

פיסיקה 3 ב' - מצבקה

דו"ח מצבקה מס' 1

עלים

מוצרים

המיקר

*(Franz melde's experiment)*

## דוח מעבדה מס' 1 – גלים עומדים במיתר

זהו הניסוי הקלאסי שביצע פרנץ מלדה, פיזיקאי גרמני ( 1901, March 17 - died 1832, March 11 ).

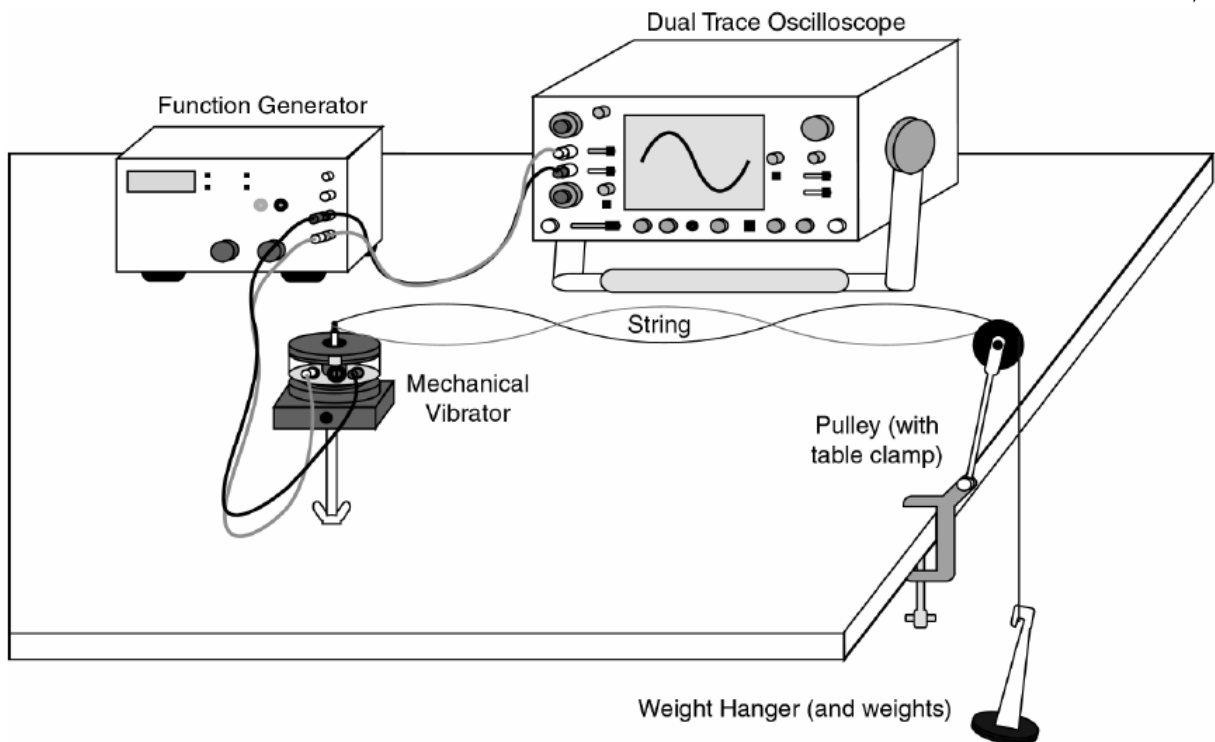
### מטרות הניסוי:

- חישוב מהירות הגל מתוך גרף המתאר את הקשר בין אורך הגל לזמן מחזור.
- הוכחת הקשר בין המתיחות לבין בין מהירות הגל.

### מהלך הניסוי:

מתחננו חוט בין גלגלת למתנד, כאשר משקולות קשורות לקצהו הקנו למיתר מתיחות אותו מתוח. חיברנו את המתנד לספק מתח. המתנד מעביר את התנודות החשמליות למכאניות בתדירויות הניתנות לשינוי. גל הוא הפרעה המועברת מהמתנד לגלגלת.

להלן סכמה המתארת את המערכת :



**Figure 1: Melde's experiment Apparatus**

גל עומד נוצר כאשר הגל החוזר מהגלגלת נפגש עם הגל שמגיע מהמתנד. כאשר הגל המוחזר והגל המתקדם נפרדים נוצרת צומת, בה האמפליטודה שואפת ל-0.

## חלק א'

השארנו את אורך החוט קבוע והעלינו בהדרגה את תדירות הספק עד הופעת גל עומד כך שנוצרה צומת אחת. ככל שמעלים את התדירות מופיעים יותר צמתים.

כדי לחשב את אורך הגל ( $\lambda$ ) מודדים את המרחק בין שני צמתים סמוכים ומכפילים ב-2.

$$v = f \cdot \frac{2L}{n} = \frac{2L}{T \cdot n} : \text{ ובהתאם לניסוי שלנו } v = \lambda * f = \frac{\lambda}{T}$$

כלומר: על מנת לשמור על מהירות קבועה, עלינו להקטין את זמן המחזור ואורך הגל ולהגדיל את התדירות. או להיפך. ככל שנעלה את מס' הצמתים המופיעים על החוט, אורך הגל וזמן המחזור יקטנו.

אורך החוט כגודל קבוע מתחלק שווה בשווה כמספר הצמתים. מדדנו את המרחקים באמצעות סרגל שגיאת המדידה שלו היא 0.01 מ' וקיבלנו שהמרחקים בין שני צמתים סמוכים שווים ביניהם בתחום השגיאה.

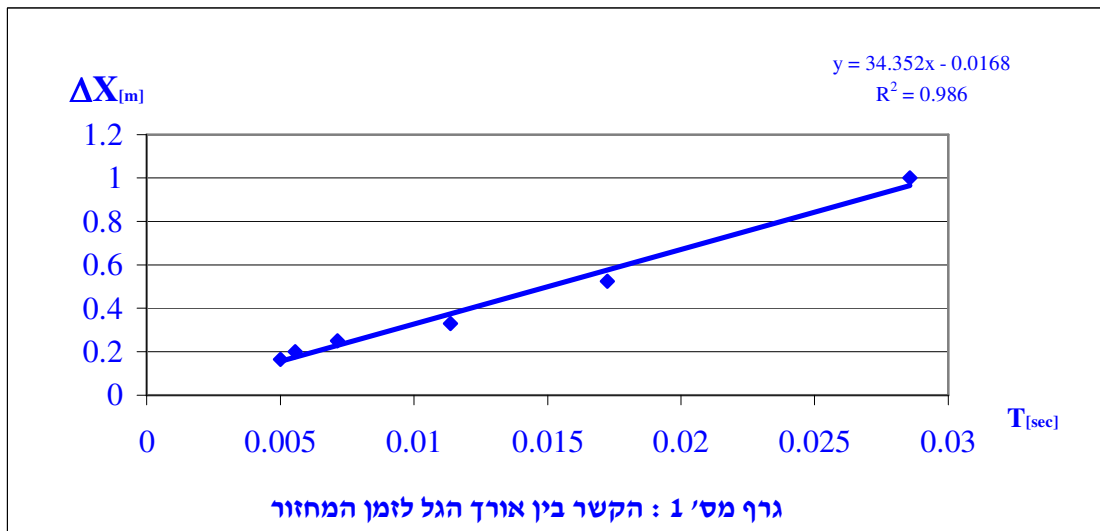
### תוצאות הניסוי:

ערכנו את הנתונים בטבלה, להלן הטבלה שהתקבלה:

$\Delta X$ (cm)	$\Delta X$ (m)	L(m)	f(Hz)	T(SEC)	נקודות צומת n
52.5	0.525	1	58	0.017	2
100	1		35	0.029	1
33	0.33		88	0.011	3
25	0.25		140	0.007	4
20	0.2		180	0.006	5
16.6	0.166		200	0.005	6

L – אורך המיתר (מהמתנד לגלגלת),  $\lambda$  – אורך הגל, f – תדירות, T – זמן המחזור

ערכנו גרף שמתאר את המרחק בין הצמתים כתלות בזמן המחזור, להלן הגרף שהתקבל:



ניתן לראות כי מתקבל גרף ליניארי.

מקו המגמה של הגרף נוכל לקבל את השיפוע, נשתמש בפונקציה ה-LINEST:

linest part 1	
שיפוע	נק' חיתוך
34.351713	-0.0168466
2.0452	0.03067355

השיפוע מציין את כי מהירות התקדמות הגל האחידה כאשר למעשה הפקטור היחיד ששינינו היה מס' נקודות הצומת, והיינו צריכים להתאים למהירות זו תדירות (ומכאן גם זמן מחזור) חדשה ומרחק חדש בין צמתים.

