

ניסוי א.2 – טעינה ופריקה של קבל; בניה ודעיכה של זרם בסליל

מגישים: אבי בנדל 040517708
תומר גפנר 060634078
קבוצה 30-3

מטרת הניסוי: בדיקה כמותית של תופעות טעינה ופריקה של קבל בקצב מהיר ובניה ודעיכה של זרם בסליל בקצב מהיר.

מהלך הניסוי: א. בניסוי נמדוד זמני טעינה ופריקה של קבל וזמני בניה ודעיכה של זרם בסליל, ונביט בצורות הגלים שנוצרות בזמני מחזור שונים.

תשובות לשאלות הכנה:

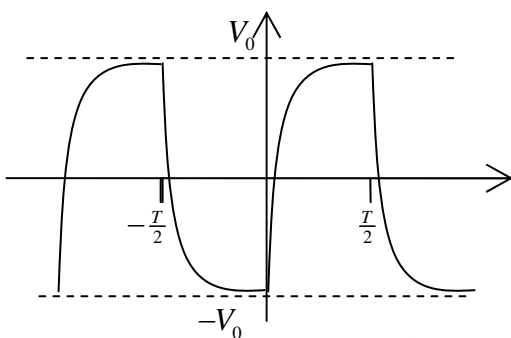
$$[RC] = \left[\frac{1}{\sigma} \frac{\ell}{A} \cdot \frac{Q}{V} \right] = \left[\frac{E}{J} \right] \frac{m \text{ Cb}}{m^2 V} = \frac{V m^2 m \text{ Cb}}{m [I] m^2 V} = \frac{V \text{ sec } m^2 m \text{ Cb}}{m \text{ Cb } m^2 V} = \text{sec} \quad 1.$$

כדי לדעת את יחידות ההשראות, נזכר בקשר $[L] = \frac{V}{A} \text{sec}$

$$\varepsilon [V] = -\frac{d\phi}{dt} = M_{12} [L] \cdot \frac{dI}{dt} \left[\frac{A}{\text{sec}} \right] \Rightarrow [L] = \frac{V}{A} \text{sec}$$

$$\left[\frac{L}{R} \right] = \left[\frac{\frac{V}{[I]} \text{sec}}{\frac{1}{\sigma} \frac{\ell}{A}} \right] = \frac{[E] m \text{ sec}}{[I]} = \frac{[E] m \text{ sec}}{[E] \frac{m^2 m}{[I] m^2}} = \text{sec}$$

2. המתח על האוסצילוסקופ הוא המתח על הקבל. מצאנו ביטויים למטען על הקבל, ולכן מהקשר $C \equiv \frac{Q}{V}$ נקבל:

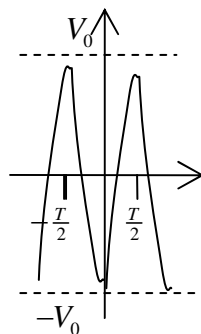


$$(8a) \quad V_a(t) = -V_0 + \frac{A}{C} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad -\frac{T}{2} < t < 0$$

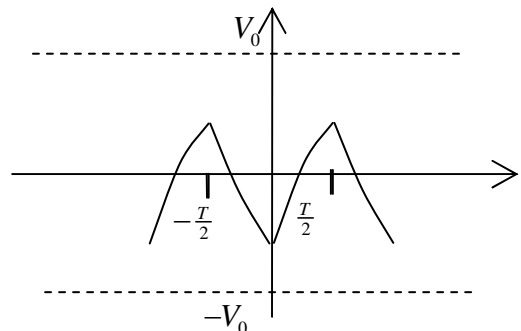
$$(8b) \quad V_b(t) = V_0 + \frac{B}{C} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad 0 < t < \frac{T}{2}$$

הגרף שנקבל מופיע משמאל. גרף זה מזכיר גל ריבועי. מכיוון ש $\tau \ll T$, זמן הטעינה והפריקה של הקבל זניח יחסית לזמן שבו המתח במערכת יציב על ערך מסוים.

3. אם $T \sim \tau$, נקבל גרף שדומה לגרף משאלה קודמת, רק שהמעברים תכופים יותר. גרף זה מזכיר שיני מסור.



אם $T \ll \tau$, הקבל לא יספיק להטען ולהתפרק.



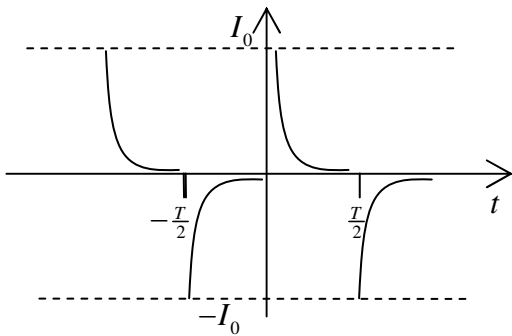
4. נחשב:

$$= -2CV_0 + 2Ae^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \Rightarrow \ln \frac{3CV_0}{2A} = -\frac{T_{1/2}}{\tau} \Rightarrow T_{1/2} = -\tau \ln \frac{3CV_0}{2A}$$

מוכל למדוד את $T_{1/2}$ ע"י מדידת המתח – אם המטען יורד לחצי, אז גם המתח על הקבל ירד לחצי באותו פרק

הזמן, כי המטען והמתח מתנהגים בצורה זהה עד כדי קבוע הקיבול: $C \equiv \frac{Q}{V}$.

השערה: דרוש $T \gg \tau$ כדי להימנע מתופעות מעבר לא רצויות – לתת לקבל להטען בלי להפריע לו.



5. נסתמך על ההגדרה $I \equiv \frac{dQ}{dt}$, ולכן נוכל לשרטט את גרף הזרם בהסתמך על גרף המתח (שזהה עד כדי קבוע לגרף המטען). נגזרת של פונקציה אקספוננציאלית נשארת פונקציה אקספוננציאלית, בהכפלת קבוע הנגזרת הפנימית, ולכן נקבל את הגרף שמשמאל.

לצערנו, הזרם לא רציף, כי הוא מחליף כיוון (סימן).

6. הגרפים יהיו דומים לגרפים ששרטטנו בשאלות 2 ו 3, מכיוון שכמו שהמתח שעל הקבל היה, עד כדי קבוע (קיבול), המטען על הקבל שמתנהג באופן אקספוננציאלי, כאן המתח על הנגד הוא עד כדי קבוע (התנגדות) הזרם שעובר בסליל, שמתנהג כמו המטען על הקבל.

7. המתח על הסליל: $V_L = L \frac{dI}{dt}$. בשאלה 5 גזרנו את המטען למציאת הזרם. כאן נגזור את הזרם, שמתנהג כמו המטען בשאלה 5, כדי למצוא את המתח, ולכן נקבל גרף דומה.

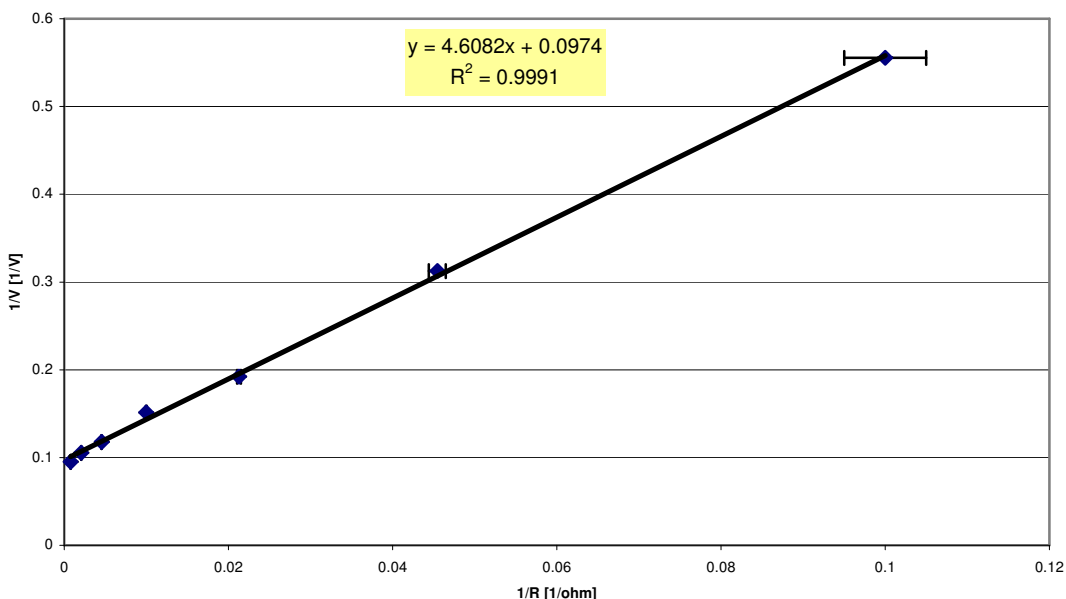
8. הזרם במערכת: $I = \frac{V}{R_i + R}$, ולכן $\frac{1}{V_R} = \frac{1}{V_0} + \frac{R_i}{V_0 R} \Rightarrow \frac{1}{V_R} = \frac{1}{V_0} + \frac{R_i + R}{V_0 R}$

הכנה לניסוי: מדידת ההתנגדות של המחולל:

טבלה 1: מדידת המתח על התנגדויות שונות, כמתואר במעגל 4.

