

דביר חדד י"ב4

# דו"ח חות מעבדה

**1.5.2012**

**דביר חדד**

**316081009**

**י"ב4**

## תוכן עניינים:

(דו"חות למעבדות החובה לקראת הבגרות במעבדה 2012)

3.....	כ.א.מ, מתח הדקים והתנגדות פנימית
9.....	עצם ודמותו בעדשה מרכזת
14.....	גליונומטר טנגנטי
21.....	חוק סנל
30.....	החוק השני של ניוטון
45.....	האפקט הפוטואלקטרי

## כא"מ, מתח הדקים והתנגדות פנימית

### מטרות הניסוי :

- מציאת הקשר וההבדל בין ה.כ.א.מ. ומתח ההדקים
- מציאת הקשר בין מתח ההדקים והזרם הזורם במעגל
- מציאת ה.כ.א.מ. והתנגדות הפנימית של מקור המתח

### התיאוריה שבבסיס הניסוי :

במעגל חשמלי סכום כל המתחים (כולל על המתח על ההתנגדות הפנימית) שווה ל.כ.א.מ. :  $\varepsilon = V + Ir$  , כש  $\varepsilon$  זה הכא"מ ,  $V$  מייצג את מתח ההדקים ,  $I$  מייצג את הזרם במעגל ו  $r$  מייצג את גודל ההתנגדות הפנימית של הסוללה.

### ביצוע הניסוי :

רשימת הציוד בו השתמשתי במהלך הניסוי :

- סוללה בעלת כא"מ של  $1.5V$ .
- בית סוללות.
- נגד משתנה (שהתנגדותו המרבית היא כ  $20\Omega$ ).
- אמפרמטר בתחומים של  $0 - 500mA$  ו  $0 - 5A$ .
- וולטמטר בתחום  $0 - 3V$ .
- תיילים.

### תיאור מערכת הניסוי :

במערכת מחוברת סוללה בעלת כא"מ  $\varepsilon$  אליה מחובר במקביל וולטמטר (שתחום המדידה שלו הוא  $0 - 3V$ ) ובטור לסוללה מחובר אמפרמטר (בתחומים של  $0 - 500mA$  ו  $0 - 5A$ ). בטור לאמפרמטר מחובר הנגד המשתנה שערכו ניתן לשנוי מאפס עד  $20\Omega$ .

### תיאור מהלך הניסוי :

תחילת הניסוי : מנתקים את גררת הנגד המשתנה ומודדים את הוראת שני מכשירי המדידה

#### דביר חודד י"ב

(הוולטמטר והאמפרמטר). כך נקבל את מתח ההדקים.

תהליך הניסוי: מציבים את גררת הנגד המשתנה בנקודה D ומודדים את המתח והזרם.

לאחר מכן מזיזים את גררת הנגד המשתנה לכיוון הנקודה C ומשנים את התנגדותו, כך שהמתח הנמדד יורד או עולה כל פעם, ובכך גם הזרם.

חוזרים על אותו התהליך עם שתי סוללות, כדי לצמצם שגיאה ולראות אם היחס מתקיים גם שם.

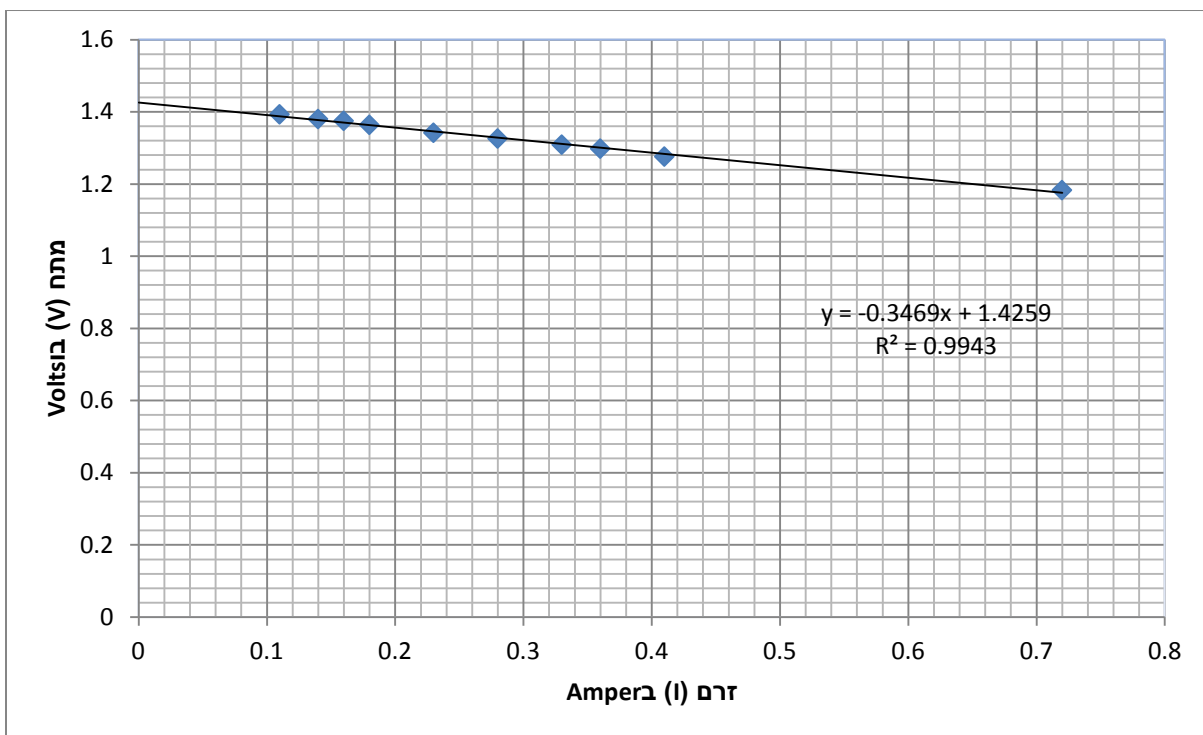
סיום הניסוי: מרכזים את תוצאות הניסוי בטבלה המכילה את מדידות המתח והזרם שהתקבלו.

#### תוצאות הניסוי:

שתי סוללות :		סוללה אחת :	
זרם (A)	מתח (V)	זרם (A)	מתח (V)
2.19	1.24	0.72	1.183
0.82	2.15	0.41	1.276
0.73	2.22	0.36	1.298
0.6	2.31	0.33	1.309
0.46	2.41	0.28	1.266
0.42	2.45	0.23	1.342
0.3	2.54	0.18	1.364
0.27	2.57	0.16	1.375
0.25	2.59	0.14	1.38
0.22	2.62	0.11	1.393

ניצור שתי גרפים, בשניהם V כפונקציה של I. כל גרף בעמוד נפרד.

מתח (V) כפונקציה של זרם (I) עם סוללה אחת:



הגרם הינו ליניארי, ובהתאם למשוואה שהצגתי בהקדמה:  $V = \varepsilon - Ir$

החיתוך עם ציר Y הוא  $(0, \varepsilon)$  הכ.א.מ. של הסוללה. שיפוע הגרף הוא  $r$ , ההתנגדות הפנימית של הסוללה.

החיתוך עם ציר X הוא  $(\frac{\varepsilon}{r}, 0)$  וזהו המצב בו הזרם מקסימאלי מאחר ואין מתח שלילי.

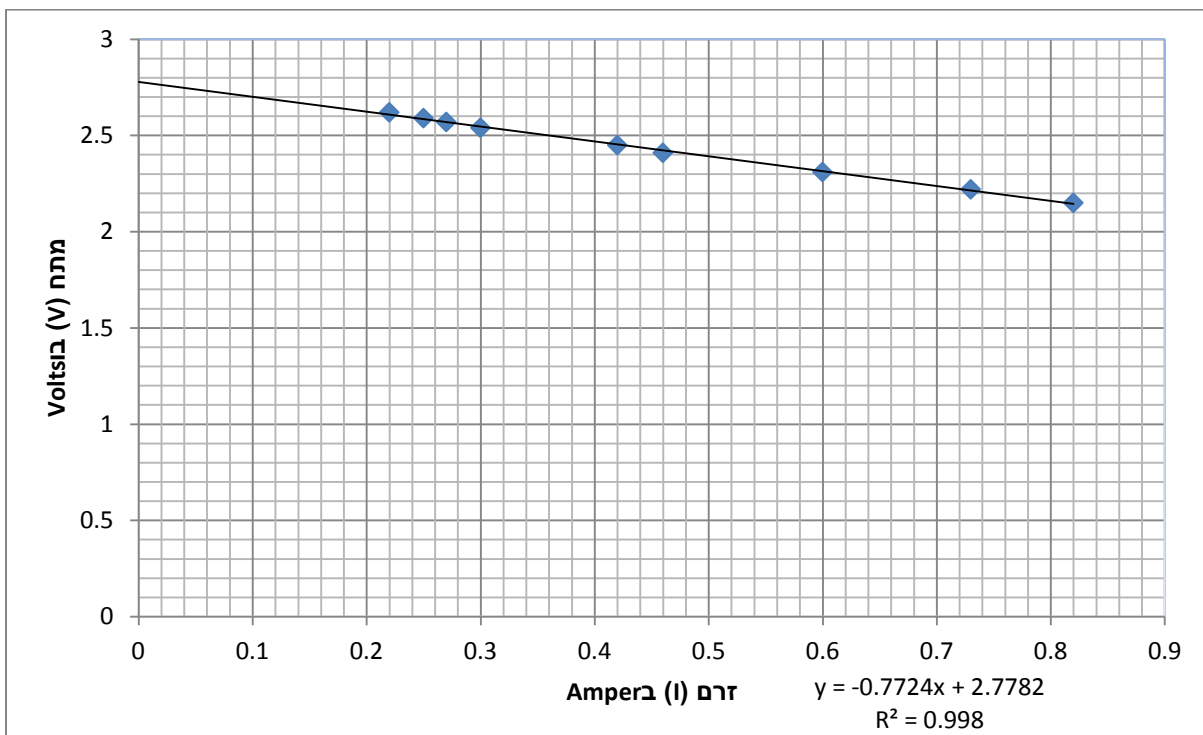
לאחר חישובים מעטים וקירובים מסוימים נגלה ש:

$$\text{(v)} \quad 1.43 = \varepsilon$$

$$\text{(z)} \quad 0.35 = -\frac{1.298 - 1.309}{0.36 - 0.33} = r$$

נעבור לגרף השני של שתי הסוללות ואז ננתח תוצאות ונחשב אחוז סטייה:

**מתח (V) כפונקציה של זרם (I) עם שתי סוללות:**



הגרם הינו ליניארי, ובהתאם למשוואה שהצגתי בהקדמה:  $V = \varepsilon - Ir$

החיתוך עם ציר Y הוא  $(0, \varepsilon)$  הכ.א.מ. של שתי הסוללות. שיפוע הגרף הוא  $r$ , ההתנגדות הפנימית של שתי הסוללות יחד.

החיתוך עם ציר X הוא  $(\frac{\varepsilon}{r}, 0)$  וזהו המצב בו הזרם מקסימאלי מאחר ואין מתח שלילי.

לאחר חישובים מעטים וקירובים מסוימים נגלה ש: (בהסתמך על המשאווה)

$$\text{v) } 2.77 = \varepsilon$$

$$\text{w) } 0.77 = -\frac{2.45 - 2.54}{0.42 - 0.3} = r$$

עכשיו נעבור לניתוח התוצאות וחישוב אחוז השגיאה:

## דביר חדד י"ב

### ניתוח התוצאות:

הכא"מ שהתקבל בניסוי הוא  $\varepsilon = 1.43V$  בעוד אמור היה להתקבל  $\varepsilon = 1.5V$  ולכן אחוזי

הסטייה הם :

$$100 - \left( \frac{1.43}{1.5} \cdot 100 \right) = 4.666$$

כלומר, יש אחוזי סטייה של 4.666%, ומכאן שתוצאות הניסוי מדויקות וקרובות לתוצאות הנכונות האמורות להתקבל.

הסטייה בחישוב נובעת מחוסר דיוק מקסימלי במכשירי המדידה וכן מכך שהניסוי לא נערך באופן המיטבי (שינויי המתח אינם קבועים בכל אחת מהמדידות, דבר המביא לסטייה במדידות הזרם ולשגיאה בתוצאות הסופיות).

נקודת החיתוך עם ציר ה-  $y$  - הציר המייצג את המתח היא  $A(0, \varepsilon)$ , כלומר, בנקודה זו המתח הנופל על המעגל החיצוני, כלומר, על הנגד המשתנה הוא המכסימלי ושווה לכא"מ.

נקודת החיתוך עם ציר ה-  $x$  - הציר המייצג את הזרם היא  $B\left(\frac{\varepsilon}{r}, 0\right)$  ובנקודה זו זורם הזרם המכסימלי במעגל - זהו "זרם הקצר" הנוצר כאשר מחברים את הדקי הסוללה במוליך חסר התנגדות ואז מתח ההדקים מתאפס - הסוללה נמצאת במצב קצר.

### מסקנות הנובעות מהניסוי ומתוצאותיו :

מתוצאות המדידה התקבל הביטוי :

$$V = \varepsilon_0 - Ir$$

מתח ההדקים - המתח הנופל על המעגל החיצוני - הנגד המשתנה שווה להפרש שבין הכא"מ של הסוללה לבין המתח הנופל על ההתנגדות הפנימית; הכא"מ של הסוללה. כמו כן, מתוך הגרף מתברר שמתח ההדקים נמצא ביחס ישר לזרם הזורם במעגל.

תשובות לשאלות 1-5 :

- (1) כא"מ : הכא"מ של הסוללה היא כמות האנרגיה שהסוללה מעניקה לקולון אחד של מטען שמועבר דרכה ומכאן : כא"מ = כמות אנרגיה ליחידת מטען. מתח הדקים – המתח בין קצותיו של מקור מתח.
- (2) אין סתירה. וזאת מפני שחוק אום מותאם לנגד קבוע ואילו בניסוי הנגד משתנה ולכן תוצאות הניסוי כביכול סותרות את חוק אום.
- (3) לנתק את הזרם במעגל ובעזרת וולטמטר למדוד את המתח הנופל על המעגל, המתח יהיה פחות מהמתח שהסוללה אמורה לספק וכך מוכיחים שיש לסוללה התנגדות פנימית.
- (4) עקרון הפעולה של הוולטמטר : הוולטמטר הוא מכשיר למדידת מתח . אם נרצה למדוד את המתח על נגד מסוים נחבר לו את הוולטמטר במקביל מכיוון שהמתח במקביל שווה על כל הרכיבים. ההתנגדות שלו היא אינסופית ולכן לא זורם בו זרם כלל, וכך המתח הוא בדיוק אותו המתח כמו איפה שחיברנו את התיילים.
- עקרון הפעולה של האמפרמטר : האמפרמטר הוא מכשיר למדידת זרם . אם ברצוננו למדוד זרם דרך נגד מסוים נחבר את האמפרמטר בטור לנגד מכיוון שאנו יודעים שהזרם בטור שווה בכל הרכיבים, וכל זרם שזורם בנגד זורם גם דרך האמפרמטר. ההתנגדות שלו אפסית, ולכן אין בעייה להסתמך עליו כדי למדוד את הזרם.
- (5) כן וולטמטר המחובר לסוללה במעגל פתוח מודד את הכא"מ. כי לא זורם זרם ולכן במשוואה מצויים  $I=0$ , ולכן יוצא שהמתח שווה לכא"מ.  $V = \varepsilon - Ir$



## עצם ודמותו בעדשה מרכזת

### מטרת הניסוי :

- מציאת הקשר בין מרחק עצם מעדשה מרכזת.
- מציאת הקשר בין מרחק דמותו של עצם מעדשה מרכזת.

