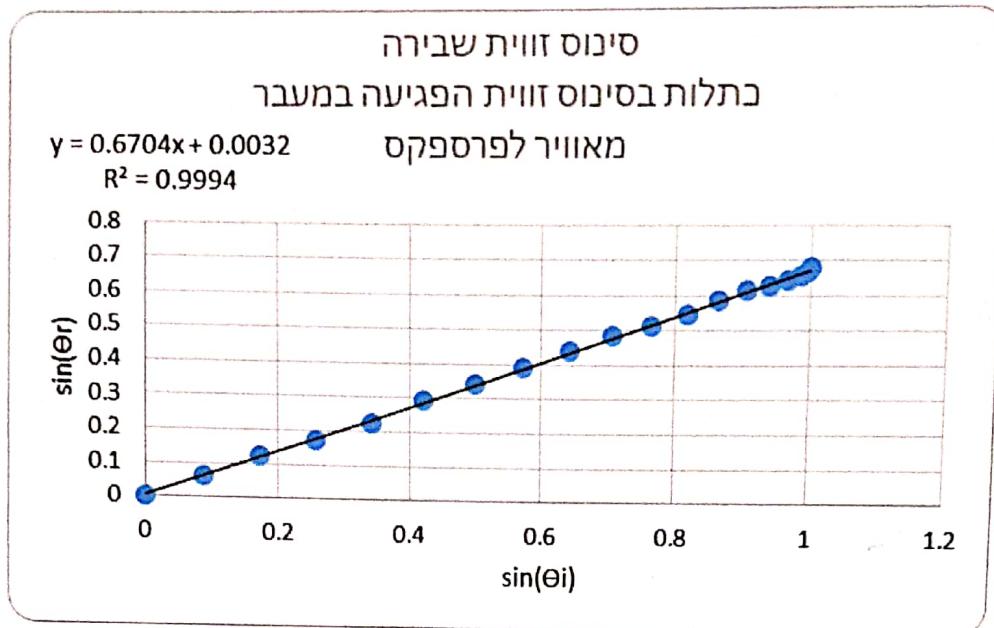
תוצאות מואoir לפרספקט

Θ	זווית פגיעה ($^{\circ}$) Θ_i	זווית החזרה ($^{\circ}$) Θ_r	זווית שבירה ($^{\circ}$) Θ_s	(rad) Θ_i	(rad) Θ_r	$\sin(\Theta_i)$	$\sin(\Theta_r)$
0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5		3.50	0.09	0.06	0.09	0.06
10	10		7.00	0.17	0.12	0.17	0.12
15	15		10.00	0.26	0.17	0.26	0.17
20	20		13.00	0.35	0.23	0.34	0.22
25	25		17.00	0.44	0.30	0.42	0.29
30	30		20.00	0.52	0.35	0.50	0.34
35	35		23.00	0.61	0.40	0.57	0.39
40	40		26.00	0.70	0.45	0.64	0.44
45	45		29.00	0.79	0.51	0.71	0.48
50	50		31.00	0.87	0.54	0.77	0.52
55	55		33.00	0.96	0.58	0.82	0.54
60	60		36.00	1.05	0.63	0.87	0.59
65	65		38.00	1.13	0.66	0.91	0.62
70	70		39.00	1.22	0.68	0.94	0.63
75	75		40.00	1.31	0.70	0.97	0.64
80	80		41.00	1.40	0.72	0.98	0.66
85	85		42.00	1.48	0.73	1.00	0.67
90	90		43.00	1.57	0.75	1.00	0.68

נתון תוצאות



לאחר ביצוע הניסוי והצבה בגרפים, אנו רואים שעבור זוויות נדלות יחסית, אין קשר לינארי בין $\sin(\theta)$ ל- $\sin(\theta r)$. לשם מציאת קשר לינארי, נגדיר משתנים חדשים $y = \sin(\theta r)$ ו- $x = \sin(\theta)$.



נשים לב שכעת אנו מקבלים יחס לינארי בקירוב טוב, מכיוון שיש יחס ישיר בין סינוס זוויות השבירה לסינוס זוויות הפגעה. היחס הלינארי מאשר לנו את חוק סnell מכיוון שלו פי החוק:

$$n_1 * \sin(\theta_i) = n_2 * \sin(\theta_r)$$

$$\sin(\theta_r) = \sin(\theta_i) * \frac{n_1}{n_2}$$

הגרף ביחס לינארי עם שיפוע של $\frac{n_1}{n_2}$.