מהירות התקדמות הגל המתקבלת:  $v = (34 \pm 2) \frac{m}{sec}$

## חלק ב'

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} : \text{נבדוק האם מתקיימת הנוסחה}$$

נוכל לפתח את הנוסחה בצורה שתתאים לנו להשוותה לתנאי הניסוי :

$$\mu \equiv \frac{m}{L} : \text{כאשר צפיפות המסה של החוט מוגדרת ע"י}$$

$$\vec{T} = m \cdot \vec{g} : \text{שקול הכוחות שווה לאפס במצב סטטי לכן מתקיים}$$

מהנוסחאות נוכל לקבל כי :

$$1. v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{M \cdot g}{m/\ell}} = \sqrt{\frac{M \cdot g \cdot \ell}{m}} = \sqrt{T} \cdot \sqrt{\frac{\ell}{m}}$$

$\ell$  - אורך החוט : 1.48 מ',  $M$  - מסת הוו והמשקולות המצטבר,  $g$  - תאוצת הכבידה ( $9.8 \frac{m}{sec^2}$ ),  $m$  - מסת החוט : 0.22 ג'  
(למשל : מסת הוו היא 1.53 ג' והמשקולת הראשונה 50.26 ג', כלומר המסה ההתחלתית היא :  $M_o = 1.53 + 50.26 = 51.79 \approx 0.052 \text{ kg}$ )

נחשב את הערך המספרי של שורש ההופכי של צפיפות החוט (נקרא לו  $\alpha$ ) :

$$2. \alpha_1 = \sqrt{\frac{1}{\mu}} = \sqrt{\frac{\ell}{m}} = \sqrt{\frac{1.48_m}{0.00022_{kg}}} \approx 82 \left(\frac{m}{kg}\right)^{0.5}$$

מהקשר שקיבלנו מקודם בפיתוח מס' 1 נוכל לבחון את היחס בין מתיחות החוט לבין מהירות הגל :

נערוך מס' מדידות שבכל מדידה נמצא את המהירות של הגל עבור מתיחות מסוימת אותה נשנה ע"י הוספת משקולות (כאשר בכל מדידה נבחן את הגל ב-2 נקודות צומת)

$$v = f \cdot \frac{2L}{n} = \sqrt{T} \cdot \sqrt{\frac{1}{\mu}} : \text{מהמשוואות המתקבלות מקבלים 2 ביטויים מתמטיים עבור מהירות הגל}$$

## תוצאות הניסוי :

להלן הטבלה של המדידות שנערכו :

m(g) pully	m(kg) pully	Tf(N)	T <sup>0.5</sup>	f(Hz)	v(m/sec)
51.79	0.052	0.508	0.712	60	60
65.04	0.065	0.637	0.798	65	65
73.04	0.073	0.716	0.846	69	69
82.36	0.082	0.807	0.898	72	72
91.44	0.091	0.896	0.947	80	80
101.53	0.102	0.995	0.997	83	83

למעשה תדירות הגל שווה (בערכה הנומרי) במקרה זה למהירות התקדמותו.

$$v = f \cdot \frac{2L}{n} = 60_{Hz} \cdot \frac{2 \cdot 1_m}{2} = 60_{m/sec} : \text{דוגמת חישוב (עבור מדידה ראשונה - מסה התחלתית)}$$

הערה :  $L$  הוא אורך המיתר ( $1_m$ ).

נשרטט גרף המתאר את מהירות התקדמות הגל כתלות בשורש המתיחות. להלן הגרף שהתקבל (צירי הגרף "נחתכו" בהתאם לקו המגמה ולכן הגרף אינו מציג את ראשית הצירים) :



מקו המגמה של הגרף נוכל לקבל את השיפוע, נשתמש בפונקציית ה- LINEST :

linest part 2	
נקי חיתוך	שיפוע
-1.02937177	83.6980076
6.37332937	7.31154399

שיפוע הגרף הוא למעשה אותו ערך שקראנו לו  $\alpha$  :  $\alpha_2 = (83 \pm 7) \left(\frac{m}{kg}\right)^{0.5}$

מתברר כי 2 ערכי  $\alpha$  (המחושב והנמדד) שווים בתחום שגיאת המדידה.

$$\delta_\alpha = \frac{|\alpha_1 - \alpha_2|}{\alpha_1} \cdot 100 = \frac{|82 - 83.698|}{82} \cdot 100 \cong 2.05\%$$

נחשב סטייה :

הסטייה שהתקבלה זניחה.

### מסקנות :

עבור חלק א' :

$$v = \lambda \cdot f$$

הראינו כי מתקיימת הנוסחה :

ולמעשה ניתן להגיע למהירות גל אחידה מאינסוף מצבים בהם משנים את תדירות הגל מחד ואת המרחק בין צמתי הגל מאידך

עבור חלק ב' :

הראינו כי מתקיים יחס ישר בין מהירות התקדמות הגל לבין שורש זמן המחזור, וקיימת חפיפה בתחום השגיאה של ערך צפיפות המסה הנמדדת לבין זו המחושבת משיפוע הגרף כלומר קבוע הפרופורציה של הגרף הוא שורש

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

הערך ההופכי של צפיפות המסה, משמעות הדבר היא כי אכן מתקיימת הנוסחה :

# פיסיקה 3 ב' – מעבדה

דו"ח מעבדה - מס' 2

אופטיקה

שיא אופטי

פונקציה ובלים

של קרינה

## דוח מעבדה מס' 2

### רקע תיאורטי :

1. הפוטון הוא חלקיק קרינה אלקטרומגנטית.
  2. קרינה א"מ כידוע מתקדמת במהירות האור.
  3. חלקיק הנע במהירות האור הוא בהכרח חסר מסת מנוחה.
  4. אי לכך, אין כל אפשרות להאט אותו אלא "להשמידו".
  5. כחלקיק ניטרלי עובר במרבית המקרים בתוך אטום ללא כל אינטראקציה. רק בחלק קטן מהמקרים "פוגע" באלקטרון.
- אפקט פוטואלקטרי: הפוטון נבלע באלקטרון והאנרגיה הופכת לאנרגיה קינטית של האלקטרון.

עוצמת האור המסומנת באות I נמדדת ביחידות של קנדלה .  
**קנדלה**: קנדלה (נר בלטינית) - יחידת מידה למדידת עוצמת אור.  
אפשר גם לתאר אותה כצפיפות השטף האורי בכיוון מסוים. מסומלת באותיות cd.  
אחת משבע היחידות הבסיסיות של ה-SI .  
הקנדלה כיחידה פיסיקלית עברה מספר שלבים עד להגדרתה הנוכחית בתחילה היא יוחסה לעוצמת בעירה של להבה לאחר מכן מקור האור שאליו התייחסו היה הזוהר הנפלט מפלטינה חמה בטמפרטורת ההתמצקות אך כיום יש ייחוס ליחידה המקובלת למדידת אנרגיה מוקרנת - הוואט.  
ההגדרה המדויקת כיום היא: " 1 קנדלה היא עוצמת האור בכיוון נתון ממקור המפיק קרינה מונו כרומטית בתדר 540 טרה הרץ בעוצמה של 1/683 וואט לסטרדיאן ( זווית מרחבית )" .

[ התדר 540 טרה הרץ (צבע ירוק) הינו תדר הרגישות המקסימלית של העין האנושית. המקדם 1/683 נועד על מנת ליצור זהות עם ההגדרה הקודמת של הקנדלה שהייתה כמות הקרינה מהחלק ה-16 של סנטימטר מרובע של פלטינה מותכת].

השינוי בעוצמת האור תלוי בעוצמה עצמה מחד ובמרחק ממקור האור מאידך.

ניתן לתאר זאת בצורה מתמטית כך:  $\frac{dI}{dx} = -\mu I$ , כאשר ביטוי זה הוא משוואה דיפרנציאלית שפתרונה הוא :

$$\int \frac{dI}{I} = -\mu \int_0^x dx$$

$$I_{(x)} = I_o \cdot e^{-\mu x}$$

את מקדם הבליעה ( הנחתה ) ניתן לקבוע בצורה אמפירית ע"י הוצאת לוגריתם טבעי לשני אגפי המשוואה הנ"ל :

$$\ln I = \ln I_o - \mu \cdot x$$

וכך בניסוי מקבלים תוצאות הנותנות גרף ליניארי ששיפועו צריך להיות ערכו של המקדם  $\mu$ .

$\mu$  נמדד ביחידות של  $[m]^{-1}$  ומבטא את תכונות החומר שעליו מוקרן האור, ( קבוצות פונקציונאליות של מולקולות אורגניות, קשרים כפולים בלתי מצומדים, פונקציות עבודה של מתכות וכד' ).  
עוצמת האור כמו כן גם תלויה במרחק מן מקור האור, מתברר אמפירית כי מתקיימת פרופורציה מהסוג הנ"ל :

$$I \propto \frac{1}{d^2}$$

מתקבל אמפירית מקדם פרופורציה K אשר מבטא את עוצמת האור ליחידת שטח מסוימת.

$$I = k \cdot \frac{1}{d^2} \quad \text{: כלומר מתקיימת נוסחה מסוג}$$

הערך k נמדד ביחידות של לומן .