### ציוד :

- מקור מתח של  $3V$ .
- נורה  $3.5V$ .
- בית מנורה.
- עדשה מרכזת (מרחק המוקד  $15\text{cm}$ ).
- 2 מחזיקי עדשות.
- זכוכית מט.
- סרגל ארוך ( $1$  מטר).
- תיילים.
- גומיות.

### מהלך הניסוי :

#### לניסוי שלושה חלקים :

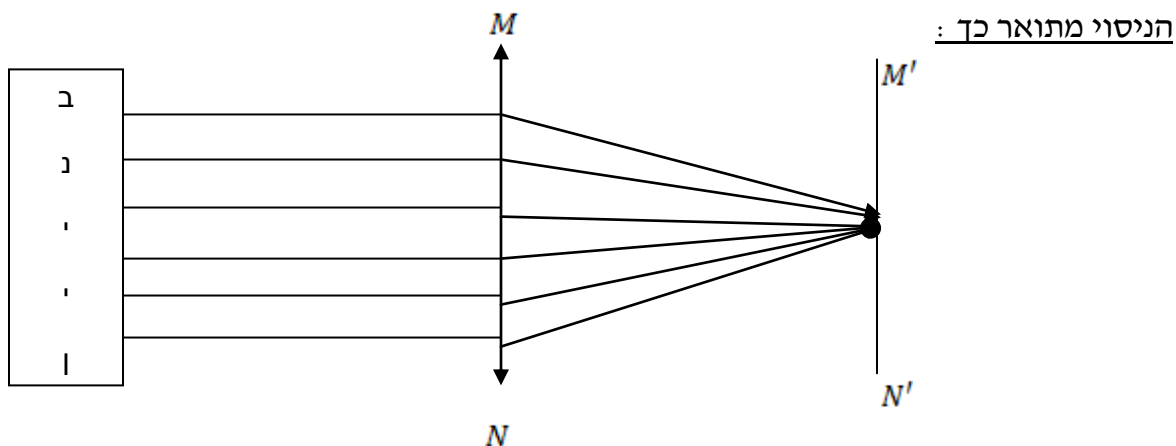
- מדידת מרחק המוקד במדידה ישירה.
- מציאת הקשר :  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ .
- מציאת הדמות המדומה.

## דביר חדד י"ב

### חלק א' – מדידת מרחק המוקד במדידה ישירה :

בחלק זה מכוונים את העדשה אל עצם רחוק (בניסוי – בניין) ומזיזים את זכוכית המט כך שמתקבלת דמות חדה של העצם.

מודדים את המרחק בין העדשה ובין זכוכית המט – מרחק זה הוא מרחק המוקד של העדשה. הקרניים המגיעות מן הבניין אל העדשה הן למעשה מקבילות, וזאת משום שקרניים המגיעות אל העדשה ממרחק "אינסופי" (בניסוי מרחק העדשה מן הבניין מוגדר כאינסופי) הן מקבילות ומשום שקרניים מקבילות נפגשות במוקד העדשה, אזי מרחק זכוכית המט מן העדשה מהווה למעשה את מרחק המוקד של העדשה.



$MN$  - העדשה ו-  $M'N'$  - המסך – זכוכית המט עליה מתקבלת דמותו של העצם.

על פי המדידה התקבל :  $v = 14.8\text{cm}$  כאשר :  $v$  - מרחק הדמות מהעדשה.

מתקיים :  $v = f = 14.8\text{cm}$  משום הטענות הכתובות לעיל ולכן מרחק המוקד של העדשה

מתוך המדידה הישירה בחלקו הראשון של הניסוי הוא :  $f = 14.8\text{cm}$ .

ערכו התיאורטי של מרחק המוקד של העדשה הוא :  $f = 15\text{cm}$ , כלומר קיים אחוז שגיאה

של :

אחוז זה הוא אחוז קטן המעיד על ביצוע הניסוי באופן מדויק ועל תוצאה הקרובה לאמת.

## דביר חדד י"ב

חלק ב' - מציאת הקשר:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$

בחלק זה מחברים את הנורה למקור המתח ובמרחק  $u = 1m$  מציבים את העדשה.

מעברה השני של העדשה מציבים את זכוכית המט.

מזיזים את זכוכית המט עד שמתקבלת דמות חדה וברורה של חוט הלהט.

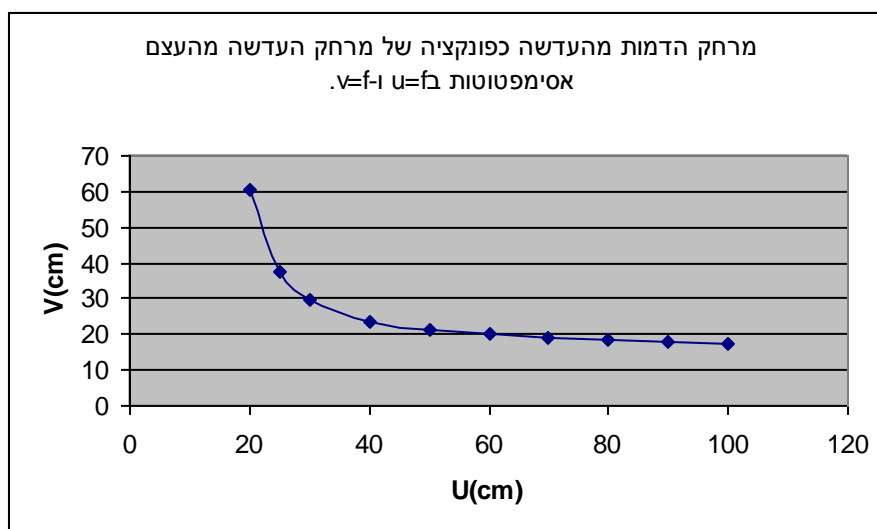
מודדים את מרחק המסך (זכוכית המט) מהנורה וחוזרים על הניסוי כ-10 פעמים

כאשר בכל פעם מקרבים את העדשה אל הנורה.

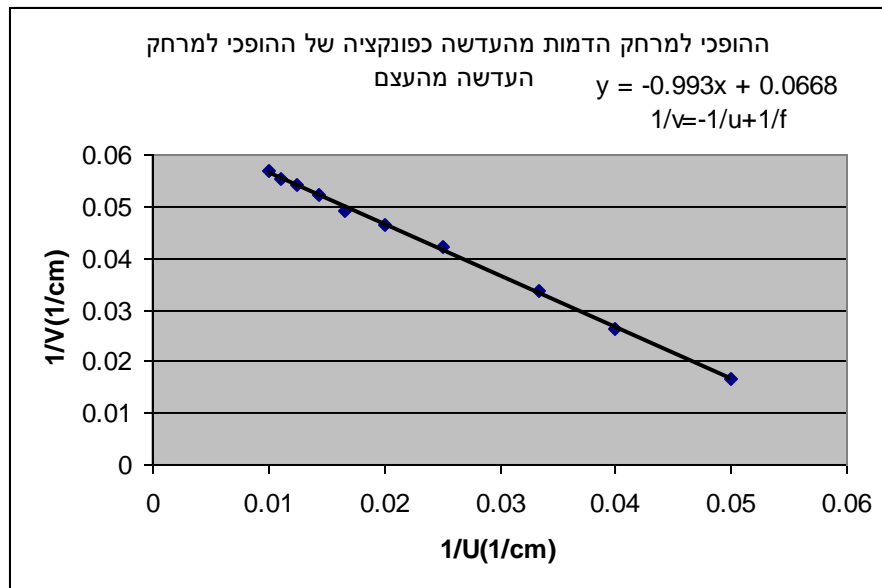
מרכזים את התוצאות בטבלה :

<u>1/U(1/cm)</u>	<u>1/V(1/cm)</u>	<u>U(cm)</u>	<u>V(cm)</u>
0.01	0.056818	100	17.6
0.011111	0.055249	90	18.1
0.0125	0.054054	80	18.5
0.014286	0.052083	70	19.2
0.016667	0.049261	60	20.3
0.02	0.046512	50	21.5
0.025	0.042017	40	23.8
0.033333	0.033784	30	29.6
0.04	0.026455	25	37.8
0.05	0.016611	20	60.2

ולפי נתונים אלו עורכים גרף :



## דביר חדד י"ב



על פי משוואת הגרף :

$$\frac{1}{v} = 0.066 - 0.993 \cdot \frac{1}{u}$$

מתקיים : מרחק המוקד של העדשה באופן תיאורטי הוא :  $f = 15\text{cm}$  ומתקיים :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{15} \sim 0.066$$

וניתן לרשום :  $0.993 \sim 1$  ומכאן מתקבל הקשר :

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} \rightarrow v = \frac{uf}{u-f}$$

כמו כן , ניתן לקבוע כי השיפוע הרצוי הוא :  $m = -1$  והשיפוע המצוי הוא :  $m = -0.993$  ,

כלומר אחוז השגיאה המתקבל בין הרצוי ובין המצוי הוא :

$$\left| \frac{-0.993+1}{-1} \right| = 0.7\%$$

אחוז השגיאה הוא קטן מאוד , דבר המעיד על דיוק במדידה ועל ביצוע תקין וטוב של הניסוי. המשוואה שלעיל מתארת את הקשר שבין מרחק הדמות והעדשה ובין מרחק העדשה מהעצם ,

דבר המתואר בגרף הראשון. על פי המשוואה לגרף שתי אסימפטוטות :

אסימפטוטה אופקית שמשוואתה  $v = f$  ואסימפטוטה אנכית שמשוואתה  $v = f$  , דבר המאשש

את נכונות הגרף.

#### דביר חדד י"ב

הקשר  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$  מסביר גם את תוצאת המדידה הישירה שכן אם  $u \rightarrow \infty$  אזי מתקיים :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{\infty} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{v} \rightarrow f = v$$

#### חלק ג' – מציאת מרחק הדמות המדומה של מקור האור מן העדשה :

בחלק זה מציבים את הנורה במרחק  $u$  מן העדשה, כך שמתקיים  $u < f$  ובצד השני של העדשה מציבים מסך.

מודדים את קוטר העדשה החשוף ומסמנים על המסך שני פסים כך שהמרחק ביניהם כפול מקוטר העדשה ומזיזים את המסך עד שבין שני הפסים המסומנים מתקבל כתם אור. מודדים את מרחק המסך מן העדשה המהווה את מרחק הדמות המדומה של מקור האור.

התוצאה המתקבלת כאשר  $u = 12\text{cm}$  על פי מדידה ידנית היא :

$$v = 59.4\text{cm}$$

על פי הקשר שבין מרחק הדמות מן העדשה ובין מרחק העדשה מהעצם :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

ומתקיים :  $f = 15\text{cm}$ ,  $u = 12\text{cm}$  ומכאן :

$$v = \frac{uf}{u-f} = \frac{12 \cdot 15}{12-15} = -60\text{cm}$$

אחוז השגיאה המתקבל הוא :

$$\frac{|60-59.4|}{60} = 1\%$$

אחוז השגיאה הקטן המתקבל מעיד על מדידה ידנית מדויקת ועל תוצאה הקרובה לאמת.

על פי הקשר, כאשר  $u < f$  מתקבל  $v < 0$ , כלומר, המרחק בין הדמות ובין העדשה הוא שלילי, דבר המעיד על כך שהדמות היא דמות מדומה.

## גלונומטר טנגנטי: מדידת הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי

### מטרה:

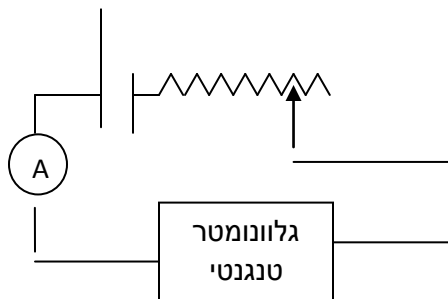
חקירת השדה המגנטי במרכז לולאה מעגלית נושאת זרם, תלותו בעצמת הזרם ובמספר הכריכות. חישוב הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי.

### רשימת ציוד:

- מקור מתח ישר בתחום  $0 - 12V$ .
- גלונומטר טנגנטי.
- מצפן.
- ריאוססט – נגד משתנה שהתנגדותו כ-  $20\Omega$ .
- אמפרמטר בתחום  $0 - 5A$ .
- תיילים.
- מצבט תנין.
- לולאה שקוטרה  $0.056m$  - רדיוס הלולאה הוא  $0.028m(meters)$ .

### מהלך הניסוי:

בונים מעגל חשמלי הנראה כך :



#### דביר חדד י"ב

את התיל הארוך מלפפים סביב טבעת האלומיניום. שמים על לוח העץ שבמרכז הלולאה מצפן, ומכוונים את המערכת כך שמישור טבעת האלומיניום יהיה מכוון לכיוון-צפון דרום.

#### חלק א' של הניסוי - מציאת הקשר בין עוצמת הזרם לבין סטיית מחט המצפן וטנגנס זווית הסטייה

בעזרת הריאוסטט מכוונים את עוצמת הזרם כך שסטיית מחט המצפן תהיה  $10^\circ$  והופכים את כיוון הזרם בלולאה על מנת לבדוק את סטיית הזרם במגמה הפוכה ובודקים האם הסטיות בשתי המגמות זהות.

משנים את הזרם במעגל בהדרגה בעזרת הריאוסטט ומודדים את זווית הסטייה

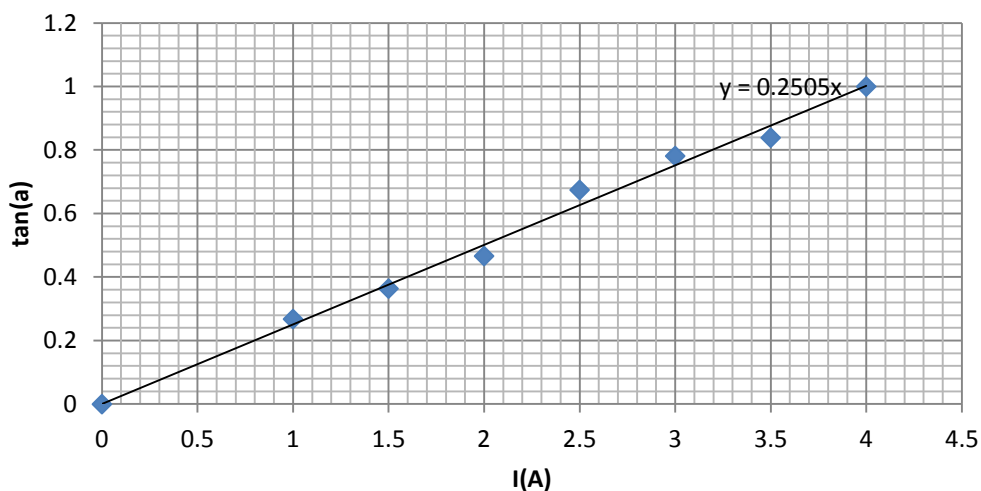
המתקבלת ( $\alpha$ ).

#### תוצאות הניסוי :

$\tan(\alpha)$	$\alpha$ (degrees)	I (A)
0	0	0
0.2679	15	1
0.3639	20	1.5
0.4663	25	2
0.6745	34	2.5
0.7813	38	3
0.839	40	3.5
1	45	4

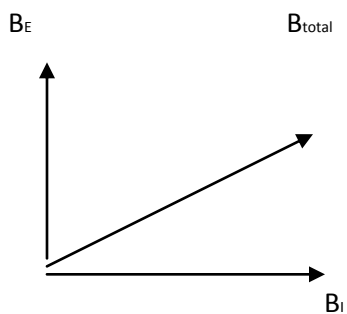
• מספר הליפופים בלולאה הוא :  $n = 1$  - מספר ליפופים קבוע.

### טנגנס הזווית כפונקציה של הזרם



הגרף שהתקבל הוא גרף ליניארי המעיד על יחס ישר בין טנגנס זווית הסטייה לזרם הזורם במעגל. המסקנה הנובעת מתוך הגרף היא שככל שנגביר את הזרם במעגל כך המצפן יסטה בזווית גדולה יותר וכך טנגנס הזווית יגדל.