| V [V] | R[Ohm] | V Error | R Error | 1/V | 1/R | 1/V Error | 1/R Error |
|-------|--------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1.8 | 10 | 0.0005 | 0.5 | 0.555556 | 0.1 | 0.00015 | 0.005 |
| 3.2 | 22 | 0.0005 | 0.5 | 0.3125 | 0.045455 | 4.9E-05 | 0.00103 |
| 5.2 | 47 | 0.0005 | 0.5 | 0.192308 | 0.021277 | 1.8E-05 | 0.00023 |
| 6.6 | 100 | 0.0005 | 0.5 | 0.151515 | 0.01 | 1.1E-05 | 0.00005 |
| 8.5 | 220 | 0.0005 | 0.5 | 0.117647 | 0.004545 | 6.9E-06 | 1E-05 |
| 9.5 | 480 | 0.0005 | 0.5 | 0.105263 | 0.002083 | 5.5E-06 | 2.2E-06 |
| 10.5 | 1296 | 0.0005 | 0.5 | 0.095238 | 0.000772 | 4.5E-06 | 3E-07 |

מהגרסיה על טבלה 1 ומהקשר $\frac{1}{V_R} = \frac{1}{V_0} + \frac{R_i}{V_0 R}$ קיבלנו את גרף 1:



וכן קיבלנו את הערכים :

| ביטוי | ערך | | פרמטר | ערך |
|-------------------|-------------------|---------------|-------|-------------------------|
| $\frac{1}{V_0}$ | 0.097 ± 0.002 | \Rightarrow | V_0 | $10.3 \pm 0.2 [V]$ |
| $\frac{R_i}{V_0}$ | 4.6 ± 0.06 | | R_i | $47.4 \pm 1.2 [\Omega]$ |

ניסוי 1: טעינה ופריקה של קבל

טבלה 2: הרכבת מעגל וחישוב זמן אופייני בשלושת התחומים הרלוונטיים

| פרמטר | $\tau \ll T$ | $\tau \sim T$ | $\tau \gg T$ |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| $C [nF]$ | 100 | 100 | 100 |
| $R [\Omega]$ | 10 ± 0.5 | 480 ± 0.5 | 480 ± 0.5 |
| $f [kHz]$ | 4.3 ± 0.5 | 5.4 ± 0.5 | 17.5 ± 0.5 |
| $\tau [nsec]$ | 1000 ± 50 | 48000 ± 50 | 48000 ± 50 |
| $T [sec]$ | 0.232558 | 0.185185 | 0.057143 |

- הגרפים שהתקבלו לכל תחום $\tau \ll T$, $\tau \sim T$, $\tau \gg T$ הם הגרפים ששיערנו שנקבל בשאלות ההכנה. אפשר לומר שהגרף שהכי דומה לשיני משור הוא הגרף עבור $\tau \gg T$, וגרף מרובע הוא הגרף שמתאים ל $\tau \ll T$. ההבדלים במתח המקסימאלי בכל גרף נובעים מהעובדה שבתחום $\tau \gg T$ לא נותנים לקבל להטען עד למקסימום האפשרי, מה שכן קורה כאשר $\tau \sim T$ או $\tau \ll T$.

- עבור $\tau \ll T$, חישובנו וקיבלנו ש $T_{1/2} = -\tau \ln \frac{3}{4}$. בניסוי שלנו ניקח:

$$\begin{cases} R = 2200 \pm 3 [\Omega] \\ C = 16 [nF] \end{cases} \Rightarrow \tau = RC = 35.2 \pm 0.05 [\mu sec] \Rightarrow T_{1/2} = -\tau \ln \frac{3}{4} = 10.12 [\mu sec]$$

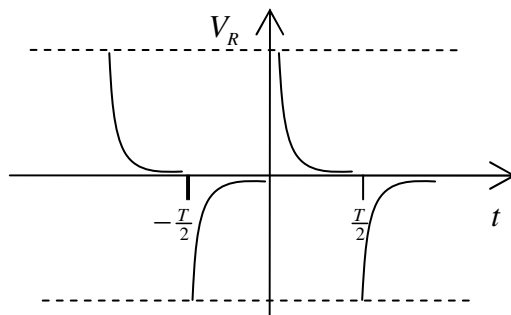
$$T_{1/2} = \underbrace{(1 \pm 0.2)}_{scales} \cdot 10^{-5} = 10 \pm 2 [\mu sec]$$

- את V_0 חישובנו מגרף 1: $V_0 = 10.3 \pm 0.2 [V]$. נעבוד בתדר $f = 182.2 \pm 0.2 [kHz]$, ולכן נקבל זמן מחזור של: $T = 5.6 \pm 0.06 [\mu sec]$.

הפרש המתחים על הקבל, שנמדד מגרף האוסצילוסקופ: $\Delta V = 1 \pm 0.1 [V]$.
לכן, לפי שאלת הכנה 9 נקבל:

$$RC = \frac{V_0 T}{2 \Delta V} = 28.8 \pm 1.3 [\mu sec]$$

- המתח על הנגד שהתקבל:
זהו בדיוק המתח שמשלים את המתח על הקבל, מבחינת חיבור, בגלל שהנגד והקבל מחוברים בטור.



ניסוי 2: בניה ודעיכה של זרם בסליל

1. נבחר רכיבים כדי לבנות את המעגל 3:

$$R = 467 \pm 1 [\Omega]$$

ניקח סליל בעל השראות: $L = 5 [mH]$ ובעל התנגדות: $R_L = 41 \pm 1 [\Omega]$

$$\tau = \frac{L}{R + R_L} = 9.8 \pm 0.02 [\mu sec]$$

2. עבור התחומים $\tau \ll T$, $\tau \sim T$ ו $\tau \gg T$ קיבלנו את צורות הגל כפי שציפינו בשאלה הכנה 6.

3. נמדוד את τ לפי מדידת $T_{1/2}$, כאשר $T \gg \tau$. הקשר שידוע לנו הוא $T_{1/2} = -\tau \ln \frac{3}{4}$.

$$\tau = -\frac{T_{1/2}}{\ln \frac{3}{4}} = 10.43 \pm 0.7 [\mu sec] \text{ ולכן } T_{1/2} = (3 \pm 0.2) \cdot 0.2 \cdot 50 \cdot 10^{-7} = 3 \pm 0.2 [\mu sec]$$

$$\eta = \frac{|\tau_1 - \tau_2|}{\sqrt{\sigma_{\tau_1}^2 + \sigma_{\tau_2}^2}} = 0.9 : 1 \text{ נשווה לערך המחושב בסעיף 1}$$

ניסוי א.3 – מדידת עכבה

מגישים: אבי בנדל 040517708
תומר גפנר 060634078
קבוצה 30-3

מטרת הניסוי: מדידת עכבה (ערך מוחלט וזווית מופע) והכרת עקומת Lissajous (ליסז'ו).

מהלך הניסוי:
תשובות לשאלות הכנה:

$$1. \text{ בנקודה } P_1, \text{ שבה } \omega t = -\frac{\pi}{2}, \text{ נקבל: } V_x = rI_0 \cos(\omega t) = rI_0 \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$\text{וגם: } V_y = |Z|I_0 \cos(\omega t + \phi) = |Z|I_0 \cos\left(\phi - \frac{\pi}{2}\right) = |Z|I_0 \sin \phi$$

$$\text{בנקודה } P_2, \text{ שבה } \omega t = -\phi, \text{ נקבל: } V_x = rI_0 \cos(\omega t) = rI_0 \cos \phi$$

$$\text{וגם: } V_y = |Z|I_0 \cos(\omega t + \phi) = |Z|I_0 \cos 0 = |Z|I_0$$

$$\text{בנקודה } P_3, \text{ שבה } \omega t = 0, \text{ נקבל: } V_x = rI_0 \cos 0 = rI_0$$

$$\text{וגם: } V_y = |Z|I_0 \cos(\omega t + \phi) = |Z|I_0 \cos \phi$$

$$\text{בנקודה } P_4, \text{ שבה } \omega t = \frac{\pi}{2} - \phi, \text{ נקבל: } V_x = rI_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) = rI_0 \sin \phi$$

$$\text{וגם: } V_y = |Z|I_0 \cos\left(\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) + \phi\right) = 0$$

$$2. \text{ כאשר מחברים סליל בטור לנגד, מקבלים עכבה: } Z_{in} = Z_R + Z_L = R + j\omega L$$

כאשר מחברים קבל במקביל לנגד, מקבלים עכבה:

$$Z_{in} = Z_R \parallel Z_L \Rightarrow Z_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} = \frac{R}{j\omega CR + 1} = \frac{R(1 - j\omega CR)}{1 + \omega^2 C^2 R^2} = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{R^2 \omega C}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$$

$$3. \text{ כאשר מחברים סליל בטור לנגד, העכבה היא } Z_{in} = Z_R + Z_L = R + j\omega L = |Z|e^{i\phi} \text{ ולכן: } \tan \phi = \frac{\omega L}{R}$$

$$\text{כאשר מחברים קבל במקביל לנגד, העכבה היא } Z_{in} = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{R^2 \omega C}{1 + \omega^2 C^2 R^2} = |Z|e^{i\phi} \text{ ולכן:}$$

$$\tan \phi = \frac{-\frac{R^2 \omega C}{1 + \omega^2 C^2 R^2}}{\frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2}} = -\omega RC$$

$$4. \text{ כאשר מחברים סליל בטור לנגד, מקבלים: } |Z|^2 = |R + j\omega L|^2 = R^2 + \omega^2 L^2$$

$$\text{כאשר מחברים קבל במקביל לנגד, מקבלים: } \frac{1}{|Z|^2} = \left|\frac{1}{Z}\right|^2 = \left|\frac{1}{R} + j\omega C\right|^2 = \frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2$$

$$5. \text{ כדי שיתקבל מעגל, אנו רוצים שהפרמטריזציה } V_x \text{ ו } V_y \text{ תהיה של מעגל, ולכן } |Z| = r \Rightarrow rI_0 = |Z|I_0$$

$$\text{וגם } \phi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos(\omega t + \phi) = \sin(\omega t), \text{ כלומר קיבלנו שהרכיב שלנו צריך להיות בעל עכבה: } Z = jr$$

$$\text{כדי לקבל קו ישר, נדרוש ראשית שנקודות } P_1, P_4 \text{ מתלכדות: } \begin{cases} rI_0 \sin \phi = 0 \\ |Z|I_0 \sin \phi = 0 \end{cases} \text{ ולכן נקבל ש } \phi = \pi n$$

$$\text{נדרוש גם שנקודות } P_2, P_3 \text{ מתלכדות: } \cos \pi n = 1 \Rightarrow \begin{cases} rI_0 \cos \pi n = rI_0 \\ |Z|I_0 \cos \pi n = |Z|I_0 \end{cases} \text{ ולכן } \phi = 2\pi n$$

לכן, התנאי הוא שהרכיב שלנו צריך להיות בעל עכבה $0 < Z \in R$.