**לומן** : יחידת מידה לשטף אור, או הספק אור. שמשומלת באותיות lm.  
כמות האור הנפלטת מנקודת אור אחידה בעוצמת קנדלה אחת לזווית מרחבית של סטרדיאן אחד

### מטרות הניסוי:

1. מציאת הקשר בין עוצמת האור לבין מרחק מקור האור מן החיישן והוכחת הנוסחה:  $I = k \cdot \frac{1}{d^2}$

2. מציאת מקדם בליעה ( הנחתה ) של חומר מסוים והוכחת הנוסחה:  $I_{(x)} = I_o \cdot e^{-\mu x}$

## חלק א'

### מהלך הניסוי:

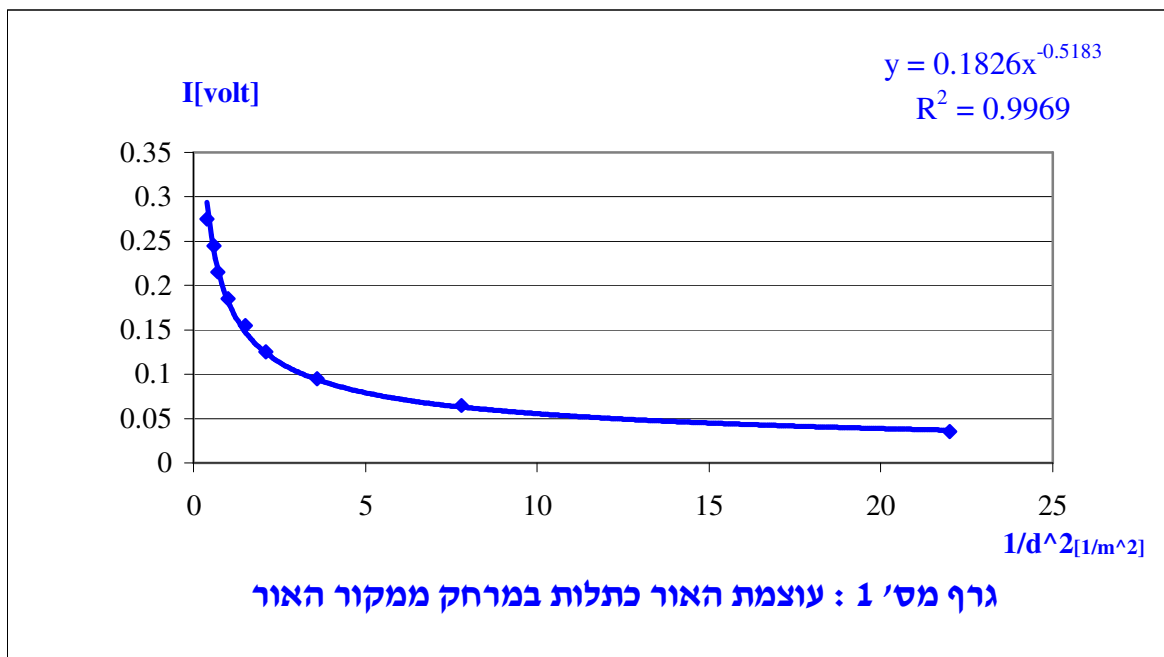
הקרנו אלומת אור מול חיישן אור אשר מחובר לוולטמטר ובדקנו את השתנות המתח המייצג את עוצמת האור. זוהי **שגיאה** למדוד את עוצמת האור ביחידות של וולט, אך בהסתמך על האפקט הפוטואלקטרי, ועקרון שימור האנרגיה, אנו מניחים כי עליית המתח מתנהגת ביחס ישר ע"פ השינוי בעוצמת האור המוקרנת ע"ג החיישן.

### תוצאות הניסוי:

#### טבלה מס' 1: מדידת עוצמת האור כתלות במרחק

d[cm]	d[m]	d <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	1/d <sup>2</sup> [m <sup>-2</sup> ]	I[mvoltage]
3.5	0.035	0.0012	816.327	22
6.5	0.065	0.0042	236.686	7.8
9.5	0.095	0.0090	110.803	3.6
12.5	0.125	0.0156	64	2.1
15.5	0.155	0.0240	41.623	1.5
18.5	0.185	0.0342	29.218	1
21.5	0.215	0.0462	21.633	0.7
24.5	0.245	0.0600	16.660	0.6
27.5	0.275	0.0756	13.223	0.4

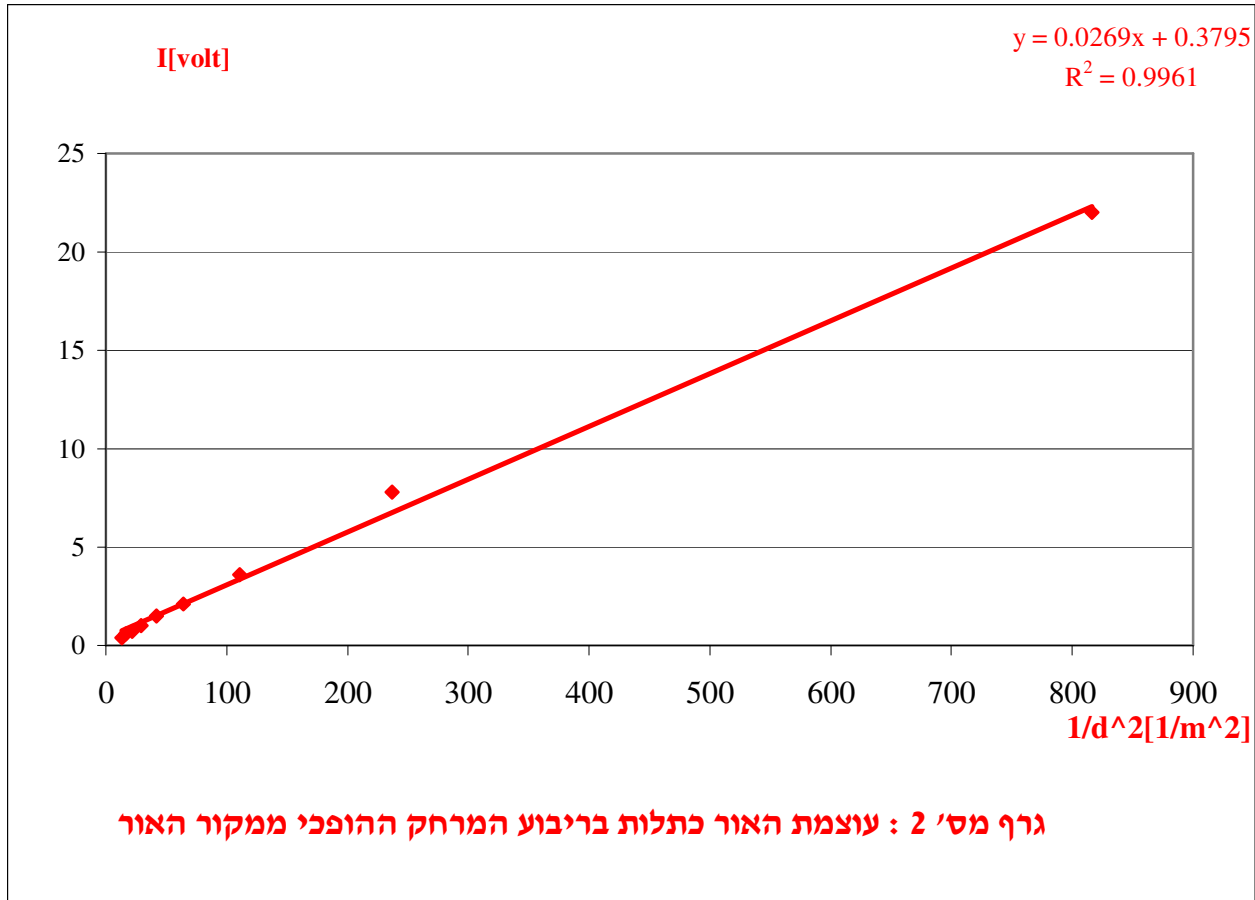
נשרטט גרף של עוצמת האור כתלות במרחק ממקור האור :



מתקבל גרף חזקה כצפוי.



נבצע ליניאריזציה לגרף החזקה :



התקבל גרף ליניארי ישר.

מהגרף בגיליון האלקטרוני נוכל להפעיל פונקציית LINEST ולקבל ערך מדויק של השיפוע :

שיפוע	נקודת חיתוך	
0.026874085	0.379478417	ערך
0.000638817	0.183460247	שגיאה

$$k \cong (2.69 \pm 0.6) \cdot 10^{-2} \text{ lm}$$

מתקבל ששיפוע הגרף הוא :

**מסקנות מחלק א' :**

לפי תכונת האור הידועה הטוענת שעוצמת ההארה של מקור אור נקודתי נמצאת ביחס הפוך לריבוע המרחק של יחידת השטח מן המקור הנקודתי, בהנחה שהאור מתפשט באופן שווה לכל הכיוונים, לכן :

1. ככל שמתרחקים ממקור האור עוצמת הקרינה יורדת – התוצאות תואמות את התיאוריה.

2. הנוסחה  $I = k \cdot \frac{1}{d^2}$  מתקיימת.