מאחר שהמחט סוטה בכיוון השקול של השדה המגנטי של הכריכות והרכיב המקביל של השדה המגנטי של כדור הארץ השדה המגנטי השקול מיוצג כך :





#### דביר חודד י"ב

כאשר  $B_I$  מייצג את השדה המגנטי הנוצר מהזרם העובר בלולאה,  $B_E$  מייצג את השדה המגנטי הארצי ו-  $B_{total}$  מייצג את שקול השדות המגנטיים.

ולכן:

$$\tan(\alpha) = \frac{B_I}{B_E}$$
$$B_I = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \rightarrow B_I = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

ומשתי המשוואות נובע:

$$\tan(\alpha) = \frac{\frac{\mu_0 I}{2\pi r}}{B_E} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r \cdot B_E}$$

ומתוך המשוואה המתקבלת ניתן לראות שישנו יחס ישר בין  $\tan(\alpha)$  והזרם או במילים אחרות ככל שהזרם גדל כך גם זווית הסטייה.

#### מציאת השדה המגנטי של כדה"א:

$$m = \frac{\mu_0}{2\pi r \cdot B_E}$$

$$m = 0.2505$$

$$B_E = \frac{\mu_0}{2\pi r \cdot m}$$

$$B_E = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi \cdot 0.028 \cdot 0.2505} = 2.86 \cdot 10^{-5} T$$

ערך השדה המגנטי:  $B_E = 2.9 \cdot 10^{-5} T$

## דביר חדד י"ב

חישוב אחוז הסטייה:

$$\left(1 - \frac{2.86 \cdot 10^{-5}}{2.9 \cdot 10^{-5}}\right) \times 100 \sim 1.38\%$$

זהו אחוז סטייה קטן מאוד המעיד על עריכת הניסוי בתנאים טובים ועל דיוק בתוצאות.

מתוך הניסוי המתואר ומתוך התוצאות ניתן להבין שבין טנגנס הזווית לבין הזרם הזורם בלולאה קיים יחס ישר ולכן ככל שמגדילים את הזרם כך המצפן סוטה יותר וטנגנס הזווית גדל.

### חלק ב' של הניסוי – מציאת הקשר בין מספר הליפופים לבין סטיית מחט המצפן וטנגנס זווית הסטייה

מכוונים את עוצמת הזרם ל - 1A - זרם קבוע ומשנים את מספר הליפופים בלולאה.

את הליפופים עושים באותה מגמה כיוון שבמידה והם לא יהיו באותה מגמה השדות המגנטיים החשמליים יבטלו אחד את השני.

מודדים את זווית הסטייה המתקבלת מהגדלת מספר הליפופים ( $\alpha$ ).

### תוצאות הניסוי:

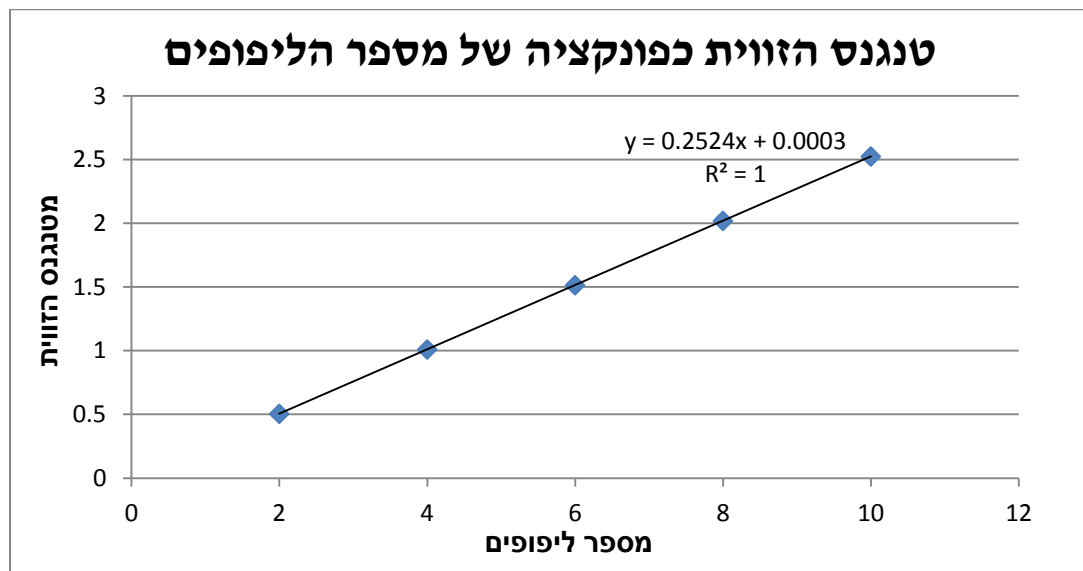
$\tan(\alpha)$	$\alpha$ (Degrees)	(Number of N Wraps)
.505	14.23	2
1.01	27.76	4
1.514	37.81	6
2.019	45.45	8

## דביר חדד י"ב

2.524

51.02

10



### ניתוח תוצאות הניסוי ומסקנות :

בניסוי השני הזרם קבוע וערכו  $1A$  ומספר הליפופים משתנה. הביטוי שהתקבל הוא פונקציה ליניארית של טנגנס זווית הסטייה כפונקציה של מספר הליפופים.

העוצמה המגנטית של הסליל – הלולאה היא :

$$B_I = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} N$$

וכן מתקיים :

$$\tan(\alpha) = \frac{B_I}{B_E}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r \cdot B_E}$$

#### דביר חדד י"ב

כלומר, קיים יחס ישר בין טנגנס זווית הסטייה ובין מספר הליפופים, דבר המאשש את הגרף המתואר לעיל ואת תוצאות הניסוי.

מהצבת המשוואה הראשונה בשנייה:

$$B_E = \frac{\mu_0 IN}{2\pi r \cdot \tan(\alpha)}$$

$$I = 1A : \text{ וכיוון ש}$$

$$B_E = \frac{\mu_0 N}{2\pi r \cdot \tan(\alpha)}$$

$$B_E = \frac{\mu_0 N}{2\pi r \cdot \tan(\alpha)} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi \cdot 0.028 \cdot 0.2523} = 2.83 \cdot 10^{-5} T$$

אחוז הסטייה המתקבל בניסוי הוא:

$$\left(1 - \frac{2.83 \cdot 10^{-5}}{2.9 \cdot 10^{-5}}\right) \times 100 \sim 2.75\%$$

זהו אחוז סטייה תקין.

מתוך הניסוי המתואר ומתוך התוצאות מתגלה כי בין טנגנס הזווית לבין מספר הליפופים בלולאה קיים יחס ישר ולכן ככל שמגדילים את מספר הליפופים כך המצפן סוטה יותר וטנגנס הזווית גדל.

מסקנה:

מהניסוי ניתן להבין שמתקיים יחס ישר בין מספר הליפופים והזרם לבין טנגנס הזווית.

## חוק סנל

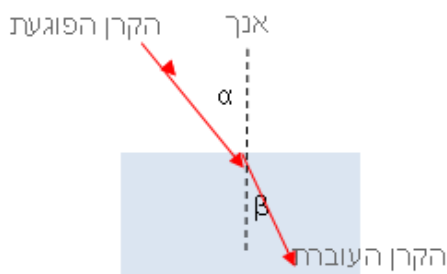
### מטרות הניסוי:

1. מציאת הקשר בין מקדם השבירה לזווית.
2. מציאת מקדם השבירה של פרספקס.

### רקע תיאורטי:

כאשר אור עובר מתווך אחד לתווך אחר, הוא משנה את כיוון התפשטותו. לשינוי כיוון זה אנו קוראים **שבירה**.

לצורך תיאור התפשטות האור והשבירה, נשתמש בכמה מושגים:



סרטוט 1

- הקרן הפוגעת - קרן המייצגת את כיוון ההתקדמות של האור הפוגע.
- הקרן העוברת - קרן המייצגת את כיוון ההתקדמות של האור העובר במשטח.
- אנך - זהו אנך למשטח בנקודת הפגיעה.
- זווית הפגיעה (α) - הזווית שבין הקרן הפוגעת לאנך.
- זווית השבירה (β) - הזווית שבין הקרן העוברת לאנך.

את תופעת השבירה חקר מדען בשם סנל. הוא מצא קשר כללי בין זווית הפגיעה לזווית השבירה. סנל גילה כי קיים יחס ישר בין סינוס זווית השבירה לסינוס זווית הפגיעה. קשר זה ידוע בשם **חוק סנל**:

<u>חוק סנל</u>	
$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$	sinθ <sub>1</sub> – סינוס זווית הפגיעה
	sinθ <sub>2</sub> – סינוס זווית השבירה
	n <sub>1</sub> – מקדם השבירה של החומר בו הקרן הפוגעת
	n <sub>2</sub> – מקדם השבירה של החומר בו הקרן העוברת (נשברת)

מקדם השבירה n של התווך, מוגדר כיחס בין מהירות האור במרחב ריק- c, למהירות האור בתווך- v.

$$c = 299,792,458 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad n = \frac{c}{v}$$

## דביר חדד י"ב

כלומר, ככל שמהירות האור בתווך מסוים קטנה יותר, מקדם השבירה של התווך גדול יותר ויכולת החומר לשנות את כיוון התקדמותו של האור גדולה יותר. תווך צפוף יותר הוא תווך בעל מקדם שבירה גדול יותר. תווך דליל יותר הוא תווך בעל מקדם שבירה קטן יותר.

מקדם השבירה של ריק שווה:  $n_{\text{ריק}} = \frac{c}{v} = \frac{c}{c} = 1$ , מכאן שמקדם השבירה אינו אופייני לחומר בלבד, אלא מתייחס גם למצבים שבהם קיים היעדר חומר.

**החזרה גמורה** (או החזרה מלאה) היא תופעה אופטית נפוצה בה קרן אור שמגיעה מתווך בעל מקדם שבירה גבוה אל הגבול בינו לבין תווך עם מקדם שבירה נמוך יותר, מוחזרת במלואה, אם זווית הפגיעה שלה גדולה מהזווית הקריטית התלויה במקדמי השבירה של שני התווכים.

### מכאן שהתנאים לקיומה של החזרה גמורה הם:

1. מעבר מחומר צפוף לחומר פחות צפוף.
2. פגיעה בזווית הגדולה מהזווית הקריטית.

### החזרה מלאה

1. מתרחשת כשהאור עובר מתווך בעל מקדם שבירה גדול לתווך בעל מקדם שבירה קטן יותר.
2. כשהאור פוגע בזווית הקטנות מהזווית הקריטית הוא נשבר על פי חוק סנל.
3. כשהאור פוגע בזווית הגדולות מהזווית הקריטית הוא מוחזר החזרה מלאה.
4. **זווית קריטית** היא זווית הפגיעה כשזווית השבירה היא  $90^\circ$  – הזווית הגדולה ביותר האפשרית.

5. בעזרת חוק סנל נקבל עבור הזווית הקריטית את הנוסחה:

$$\frac{\sin\theta_c}{\sin 90} = \frac{n_2}{n_1}$$

נזכור כי:  $\sin 90 = 1$  ונקבל:  $\sin\theta_c = n_2/n_1$

בעזרת שבירה והחזרה גמורה אפשר להסיט את קרן האור לכיוונים רצויים. ניתן לראות זאת בעת שימוש במנסרות שבסיסן משולש ישר זווית ושווה שוקיים.

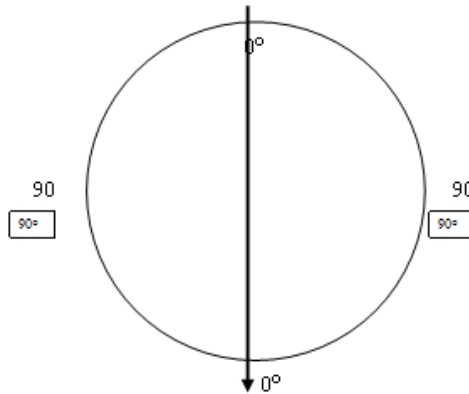
## דביר חדד י"ב

### המכשירים:

- פנס אופטי טלסקופי.
- מכסה בעל חריץ בודד לפנס.
- מתקן גלגל אופטי- כולל מקום לפנס וגלגל מסתובב שעליו נייר עם סימון פולארי (זוויות).
- דיסקית חצי עגולה מחומר שקוף (פרספקס- דומה לזכוכית).

### מהלך הניסוי:

ראשית יש למקם את הפנס קרוב לחלק המסתובב שבמתקן הגלגל האופטי, כאשר הוא לא נוגע בו. כמו-כן, עלינו לדאוג לכך שמהפנס יצא פס אור בודד וחד, המאונך לחלק המסתובב שבגלגל האופטי (על הנייר הפולארי), ולהרים מעט את החלק האחורי של הפנס כך שנראה את פס האור לאורך הנייר הפולארי.



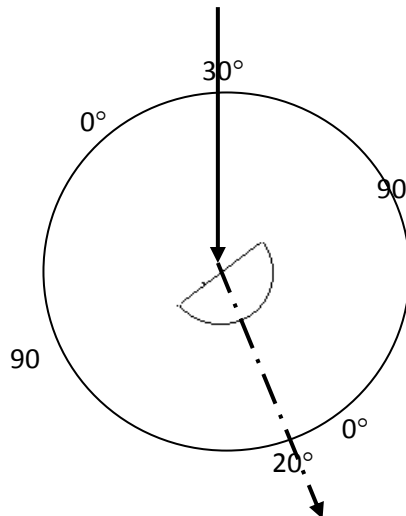
עכשיו יש להזיז את הפנס ולסובב את הגלגל עד למצב בו פס האור הנוצר עובר לאורך הגלגל, דרך המרכז. הכיוון צריך להיות כך שאור הפנס מאיר את האפס בנקודה הקרובה אליו ואת האפס בצד השני על הנייר הפולארי בגלגל האופטי.

לאחר השלמת הכיוון הזה יש להניח את הדיסקית החצי עגולה, כך שהמשטח הישר שלה מונח בניצב לאור הפנס ובמרכז הסיבוב של הגלגל (מרכז הנייר הפולארי).

על מנת לבדוק אם הדיסקית הונחה בצורה מדויקת יש לסובב את כל הגלגל כך שהקרן היוצאת מהפנס תאיר את הזווית 30. נבדוק אם בחלק הרחוק מהפנס מואר במצב זה המספר 20 (זווית השבירה). במידה ולא קיבלנו את המספר 20, עלינו להזיז מעט את הדיסקית. עתה נסובב את הגלגל האופטי בכיוון ההפוך לכיוון בו סובבנו קודם, כך שבמקום הקרוב לפנס יואר המספר 30 ובצד השני שוב מואר המספר 20. זהו 20 ו-30 צריכים להתקבל כאשר מסובבים את הגלגל בשני בכיוונים בלי לשנות את מקום הדיסקית. זהו איפוס עדין של המערכת.

עתה אפשר להתחיל בביצוע הניסוי.

### דביר חדד י"ב



#### א. מעבר מאויר לפרספקס

סובבתי את הגלגל האופטי כך שקרן האור היוצאת מהפנס פוגעת בזווית פגיעה אפס ומגיעה אל המשטח הישר של הדסקית החצי עגולה. סובבתי את הגלגל האופטי כל פעם ב-  $10^\circ$  ומילאתי את הטבלה הבאה:

80	70	60	50	40	30	20	10	0	$\alpha_1$
41	39	36	31.	26	20	13.	6.5	0	$\alpha_2$
			5			5			

#### ב. מעבר מפרספקס לאוויר

כדי לבדוק מה קורה במעבר אור מפרספקס לאוויר סובבתי את כל הגלגל האופטי **בלי לגעת בדסקית החצי עגולה** (כדי לא לפגוע באיפוס המערכת שביצעתי קודם לכן) ב-  $180^\circ$ , כך שהאור היוצא מהפנס עובר דרך אפס ופוגע בקשת של הדסקית החצי עגולה.