הניסוי

1. נבחר שני נגדים בעלי ערכי התנגדות דומים :

$$r = 221 \pm 1 [\Omega]$$

$$R = 221 \pm 1 [\Omega]$$

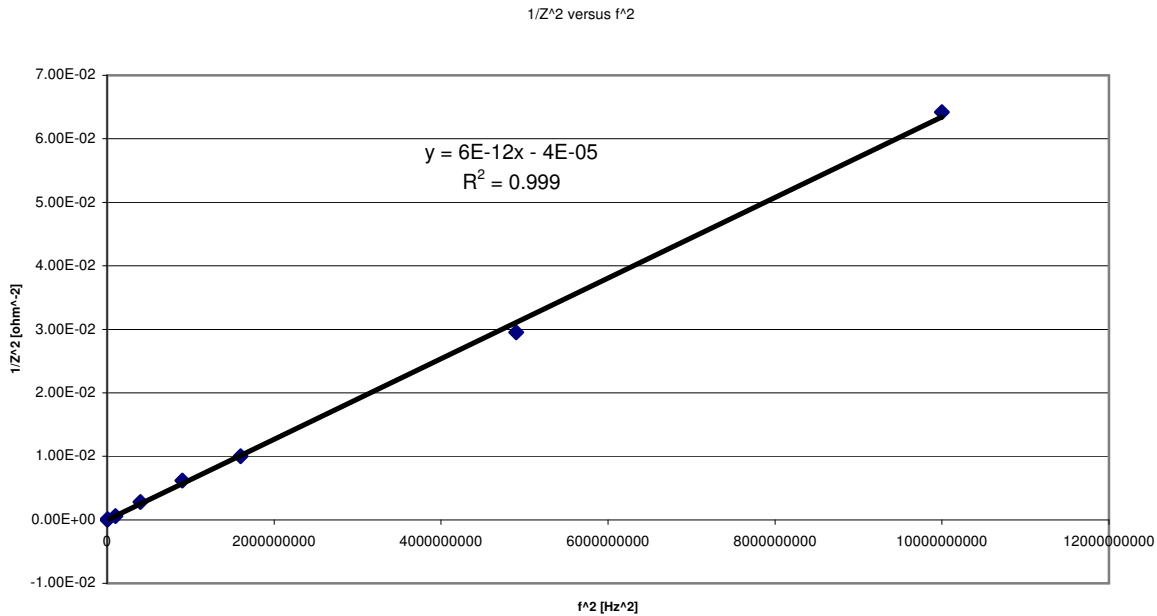
נבחר קיבול: $C = 470 [nF]$

2. נרכיב את המעגל שבציור 1. העכבה באופן תיאורטי :

$$\tan \phi = -\omega RC = \quad ; \quad |Z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}}$$

3. נשרטט גרף של $\frac{1}{|Z|^2}$ כנגד f^2 .

| f[Hz] | VyP2[v] | VxP3[v] | VyP1[v] | Z =(Vy/Vx)*R2 [ohm] | f^2 [Hz^2] |
|--------|---------|---------|---------|---------------------|-------------|
| 650 | 1.8 | 1.83 | 0.5 | 216.3934426 | 250000 |
| 3000 | 1.25 | 2.6 | 1.1 | 105.7692308 | 9000000 |
| 10000 | 0.6 | 3.2 | 0.5 | 41.25 | 100000000 |
| 20000 | 0.28 | 3.25 | 0.27 | 18.95384615 | 400000000 |
| 30000 | 0.19 | 3.3 | 0.18 | 12.66666667 | 900000000 |
| 40000 | 0.15 | 3.3 | 0.14 | 10 | 1600000000 |
| 70000 | 0.09 | 3.4 | 0.08 | 5.823529412 | 4900000000 |
| 100000 | 0.061 | 3.4 | 0.06 | 3.947058824 | 10000000000 |



מביצוע רגרסיה קיבלנו $R Square = 0.999$

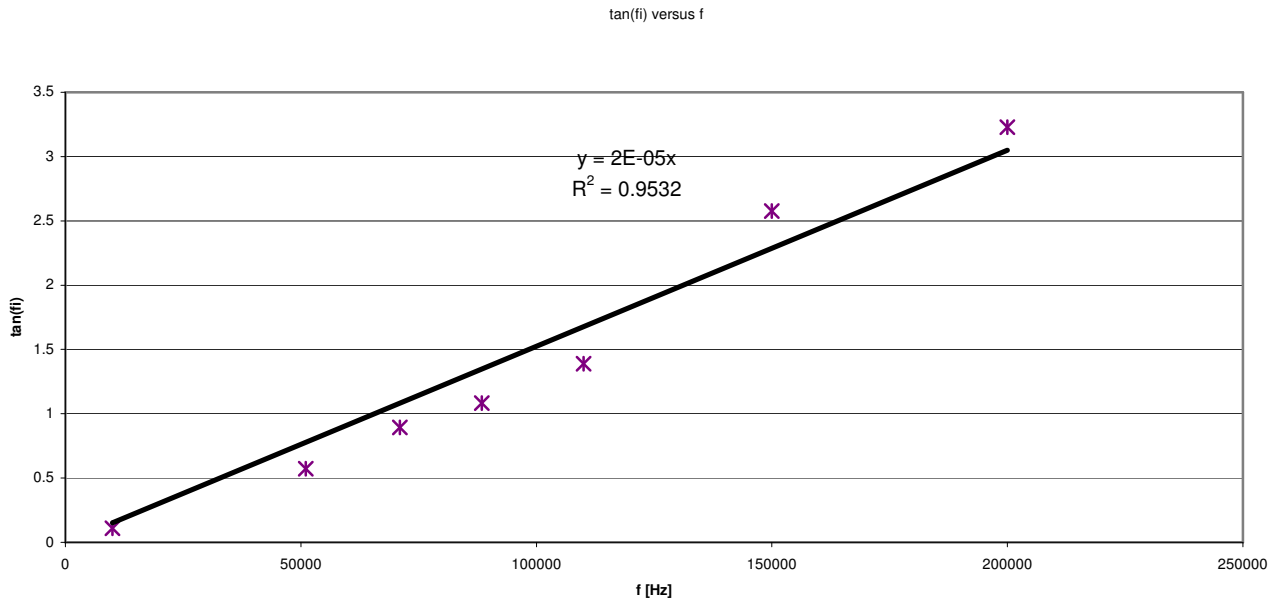
4. משאלות ההכנה: $\frac{1}{|Z|^2} = \frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2 = \frac{1}{R^2} + 4\pi^2 C^2 f^2$

ולכן נחשב את C : $6 \cdot 10^{-12} = 4\pi^2 C^2 \Rightarrow C = \frac{\sqrt{6 \cdot 10^{-12}}}{2\pi} = 389.84n[F]$

ונחשב את השגיאה: $\eta = \frac{|C_{exp} - C_{theory}|}{\sqrt{\sigma_{C_{exp}}^2 + \sigma_{C_{theory}}^2}} = \frac{|C_{exp} - C_{theory}|}{\sigma_{C_{exp}}} \sim 1.2$

5. כעת נשרטט גרף ש $\tan \phi$ כנגד f .

| f[Hz] | VyP2[v] | VxP3[v] | VyP1[v] | tan(fi) |
|--------|---------|---------|---------|-------------|
| 10000 | 1.85 | 1.8 | 0.2 | 0.10874545 |
| 51000 | 2.11 | 1.75 | 1.05 | 0.573710535 |
| 71000 | 2.25 | 1.7 | 1.5 | 0.894427191 |
| 88400 | 2.45 | 1.65 | 1.8 | 1.082982308 |
| 110000 | 2.65 | 1.58 | 2.15 | 1.387819032 |
| 150000 | 2.95 | 1.43 | 2.75 | 2.575610982 |
| 200000 | 3.35 | 1.21 | 3.2 | 3.228372943 |



6. מהקשר שקיבלנו, $\tan \phi = \omega RC = 2\pi RCf$, נוכל לחשב את הקיבול C .
מקבלים $C \cong 380n[f]$, ולכן מידת טעות (η) שגדולה מ 3.

דיון במקורות שגיאה:

- אין אפשרות לקבל את השגיאות במדידת הקיבול.
- המחולל מאוד לא יציב, ולכן יש שגיאות רבות בקריאת הנתונים.
- אנו לא מתחשבים בהתנגדויות החוטים הלא אידיאליים ובחיבורים בין המכשירים.
- הקריאה מהסקופ מאוד איכותית ולא מדויקת.

מסקנות:

- למדנו על תמונת ליסזו' וראינו כיצד למדוד עכבה מרוכבת בעזרת מדידות ממשיות.
- אימתנו את הנוסחאות לעכבה בקבל ובסליל.