**חלק ב'**

**מהלך הניסוי :**

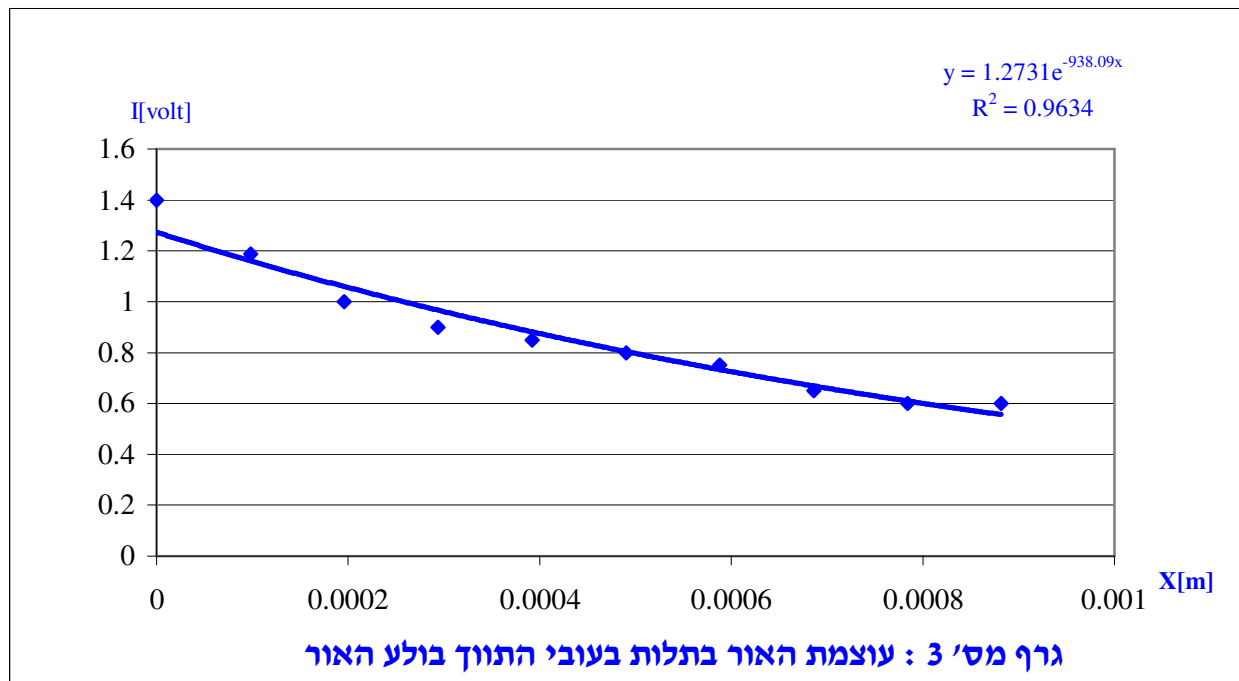
הקרנו אלומת אור מול חיישן אור אשר מחובר לוולטמטר ובדקנו את השתנות המתח המייצג את עוצמת האור. בכל מדידה עוביים הכולל של השקפים הלך וגדל, כאשר המרחק בין חיישן האור לאלומה נשמר קבוע.

אורך ממוצע של שקף בודד :  $9.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

**טבלה מס' 1: מדידת עוצמת האור בתלות בעובי השקפים**

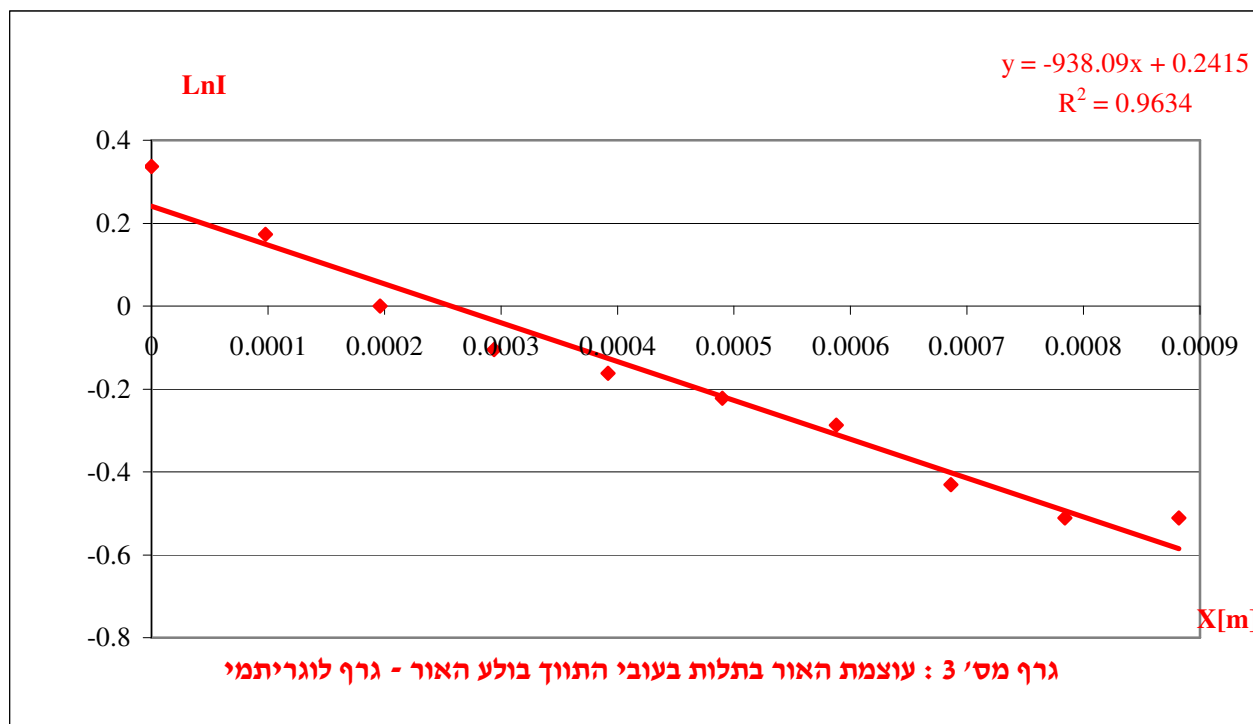
$X_i[\text{mm}]$	$X_i[\text{m}]$	$I[\text{mvolt}]$	$\ln I$
0	0	1.4	0.33647
0.098	9.8E-05	1.188	0.17227
0.196	0.0002	1	0
0.294	0.00029	0.9	-0.10536
0.392	0.00039	0.85	-0.16252
0.49	0.00049	0.8	-0.22314
0.588	0.00059	0.75	-0.28768
0.686	0.00069	0.65	-0.43078
0.784	0.00078	0.6	-0.51083
0.882	0.00088	0.6	-0.51083

נשרטט גרף של עוצמת האור בתלות בעובי הכולל של השקפים :



מתקבל גרף אקספוננציאלי בהתאם למצופה.

נבצע ליניאריזציה של הגרף ע"י הוצאת לוגריתם טבעי לערכים ונקבל את הגרף הבא :



מתקבל גרף ליניארי.

ניתן לראות בבירור כי מקדם המעריך במשוואת גרף מס' 2 והשיפוע של גרף מס' 3 זהים.

מהגרף בגיליון האלקטרוני נוכל להפעיל פונקציית LINEST ולקבל ערך מדויק של השיפוע :

נקודת חיתוך	שיפוע	
0.2415	-938.0867	ערך
0.0338	64.6551	שגיאה

ערכו של מקדם ההנחתה  $\mu$  :

$$\mu \cong (940 \pm 60) m^{-1}$$

$I_0$  - עוצמת האור ההתחלתית ( למעשה המתח ההתחלתי הנובע מעוצמת האור ) הנמדדת הוא  $1.4_{mV}$  (המתח הנמדד ללא שקפים).

**מסקנה** : ככל שעובי החומר גדול יותר עוצמת האור הנקלטת בחיישן קטנה יותר כלומר : בליעת האור גדולה יותר. עפ"י גרף מס' 1 עוצמת האור יורדת אקספוננציאלית ככל שעובי החומר גדל - תואם את התיאוריה.

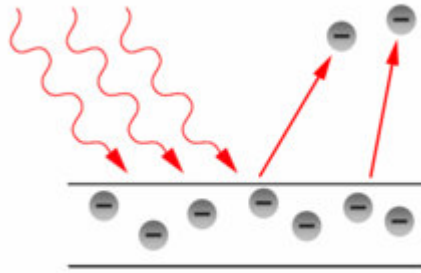
פּוּסִיקָה 3 ב' - מַצְבָּה

דו"ח מַצְבָּה מִס' 4

פּוּסִיקָה

פּוּסִיקָה

## דוח מעבדה מס' 4 – האפקט הפוטואלקטרי



**האפקט הפוטואלקטרי הגדרה :** אפקט פיסיקלי בו נפלטים אלקטרונים מפני מתכת כאשר פוגעת בה קרינה אלקטרומגנטית.

### מטרות הניסוי:

1. חקירת ואישור הנוסחה :  $E_{\text{photon}} = h\nu - B$ .
2. מציאת קבוע פלאנק.

### רקע תיאורטי לניסוי:

לאפקט הייתה חשיבות גדולה בהתפתחות הפיזיקה המודרנית וגיבוש תורת הקוונטים, בהבנת האופי החלקיקי של האור, ובגיבוש מושג הפוטון. ההסבר שנתן לו אלברט איינשטיין בשנת 1905 זיכה אותו בפרס נובל לפיזיקה בשנת 1921.