שיניתי את זווית הפגיעה ב-  $5^\circ$  כל פעם ומילאתי את הטבלה הבאה:

$\alpha_c=42$	40	35	30	25	20	15	10	5	0	$\beta_1$
90	75	58	50	40	32.	24.	16.	6	0	$\beta_2$
					5	5	5			

**בתחום הזוויות שבין  $40^\circ$  ל-  $50^\circ$**  נוצרת שבירה של קרן האור העוברת דרך הפרספקס, והיא ממשיכה

בכיוון של  $90^\circ$ , ולאחר מכן נוצרת החזרה של הקרן. ההחזרה אינה גמורה בגלל מבנה הפרספקס.

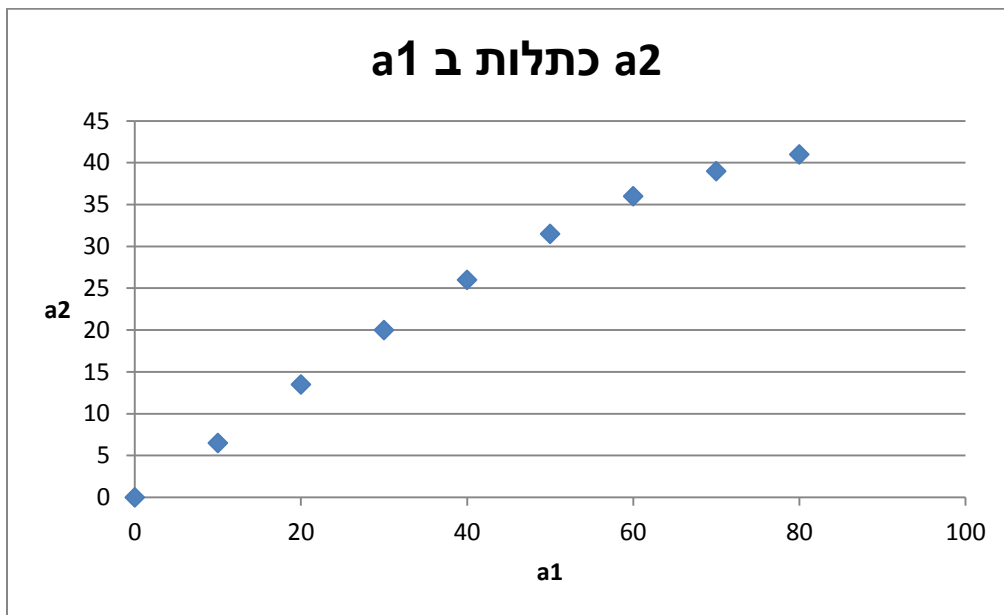


דביר חדד י"ב

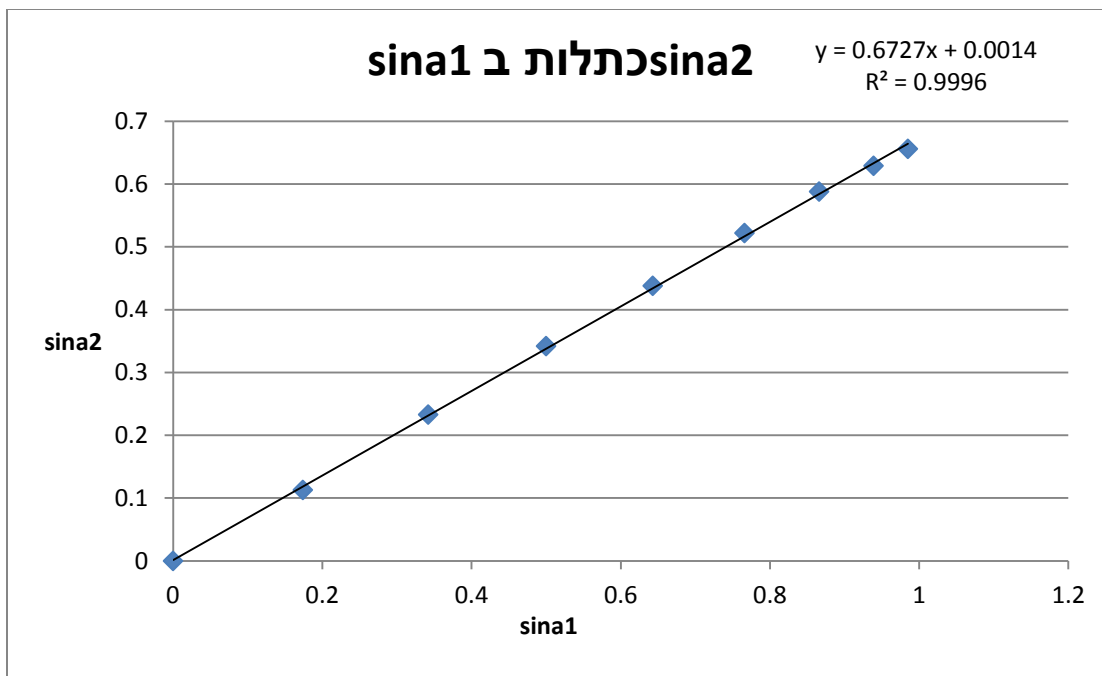
תוצאות הניסוי וניתוחן:

1. מעבר מחומר פחות צפוף לחומר יותר צפוף- מעבר מאוויר לפרספקס:

80	70	60	50	40	30	20	10	0	$\alpha_1$
41	39	36	31.5	26	20	13.5	6.5	0	$\alpha_2$
0.985	0.939	0.866	0.766	0.643	0.5	0.342	0.174	0	$\text{Sin}\alpha_1$
0.656	0.629	0.588	0.522	0.438	0.342	0.233	0.113	0	$\text{Sin}\alpha_2$



## דביר חדד י"ב



התקבלה המשוואה  $y = 0.6727x + 0.0014$

מכאן ניתן להסיק שהשיפוע הוא  $m = 0.6727$

עפ"י נוסחת חוק סנל  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ , אמצא את מקדם השבירה של פרספקס:

ידוע שמקדם השבירה של האוויר הוא  $n_1 = 1$

$$n_2 = \left( \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} \cdot 1 \right) = 1.487$$

לכן:  $n_2 = 1.487$

### תוצאה:

ע"י חישוב המסתמך על נוסחת חוק סנל קיבלתי שמקדם השבירה של הפרספקס הוא 1.487.

ידוע לי שמקדם השבירה המקורי הוא 1.5, כעת אוכל לחשב אחוז שגיאה:

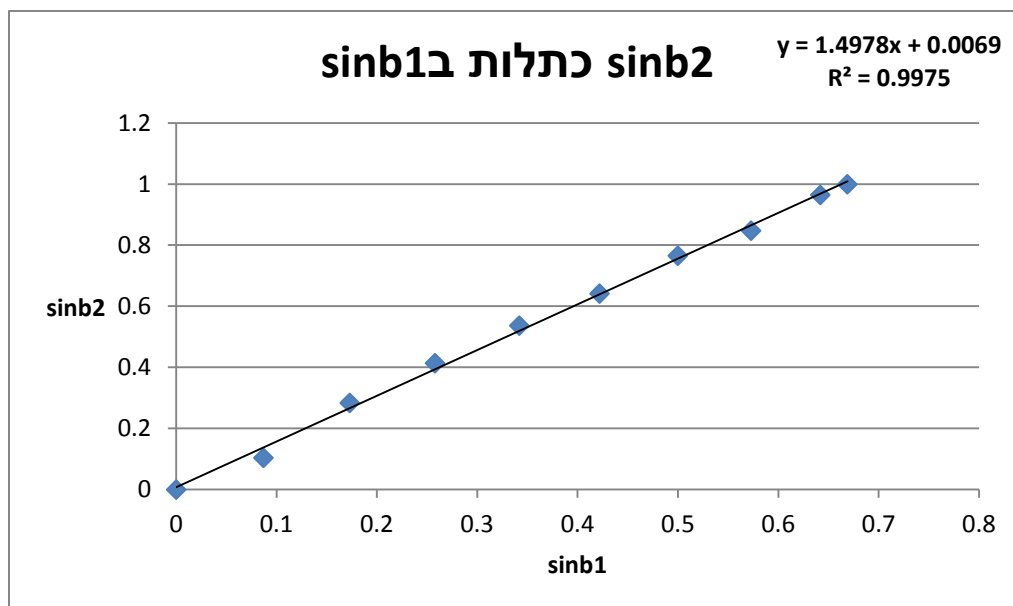
$$\left| \frac{1.5 - 1.487}{1.5} \right| * 100 = 0.87\%$$

**אחוז השגיאה: 0.87%**

## דביר חדד י"ב

2. מעבר מחומר יותר צפוף לחומר פחות צפוף - מעבר מפרספקס לאוויר:

$b_{c=42}$	40	35	30	25	20	15	10	5	0	$\beta_1$
90	75	58	50	40	32.5	24.5	16.5	6	0	$\beta_2$
0.669	0.642	0.573	0.5	0.422	0.342	0.258	0.173	0.087	0	$\sin\beta_1$
1	0.965	0.848	0.766	0.642	0.537	0.414	0.284	0.104	0	$\sin\beta_2$



התקבלה המשוואה  $y = 1.4978x + 0.0069$

מכאן ניתן להסיק שהשיפוע הוא  $m = 1.4978$

עפ"י נוסחת חוק סנל  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$  אמצא את מקדם השבירה של הפרספקס:

ידוע שמקדם השבירה של האוויר הוא  $n_1 = 1$ , לכן:

$$n_2 = \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \cdot 1 \right) = 1.4978$$

**תוצאה:**

ע"י חישוב זה קיבלתי שמקדם השבירה של הפרספקס הוא 1.4978.

ידוע לי שמקדם השבירה המקורי הוא 1.5, כעת אוכל לחשב אחוז שגיאה:

## דביר חדד י"ב

$$\left| \frac{1.5 - 1.4978}{1.5} \right| * 100 = 0.15\%$$

אחוז השגיאה: 0.15%

### • חישוב ע"י זווית קריטית:

הזווית הקריטית שנמדדה בניסוי היא:  $\beta_c = 42$

אנו יודעים שהזווית הקריטית היא הזווית בה מתקיים:

$$\sin 90 = 1 \text{ וכן } n_2 = 1 \text{ כאשר } n_1 = (n_2 * \sin 90) / \sin \beta_c$$

על ידי הצבה מקבלים:  $n_1 = 1 / \sin \beta$

$$\text{אציב } \sin \beta_c = 0.6691 \text{ ונקבל } n_1 = 1.4945$$

ע"י חישוב זה קיבלתי שמקדם השבירה של הפרספקס הוא 1.4945.

ידוע לי שמקדם השבירה המקורי הוא 1.5, כעת אוכל לחשב אחוז שגיאה:

$$\left| \frac{1.5 - 1.4945}{1.5} \right| * 100 = 0.367\%$$

אחוז השגיאה: 0.367%

### מסקנות:

1. גרף מספר 1 מוכיח שהקשר בין זווית הפגיעה וזווית השבירה איננו קשר ישר.
2. גרפים מספר 2 ו-3 מוכיחים את הקשר הישר בין  $\sin$  זווית הפגיעה והשבירה.
3. לפי גרפים 2 ו-3 וכן לפי הזווית הקריטית שנמדדה אנו יכולים לומר שמקדם השבירה של הפרספקס הוא: 1.5 לערך.

### שאלות העוסקות במעבדה:

1. מה משמעות המבנה הגיאומטרי של דסקית הפרספקס?
2. למה חשוב לדייק כדי שהאור יפגע בדיוק במרכז חצי העיגול?
3. מה יקרה אם קרן אור תפגע לא במרכז של חצי העיגול אלא במקום אחר?
4. האם אפשר מהגרף של הסינוסים לחשב את הזווית הקריטית?
5. מה יקרה אם תציב מנסרה משולשת במקום הדיסקית שבמערכת הניסוי?
6. מהם המקורות העיקריים לשגיאה בניסוי זה?

תשובות לשאלות:

1. משמעות המבנה הגיאומטרי של הפרספקס : ללוח הפרספקס גיאומטריה חצי כדורית כדי שקרן האור תוכל להיכנס בחלק הראשון של הניסוי בזווית לצד הישר של הדסקית ולצאת ממרכזה (מרכז המעגל) בצורה אנכית, כך שהקרן לא תישבר. הדבר נכון גם לגבי חלק ב' של הניסוי רק בצורה הפוכה- הקרן נכנסת בצורה אנכית ונשברת בקצה הישר של הדסקית.
2. חשוב לדייק כדי שהאור יפגע בדיוק במרכז חצי העיגול על מנת שהקרן תנוע בהתאם לחוקיות הפועלת על רדיוס המעגל. כלומר, כאשר הקרן תיכנס בדיוק דרך מרכז המעגל, היא תנוע במסלול הרדיוס ותקיים את התנאים בהם אנו רוצים לפעול בניסוי זה.
3. אם קרן אור תפגע לא במרכז של חצי העיגול אלא במקום אחר, ייתכן שתוצאות הניסוי לא יהיו מדויקות, ולא יתאמו את שאנו מעוניינים לחקור. זאת ועוד, במידה וקרן האור לא תפגע במרכז חצי העיגול (החל מהמצב ההתחלתי) הקרן עלולה להישבר עוד בשלב איפוס המערכת, שבו הקרן לא אמורה להישבר. (זווית הפגיעה = זווית השבירה = 0)
4. כן, ניתן לחשב את הזווית הקריטית מהגרף של הסינוסים. הסבר : גרף הסינוסים הוא גרף ליניארי המסייע לנו למעשה במציאת מקדם השבירה של הפרספקס (באמצעות שיפועו), והרי ידוע לנו שכאשר זווית השבירה היא 90, אזי מדובר בזווית הפגיעה הקריטית. על כן, באמצעות הצבת כל הידוע לנו בחוק סנל נוכל למצוא את גודל הזווית הקריטית.
5. אם אציב מנסרה משולשת במקום הדסקית שבמערכת הניסוי אז יתקבלו שתי זוויות שבירה.
6. המקורות העיקריים לשגיאה בניסוי זה הם : חוסר דיוק שיכול לנבוע מהשגיאה המוחלטת של חצי שנתה, וכן מאי כניסת הקרן בדיוק במרכז הדסקית.

## החוק השני של ניוטון

### מטרת הניסוי:

למצוא קשר בין תאוצת גוף לבין הכוחות הפועלים עליו ומסתו (לאמת את החוק השני של ניוטון).

### רשימת הציוד:

- מקור מתח חילופין של 4-8 וולט.
- רשם זמן.
- עגלת דינמיקה שמסתה 0.542 ק"ג.
- 7 גלילי מתכת שמסת כל אחד מהם 0.3 ק"ג לערך.
- סל שמסתו כ-0.05 ק"ג.
- גליל מתכת קצר שמסתו 0.24 ק"ג.
- סרטי נייר וניירות פחם המותאמים לרשם הזמן.
- סרגל באורך מטר.
- כליבה.
- לוח הרצה עם גלגלת.
- חוט משיחה או חוט ניילון באורך כ-1 מטר.
- מצבט תנין.
- 2 תיילים מוליכים.