הSHIPוע שיצא לנו בגרף הוא 0.67 משמע $\frac{n_1}{n_2} = 0.67$ שווה לזה. אנו יודעים שם נושא את השיפוע לנוסחה, n_2 יצא לנו בקירוב 1.513 ולכן נחשב את n_1 :

$$\text{SHIPוע הגרף} = \frac{n_1}{n_2} = 0.67$$

$$1 = n_1 \text{ מכיוון שמדובר החיכון של האויר הוא 1}$$

$$n_2 = 1/0.67$$

$$n_2 = 1.49 \checkmark$$

על פי החישוב אפשר לראות שאכן חוק סNEL מתקיים לנו בתרגיל מכיוון ש n^2 שיצא לנו, מאוד קרוב למקדם השבירה של הפרספקט.

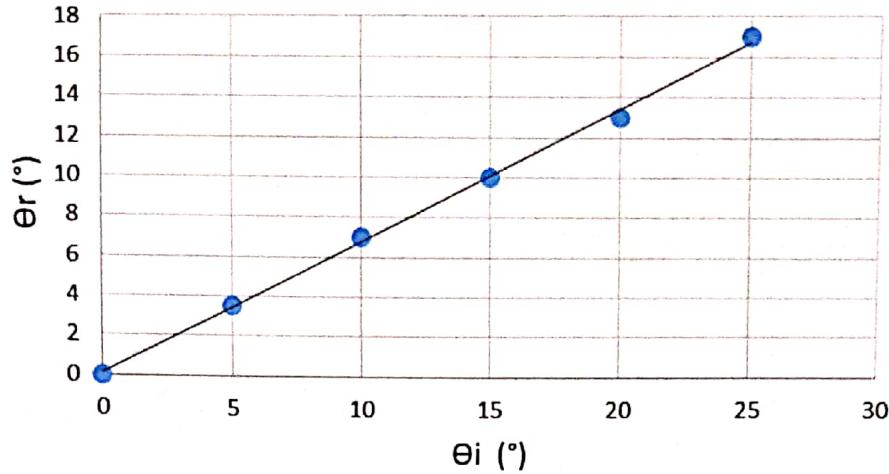
אחוויי שנייה:

מקדם השבירה שיצא לנו כאשר אודם עובר מאוור לפרספקט הוא: 1.49
מכיוון שהוא לא יצא בדיקן כמו מקדם השבירה הצפוי, יש פה בבירור מקורות
שנייה (עליהם יפורט בהמשך). רצינו לחשב את אחוזי השניהם שלנו בעזרה
הנוסחה הבאה:

$$\text{אחוויי שנייה} = \frac{|n^2_{final} - n^2_{initial}|}{n^2_{initial}}$$
$$\frac{|1.49 - 1.513|}{1.513} * 100\% = 1.52\%$$

זווית השבירה כתלות בזווית הפגעה בזווית קטנות

$$R^2 = 0.9984$$



בزواיות קטנות מתקיים $30 \leq \theta_i \leq -0$

$$\sin(\theta_i) \approx \theta_i$$

$$\sin(\theta_r) \approx \theta_r$$

ולכן אפשר לבדוק אם אנחנו מקבלים יחס לינארי.

$$n_1 * \theta_i = n_2 * \theta_r$$

$$\theta_r = \frac{n_1 * \theta_i}{n_2}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = 0.665$$

מכיוון שמקדם החיכוך של האויר הוא 1

$$n_2 = 1/0.665$$

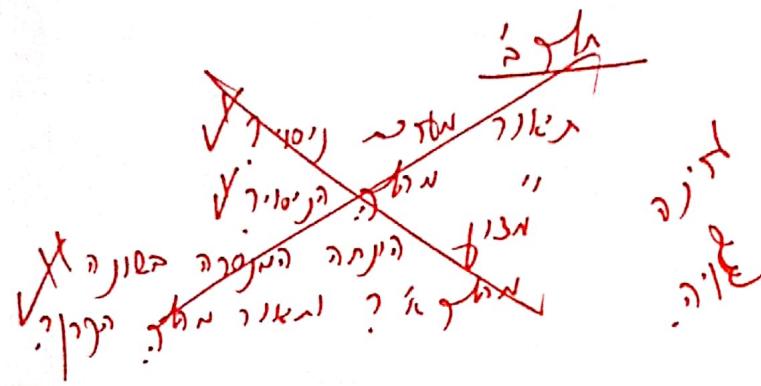
$$n_2 = 1.503$$

אחווי שגיאה:

מקדם השבירה שי יצא לנו כאשר אור אדום עובר מאויר לפרשך הוא: 1.503
מכיוון שהוא לא יצא בבדיקה כמו מקדם השבירה הצפוי, יש פה בבירור מקורות שגיאה (עליהם יפורט בהמשך). נחשב את אחוזי השגיאה שלנו בעדרת הנוסחה הבאה:

$$\text{אחווי שגיאה} = \frac{|n^2_{final} - n^2_{initial}|}{n^2_{initial}} * 100\% = \frac{|1.503 - 1.513|}{1.513} * 100\% = 0.66\%$$

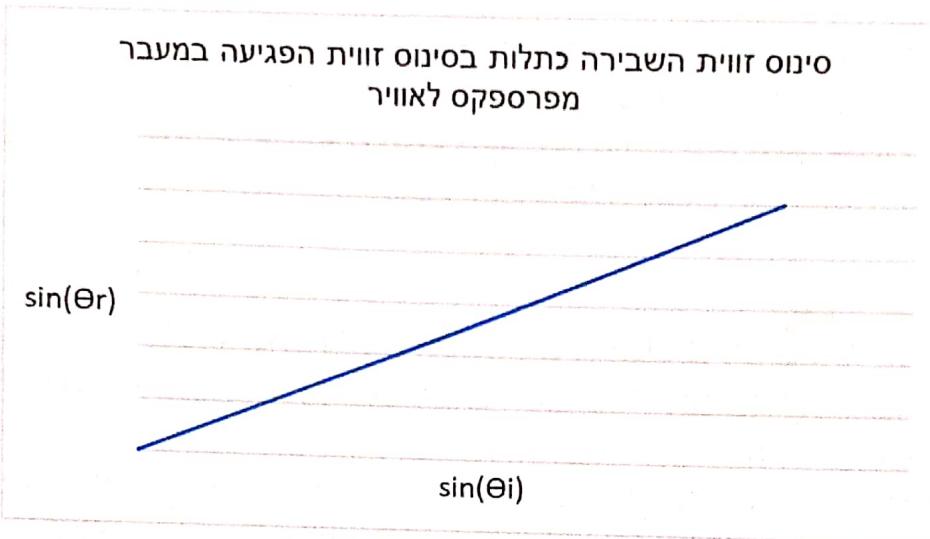
השווים צוין כטהור וטהור
השווים לא צוין כטהור וטהור
✓



ניתוח תוצאות מפרשפקס לאויר

גרף צפוי

סינוס זווית השכירה כתלות בסינוס זווית הפגיעה במעבר מפרשפקס לאויר



פיתוח הנוסחה של הפונקציה על פי חוק סnell

$$n_1 * \sin(\theta i) = n_2 * \sin(\theta r)$$

$$\sin(\theta r) = \frac{n_1}{n_2} * \sin(\theta i)$$

(נציב את x וy)

$$y = \frac{n_1}{n_2} * x$$

הסבר לגרף והנוסחה

על פי חוק סNEL, סינוס זווית השכירה כפונקציה של סינוס זווית הפגיעה, יהיה ביחס לינארית מכיוון השיפוע של הגראף יהיה יחס המקדמים זהה כל מה שישפיע על הגראף. אפשר לראות על פי הנוסחה את האנלוגיה לנוסחת קו ישר. הגראף יעלה מכיוון שני מקדמי השכירה שייצרים את השיפוע חיוביים ולכן השיפוע חיובי. החיתוך של הפונקציה יהיה ב(0,0) מכיוון שאם נציב בחוק SNEL זווית אחת 0 איזה השניה גם תהיה חייבת להיות 0, כי הרי קרן הלוייזר תהיה ישירה ולא תישבר כלל.

הגרף יורד מטה ועומק הגדילו!!