ב1887 גילה היינריך הרץ כי כאשר מקרינים מתכת באור אולטרא-סגול האוויר שמסביבה נטען במטען שלילי. תגלית זו קרתה במסגרת מחקר על התפרקות חשמלית בין לוחות מוליכים, במסגרתו הוא שם לב כי הקרנת המתכת באור אולטרא-סגול גורמת להגדלת ההתפרקות החשמלית. את ההסבר לתופעות אלה נתן בשנת 1905 אלברט איינשטיין. הוא השתמש בהנחה אותה הציע מקס פלאנק בשנת 1900 על מנת להסביר את אופי הקרינה של גוף שחור, ועל פיה האור מגיע במנות מסוימות של אנרגיה, כאשר האנרגיה של כל מנה כזו (קוואנט) פרופורציונאלית לתדירות  $\nu$  של האור:  $E_{\text{photon}} = h\nu$ .

איינשטיין לקח צעד אחד קדימה, והציע שמדובר ביותר מאשר כמויות אנרגיה, ושכל הנוגע לאפקט הפוטואלקטרי יש להסתכל על האור כעל אוסף חלקיקים (פוטונים), אשר לכל אחד מהם אנרגיה כאמור בהנחה של פלאנק. כאשר פוטון פוגע במתכת הוא מעביר את כל האנרגיה שלו לאחד האלקטרונים, ובכך נעלם. האנרגיה הדרושה עבור האלקטרון על מנת להיפלט מהמתכת משתנה מאלקטרון אחד לשני, אולם עבור כל מתכת קיימת אנרגיה מינימאלית הקרויה "פונקצית העבודה"  $B$ . לכן, אלקטרונים יכולים להיפלט מהמתכת רק כאשר האנרגיה של כל פוטון גדולה מפונקצית העבודה. במקרה כזה שארית האנרגיה הופכת לאנרגיה הקינטית של האלקטרון:  $E_{\text{photon}} \leq h\nu - B$ .

רוברט מיליקן מדד בשנת 1914 את ערכו של קבוע פלאנק בעזרת האפקט הפוטואלקטרי, ובכך הראה את נכונות התיאוריה של איינשטיין.

באפקט הפוטואלקטרי התגלה מעבר מאנרגיית אור לאנרגיה חשמלית. אלקטרון קשור למתכת (הקרויה "קתודה") ע"י כוחות חשמליים. ישנה איזושהי אנרגיה שהיא האנרגיה הנחוצה לאלקטרון כדי להשתחרר מהמתכת. האנרגיה הזו נקראת "אנרגיית הקשר" והיא מסומנת באות  $B$ .

באפקט הפוטואלקטרי האנרגיה הזו מסופקת לאלקטרון ע"י אור, דהיינו ע"י פוטונים הפוגעים באלקטרונים, כשבכל אלקטרון פוגע רק פוטון אחד, שהאנרגיה שלו היא  $h\nu$ .

האלקטרונים שהשתחררו מהמתכת יוצרים "ענן אלקטרונים" בין שני לוחות הקבל שאל אחד מלוחותיו, הקתודה, מגיע האור. כדי להאיץ עוד יותר את האלקטרונים האלה אל האנודה (הלוח השני של הקבל), מחברים את האנודה והקתודה למעגל חשמלי על מנת לטעון את הקבל וע"י כך ליצור שדה חשמלי (השווה ל

$\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ) בין לוחות הקבל דבר שיגרום להאצת האלקטרונים (אם האנודה מחוברת להדק החיובי של הספק), או

להאטת האלקטרונים (אם האנודה מחוברת להדק השלילי של הספק, דבר שיגרום לשדה החשמלי לפעול בכיוון זהה לכיוון התנועה של האלקטרונים, אך מאחר ואלו אלקטרונים ולא פרוטונים, כיוון הכוח יהיה

הפוך). אם אין מתח מאיץ עדיין יהיה זרם מאחר ויהיו אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית מספקת להגיע אל האנודה.

במקרה שלנו משתמשים במתח עצירה - האלקטרונים הנפלטים מהספק מקבלים אנרגיה ממנו, לפי הנוסחה  $E = Vq$ , ובמקרה הזה:  $E = Ve$  (מאחר ומדובר באלקטרון, ומטענו e). המתח של הספק הוא מתח עצירה, כלומר, הוא משמש כדי לעצור את האלקטרונים הנפלטים. (בין האנודה לקתודה יש שדה חשמלי, שנוצר ע"י הספק). מתח העצירה אנלוגי לאנרגיה הקינטית, אם האנרגיה הקינטית היא 0. כלומר, במקרה שלנו, אין אנרגיה קינטית מאחר והאלקטרונים אינם זזים, ולפיכך כל האנרגיה הקינטית הומרה לאנרגיה חשמלית האנרגיה החשמלית היא eV.

## מהלך הניסוי

הרכבנו את המערכת כנדרש.

מדדנו את המתח הנוצר כתלות בתדירויות האור השונות ( בהתאמה לצבעים ).

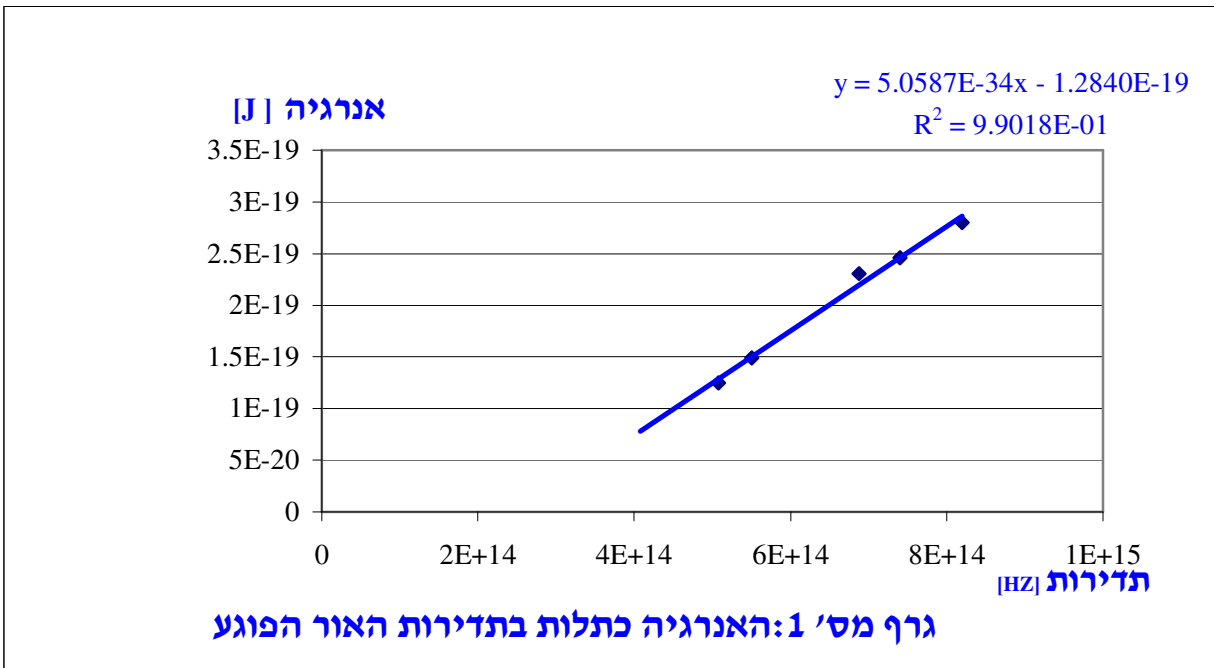
להלן הטבלה שהתקבלה בניסוי :

### טבלה מס' 1: אנרגיית האלקטרונים כתלות בתדירות האור הפוגע

צבע	V[volt]	אנרגיה[J]	V[m <sup>14</sup> ]	V[Hz]
צהוב	0.78	1.248E-19	5.08	5.08E+14
ירוק	0.93	1.488E-19	5.5	5.5E+14
כחול	1.44	2.304E-19	6.88	6.88E+14
סגול	1.54	2.464E-19	7.4	7.4E+14
אולטרה	1.75	2.8E-19	8.2	8.2E+14

נשרטט גרף של האנרגיה ( מכפלת המטען היסודי של האלקטרון במתח שנמדד ) כתלות בתדירות.

להלן הגרף שמתקבל :



התקבל גרף ליניארי.

מפונקצית ה-LINEST נקבל שיפוע מדויק של העקום שהתקבל :

שיפוע	נקודת חיתוך	ערך
5.1E-34	-1.3E-19	ערך
3.E-35	2.0E-20	שגיאה

כלומר השיפוע המתקבל הוא :

$$h = (5.1 \pm 0.3) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{sec}$$

כאשר הערך המקובל בספרות של קבוע פלאנק הוא  $6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{sec}$ .