ניסוי ב.1 – גלי קול

מגישים: אבי בנדל 040517708
תומר גפנר 060634078
קבוצה 30-3

מטרת הניסוי: חקירת תכונות גלי קול:
א. התפשטות גלים;
ב. מופע של גלים;
ג. התאבכות;
ד. גלים עומדים.

תשובות לשאלות הכנה:

1. מהירות הקול בצורה כללית היא $c = \sqrt{\frac{\eta RT}{M}}$. נחשב:

$$c_{T=273^{\circ}K} = \sqrt{\frac{\eta R}{M}} \sqrt{273} \Rightarrow \sqrt{\frac{\eta R}{M}} = \frac{c_{T=273^{\circ}K}}{\sqrt{273}}$$

$$\Rightarrow c_{T=293^{\circ}K} = \sqrt{\frac{\eta R}{M}} \sqrt{293} = \frac{c_{T=273^{\circ}K}}{\sqrt{273}} \sqrt{293} = \frac{331.7}{\sqrt{273}} \sqrt{293} = 343.6 \left[\frac{m}{sec} \right]$$

$$c_{He} = \sqrt{\frac{\eta RT}{M}} = \sqrt{\frac{1.66 \cdot 8.31 \cdot 10^3 \cdot (273 + 20)}{4}} = 1005.2 \left[\frac{m}{sec} \right] \quad .2$$

3. את הביטוי הכללי לגל בנקודה כללית x כבר פיתחו במשוואה 7:

$$y(x, t) = 2a \cos \left[2\pi \left(\frac{x_1 + x_2}{2\lambda} + ft \right) - \frac{\phi_0}{2} \right] \cos \left[\pi \frac{(x_1 - x_2)}{\lambda} + \frac{\phi_0}{2} \right]$$

נבחר את מקור s_1 בנקודה $x_1 = 0$ ואת מקור s_2 בנקודה

$x_2 = 0.2 [m]$, ולכן נקבל:

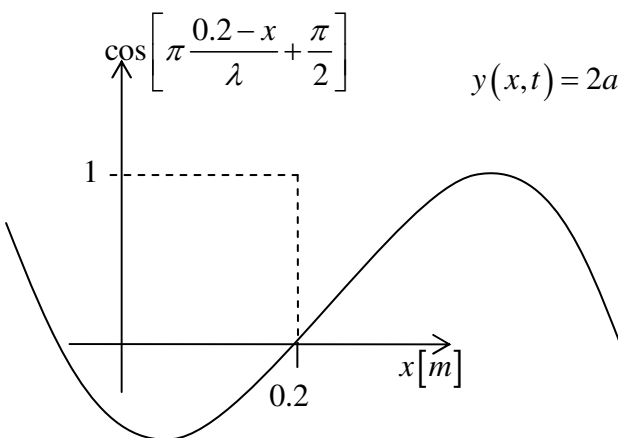
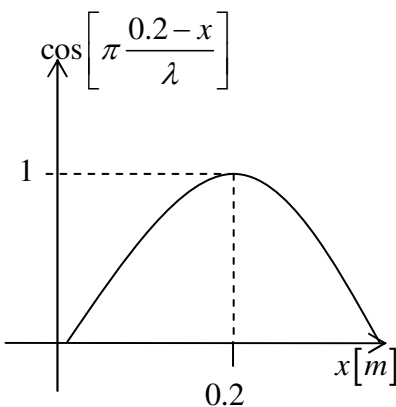
$$y(x, t) = 2a \cos \left[2\pi \left(\frac{0.2}{2\lambda} + ft \right) - \frac{\phi_0}{2} \right] \cos \left[\pi \frac{0.2 - x}{\lambda} + \frac{\phi_0}{2} \right]$$

א. מקרה I: $\phi_0 = 0$:

$$y(x, t) = 2a \cos \left[2\pi \left(\frac{0.2}{2\lambda} + ft \right) \right] \cos \left[\pi \frac{0.2 - x}{\lambda} \right]$$

ב. מקרה II: $\phi_0 = \pi$:

$$y(x, t) = 2a \cos \left[2\pi \left(\frac{0.2}{2\lambda} + ft \right) - \frac{\pi}{2} \right] \cos \left[\pi \frac{0.2 - x}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right]$$



הניסוי**ב. מדידת מהירות המופע של גל קול באוויר**

| $x[m]$ | $\Delta x[m]$ | $\phi[rad]$ | $\Delta\phi[rad]$ |
|--------|---------------|-------------|-------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

ג. מדידת מהירות הקול בגזים שונים

$$\ell = \pm [m] \quad \text{אורך הצינור:}$$

עבור אוויר:

$$\Delta t = \pm [\text{sec}] \quad \text{הזמן שדרוש לקול לעבור את הצינור:}$$

$$c = \frac{\ell}{\Delta t} = \pm \left[\frac{m}{\text{sec}} \right] \quad \text{חישוב מהירות הקול באוויר:}$$

$$c_{\text{theory}} = \quad : c = \sqrt{\frac{\eta RT}{M}} \quad \text{חישוב מהירות הקול באוויר בעזרת}$$

עבור גז הליום He:

$$\Delta t = \pm [\text{sec}] \quad \text{הזמן שדרוש לקול לעבור את הצינור:}$$

$$c_{\text{exp}} = \frac{\ell}{\Delta t} = \pm \left[\frac{m}{\text{sec}} \right] \quad \text{חישוב מהירות הקול בהליום מהניסוי:}$$

$$c_{\text{theory}} = \quad : c = \sqrt{\frac{\eta RT}{M}} \quad \text{חישוב מהירות הקול בהליום בעזרת}$$

$$\eta = \frac{|c_{\text{exp}} - c_{\text{theory}}|}{\delta c_{\text{theory}}} = \quad \text{השוואת חישוב ע"פ נוסחה ומדידה בניסוי:}$$

עבור גז פחמן דו-חמצני CO₂:

$$\Delta t = \pm [\text{sec}] \quad \text{הזמן שדרוש לקול לעבור את הצינור:}$$

$$c_{\text{exp}} = \frac{\ell}{\Delta t} = \pm \left[\frac{m}{\text{sec}} \right] \quad \text{חישוב מהירות הקול בפחמן דו-חמצני:}$$

$$c_{\text{theory}} = \quad : c = \sqrt{\frac{\eta RT}{M}} \quad \text{חישוב מהירות הקול בפחמן דו-חמצני בעזרת}$$

$$\eta = \frac{|c_{\text{exp}} - c_{\text{theory}}|}{\delta c_{\text{theory}}} = \quad \text{השוואת חישוב ע"פ נוסחה ומדידה בניסוי:}$$

ד. התאבכות; גלים עומדים; תהודה

$$\Delta x = \pm [m]$$

המרחק בין הזמזמים: $[m]$
 משרעת הגל הפונקציה של המקום:

| $x[m]$ | $\Delta x[m]$ | $A[m]$ | $\Delta A[m]$ |
|--------|---------------|--------|---------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

נחשב מהגרף את:

$$\lambda = \pm [m]$$

$$a = \pm [m]$$

$$\phi_0 = \pm [rad]$$

$$c = \pm \left[\frac{m}{sec} \right] \text{ : הערך שמקבלים עבור מהירות הקול באוויר מניסוי זה}$$

$$\eta = \frac{|c_{air,3} - c_{air,4}|}{\sqrt{\delta c_{air,3}^2 + \delta c_{air,4}^2}} =$$

השוואת ערך זה לתוצאה מחלק ג:

ניסוי ג.1 – האפקט הפוטואלקטרי

מגישים: אבי בנדל 040517708
תומר גפנר 060634078
קבוצה 30-3

מטרת הניסוי: הכרת התכונות החלקיקיות של האור, מדידת היחס $\frac{h}{e}$, וקביעת פונקציית העבודה.

תשובות לשאלות הכנה:

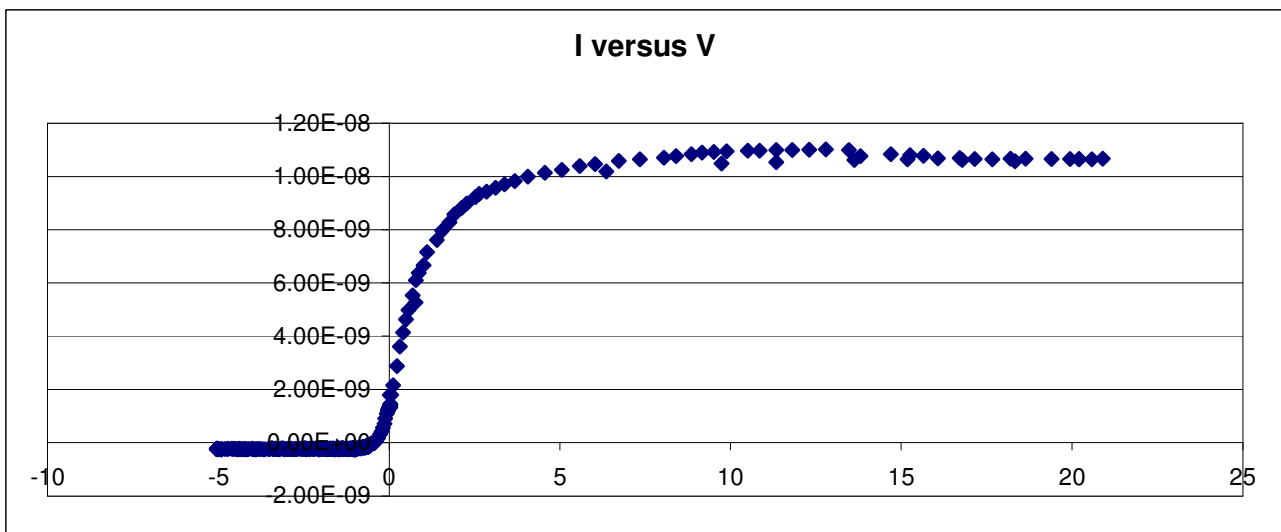
1. מגדילים את אורך הגל תוך שמירה על עוצמת אור קבועה. מה יקרה למתח העצירה? מהנוסחה $E_{\max} = hv - e\phi$ רואים שהגדלת אורך הגל תגדיל את האנרגיה של הפוטונים ולכן נצטרך מתח עצירה גדול יותר.
2. האם מספר האלקטרונים הנפלטים מהקטודה בעוצמת אור נתונה תלוי המתח שבין האנודה לקטודה? לא – מספר האלקטרונים תלוי רק במספר הפוטונים הפוגעים בחומר, וכמובן באנרגיה שהם נושאים עמם. המתח בין האנודה לקטודה יקבע את עצמת הזרם שנקבל במעגל.
3. פוטון באורך גל $\lambda = 400nm$ פוגע במתכת בעלת פונקציית עבודה $\phi = 1V$. מהי האנרגיה הקינטית המקסימלית של אלקטרון הנפלט מן המתכת? מהנוסחה $E_{\max} = hv - e\phi$ מקבלים:

$$E_{\max} = hv - e\phi = \frac{hc}{\lambda} - e\phi = \frac{12400}{4000} - 1 = 2.1[eV]$$