- בכל מדידה מכוונים בעדרת מד הזווית הפולרי את זווית הפגיעה (מסובבים אותו כך שאלומת האור תחזור לפרספקס דרך הדופן החצי עגולה), ומודדים את זווית השכירה.
- מניחים את המנסרה כך שקרן האור תמיד תפגע במרכז חצי המעגל: משפט מתמטי, המשיק תמיד מאונך לרדיאוס בנקודת ההשקה, ולכן זווית הפגיעה בנקודת כניסה קרן האור מן האוור אל חצי המעגל היא 0 מעלות, ולכן אין שכירה. כתוצאה לכך קרן האור תמשיך במסלולה גם בתוך הפרספקס, ובנקודת יציאת קרן האור מן חצי הסהר, זווית הפגיעה של קרן האור לא תהיה שווה ל-90 ביחס למישיק ולכן תיווצר שכירה. ✓

*הגרף יורד מטה ועומק הגדילו!!
אנו מודדים זווית הפגיעה ב-90 מעלות
ולא מודדים זווית השכירה*

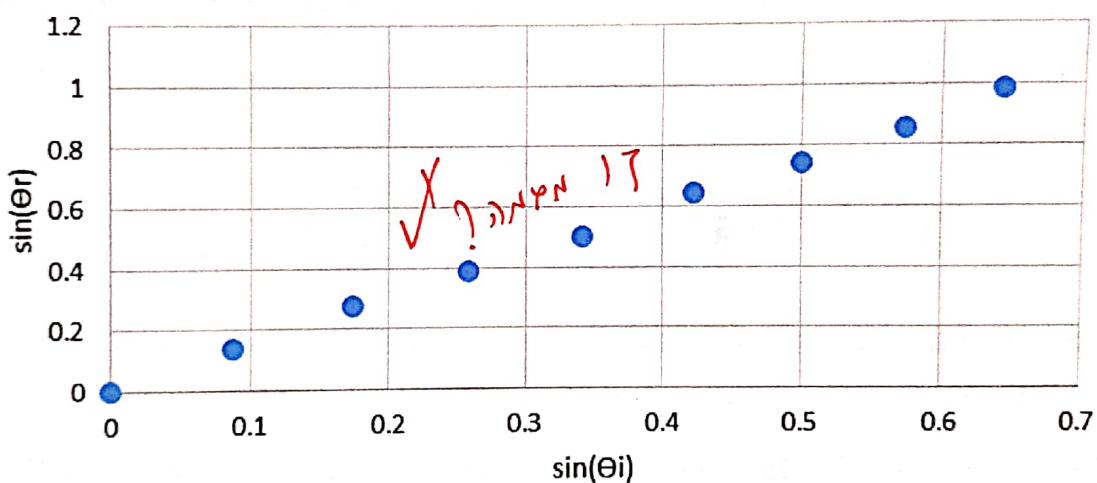
תוצאות מעבדה

θ	θ_r	זווית החזרה ($^\circ$)	זווית שבירה ($^\circ$)	(rad) θ	(rad) θ_r	$\sin(\theta)$	$\sin(\theta_r)$
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
5	5	8.00	0.09	0.09	0.14	0.09	0.14
10	10	16.00	0.17	0.17	0.28	0.17	0.28
15	15	23.00	0.26	0.26	0.40	0.26	0.39
20	20	30.00	0.35	0.35	0.52	0.34	0.50
25	25	40.00	0.44	0.44	0.70	0.42	0.64
30	30	48.00	0.52	0.52	0.84	0.50	0.74
35	35	59.00	0.61	0.61	1.03	0.57	0.86
40	40	80.00	0.70	0.70	1.40	0.64	0.98

$$y = 1.5012x + 0.0032$$

$$R^2 = 0.999$$

כ תלות בסינוס זווית הפגיעה במעבר מפרש פקס לאוויר



נשים לב שכעת אנו מקבלים יחס לינארי בקירוב טוב, מכיוון שיש יחס ישיר בין סינוס זווית השבירה לסינוס זווית הפגיעה. היחס הלינארי מאשר לנו את חוק סnell מכיוון שעלה פי החוק:

$$n_2 * \sin(\theta_i) = n_1 * \sin(\theta_r)$$

$$\sin(\theta_r) = \sin(\theta_i) * \frac{n_2}{n_1}$$

הגרף ביחס לינארי עם שיפוע של $\frac{n_2}{n_1}$.