נראה כי בין 2 הערכים הנ"ל אין חפיפה בתחום השגיאה, אך מכיוון שתוצאות הניסוי אינם אידיאליים ומושפעים מאוד מפילוסוף מאור חלש הנמצא בחדר, נכון יהיה לקחת אפילו שגיאת מדידה פי 4 מסדר הגודל של שגיאת המדידה שהתקבלה בגרף, כלומר קבוע פלאנק הניסיוני יהיה :

$$h = (5.1 \pm 1.5) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{sec}$$

כעת בין 2 הערכים קיימת חפיפה בתחום השגיאה.  
נחשב סטייה יחסית :

$$\frac{|h_{\text{known}} - h_{\text{experiment}}|}{h_{\text{known}}} \cdot 100 = \frac{|6.626 - 5.1| \cdot 10^{-34}}{6.626 \cdot 10^{-34}} \cdot 100 = 23.65\%$$

הסטייה אמנם גדולה, אך לנוכח תנאי הניסוי, היא מניחה את הדעת.

## מסקנות

1. הראינו כי מתקיים יחס ישר בין תדירות האור הפוגע לבין האנרגיה הנפלטת מהמתכת ובכך איששנו את האפקט הפוטואלקטרי ואת הנוסחה המתאימה לו.
2. הראינו כי מתקבל ערך עבור קבוע פלאנק השווה בסדר גודל לקבוע פלאנק הידוע.

פויסיקה 3 ב' - מצבקה

דו"ח מצבקה מס' 5

סקול-1991

מפיק



## פיזיקה 3 ב' – מעבדה מס' 5 - ספקטרומטריה

### מטרות הניסוי:

1. הכרת ספקטרום רציף ובדיד
2. מדידת אורכי גל בספקטרום הכספית וההליום



<http://dosxx.colorado.edu/~bagenal/1010/SESSIONS/13.Light.html>

איור מס' 1 : ספקטרום של אטום מימן לדוגמה

### גדלים נמדדים:

זווית התחלה וזווית סיום של הסדר הראשון של הספקטרום (במעלות), הזוויות בהן מופיעים הקווים הספקטראליים האופייניים לחומרים הנבדקים.

### מהלך הניסוי:

מחברים את מנורת כספית למקור מתח. מניחים את מקור האור בחריץ שבספקטרומטר ומדליקים את האור. בסדר הראשון של הספקטרומטר מודדים את הזוויות בהן מופיעים הצבעים האופייניים לחומר הנבדק ורושמים אותן. לאחר מכן מחליפים את מקור האור למנורת הליום, והפעם רושמים את הזוויות בהן מופיע כל צבע.

### ביצוע הניסוי:

ע"י שימוש בנוסחה  $d \sin \theta = N \cdot \lambda$ , כאשר  $d$  הוא עובי הסדק ( $3.33 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ), נמדוד את זוויות ההסטה של הספקטרום המתקבל מהקרנה של נורות הכספית וההליום, נחשב את אורכי הגל ונשווה לערכים הספרותיים.

נוסחת העבודה תהיה:  $\lambda_{[nm]} = \frac{1}{N} \cdot d \sin \theta$  כאשר  $N = 1$ , עבור הסדר הראשון.

## תוצאות הניסוי :

### טבלה מס' 1: תוצאות המדידה וחישובי סטייה

d [μm]	d[m]	צבע	θ[°]	sinθ	λ <sub>[m]</sub>	λ [nm]	λ <sub>theory</sub> [nm]	שגיאה [%]	
3.33	3.33E-06	סגול	6	0.10452846	3.48E-07	348	408	14.69	כספית
		כחול	8	0.1391731	4.63E-07	463	492	5.80	
		ירוק	9.5	0.16504761	5.50E-07	550	546	0.66	
		ירקרק	10	0.17364818	5.78E-07	578	577	0.22	
		צהוב	10.5	0.18223553	6.07E-07	607	580	4.63	הליום
		סגול	7	0.12186934	4.06E-07	406	410	1.02	
		טורקיז	8.2	0.14262893	4.75E-07	475	486	2.27	
		אדום	11.5	0.19936793	6.64E-07	664	656	1.20	
סגול סדר שני	13	0.22495105	3.75E-07	375	397	5.66			

- הערה – בהליום הובחן פס סגול נוסף מסדר שני ולכן החישוב עבורו היה בהתאם ל- N=2.

## מסקנות :

1. ניתן לראות כי אחוזי השגיאה של מדידותינו למול הערכים הספרותיים, הם קטנים עד זניחים ולכן נוסחת העבודה נכונה והוכח הקשר בין זווית הסטייה לבין אורך הגל.
2. למדנו להבדיל בין ספקטרום רציף לבדיד.

פיסיקה 3 ב' - מצגה

דו"ח מצגה מס' 6

על

מיקרו

## דוח מעבדה מס' 6 – גלי מיקרו

### מטרת הניסוי:

מציאת אורך הגל  $\lambda$ .

### רקע תיאורטי:

(מתוך 2 – Resnick & Halliday – volume 2)

קרינה אלקטרומגנטית היא התקדמות של שני שדות מאונכים זה לזה, האחד מגנטי והשני חשמלי, באותו כיוון. מהירות התקדמות השדות היא מהירות האור בריק. המתח הנמדד הוא פרופורציונאלי לקרינה מן המשדר אך לא ביחס ישר. המקלט קורא את קוסינוס הזווית של כיוון הקרינה. כאשר מסובבים את המקלט עוצמת הקרינה יורדת כיוון שהוא קולט פחות קרינה מהמשדר. כאשר זווית המקלט ביחס למשדר היא אפס אז קוסינוס 0 הוא 1 ולפיכך תיקלט קרינה מקסימאלית מהמשדר. כאשר זווית המקלט היא 90 אז קוסינוס 90 שווה 0 ולפיכך תיקלט קרינה מינימאלית מהמשדר.

### עבור חלק א' – התאבכות:

התופעה מתרחשת כאשר שני גלים נפגשים. במידה והגלים הם באותה פאזה הם משתלבים יחד ליצירת גל בעל עוצמה כפולה (נקודת אור בניסוי). זוהי התאבכות בונה. במידה והגלים בהפרש של חצי פאזה אחד מהשני, הם מבטלים אחד את השני (נקודת חושך בניסוי). זוהי התאבכות הורסת.

### עבור חלק ב' – גל עומד:

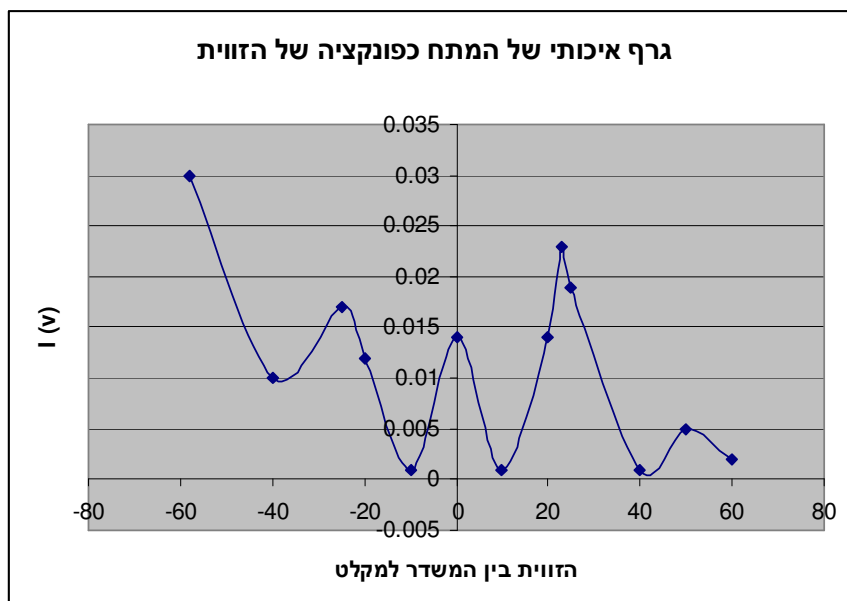
התופעה מתרחשת כאשר שני גלים – אחד נשלח והשני מוחזר, (אחד ימינה והשני שמאלה על אותו הציר), בעלי אותה אמפליטודה ואותה תדירות נפגשים. כך נוצר גל אחד הנראה עולה ויורד במקומו.

### חלק א' – מהלך הניסוי:

הצבנו את משדר המיקרו-גלים ואת המקלט על זרועות המאפשרות למדוד את הזווית בין המשדר למקלט. ביניהם, על הזרועות, התקנו בנק' אחת שלושה לוחות אלומיניום (החוסמים גלי מיקרו וביניהם סדקים שווים ברוחבם). הזינו את הזרועות ובדקנו באיזו זווית מתקבלת עוצמת זרם מקסימאלית ובאיזו מינימאלית.  $d = 7 \text{ cm}$  (המרחק בין הסדקים)

### תוצאות לחלק א':

-58	-40	-25	-20	-10	0	10	20	23	25	40	50	60	$\alpha$
0.03	0.01	0.017	0.012	0.001	0.014	0.001	0.014	0.023	0.019	0.001	0.005	0.002	I (v)
	min	max		min		min		max		min	max		



$$\lambda = \frac{d \times \sin \alpha}{N}$$

הנוסחה לחישוב אורך הגל:

$N = 0, 1, 2, \dots$  (המס' הסידורי של נקודות המקסימום)

2.58944	ממוצע [ס"מ]
2.887421	סטיית תקן [ס"מ]

### חלק ב' – מהלך הניסוי:

הצבנו את המשדר מול לוח אלומיניום כך שהגל הנשלח מהמשדר מוחזר מהלוח והופך לגל עומד. בין המשדר למקלט הצבנו אנטנה (שלא מפריעה למהלך הגל) ותפקידה למדוד את עוצמת הגל לאורך מסלולו. הזזנו את האנטנה על מסלול הגל לאורך הזרועות ובדקנו את העוצמה בנקודות שונות.