מהלך הניסוי

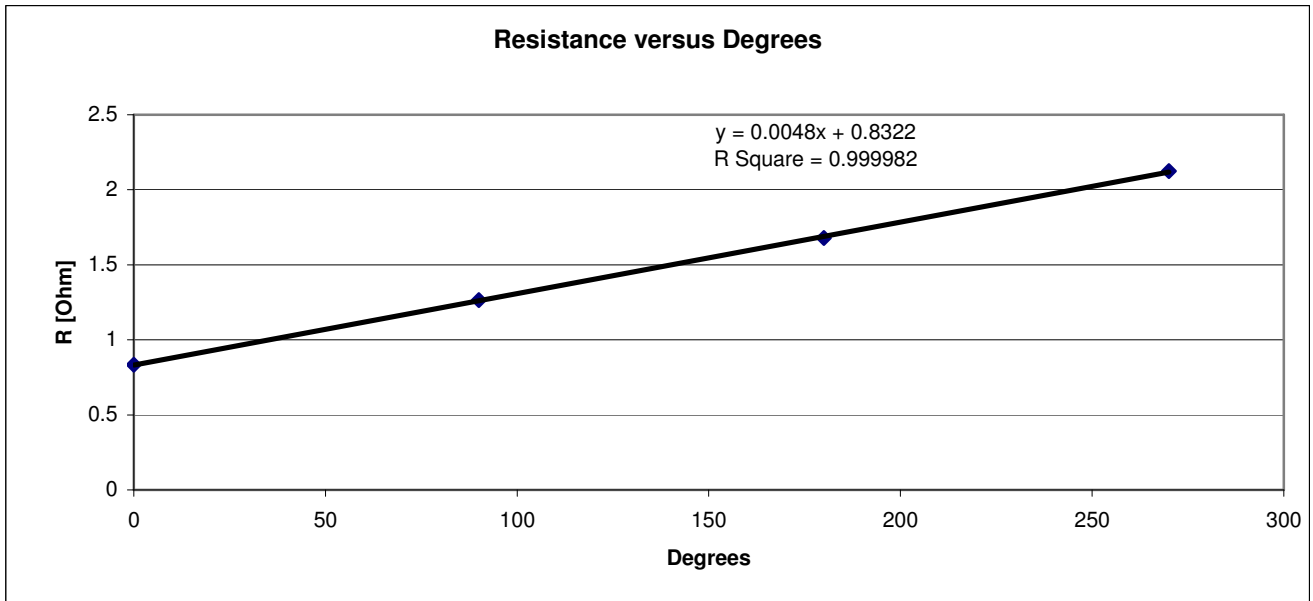
חלק א – עקומת $I - V$ של התא הפוטואלקטרי

הגרף הבא מתאר את השתנות הזרם בתא בפונקציה של המתח בתא הפוטואלקטרי.

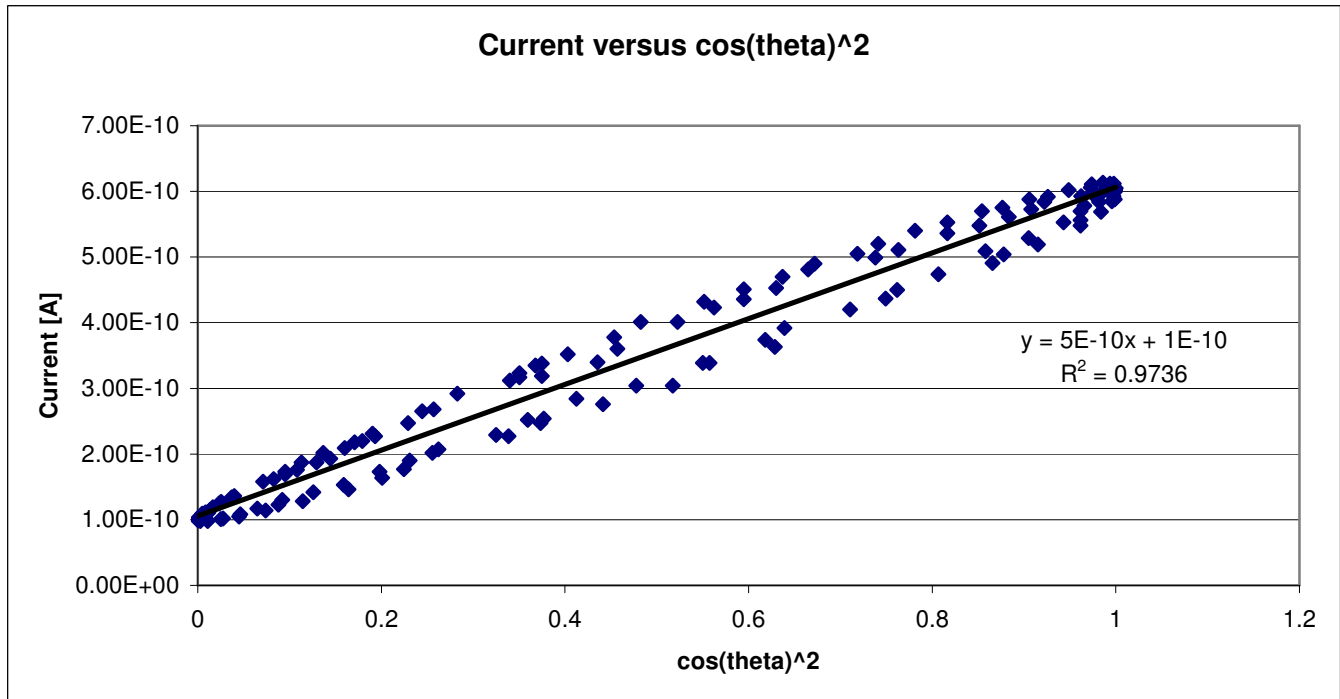


חלק ב – תלות הזרם בתא בעוצמת האור

נשרטט את גרף הכיול, שיאפשר לנו לקבוע את התנגדות המקטב כפונקציה של הזווית.