### רקע תיאורטי:

על פי החוק השני של ניוטון תאוצת גוף נמצאת ביחס ישר לשקול הכוחות הפועלים על הגוף ובכיוון זהה לשקול הכוחות, ונמצאת ביחס הפוך למסת הגוף, כלומר:

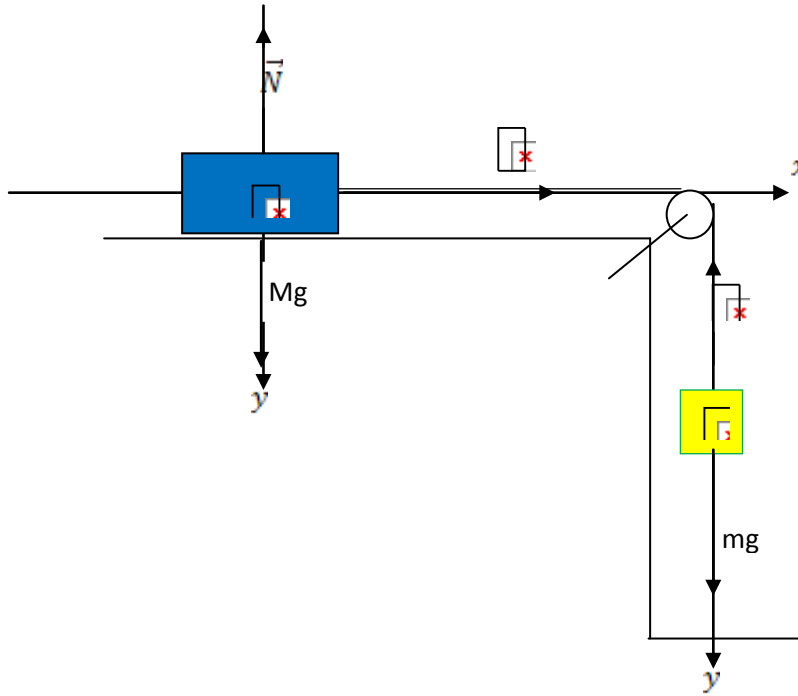
$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

כאשר:  $a$  - תאוצת הגוף,  $\sum F$  - שקול הכוחות הפועלים על הגוף ו  $m$  - מסת הגוף.

**תיאור מערכת הניסוי:**

לוח ההרצה מונח אופקית על השולחן כך שהקצה בו נמצאת הגלגלת יבלוט מקצה שולחן. בקצה השני של לוח ההרצה מונח רשם הזמן ומחובר אל מקור מתח חילופין. סמוך לקצה בו נמצא רשם הזמן, מוצבת העגלה כשהיא עמוסה ב-7 גלילים. לתוך רשם הזמן מושחל סרט נייר באורך של כ-80 ס"מ, וקצהו מחובר באמצעות מצבט תנין לצדה האחורי של העגלה. בסל מונחת משקולת קטנה שמשקלה 0.24 ק"ג (מסתה ביחד עם הסל היא 0.29 ק"ג). לאחר הפעלת רשם הזמן יש להרפות מן החזקת העגלה, ולאחר עצירתה יש להפסיק את פעולת רשם הזמן ולהוציא את סרט הנייר.

מערכת הניסוי יחד עם הכוחות הפועלים עליה נראית כך :



**תיאור מהלך הניסוי:**

בניסוי זה בודקים כיצד משתנה תאוצת המערכת בהתאם לשינוי בשקול הכוחות הפועלים עליה, בעוד המסה הכוללת במערכת נשמרת. הניסוי מבוצע כך :

קובעים את הערכים ההתחלתיים :  $m = 0.29\text{kg}$ ,  $M = 2.0164\text{kg}$  - מסת העגלה ו  $m - m$  המסה התלויה) ובסך הכל המסה הכוללת היא :  $M + m = 2.3064\text{kg}$

#### דביר חדד י"ב

בכל פעם מעבירים מסה של  $0.3\text{kg}$  (לערך) מן העגלה אל המסה התלויה כך שהמסה הכוללת נשמרת, אך שקול הכוחות על העגלה ושקול הכוחות על המסה התלויה משתנים.

חוזרים על הפעולה 5 פעמים עד שמתקיים:  $m = 1.5\text{kg}$ ,  $M = 1.5\text{kg}$  (לערך)

ורושמים את התוצאות בטבלה כאשר הגדלים הנמדדים בניסוי הם:

$m$  - המסה התלויה,  $M$  - מסת העגלה,  $\sum F$  - שקול הכוחות הפועלים על העגלה,  $m + M$  - המסה הכוללת,  $v$  - מהירות העגלה,  $a$  - תאוצת המערכת.

בכל פעם מודדים את מהירות העגלה בזמן נתון באמצעות הסרט שמפיק רשם הזמן, ובעזרת גרף של המהירות כפונקציה של הזמן נמצא את תאוצות המערכות.

#### תוצאות הניסוי - חלק א' - כוח משתנה ומסת המערכת נותרת קבועה:

סרט מס' 1: (משקל השק:  $0.29056\text{ק"ג}$ )

T(s)	0.02	0.1	0.24	0.32	0.46
V(m/s)	0.55	0.625	0.75	0.85	1

סרט מס' 2: (משקל השק:  $0.59\text{ק"ג}$ )

T(s)	0.02	0.06	0.1	0.14	0.32
V(m/s)	0.75	0.875	0.925	1.05	1.475

סרט מס' 3: (משקל השק:  $0.89016\text{ק"ג}$ )

T(s)	0.14	0.2	0.26	0.3	0.34
V(m/s)	1.25	1.375	1.625	1.75	1.875

סרט מס' 4: (משקל השק:  $1.18206\text{ק"ג}$ )



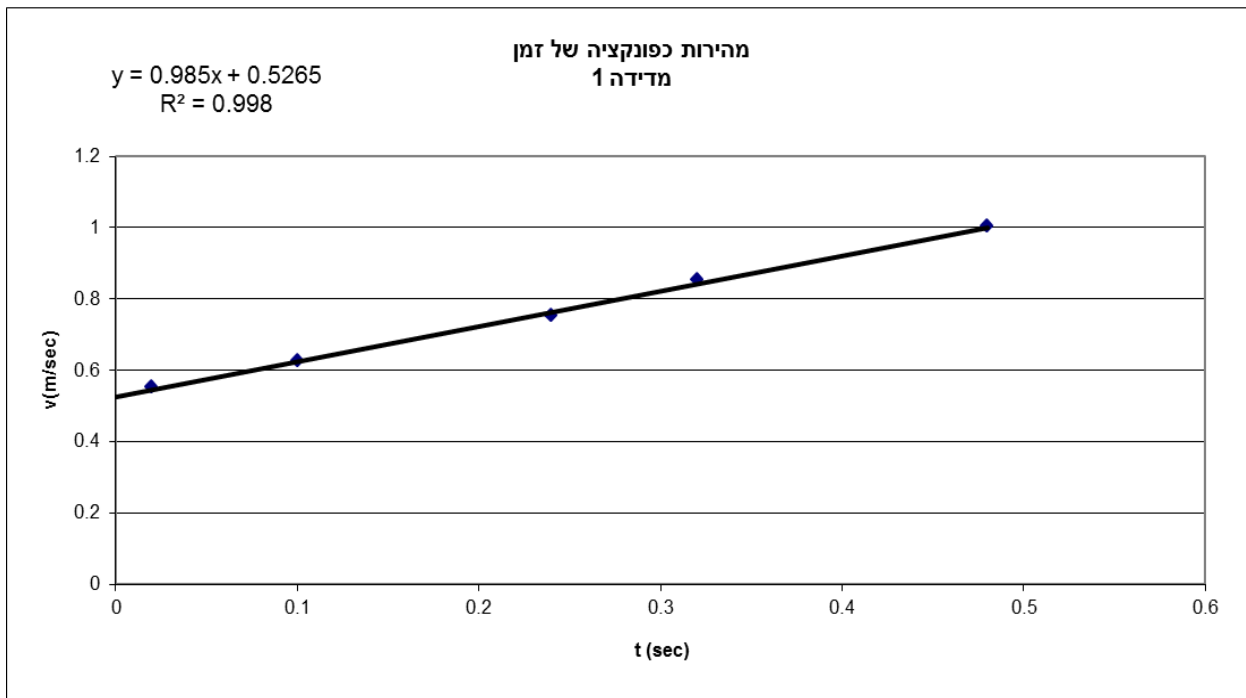
**דביר חודד י"ב**

T(s)	0.02	0.06	0.1	0.14	0.18
V(m/s)	1.125	1.3	1.475	1.7	1.875

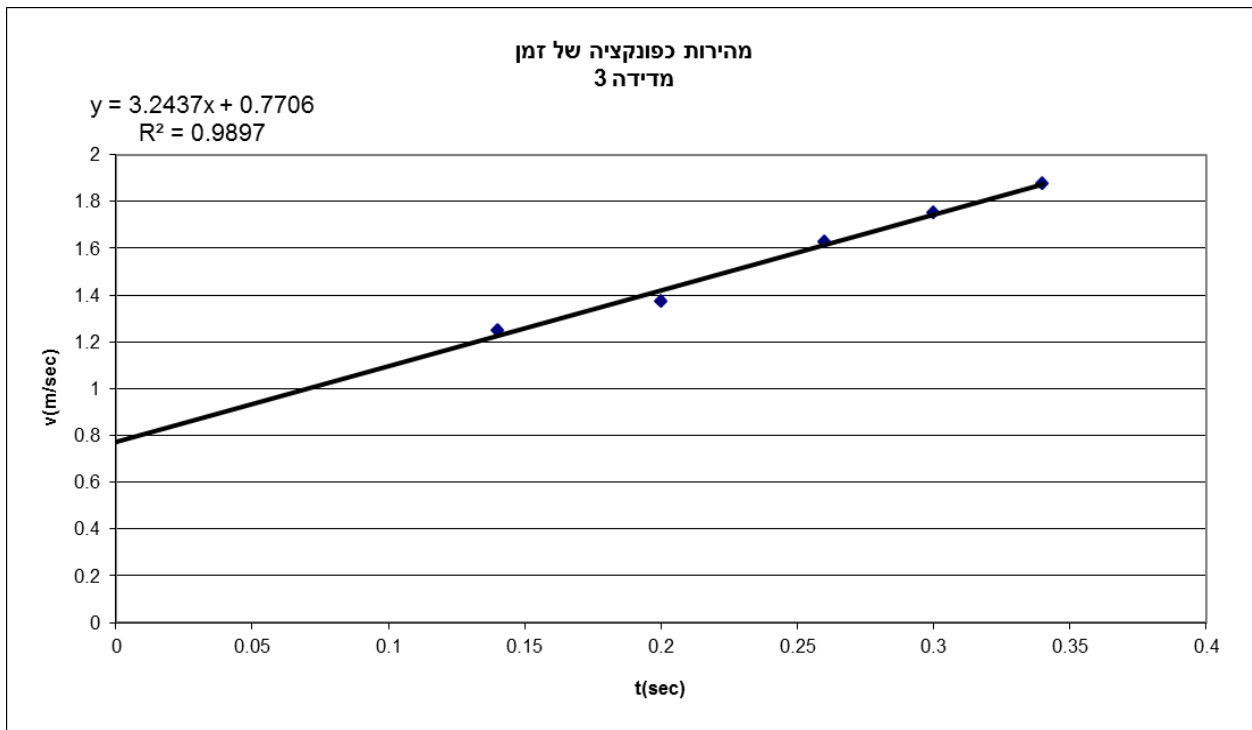
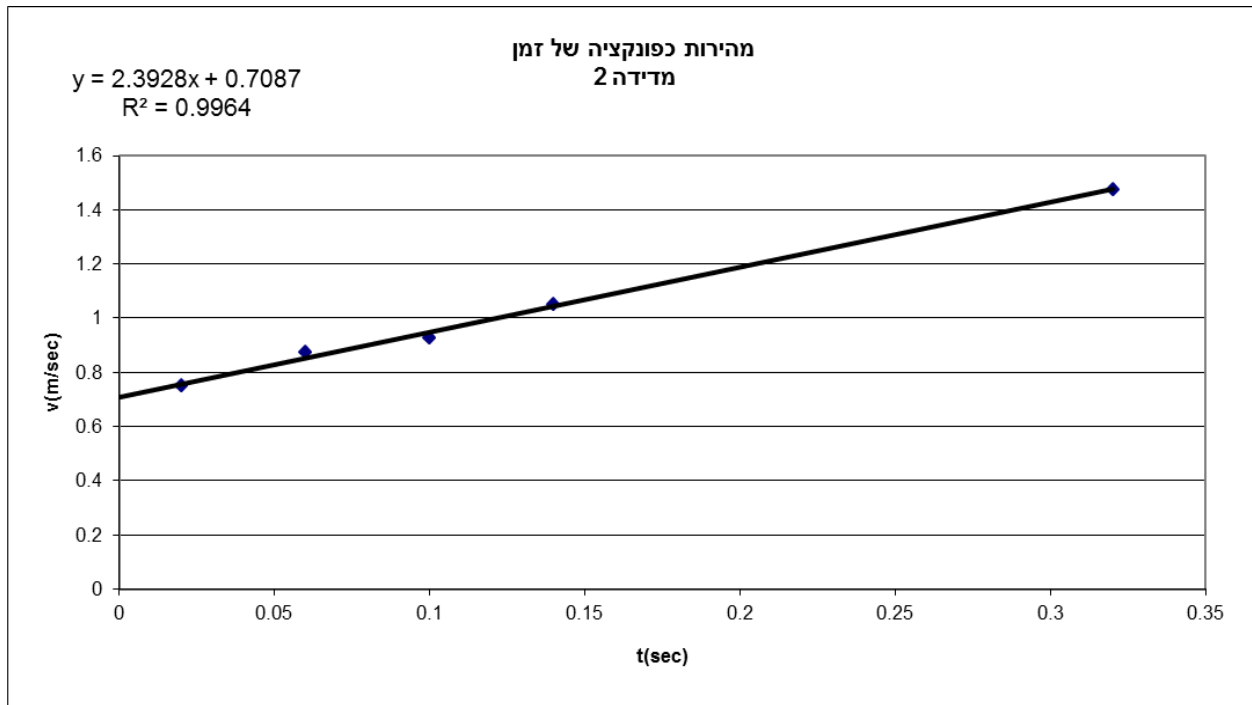
**סרט מס' 5: (משקל השק: 1.47346 ק"ג)**