### תוצאות לחלק ב':

אפיון נקודה	$X$ (mm) המרחק בין לוח האלומיניום לאנטנה	עוצמה I (Volt)
צומת	0	0.09
	2	0.012
<b>טבור</b>	4	0.014
	6	0.011
	8	0.007
צומת	10	0.005
	12	0.007
	14	0.012
<b>טבור</b>	16	0.015
	18	0.014
	20	0.009
	22	0.005
צומת	24	0.004
	26	0.006
	28	0.013
<b>טבור</b>	30	0.015
	32	0.014
	34	0.009
	36	0.007
צומת	38	0.005
	40	0.007
	42	0.011
<b>טבור</b>	44	0.016
	46	0.015
	48	0.011
	50	0.008
צומת	52	0.007
	54	0.009
	56	0.014
	58	0.018

$X$  – המרחק בין לוח האלומיניום לאנטנה

$$= \frac{\lambda}{2} = \text{המרחק בין צומת לצומת}$$

$$\lambda_1 = 2 * (10-0) \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 = 2 * (24 - 10) \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

$$\lambda_3 = 2 * (38 - 24) \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

$$\lambda_4 = 2 * (52 - 38) \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = 26 \text{ mm} = 2.6 \text{ cm}$$

סטיית תקן = 4

השוואה בין אורכי הגל שהתקבלו בשני חלקי הניסוי:

$$\frac{2.6 - 2.589}{2.589} \times 100\% = 0.42\%$$

### **מסקנות:**

1. אורך גל המיקרו התיאורטי הוא 2.85 ס"מ.  
חישוב הסטייה בין אורך הגל התיאורטי למחושב:

$$\frac{2.85 - 2.6}{2.6} \times 100\% = 9.6\%$$

התוצאה תואמת את התיאוריה.

2. הסטייה נובעת משגיאות מדידה וכיול של הסרגל, של מד המתח, של הגלאי או מהחזרות עקב עצמים כולל גופנו.

3. על מנת לפשט את הניסוי, המרחק בתיאוריה בין שני הסדקים קטן בהרבה מהמרחק בין הסדקים למקלט.

## דוח מעבדה – ניסוי מס' 7

### קרינת גוף שחור

חלק א':

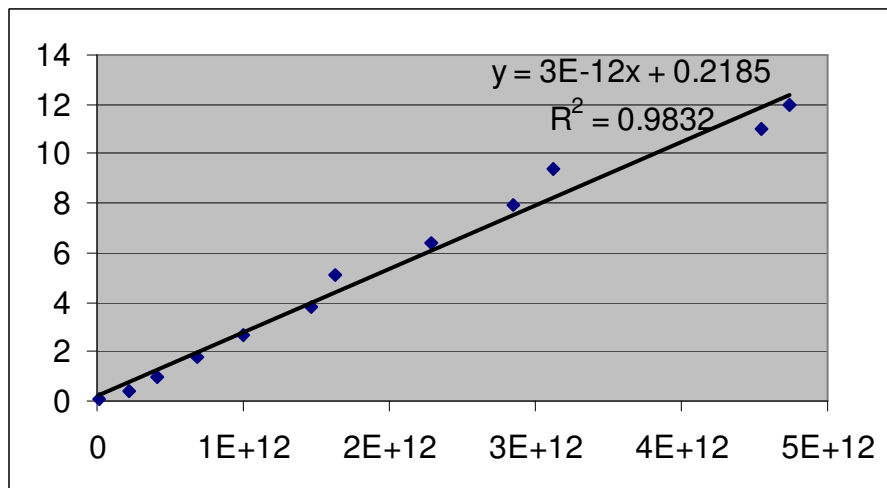
מטרת הניסוי: מציאת קבוע סטפן-בולצמן

מהלך הניסוי: לאחר שבדקנו את התנגדות הנורה בטמפרטורת החדר ( $R_0=0.6 \Omega$ ), מדדנו עם גלאי את המתח מהנורה בזרמים ובמתח מסופק שונים.

התלות בין עוצמת הקרינה לטמפי (K) מבוטאת ע"י הקבוע.  $I = \sigma \cdot T^4$

תוצאות:

V [v]	I [A]	V [mv]	$R = \frac{V}{I}$ [ $\Omega$ ]	$R^* = \frac{R}{R_0}$	T [k]	$T^4$ [k]
1	0.94	0.1	1.063	1.77	370	18741610000
2	1.195	0.4	1.673	2.8	680	2.13814E+11
3	1.43	1	2.09	3.5	800	4.096E+11
4	1.64	1.8	2.44	4.07	910	6.8575E+11
5	1.83	2.7	2.73	4.55	1000	1E+12
6	2	3.8	3	5	1100	1.4641E+12
7	2.185	5.1	3.2	5.3	1130	1.63047E+12
8	2.34	6.4	3.41	5.7	1230	2.28887E+12
9	2.5	7.9	3.6	6	1300	2.8561E+12
10	2.635	9.4	3.8	6.3	1330	3.12901E+12
11	2.78	11	3.96	6.6	1460	4.54372E+12
11.5	2.84	12	4.05	6.75	1475	4.73334E+12



תלות עוצמת הקרינה בטמפי

קבוע סטפן-בולצמן = שיפוע הגרף =  $3 \cdot 10^{-12}$

הערך התיאורטי של קבוע סטפן-בולצמן הוא:  $5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

מסקנות:

מתקבלת סטייה גדולה מהתיאוריה. הסיבה העיקרית לסטייה היא שהקבוע התיאורטי נקבע בתנאי ניסוי אופטימליים באמצעות שימוש בקופסה התואמת את מודל הגוף השחור. בניסוי שאנו ביצענו הנורה הייתה חשופה לסביבה כמו הגלאי. בנוסף, יש להתחשב בסטיות המדידה של הכלים בניסוי (כמו מד המתח) ובשגיאות המדידה שבוצעו על ידינו.

### חלק ב':

מטרת הניסוי: בדיקת תלות כמות הקרינה בטיב המשטח המוקרן.

### מהלך הניסוי:

בדקנו בעזרת גלאי, קובייה המתנהגת כגוף שחור. ארבעת פאות הקובייה היוו את המשטחים השונים הנבדקים. ביצענו את המדידות פעמיים עבור טמפי שונות של הנורה.

### תוצאות:

טמפי 1 (מצב 5):

T [C]	R [Ω]	פאה	V [mV]
92	7.22	שחור	11.5
92	7.22	לבן	11.3
92	7.22	כסוף	2.2
92	7.22	מתכתי מלוטש	0.2

טמפי 2 (מצב 7):

T [C]	R [Ω]	פאה	V [mV]
96	6.33	שחור	12.3
96	6.33	לבן	12.1
96	6.33	כסוף	2.3
96	6.33	מתכתי מלוטש	0.2

### מסקנות:

1. כמות הקרינה הנפלטת תלויה בגוון השטח בסדר הבא: שחור < לבן < כסוף < מתכתי מלוטש
2. היחסים בין כמויות הקרינה הנפלטות עבור גוונים שונים אינם תלויים בטמפי.
3. התוצאות תואמות את המצופה חוץ מהעובדה שעוצמות הקרינה הנפלטות מהגוונים לבן ושחור צפויות להיות שונות זו מזו בהרבה.



פּוּסִיקָה 3 ב' - מַעֲבָדָה

דו"ח מַעֲבָדָה מ'ס' 3

אױסױקױ

עױאױמפױ

חוק סוף

## דוח מעבדה מס' 3 – אופטיקה גיאומטרית – חוק סנל

### מטרות הניסוי:

א. הוכחת חוק סנל ומציאת מקדם שבירה של תווך אשר מקדם השבירה שלו אינו ידוע.

ב. מציאת המוקד של עדשה מרכזת (f) וחישובו מתוך הנוסחא:  $\frac{1}{V} + \frac{1}{U} = \frac{1}{f}$

V - הוא מרחק הדמות מהמראה או מהעדשה.

U - הוא מרחק העצם מהמראה או מהעדשה.

f - הוא המוקד.