השיפוע שיצא לנו בגרף הוא $0.67^{1.5}$ משמע $\frac{n_2}{n_1}$ שווה לזה. אנו יודעים שאם נשווה את השיפוע לנוסחה, n_2 יצא לנו בקירוב 1.513 וכאן נחשב את n_2 :

$$\text{שיעור הגרפ} = \frac{n_2}{n_1} = 1.501$$

$n_2 = 1.501/1$

$n_2 = 1.501$

על פי החישוב אפשר לראות שאכן חוק סNEL מתקיים לנו בתרגיל מכיוון ש n_2 שיצא לנו, מאוד קרובה למקדם השבירה של הפרספקט.

אחוויי שנייה:

מקדם השבירה שיצא לנו כאשר אודם עובר מאויר לפרספקט הוא: 1.503
מכיוון שהוא לא יצא בבדיקה כמו מקדם השבירה הצפוי, יש פה בבירור מקורות
שניהם (עליהם יפורט בהמשך). נחשב את האחויי השנייה שלנו בעדרת הנוסחה
הבא:

$$\text{אחוויי שנייה} = \frac{\left| n_2_{final} - n_2_{initial} \right|}{n_2_{initial}} * 100\% = \frac{|1.501 - 1.513|}{1.513} * 100\% = 0.79\%$$

יחס בין שני השיעוריים של הגראפים

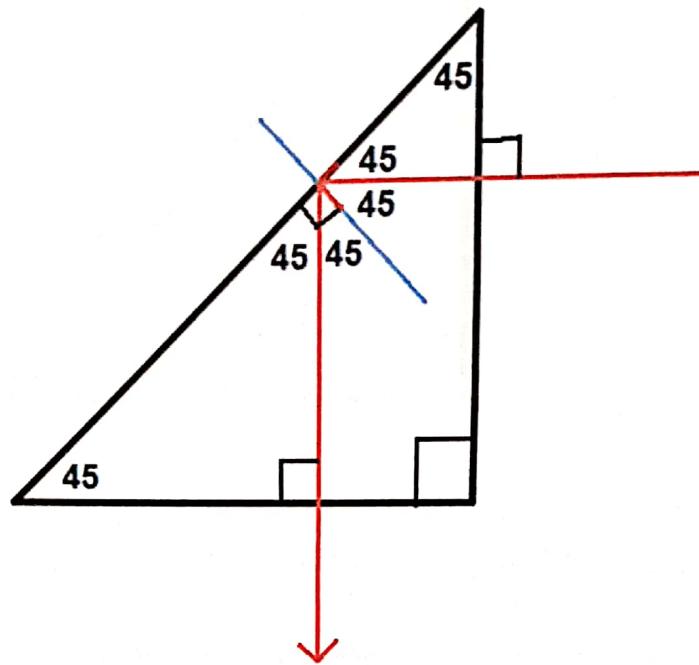
על פי חוק SNEL במעבר מאויר לפרספקט השיעור של הגראף שווה ל $\frac{1}{n_2}$
בנוסף, על פי החוק במעבר מפרספקט לאויר השיעור של הגראף שווה ל $\frac{n_1}{n_2}$
אפשר לראות בבירור שהשיעוריהם שלהם הם בעצם הופכיים זה לזה, על פי
הчисלוב יצא לנו אותו הדבר:

$$\frac{1}{1.5} = 0.67$$

הוכחת חוקי ההחזרה

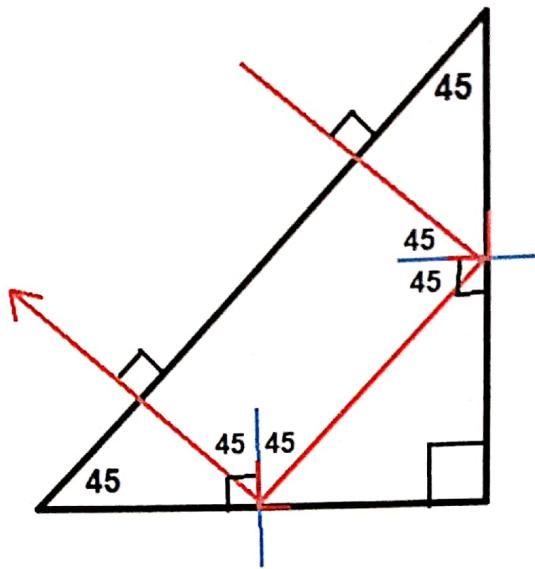
כפי שאפשר לראות בטבלאות שנמצאות בעמודים 13 ו-17. בניסוי, כאשר מדדנו את קרן ההחזרה שנוצרה מפגיעה האור בתווך מסוים, הזרות שקרן ההחזרה
יצירת עם האנרגיה המשיקת תמיד שווה לזרות הפגיעה של הקרן עם האנרגיה.