T(s)	0.02	0.04	0.06	0.1	0.14
V(m/s)	2.25	2.2625	2.275	2.3	2.325

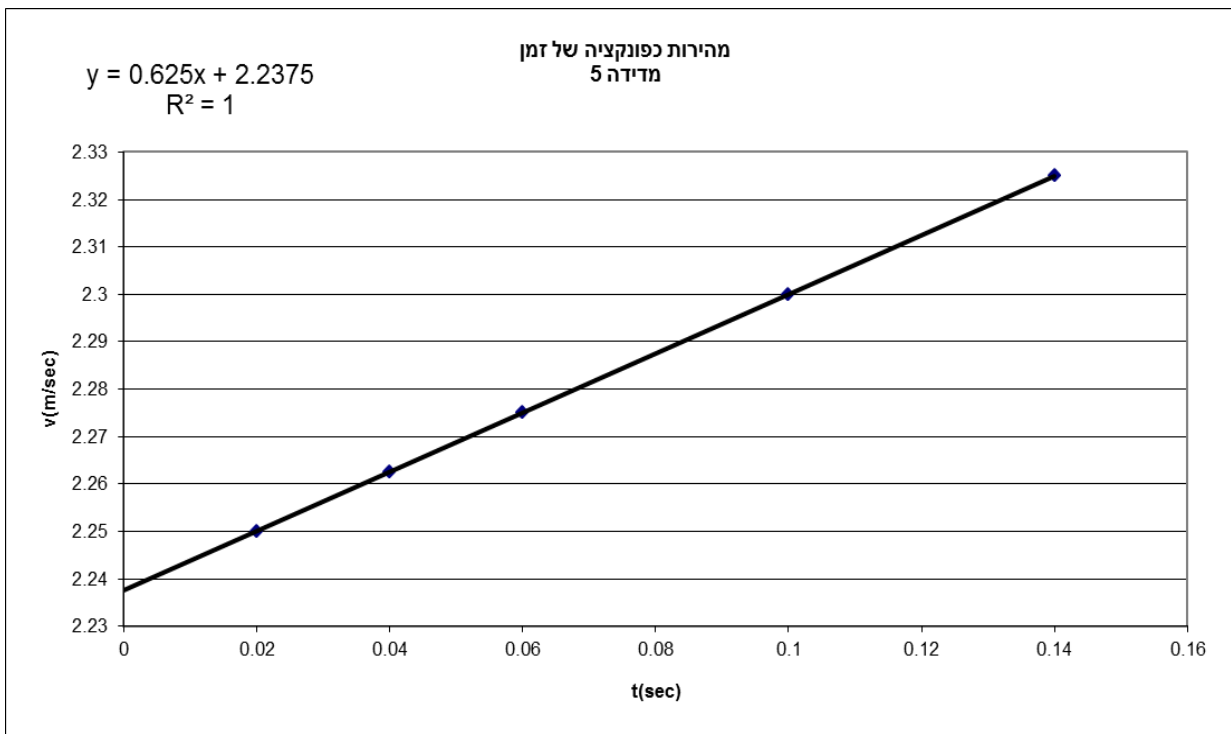
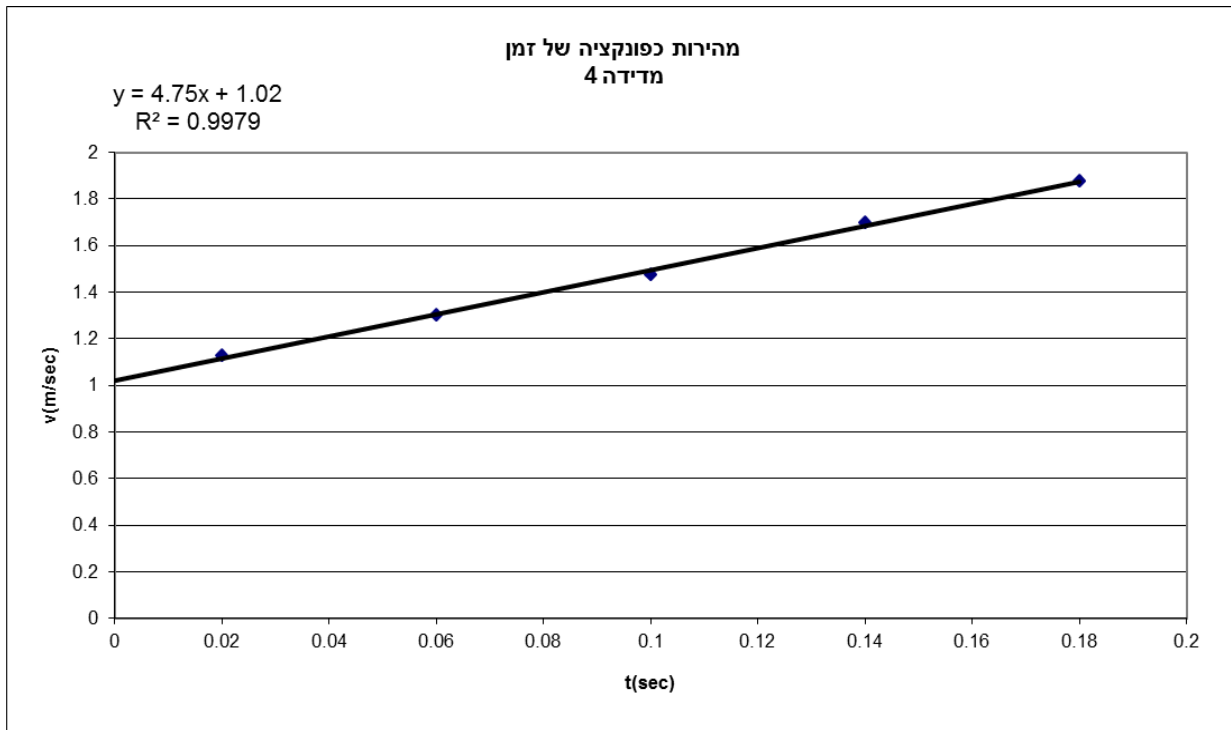
נשרטט במערכת צירים את הגרפים של V כפונקציה של T מכל חמשת הניסויים:



## דביר חדד י"ב



## דביר חדד י"ב



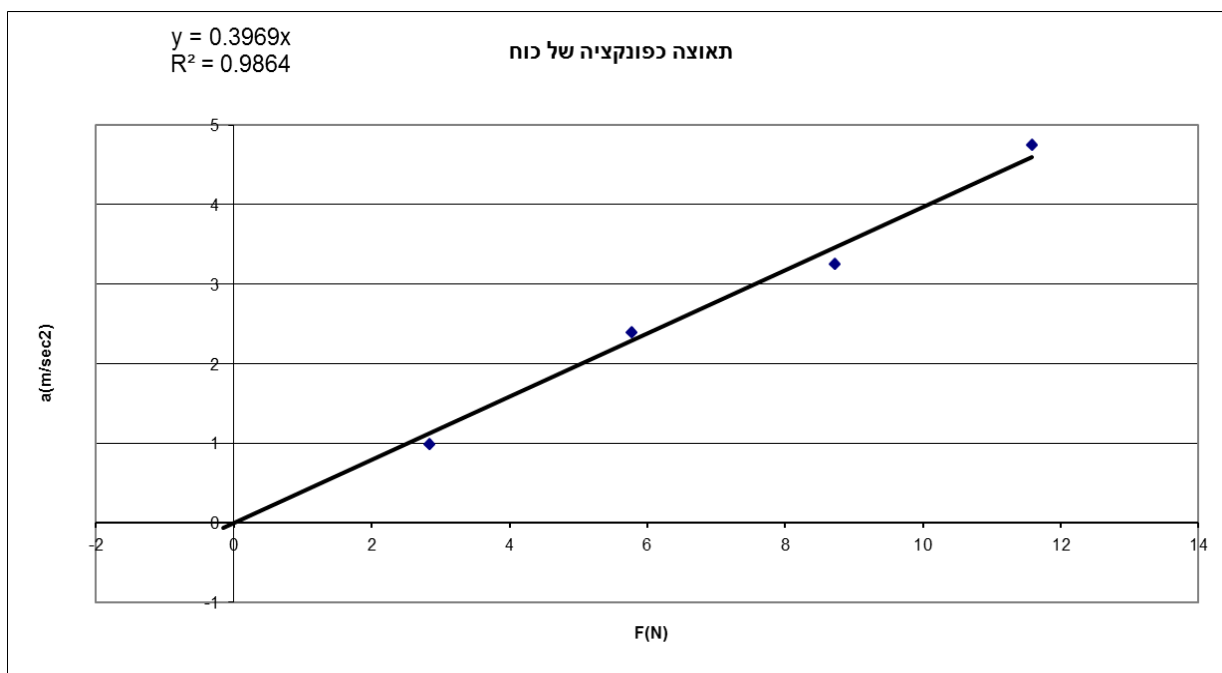
## דביר חדד י"ב

לפי הנוסחה:  $v=v_0+at$  ניתן להסיק ששיפועי הגרפים הם התאוצות של העגלות באותם הניסויים.

כעת ניצור טבלה של התאוצות בכל אחד מהניסויים ונרשום מהו המשקל שהיה בסל בכל פעם:

F(N)	2.85	5.782	8.723	11.584	14.439
a(m/s <sup>2</sup> )	0.985	2.3928	3.2437	4.75	0.625

נשרטט גרף של התאוצה a כפונקציה של הכוח F:



### ניתוח התוצאות:

על העגלה פועל כוח המתיחות בכיוון ציר ה-x ולכן מתקיים:

$$\sum \vec{F}_x = \vec{T}_2 \rightarrow \sum F_x = T_2$$

על המסה התלויה פועלים כוח הכובד וכוח המתיחות בכיוון ציר ה-y ומכאן:

#### דביר חדד י"ב

$$\sum \vec{F}_y = m\vec{g} + \vec{T}_1 \rightarrow \sum F_y = mg - T_1$$

וכיוון שניתן להזניח את כוחות החיכוך ואת מסת החוט אזי מתקיים:

$$T_1 = T_2$$

שקול הכוחות במעגל שווה לסך הכוחות הפועלים על המסה התלויה ועל העגלה:

$$\sum F = \sum F_x + \sum F_y = T_2 + mg - T_1 = mg$$

לכן אנו יכולים להסיק שהמשקל של הסל בכל אחד מהניסויים היה שווה לשקול הכוחות שפעלו על המערכת.

כעת נחשב את תאוצת המערכת על פי החוק השני של ניוטון:

$$\sum F_x = Ma \quad \sum F_y = ma$$

היות וחישבנו ש:

$$\sum F = mg$$

ושקול הכוחות במעגל שווה לסך הכוחות הפועלים על המסה התלויה ועל העגלה:

$$\sum F = \sum F_x + \sum F_y$$

$$mg = Ma + ma$$

$$mg = a(M + m)$$

$$a = \frac{mg}{M+m}$$

נציב:

$$mg = \sum F$$

## דביר חדד י"ב

אזי:

$$a = \frac{1}{M+m} \cdot \sum F$$

כלומר קיבלנו ששיפוע הגרף הוא:

$$\frac{1}{M+m} = 0.3969$$

לכן:

$$M + m = 2.52 \approx 2.3064Kg$$

### שגיאת ניסוי:

$$\left| \frac{2.3064 - 2.52}{2.3064} \right| * 100 = 9.241\%$$

מקור השגיאה הוא כנראה אי דיוק במדידות.

### מסקנות הניסוי:

היות ואנו יודעים שהמסה הכוללת של המערכת שווה ל-2.3064 ק"ג אנו יכולים להסיק שהחוק השני של ניוטון אכן תקף במערכת זו, כאשר קיימת שגיאת ניסוי של 9.241%.

הגרף המתאר את תאוצת העגלה כפונקציה של המשקל התלוי (הכוח) עובר בראשית הצירים וזאת משום שכאשר אין משקל בסל (ואין סל) אין לעגלה תאוצה גם על פי הגרף, וגם על פי החוק הראשון של ניוטון שאומר: "גוף ישאף להתמיד במהירותו, כל עוד שקול הכוחות הפועלים עליו הינו אפס", והוכחנו ששקול הכוחות שווה למשקל התלוי, כלומר, הגוף ינוע במהירות קבועה או יהיה במצב מנוחה, אך יתמיד במצב זה לאורך זמן ולא ישנה את מהירותו, משמע יהיה חסר תאוצה.

## דביר חדד י"ב

### חלק ב' של הניסוי: הכוח קבוע והמסה הכוללת של המערכת משתנה

תיאור מהלך הניסוי:

המדידה הראשונה זהה למדידה שנעשתה בחלק הראשון של הניסוי. בהמשך, הורדתי גליל מהעגלה וסימנתי את הסרט שהתקבל בספרה 2. הורדתי עוד גליל מהעגלה וסימנתי את הסרט בספרה 3. וכך עוד פעמיים. חשוב לשמור על כך שמסת הסל תישאר קבועה. (0.29056 ק"ג)

#### תוצאות הניסוי - חלק ב':

**סרט מס' 1: (משקל כולל: 2.307 ק"ג)**

T(s)	0.02	0.1	0.24	0.32	0.46
V(m/s)	0.55	0.625	0.75	0.85	1

**סרט מס' 2: (משקל כולל: 2.007 ק"ג)**

T(s)	0.06	0.1	0.14	0.18	0.22
V(m/s)	0.55	0.6	0.65	0.675	0.725

**סרט מס' 3: (משקל כולל: 1.7069 ק"ג)**

T(s)	0.02	0.06	0.1	0.24	0.28
V(m/s)	0.725	0.825	0.975	1.125	1.175

**סרט מס' 4: (משקל כולל: 1.415 ק"ג)**

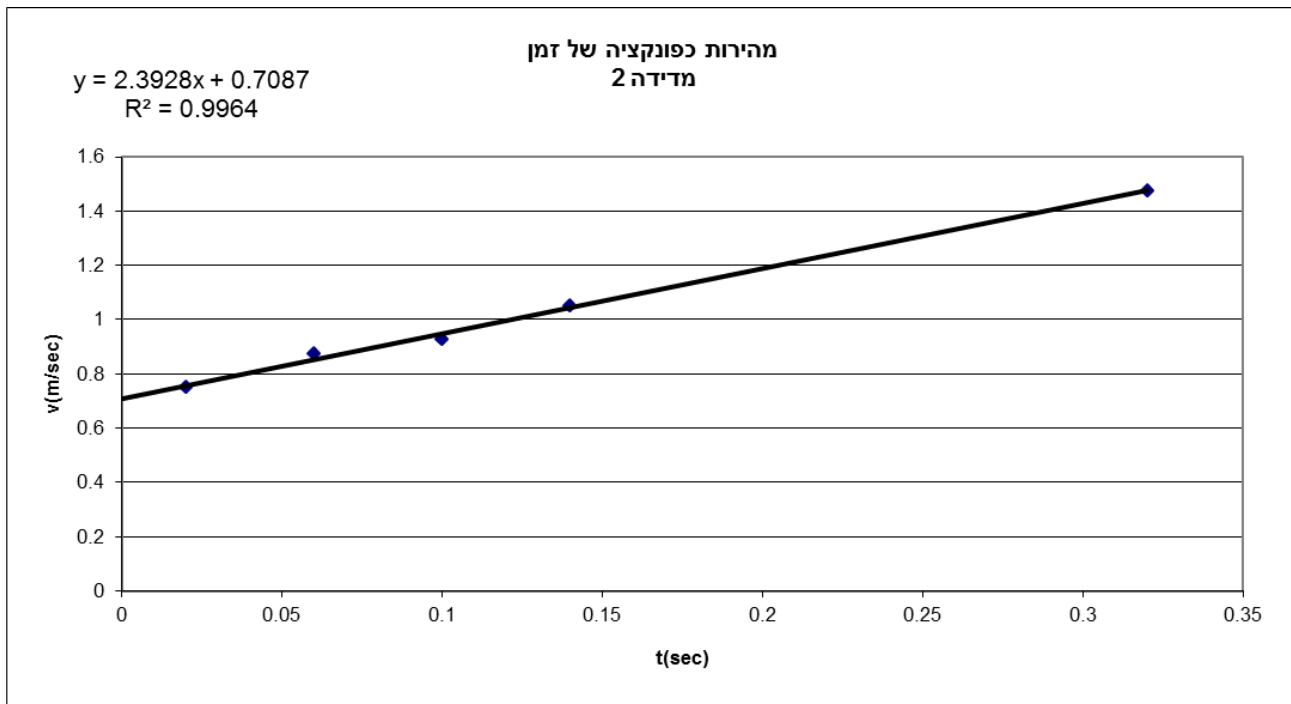
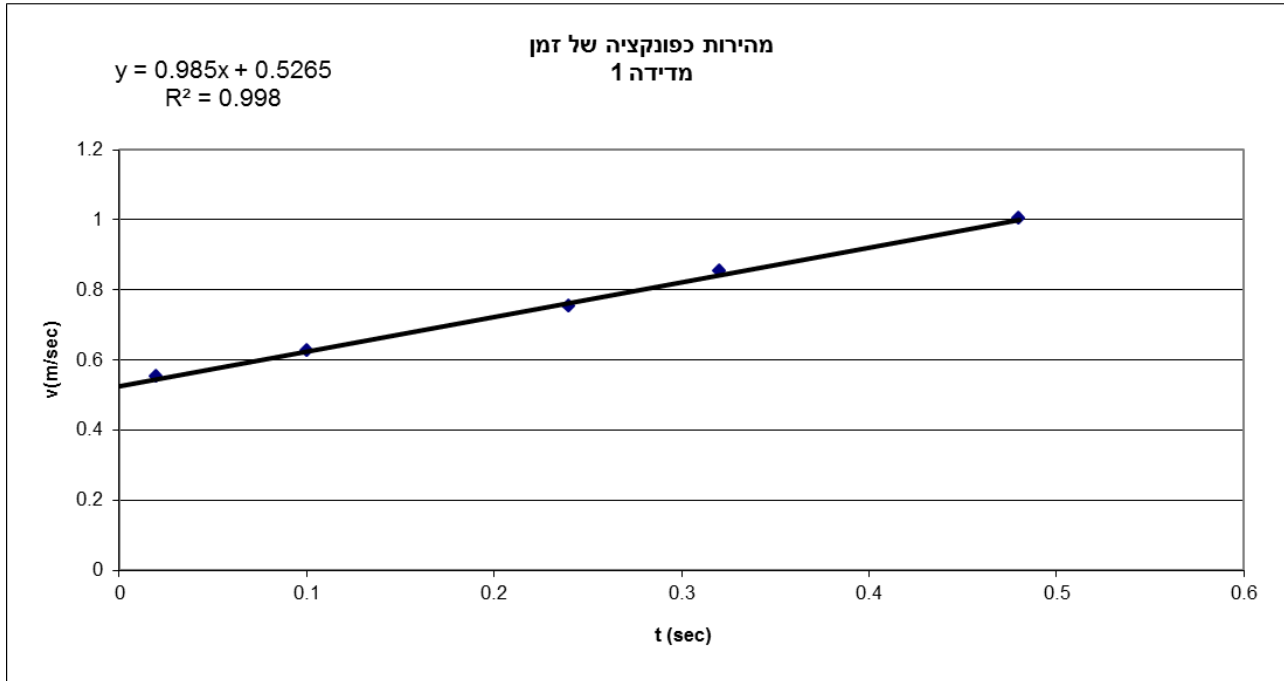
T(s)	0.18	0.22	0.3	0.4	0.52
V(m/s)	0.525	0.575	0.725	0.925	1.2