### רקע תיאורטי לניסוי:

#### חוק סנל

חוק סנל הוא חוק השבירה של קרניים במעבר בין שני תווכים בעלי מקדם שבירה שונה, כלומר תווכים בהם מהירות האור שונה. החוק קרוי על שם המתמטיקאי ההולנדי וילברורד סנל בן המאה ה-16 אולם היו אחרים שגילו אותו לפניו. ההסטוריון רושדי רשד טוען שניסוח של החוק אפשר למצוא בכתביו של איבן סאל משנת 894 לספירה. בנוסף לכך ידוע שתומס הריוט, בן זמנו של סנל מאוקספורד גילה את החוק ב-1602 אולם, כמו סנל, מעולם לא פרסם את ממצאיו. דקארט, בזמן שהותו בליידן, ניסח את החוק לראשונה בעזרת סינוסים (ראה להלן) והוא מופיע בספרו "מאמר על המתודה" משנת 1637. מאוחר יותר האשים הויגנס (שקרא את מחברותיו של סנל) את דקארט בפלאגייט. בצרפת נקרא חוק סנל עד עצם היום הזה חוק דקארט או חוק סנל-דקארט, החוק קובע כי:

$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$$

$n_1$  - מקדם השבירה של התווך הראשון,  $n_2$  - מקדם השבירה של התווך השני.

$\theta_1$  - זווית הפגיעה,  $\theta_2$  - זווית השבירה.

כאשר מקדם השבירה של האוויר הוא שווה בקירוב טוב ל-1 חוק סנל נראה כך:  $\sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ .

#### עדשה מרכזת

עדשה כדורית נחשבת לחלק קטן מאוד מספירה שלמה. מידות העדשה קטנות בהשוואה לרדיוס העקמומיות שלה. במילים אחרות, הקרניים מהעצם יוצרות זווית קטנה עם ציר הסימטריה של העדשה. משוואת העדשה מתייחסת למרחק בין העצם לעדשה (U), למרחק בין הדמות לעדשה (V).

ולרדיוס העקמומיות (R):  $\frac{1}{U} + \frac{1}{V} = \frac{2}{R}$ , מטעמי נוחות, מגדירים בתיאוריה את המוקד (f) כחצי מרדיוס

העקמומיות:  $f = \frac{R}{2}$  ולכן משוואת העדשה תיראה כך:  $\frac{1}{V} + \frac{1}{U} = \frac{1}{f}$ .

כאשר העצם נמצא במרחק רב מאוד, אינסופי, מהעדשה הוא ישלח קרניים מקבילות לציר הסימטריה של העדשה. הפוקוס של הדמות יהיה בדיוק באותה נקודה כמו המוקד. כלומר: אם  $U = \infty$  אז  $V = f$ .

### מהלך הניסוי:

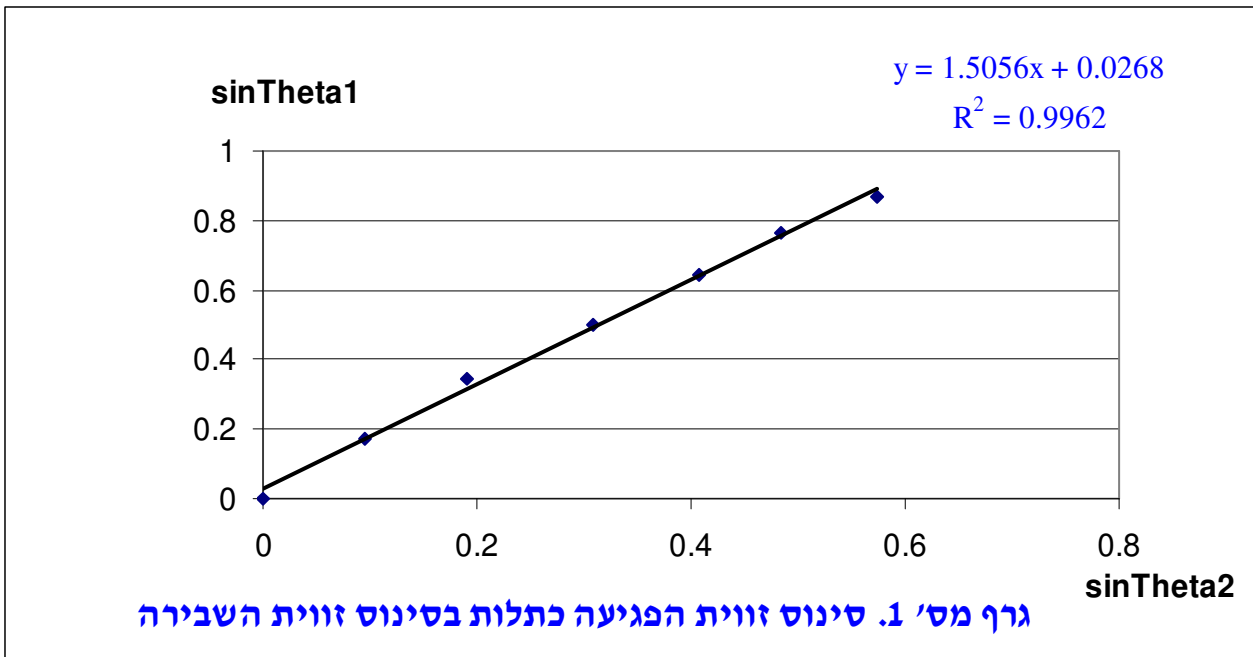
#### חוק סנל

מערכת הניסוי הורכבה כנדרש. נמדדו מס' זוויות פגיעה ומס' זוויות שבירה, הנתונים רוכזו בטבלה, להלן הטבלה:

**טבלה מס' 1: ריכוז נתונים למציאת מקדם שבירה של תווך**

$\theta_1$ [Deg]	$\theta_1$ [rad]	$\sin \theta_1$	$\theta_2$ [Deg]	$\theta_2$ [rad]	$\sin \theta_2$
0	0	0	0	0	0
10	0.175	0.174	5.5	0.096	0.096
20	0.349	0.342	11	0.192	0.191
30	0.524	0.500	18	0.314	0.309
40	0.698	0.643	24	0.419	0.407
50	0.873	0.766	29	0.506	0.485
60	1.047	0.866	35	0.611	0.574

נשרטט גרף של סינוס זווית השבירה כתלות בסינוס זווית הפגיעה, להלן הגרף שמתקבל :



התקבל קו מגמה ליניארי, כאשר השיפוע שלו הוא בקירוב טוב 1.5 . מפונקצית ה-LINEST נוכל למצוא את שיפועו המדויק של הגרף כולל שגיאת המדידה :

נק' חיתוך	שיפוע	
0.039	1.472	ערך
0.012	0.031	שגיאה

כלומר שיפוע הגרף (מקדם השבירה) הוא :

$$n_2 \cong (1.47 \pm 0.03)$$

הערך שהתקבל שווה בתחום השגיאה לערך הידוע של פרספקס שהוא 1.5 . נחשב סטייה :

$$\delta_{n_2} = \frac{|n_{2_{the}} - n_{2_{act}}|}{n_{2_{the}}} \cdot 100 = \frac{|1.5 - 1.47|}{1.5} \cdot 100 = 2\%$$

הסטייה שהתקבלה זניחה.

### עדשה מרכזת

מערכת הניסוי הורכבה כמודגם בציור. המרחקים נמדדו כאשר הושגה תמונת דמות ברורה. להלן המדידות שהתבצעו על ידינו :

$U_{[cm]}$	$1/U_{[1/cm]}$	$V_{[cm]}$	$1/V_{[1/cm]}$	$1/F_{[1/cm]}$	$F_{[cm]}$	מדידה מס'
26.5	0.037735849	74	0.013513514	0.051249363	19.51243781	1
34.5	0.028985507	45.5	0.021978022	0.050963529	19.621875	2
49	0.020408163	33.3	0.03003003	0.050438193	19.82624544	3

כאשר ערכו של המוקד הממוצע של 3 המדידות הוא :

$F_{avg_{[cm]}}$
19.654

$$f_1 \cong (19.65 \pm 0.05)_{cm}$$

כלומר :

נמדוד את מרחק העצם מהעדשה, את גובה העצם ואת גובה הדמות.

מהנוסחה :  $f = \frac{H' \cdot U}{H' + H}$  נמצא את מרכז המוקד ( הוכחת הנוסחה בכתב יד מצורפת לדוח זה ).

להלן המדידות :

$H_{[cm]}$	$H'_{[cm]}$	$U_{[cm]}$
2	3.15	31.5

מרחק המוקד מהנוסחה הנ"ל הוא :

$F_{2[cm]}$
19.27

$$f_2 \cong (19.27 \pm 0.05)_{cm}$$

כלומר :

נחשב סטייה בין שני ערכי המוקד שהתקבלו :

$$\delta_f = \frac{|f_1 - f_2|}{f_1} \cdot 100 = \frac{|19.654 - 19.27|}{19.654} \cdot 100 = 1.95\%$$

הסטייה שהתקבלה זניחה.

### מסקנות

1. הראינו כי קיימת פרופורציה בין סינוסי זוויות הפגיעה והשבירה של אור במעבר מתווך לתווך, וכי פרופורציה זו שווה למקדם השבירה הידוע של החומר ממנו עשוי התווך.
2. הוכחנו כי אכן מתקיימת "נוסחת המראה והעדשה"  $(\frac{1}{V} + \frac{1}{U} = \frac{1}{f})$  וכי היא אכן משמשת כלי מתמטי יעיל לחישוב מרחק המוקד של מכשור אופטי.