شرطוט מהלך הקרן הפוגעת והנסברת בתחום המנסרה



- תחילת הקרן מגעה למנסרה ועוברת מואויר לתוכה פרספקט. ע"פ חוק סnell עבור זווית פגיעה של 0° , זווית השבירה תהיה גם היא 0° ולכן הקרן תמשיך לנוע באותו הכיוון בתחום המנסרה.
- כאשר הקרן מגעה לקצה המנסרה בפעם הראשונה (המעבר מפרספקט לאויר), זווית הפגיעהchein 45° בעקבות זוויות המנסרה. זווית פגיעה זו נדולה מן הזווית הקרטיתית ($\theta = 41.68^\circ$, החישוב מתואר בהמשך) ולכן מתרחשת החזרה גמורה והקרן לא נשברת, אלא מוחזרת בזווית של 45° מן האנך.
- בפעם השנייה שהקרן מגעה לקצה המנסרה זווית הפגיעהchein 0° וגם כאן בעקבות חוק Snell, זווית השבירה תהיא 0° והקרן תצא מן המנסרה אל האויר ללא שינוי בכיוונה.

✓



- תחילת הקרן מוגעה לmansra וועוברת מאויר לתוך פרספקט. ע"פ חוק סnell עבור זוויות פגיעה של 0° , זוויות השבירה תהיה גם היא 0° ולכן הקרן תמשיך לנوع באותו הכיוון בתחום המנסרה.
- בפעם הראשונה שבה הקרן מוגעה לקצה המנסרה, זוויות הפגיעה הינה 45° . כלומר גם כאן זוויות הפגיעה גדולות מהזוויות הקריטיות ולכן מתתרחשת החזרה גמורה ואין שבירה. זוויות ההחזרה הינה 45° .
- בפעם השנייה שהקרן מוגעה לקצה המנסרה, גם פה זוויות הפגיעה היא 45° ולכן לא תהיה שבירה, והקרן תוחזר בזווית של 45° .
- בפעם השלישית שהקרן מוגעה לקצה המנסרה, זוויות הפגיעה היא 0° ולכן הקרן יצא מן המנסרה לאויר וכיוניה לא ישתנה.

✓

מסקנות

- במעבר של קרן או רשות בעל מקדם שבירה 1ח לתווך בעל מקדם שבירה 2ח מתקיים חוק סנו:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

ע"פ חוק סנל: $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$

$$n_1 \cdot \sin\theta_r(90^\circ) = 1$$

(מציאת זווית הפגיעה הקritisית) $n_2 * \sin\theta_{ic} = 1$

$$1.503 * \sin\Theta_{ic} = 1$$

$$\sin\Theta_{\text{ic}}^{-1}(1/1.503) = 41.68^\circ$$

Theta = 41.68° (במעבר בין פרספקט לאויר)

כלומר, במעבר מפרטפקט לאויר, קיימת דווית שבירה עברו כל דווית פגעה הקטנה מ- 41.68°

1. Na^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Na^+ ✓

- בעקבות כל התוצאות והמסקנות חוק סNEL אכן מתקיים במעבר של קרן אור מאויר לפרספקטס ומפרספקטס לאויר

מקורות שנייה

- ליקחת נתונים ותוצאות באמצעות העין, מכאן ניתן לשגוט בערכים וחוסר דיק בערכים. **א ג**
- בתחילת הניסוי ניתן להציב מערכת לא ישירה וכך להשפיע על התוצאות. ✓
- המנשרה לא חצי עגולה במדוק, אלא רק בקירוב טוב.
- קרן האור היא לא צרה עד כדי כך - היה פיזור של קרני האור. ✓