**סרט מס' 5: (משקל כולל: 1.1235 ק"ג)**

T(s)	0.02	0.06	0.1	0.14	0.18
V(m/s)	0.6	0.75	0.825	0.95	1.025

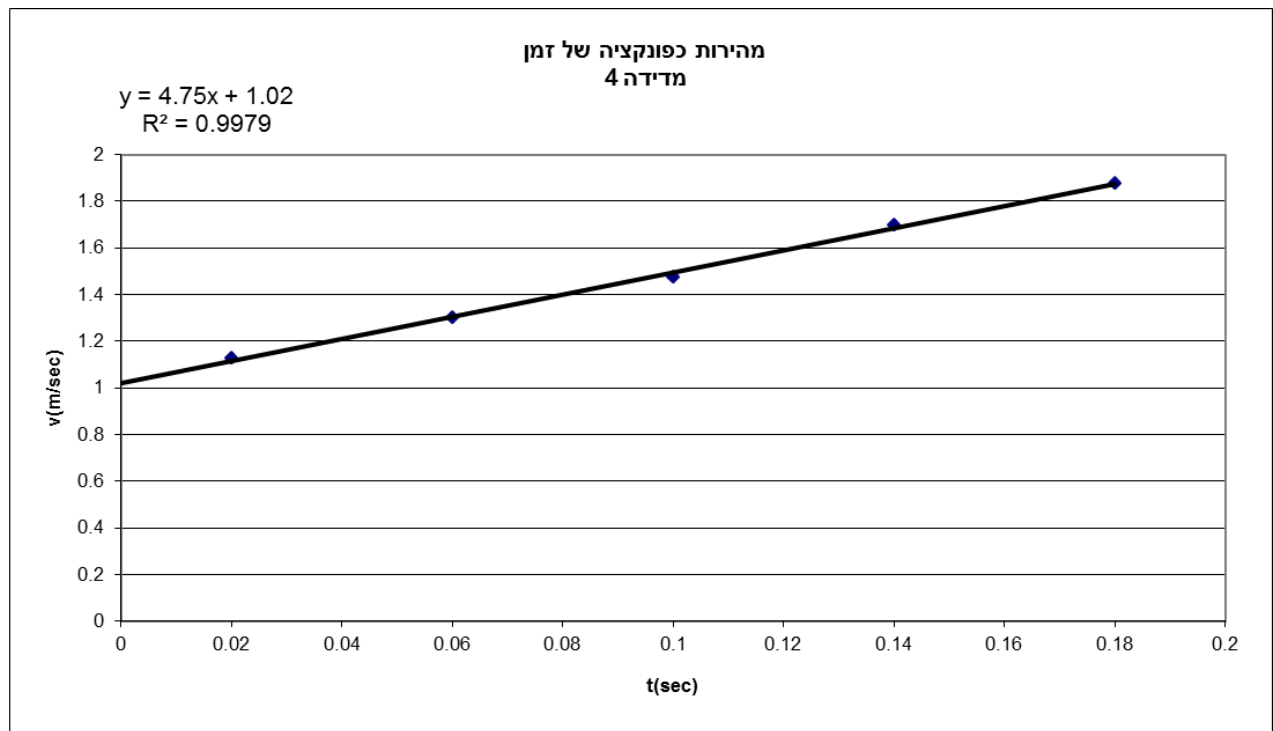
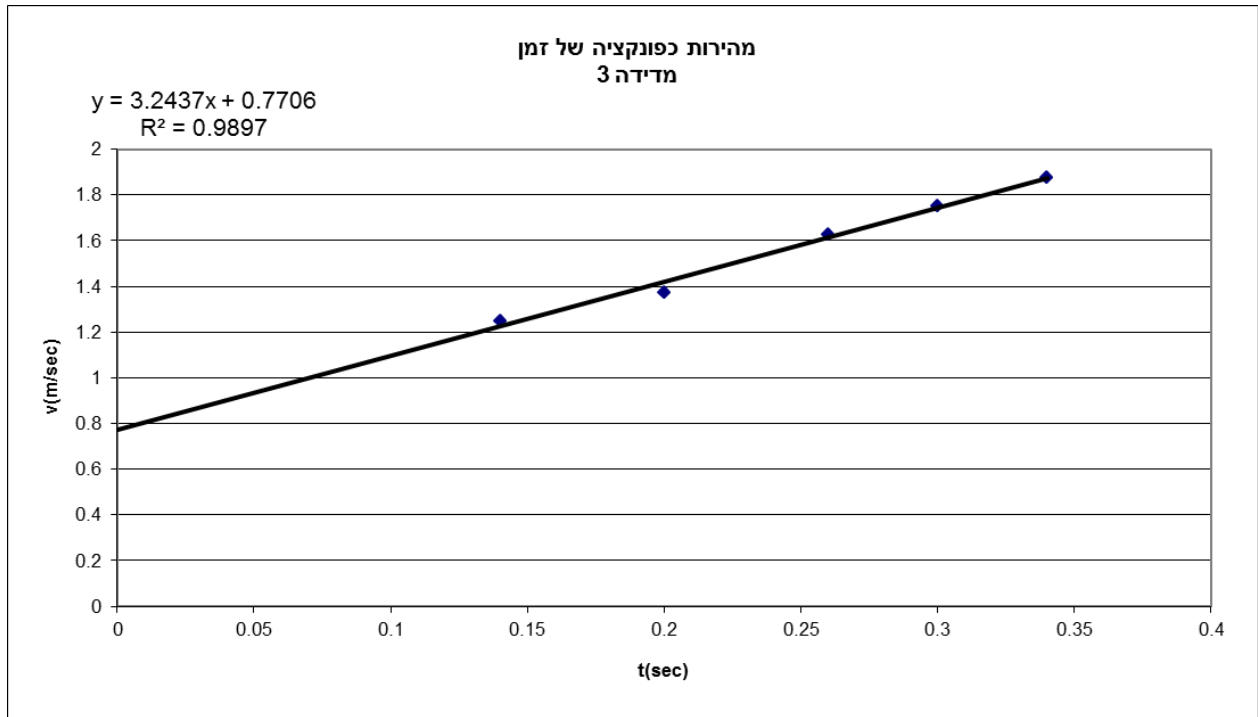
## דביר חדד י"ב

נשרטט במערכת צירים את הגרפים של V כפונקציה של T ממכל חמשת הניסויים:

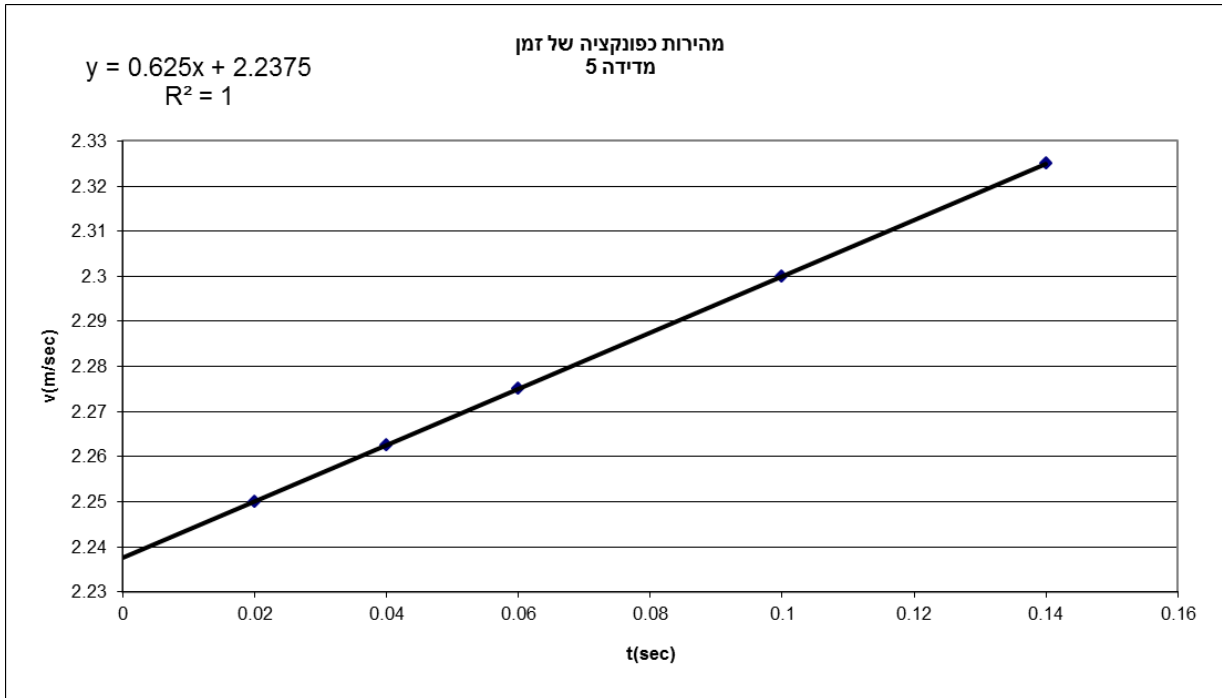




## דביר חדד י"ב



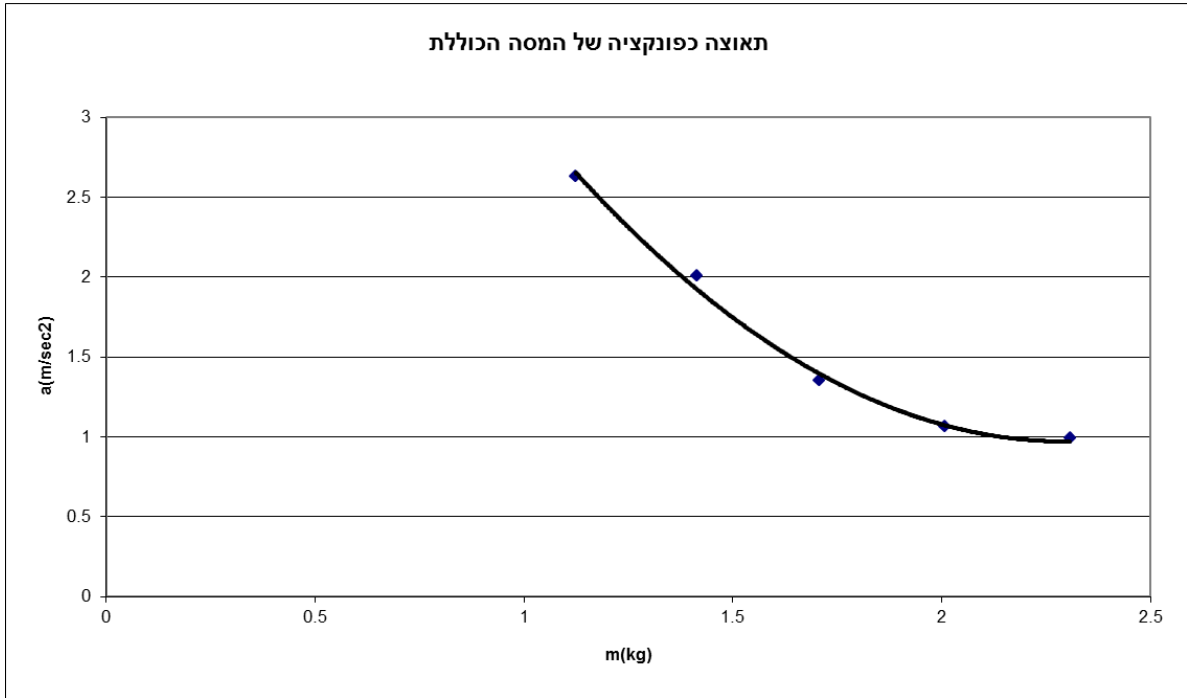
## דביר חדד י"ב



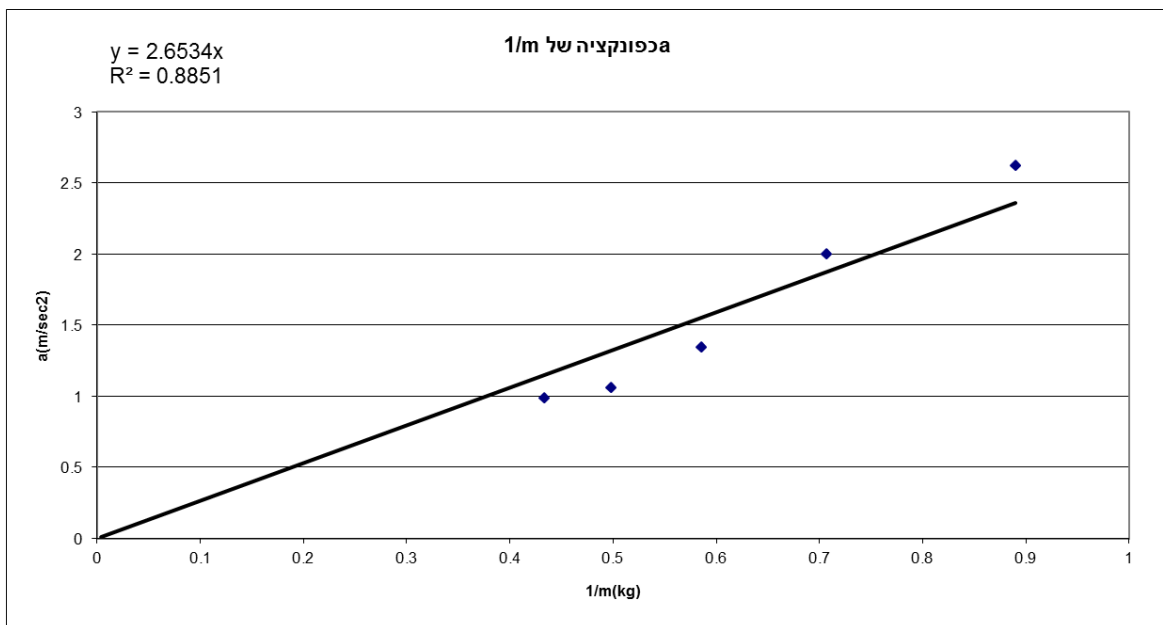
לפי הנוסחה:  $v = v_0 + at$  ניתן להסיק ששיפועי הגרפים הם התאוצות של העגלות באותם הניסויים. כעת ניצור טבלה של התאוצות בכל אחד מהניסויים ונרשום מהי המסה הכוללת שהייתה במערכת בכל פעם:

M (kg)	2.3065	2.007	1.7069	1.415	1.1235
a(m/s <sup>2</sup> )	0.985	1.0625	1.3462	2.0008	2.625
1/M	0.433557	0.498256	0.585857	0.706714	0.890069

### דביר חדד י"ב



בכדי לקבל גרף ישר ששיפועו יבטא את הכוח  $\sum F$  שפועל במערכת, נשרטט גרף- תאוצה כפונקציה של  $1/M$ :



## דביר חדד י"ב

השיפוע בגרף מבטא את הכוח F הקבוע שפועל על המערכת. הגרף מקיים את החוק השני של ניוטון :

$$\sum F = \sum m \cdot a$$

$$a = \sum F \cdot 1 / \sum m$$

$$\sum F = 2.6534 \text{ על פי השיפוע}$$

על פי חישוב הכוח במערכת: N 2.85

$$\left| \frac{2.85 - 2.6534}{2.85} \right| * 100 = 6.9\%$$

מקור השגיאה הוא כנראה אי דיוק במדידות. אבל זהו אחוז שגיאה נמוך ולכן הניסוי תקף ודומה למציאות.