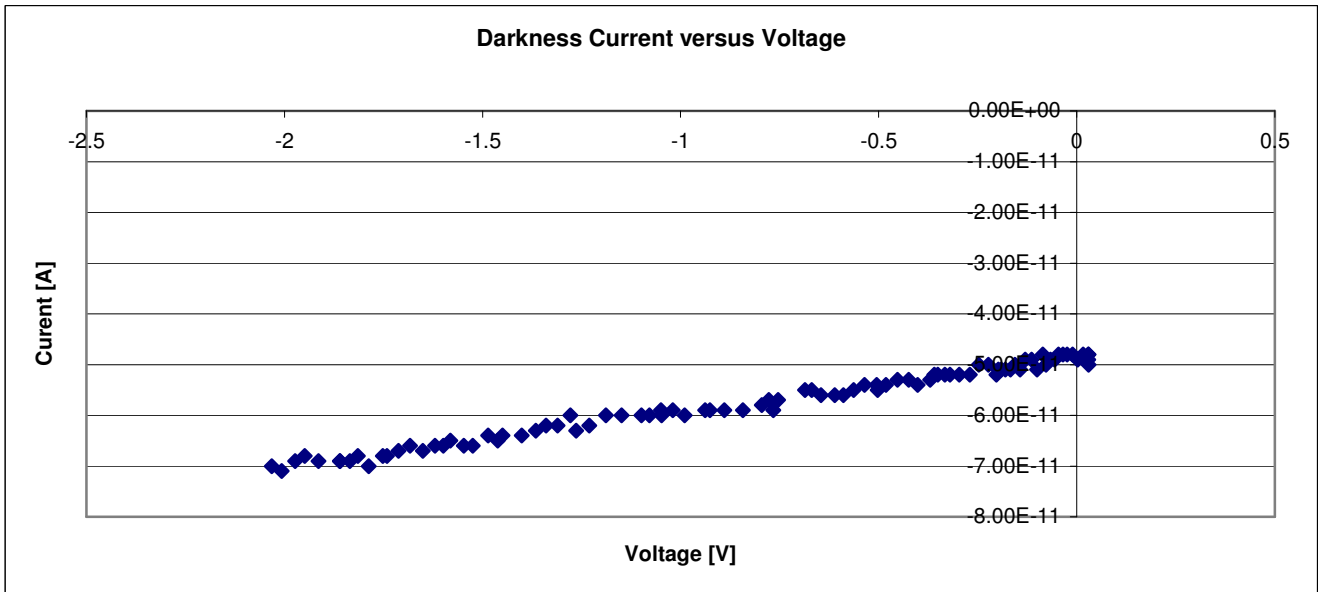


בעזרת גרף הכיול נשרטט את גרף הזרם כתלות בזווית המקטב בריבוע



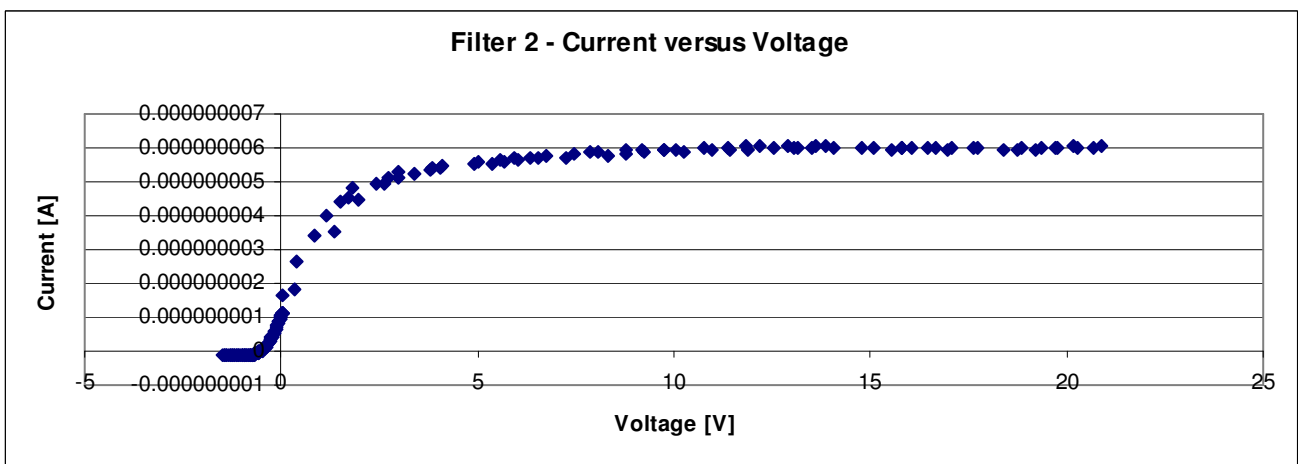
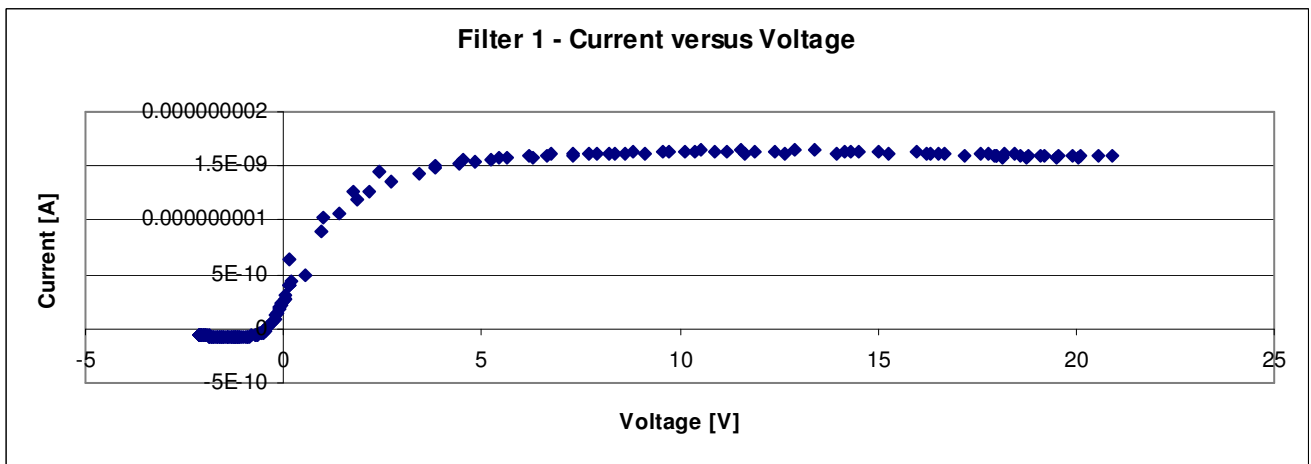
כפי שציפינו, קיבלנו תלות ליניארית, וכך אימתנו שתלות הזרם בתא ליניארית בעצמת האור.

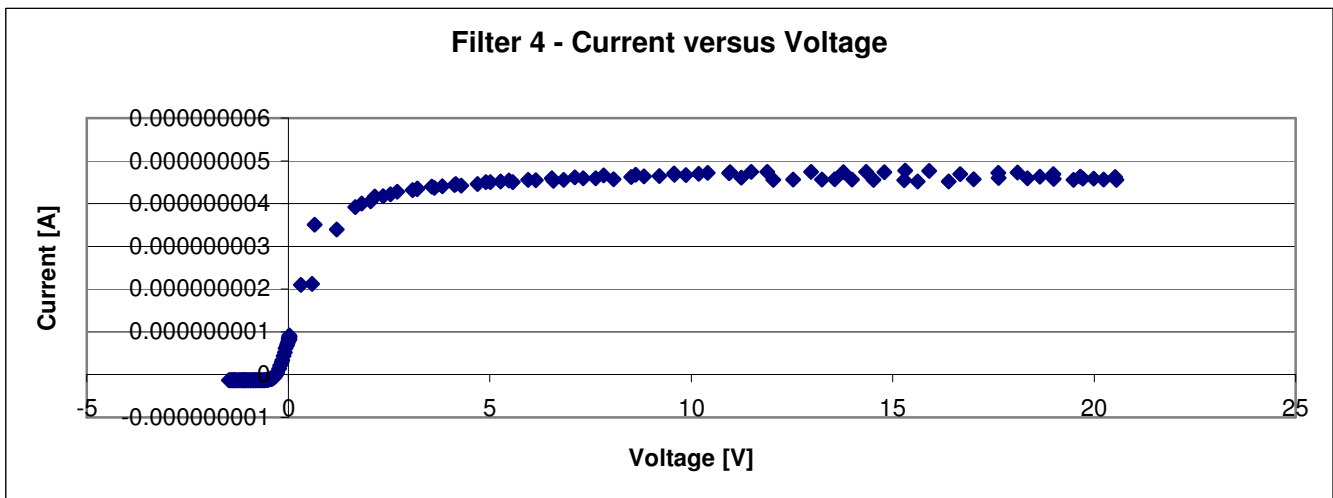
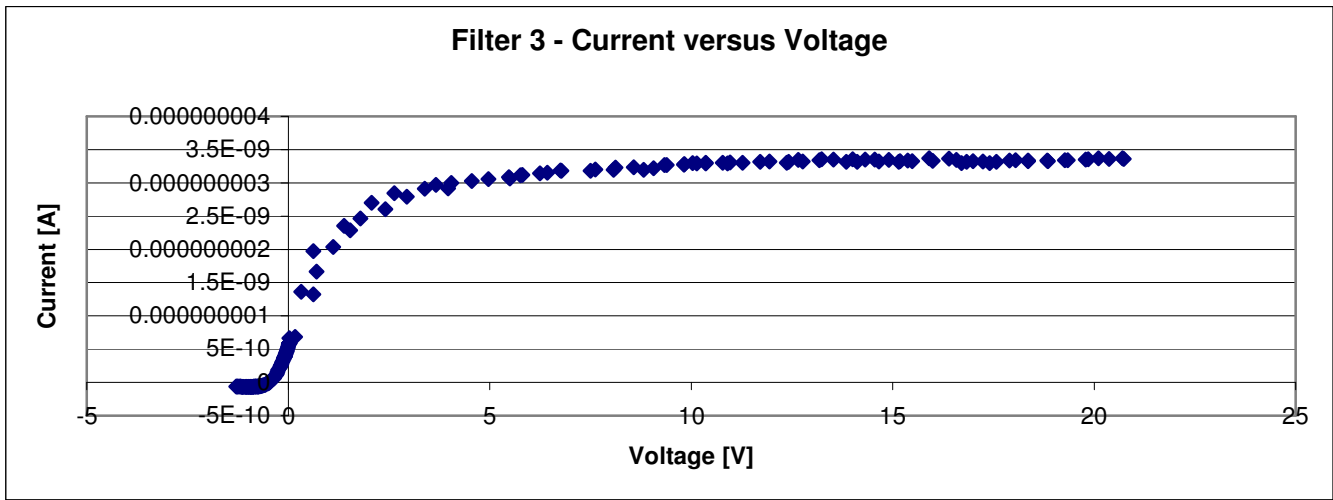
חלק ג – קביעת $\frac{h}{e}$ ופונקציית העבודה ϕ
 ראשית נעלה על גרף את "זרם החושך" כתלות במתח התא.