### מסקנות:

- החוק השני של ניוטון אכן מתקיים :  $F=ma$ .
- כוח המופעל על מסה גורם לתאוצה , ישנו קשר ליניארי בין הכוח לתאוצה ובתנאי שהמסה לא משתנה בזמן .
- הכוח המושך גדול יותר מהכוח השקול בשל כוח החיכוך שמתנגד אליו .
- גוף נע תמיד בכיוון הכוח השקול עליו .
- עבור כוח מניע קבוע ככל שהמסה גדולה יותר כך התאוצה קטנה יותר וההפך .
- אם על גוף יפעל כוח קבוע אזי הגוף ינוע בתאוצה קבועה .
- תוצאות כוח המשיכה ותוצאות מקדם החיכוך מקורבים לערכם במציאות אך ישנה סטייה ותחום שגיאה גדול הנובעת ממספר סיבות :
  - חיכוכים שונים הנובעים מהגלגלת, החוט בגלגלת, האוויר, העגלה עם המשטח.
  - המערכת לא מפולסת לחלוטין מה שמקנה לה שיפוע קל.
  - סטיית ציוד.
  - שגיאות מקריות.

## האפקט הפוטואלקטרי

### מטרות הניסוי:

- הוכחת הקשר בין התדירות (ני) לאנרגיה של הפוטונים (הוכחת משוואת איינשטיין לאופי החלקיקי של האור).
- מציאת קבוע פלנק  $h$ .
- מציאת פונקציית העבודה (B) של המתכת.

### רשימת הציוד:

- מקור מתח של 12V ישר או חילופין.
- סוללה של 1.5V.
- בית סוללות.
- תא פוטואלקטרי.
- מערכת פילטרים.
- מד מתח דיגיטלי בתחום של 200mV המשמש כמד זרם בתחום של nA.
- וולטמטר.
- מקור אור 12V.
- פוטנציומטר של 5K אום.
- תילים.

### רקע תיאורטי:

האפקט הפוטואלקטרי הוא תופעה של עקירת אלקטרונים ממתכת ע"י הקרנת אור על המתכת. אור הוא סוג של אנרגיה המורכב ממנות בדידות (עפ"י המודל החלקיקי של האור), וכאשר מקרינים אור על המתכת, האנרגיה של הפוטונים שזה בעצם האור עצמו, עוברת אל האלקטרונים החופשיים שעל המתכת ועוקרת אותם ממנה. האנרגיה שצריך בשביל לעקור את האלקטרונים החופשיים מהמתכת נקראת אנרגיית הסף של המתכת - B.

בעיות שלא ניתן להסבירן בעזרת המודל הקלאסי של גלים אלקטרומגנטיים הן:

- א. עקירת אלקטרונים מתרחשת רק כאשר תדירותו של האור שמוקרן עוברת גבול מסוים של תדירות, שגבול זה נקרא תדירות הסף, מבלי שיש קשר לעוצמתו של האור שמוקרן.
- ב. עקירה מידית של אלקטרונים ממתכת עם הקרנתה, בין אם העוצמה נמוכה או חזקה.

## דביר חדד י"ב

- ג. כאשר תדירות האור המוקרן עוברת את תדירות הסף, גדלה האנרגיה הקינטית של האלקטרון שנעקר מן המתכת.
- ד. בתדירות נתונה של אור, שינוי בעוצמתו של האור משנה את מספר האלקטרונים הנעקרים. האנרגיה הקינטית של האלקטרונים הנעקרים קבועה בתדירות נתונה. ניתן להסביר תופעות אלו באמצעות הנוסחה:

$$E_{ph} = h \cdot f$$

$h$  - קבוע פלנק.

$f$  - תדירות הגלים האלקטרו-מגנטיים.

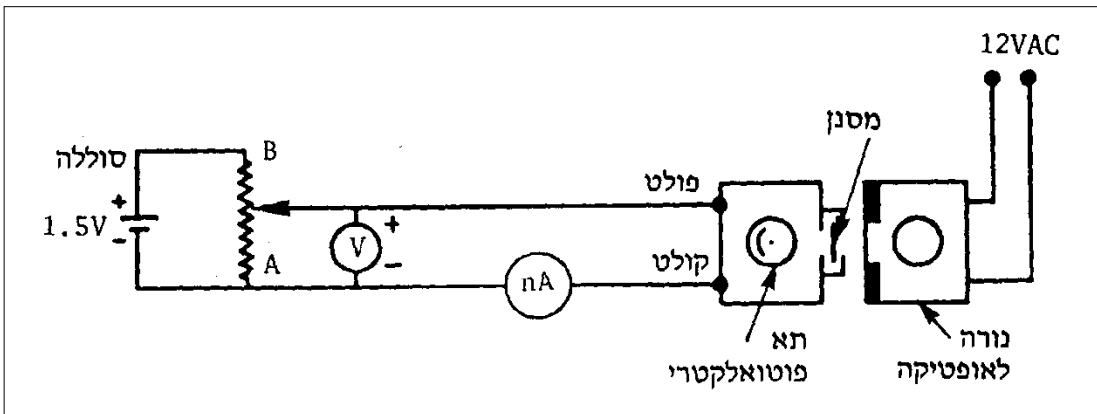
קוונט אחד של אור ( $h \cdot f$ ) נקלט ע"י אלקטרון אחד ומעביר לו את כל האנרגיה שלו.  $E_{ph} = B + E_k$ , כאשר  $B$  זוהי אנרגיית הקשר של מתכת מסוימת, כלומר האנרגיה שנדרשת על מנת לעקור אלקטרון, ו- $E_k$  זוהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון שנעקר.

הדרך בה נמדד הזרם - על מנת למדוד זרם נמוך מאוד המגיע ליח' של nA, נשתמש ברב מודד ספרתי, שאותו מחברים בטור ומכוונים אותו למדידת מתח בתחום של עד 200mV. ברצוננו לדעת עבור איזה מתח V מתאפס הזרם במעגל שזהו בעצם מתח העצירה, ולכן נרשום שהזרם מתאפס כאשר הוולטמטר יראה  $V = 0mV$ , כי התנגדות הוולטמטר נמדדת ב-  $M\Omega$  ו-  $nA \cdot M\Omega = mV$ .

מסנני אור (פילטרים) - מטרתם לקבוע את תדירותו של האור שיעבור, תדירות קטנה או שווה לתדירות המקסימלית שהמסנן יכול להעביר.

### מהלך הניסוי:

(1) מפעילים את המעגל שלהלן:



#### דביר חדד י"ב

כעת, צריך לאפס את המערכת, ולאחר מכן נוודא שהרכיבים עובדים כמו שצריך. אח"כ נרכיב את המסנן שלו התדירות הנמוכה ביותר, נפעיל את מקור האור ונצמיד אותו לתא הפוטואלקטרי. כעת נגדיל את המתח בעזרת הפוטנציומטר עד אשר הוולטמטר שמכוון על  $mV$  (מד הזרם) יעמוד על אפס. ועכשיו, נרשום את המתח, שהוא מתח העצירה, שמראה הוולטמטר שמחובר בטור לפוטנציומטר, ואת התדירות ליד המתח. יש לחזור על פעולות אלו עבור כל המסננים שיש במערכת הניסוי.

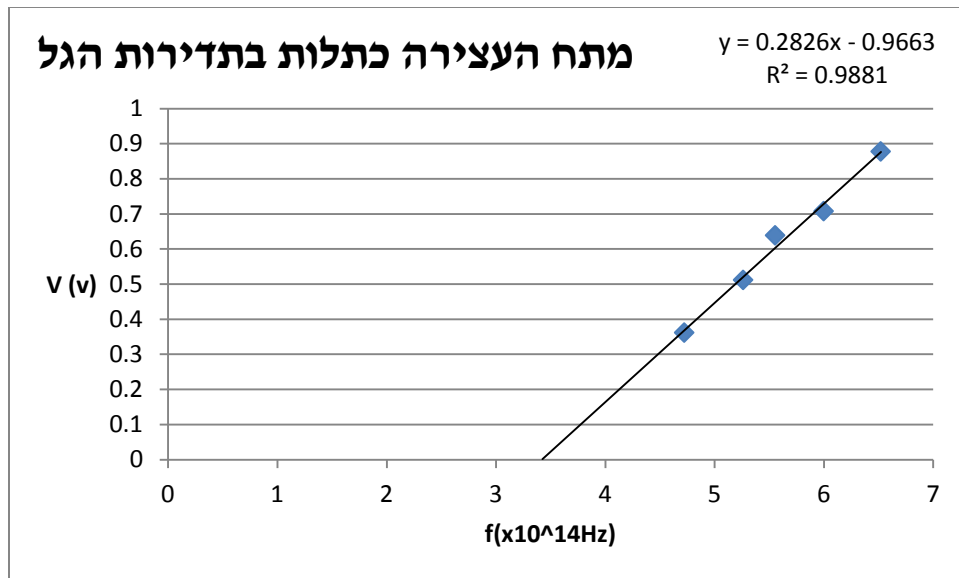
#### תוצאות הניסוי:

מתח העצירה V(volt)	אורך גל ( $\times 10^{-9}m$ )	תדירות הגל $f(\times 10^{14}Hz)$
0.878	460	6.522
0.708	500	6
0.639	540	5.556
0.512	570	5.263
0.362	635	4.724

נשתמש בנוסחה הקובעת כי מכפלת אורך הגל בתדירות תהיה שווה למהירות האור, על מנת לחשב את התדירות של הגל.

נשרטט גרף של V (מתח העצירה) כפונקציה של f (תדירות הגל)

## דביר חדד י"ב



ניתוח התוצאות: (מטען האלקטרון e=)

$$E_{ph} = E_k + B = h \cdot f$$

$$E_k = V \cdot e$$

$$V \cdot e = h \cdot f - B$$

משוואת הישר היא:

$$y = ax + b = 0.2826x \cdot 10^{-14} - 0.9663$$

לכן:

$$(eV) \quad y = V \cdot e \quad (\text{התוצאות יהיו ב- eV})$$

$$x = f$$

$$a = h = 0.2826 \cdot 10^{-14} = 2.826 \cdot 10^{-15} \text{ (eV} \cdot \text{sec)}$$



#### דביר חדד י"ב

$$b=B=0.9663 \text{ (eV)}$$

$$h(j)=2.826*10^{-15} * 1.6*10^{-19} = 4.5216*10^{-34} \text{ (j*sec)}$$

משוואת הגרף שלמעלה (מתח עצירה כנגד תדירות הגל) היא כמו משוואת הגרף של אנרגיה קינטית של אלקטרון שנעקר כנגד תדירות הגל. משוואת הגרף למעלה שקולה למשוואה  $E=hf-B$ , כאשר  $B$ , אנרגיית הקשר של המתכת היא נקודת החיתוך של הגרף עם ציר ה- $y$ , ושיפוע הגרף הוא קבוע פלנק. ההבדל בין קבוע פלנק שאני חישבתי לבין קבוע פלנק המקורי ( $6.63*10^{-34} \text{ j*sec}$ ) נובע מחוסר דיוק במדידות. כאשר הגרף חותך את ציר התדירות (ציר  $X$ ) מתח העצירה שווה ל-0, לכן בערך תדירות זה לא זורם זרם וזוהי תהיה תדירות הסף של המתכת ( $3.42*10^{14} \text{ Hz}$ ). אם נכפיל את תדירות הסף ב- $h$  נוכל לגלות את אנרגיית הקשר של החומר ( $B=0.9665 \text{ eV}$ ) וגם כאן חוסר הדיוק בא לידי ביטוי. כאשר נקריין על המתכת אור בעל תדירות נמוכה מתדירות הסף לא יעקרו אלקטרונים.

**שגיאת ניסוי:** (בדיקת קבוע הפלנק)

$$\left| \frac{6.63 * 10^{-34} - 4.5216 * 10^{-34}}{6.63 * 10^{-34}} \right| * 100 = 31.8\%$$

לדעתי המקור לשגיאת הניסוי היא התחממות יתרה של המערכת, ואי היותה מדויקת ויציבה מספיק לעבודה.

#### מסקנות הניסוי:

מניסוי זה ניתן לחשב את קבוע פלנק, אנרגיית הקשר של המתכת שאיתה מבצעים את הניסוי, וכך בעצם לגלות שאנרגיית הקשר של המתכת היא בהתאם לסוגה של המתכת ולא תלויה במשהו אחר. כמו כן, ניתן להסיק שהאור מורכב מפוטונים של אנרגיה.

אין קשר בין תדירות הגל לבין עוצמתו, ולכן אם היינו משנים את מקור האור למקור אור חזק יותר לא היה משתנה הגרף.

כאשר תדירות האור שמוקרן על המתכת גדולה מתדירות הסף יעקרו אלקטרונים. ככל שעוצמת האור גדולה יותר, כך הזרם החשמלי במעגל גדול יותר: כאשר מגדילים את עוצמת האור גדלה גם

#### דביר חדד י"ב

האנרגיה הפוגעת במשטח, וכך למעשה נפלטת יותר אלקטרונים. מתח העצירה לא תלוי בעוצמת האור, אלא בתדירותו. לא משנה כמה עוצמת האור הפוגעת במתכת תהיה גדולה, עדיין יידרש בדיוק את אותו מתח עצירה ע"מ להפסיק את הזרם החשמלי. אולם, כאשר תדירות האור גדלה כך גם מתח העצירה גדל. כאשר אנרגיית הפוטון גדולה מאנרגיית הסף, עודף האנרגיה מומר לאנרגיה קינטית של האלקטרון הנעקר. ככל שתדירות האור המוקרן גדולה יותר כך גדלה אנרגיית הפוטונים, ולכן גם האנרגיה הקינטית של האלקטרונים הנעקרים.

ככל שהאנרגיה הקינטית של האלקטרונים הנעקרים גדולה יותר, כך נדרש מתח עצירה גדול יותר ע"מ שהם לא יעקרו, משום שמתח העצירה תלוי בתדירותו של האור הפוגע. הגדלת עוצמתו של האור מבלי לשנות את תדירותו, מגדילה את מס' הפוטונים הפוגעים ולכן גם את מס' האלקטרונים הנעקרים, וזה יגרום לעוצמת הזרם החשמלי לגדול. לעומת זאת, מאחר ואנרגיית הפוטונים לא השתנתה, כך גם מהירותם של האלקטרונים לא השתנתה, וזאת משום שמתח העצירה אינו תלוי בעוצמת האור.