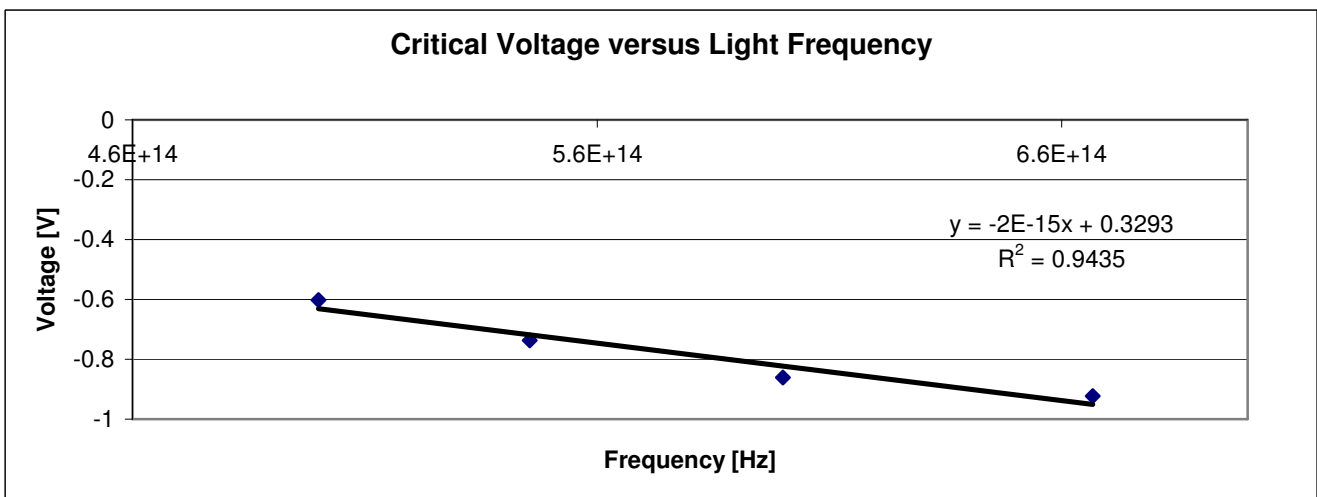
זרם החושך שנמדד זהה לכל מסנן, ולכן נסיק שההפרעה לניסוי מורכבת מכל ספקטרום אורכי הגל, או שההפרעה לא קשורה לפרוטונים, אלא לקונפיגורציה המערכת עצמה.
 זרם החושך קטן בכ-שני סדרי גודל מהזרמים שמתקבלים בתאורה.

נשרטט גרף אופייני זרם-מתח לכל מסנן בנפרד, כאשר מופחת ממנו זרם החושך.





מתוך הגרפים, נבחר את מתח העצירה V_0 כנקודה בה מתחילה עליה בזרם. נשרטט גרף של מתח העצירה כתלות בתדירות.



אכן קיבלנו קשר ליניארי, $R^2 = 0.9435$.

$\frac{h}{e}$ הוא שיפוע הגרף. לאחר גרסיה נקבל $\frac{h}{e} = 2 \cdot 10^{-15} \pm 3 \cdot 10^{-16}$

הערך התיאורטי: $\frac{h}{e} = 4.14 \cdot 10^{-15}$

לא קיבלנו התאמה בין הערך התיאורטי לערך הניסויי: $\eta = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} = \frac{4.14 \cdot 10^{-15} - 2 \cdot 10^{-15}}{3 \cdot 10^{-16}} = 6.8 > 3$

סיכום, מסקנות ודיון בשגיאות מדידה

- ראינו את אופי הזרם בתא הפוטואלקטרי באופן איכותי.
- אימתנו את הקשר הליניארי בין עוצמת ההארה לזרם המתקבל בתא הפוטואלקטרי.
- מצאנו תאימות של הניסוי לתאוריה בצורה איכותית. בחלק האחרון של הניסוי הייתה סטייה גדולה מן הצפוי, כנראה בגלל הקריאה המאוד לא מדויקת של מתח העצירה.
- מדידת זרם החושך עזרה לנו מהבאת התוצאות קרוב יותר לתאוריה.
- קובץ אחד של המדידות עבור המסנן החמישי נהרס לנו ולכן ניתחנו את הנתונים של 4 מסננים בלבד.

ניסוי ג.2 – ספקטרוסקופיה

מגישים:

אבי בנדל 040517708

תומר גפנר 060634078

קבוצה 3-30

מטרת הניסוי: הכרת שיטות ספקטרוסקופיה למדידת רמת האנרגיה באטומים שלבי הניסוי:

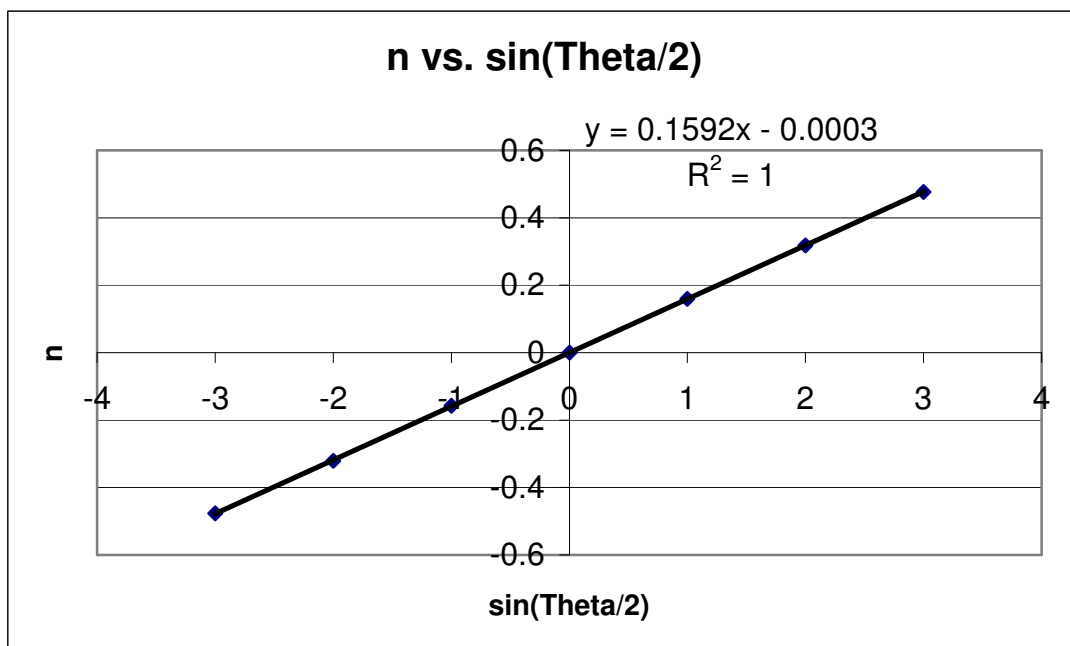
- מדידת קבוע סריג;
- מדידת ספקטרום הליום בספקטרומטר סריג;
- כיול ספקטרומטר מנסרה עם ספקטרום הליום;
- מדידת ספקטרום מימן בספקטרומטר מנסרה.

מהלך הניסוי:

חלק ראשון – מדידת קבוע הסריג

מהקשר $\sin\left(\frac{\theta_{\min}}{2}\right) = \frac{\lambda}{2d}n$ נשרטט את הגרף של סדר עקיפה n לעומת $\sin\left(\frac{\theta_{\min}}{2}\right)$,

סינוס מחצית זווית ההסחה המינימאלית לסדר זה:



שיפוע הגרף: $a = 0.1592$.
ואז נחשב:

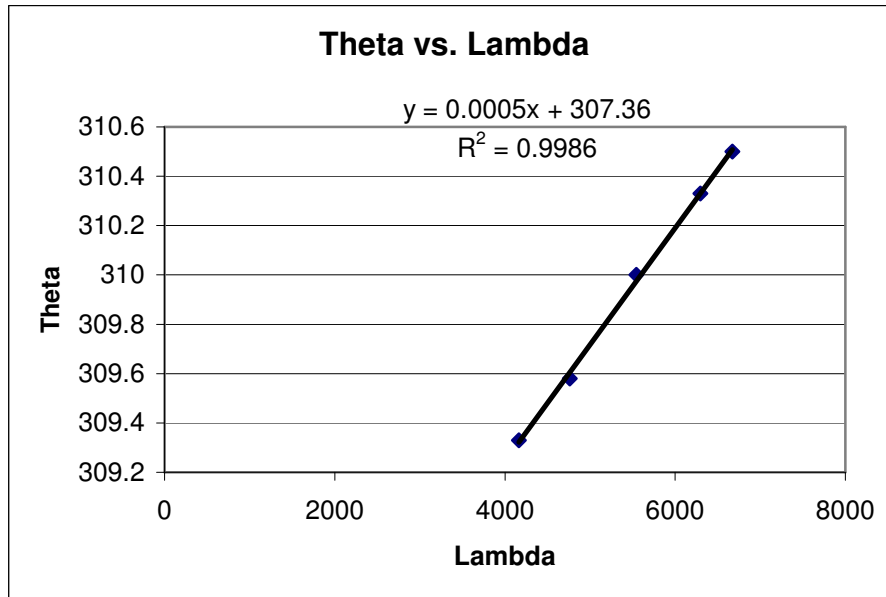
$$d = \frac{\lambda}{2a} = \frac{546.074 \text{ nm}}{2 \cdot 0.1592} = 1.715 \mu\text{m}$$

חלק שני – מדידות ספקטרום הליום בסריג

נמדוד זוויות הסחה מינימאליות ונחשב את אורכי הגל ע"פ הנוסחה הישנה והטובה $2d \sin\left(\frac{\theta_{\min}}{2}\right) = n\lambda$

| צבע [שם טהור] | אורך גל תיאורטי [10^{-10} m] | אורך גל נמדד [10^{-10} m] | זווית [$^{\circ}$] |
|------------------|---|--|-------------------------|
| אדום | 5015.7 | 6671.79 | 23.77 |
| כתום | 4921.9 | 6297.82 | 22.42 |
| ירוק בהיר | 4387.9 | 4163.63 | 14.77 |
| ירוק כהה | 4143.8 | 4639.83 | 16.47 |
| כחול | 4120.8 | 4439.2 | 15.75 |
| סגול | 4387.9 | 4499.88 | 15.97 |
| סגול | 4143.8 | 4144.94 | 14.7 |
| סגול | 4120.8 | 4037.42 | 14.32 |

חלק שלישי – כיוול המנסרה
נשרטט את גרף כיוול המנסרה, כלומר θ_{\min} לעומת λ , עבור מדידות קווי ההליום.



חלק רביעי – מדידת ספקטרום מימן בספקטרומטר מנסרה ממדידת זוויות הקווים, קבלנו את אורכי הגל הבאים:

| $\theta_{\min} [^\circ]$ | $\lambda [10^{-10} m]$ |
|--------------------------|------------------------|
| 311.7 | 5562 |
| 310.2 | 4889 |
| 309.7 | 4665 |
| 309.2 | 4441 |

הנוסחא שנשתמש בה לקביעת קבוע רידברג:

$$\frac{hc}{\lambda} = Ry \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \Rightarrow Ry = \frac{1}{\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)} \frac{hc}{\lambda}$$

הרמה הסופית בכל המעברים הללו בסידרת Balmer היא $n_f = 2$, ולכן

$$Ry = \frac{1}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_i^2} \right)} \frac{12400}{\lambda [10^{-10} m]} [eV]$$

נתאים את אורכי הגל לסוג המעברים ונקבל לסיכום

| $\lambda [10^{-10} m]$ | n_i | $Ry [eV]$ |
|------------------------|-------|-----------|
| 5562 | 3 | 16.05 |
| 4889 | 4 | 13.52 |
| 4665 | 5 | 12.63 |
| 4441 | 6 | 12.56 |

הערך הממוצע לקבוע רידברג שהתקבל ממדידות אלו הוא

$$\overline{Ry} = 13.7 [eV]$$

ואז הדיוק הוא

$$\eta = \frac{|Ry_{\text{experimental}} - Ry_{\text{theoretical}}|}{Ry_{\text{theoretical}}} = \frac{13.7}{13.6} = 0.07$$

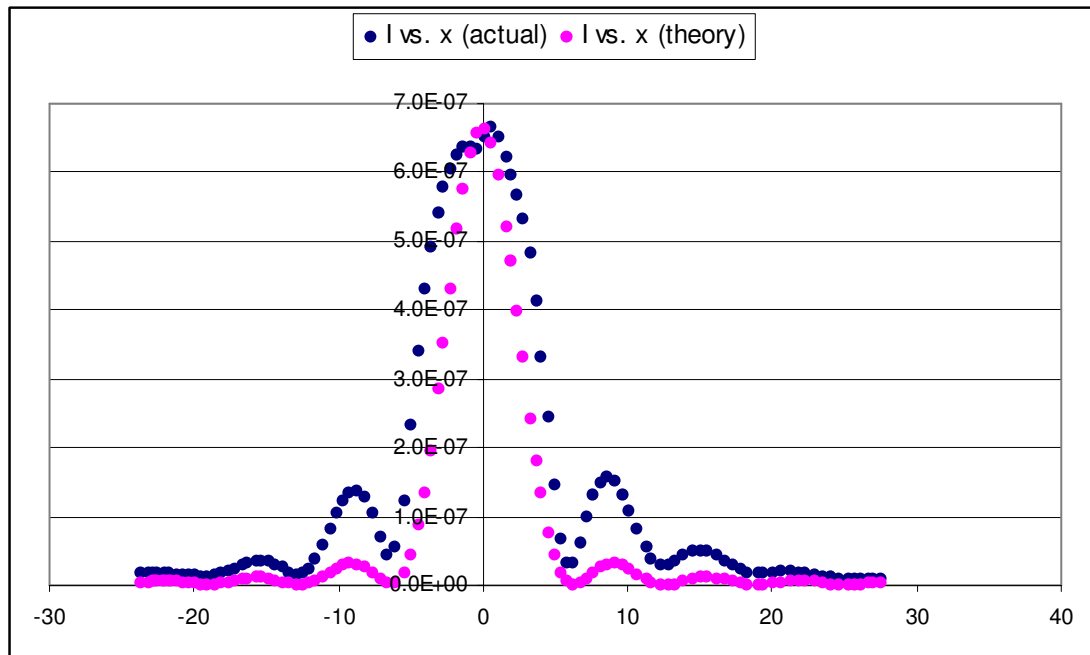
סיכום ומסקנות

- ראינו את הקווים הספקטרליים של המימן ובכך צפינו ויזואלית בפרטונים הנפלטים באנרגיות ידועות מראש.
- מצאנו התאמה לתאוריה בכך שחישבנו את קבוע רידברג בדיוק גדול.
- הקריאה הממוחשבת של הזוויות כניראה ושיפרה את איכות המדידות, לעומת הנוניוס – אולי כדאי לעדכן את חוברת המעבדה?
- לא היה פשוט להבחין בצבעים השונים הספקטרום ההליום – מועד לשגיאות בניסוי.

ניסוי ב.2 – גלי אור

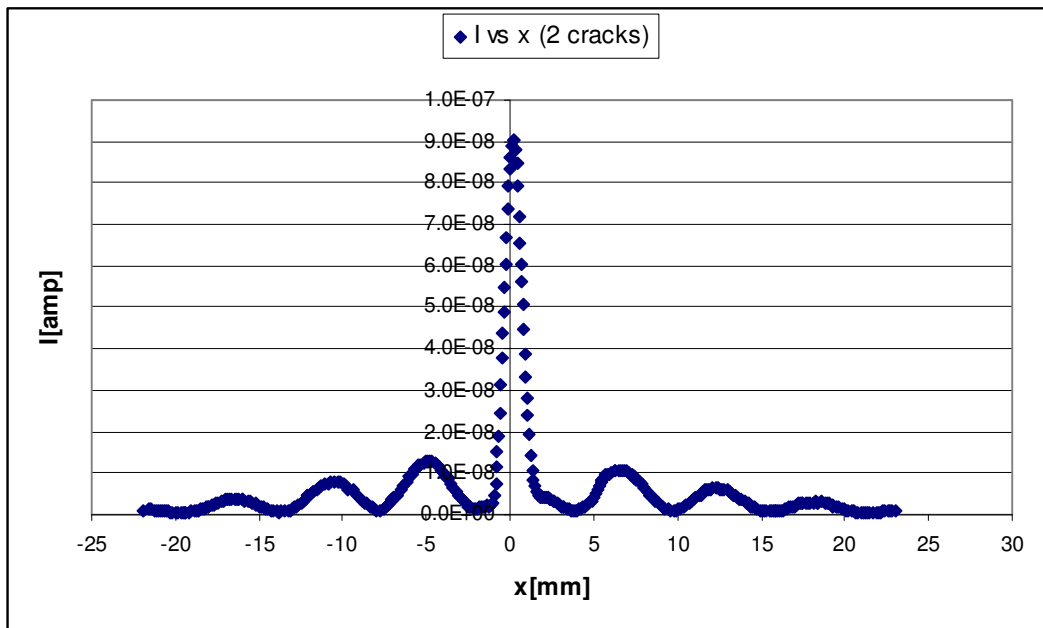
מגישים: אבי בנדל 040517708
 תומר גפנר 060634078
 קבוצה 30-3
 מטרת הניסוי: חקירת התאבכות ועקיפה בגלי אור.

מהלך הניסוי:
 חלק ראשון: עקיפה מסדק יחיד
 בניסוי עקיפה נבחר סדק ברוחב $d = 100[\mu m]$
 זרם החושך של הגלאי $I = 3.8 \cdot 10^{-11} [A]$
 גרף עצמת ההארה כפונקציה של המרחק:



כמובן שזרם החושך השפיע על המדידה. ניתן היה לשרטט גרף מדויק יותר לאחר הפחתה של זרם חושך זה, אם היינו מניחים שההפרעה אחידה לכל עצמת אור נקראת.

חלק שני : התאבכות מזוג סדקים



את נקודות הקיצון קיבלנו במיקומים הבאים :

- מקסימה ראשי : $x = 0$
- מקסימה ימנית : $x = 6.05 \text{ mm}$
- מקסימה שמאלית : $x = -5.79 \text{ mm}$

לחישוב המרחק בין הסדקים a נשתמש בקשר והנתונים הבאים :

$$a \sin(\theta) = n\lambda, \quad n = 1, \quad \lambda = 632.8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

עבור מקסימה ימנית :

$$\tan \theta = \frac{\Delta x}{L} = \frac{6.05}{1000} = 6.56 \cdot 10^{-3}$$

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta} = 104.5 [\mu\text{m}]$$

עבור מקסימה שמאלית :

$$\tan \theta = \frac{\Delta x}{L} = \frac{6.05}{1000} = 5.79 \cdot 10^{-3}$$

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta} = 109.2 [\mu\text{m}]$$

$$\bar{a} = \frac{109.2 + 104.5}{2} = 106.85 \pm 9.4 [\mu\text{m}]$$

נחשב את הממוצע בין תוצאות החישוב : $106.85 \pm 9.4 [\mu\text{m}]$ כלומר, סטייה קלה של 7% מהערך התיאורטי.

חלק שלישי : התאבכות ממערכת סדקים (שריג)
 נחשב את המרחק בין הסדקים ע"פ הנתונים שמדדנו :
 המרחק אל המסך :

$$L = 230[cm]$$

המרחק אל נקודת המקסימום :

$$\delta x = 84[cm]$$

ואז :

$$\tan \theta = \frac{\delta x}{L} \Rightarrow \theta = 20.06^\circ$$

ולכן

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = 2[\text{\AA}]$$

מסקנות מהניסוי ודיון בשגיאות מדידה

- אימתנו בצורה חזותית את תופעת העקיפה בגלי אור.
- חישבנו את אורכי הסדקים דרכם בוצעה העקיפה, ע"י מדידת תנומת ההתאבכות.
- הניסוי לא נעשה בחושך מוחלט ולמרות זאת, קיבלנו התאמה טובה לנוסחאות התיאורטיות לתמונת העקיפה.