



"תכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים"
במימונה של קרן קיסריה אדמונד בנימין דה רוטשילד

עבודת גמר-נפילת מגנט חזק בגליל מוליך

העבודה מוגשת ל: פרופ' אלישע מוזס, ד"ר אמנון חזן, ד"ר
אסתר בגנו

מגישים: הראל גוב, ריאד גרה, חאתם

27/10/2013

מגנט חזק המשוחרר בתוך גליל אלומיניום/נחושת, איננו נופל נפילה
חופשית בתאוצה קבועה, אלא דואה מטה במהירות קבועה. כוח
הכובד מתאזן מהר מאוד ע"י כוח מגנטי השווה לו בגודלו והפוך
בכיוונו. מצא את מהירות נפילתו הקבועה!?

תוכן עניינים

3.....	נפילת מגנט חזק בגליל מוליך – רקע תיאורטי
8.....	חלק ב-ביצוע מדידות
27.....	המלצות לשיפורים והצעות למחקרים עתידיים
28.....	חלק ג-ערכת הדגמה למורה ופעילות תלמידים
34.....	תוכנה לניתוח לקטעי וידאו: VideoExp Ver:3.0.24
	אפשר להוריד תוכנה זו מאתר משרד חינוך או ע"י התקנה מ CDהנקנית עם ספר
34.....	פעילויות במכאניקה של עדי רוזן.
	תוכנה להמרת סרטוני וידאו מפורמט mp4 ל MPG(אפשר להוריד תוכנה זו מהאינטרנט-
37.....	בחינם.)

נפילת מגנט חזק בגליל מוליך – רקע תיאורטי

השאלה

מגנט חזק המשוחרר בתוך גליל אלומיניום/נחושת, איננו נופל נפילה חופשית בתאוצה קבועה, אלא דואה מטה במהירות קבועה. כוח הכובד מתאזן מהר מאוד ע"י כוח מגנטי השווה לו בגודלו והפוך בכיוונו.

מצא את מהירות נפילתו הקבועה !?

כללי

בזמן נפילת המגנט, קטביו משרים זרמי אדי (Eddy Currents) בגליל.

זרמי מערבולת ("זרמי אדי"): זרמים שנוצרים במוליך (בעיקר על שפתו) כאשר המוליך נחשף לשדה מגנטי משתנה. הדבר נגרם משום שאז נוצר כא"מ מושרה לפי חוק פאראדיי האומר ש:

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| ,$$

כאשר \mathcal{E} הוא הכא"מ המושרה הנוצר, ו- Φ_B הוא השטף המגנטי (השדה המגנטי שעובר דרך שטח מסוים). הכא"מ המושרה יוצר אם כן זרמים חשמליים. לפי חוק לנץ, זרמים אלו יוצרים שדה מגנטי שמתנגד לשדה שיצר אותם ("השדה המקורי"), אם השדה המקורי גדל. אבל אם השדה המקורי הולך וקטן, זרמי המערבולת שיווצרו יצרו שדה מגנטי בכיוון השדה המקורי, כדי להגדילו.

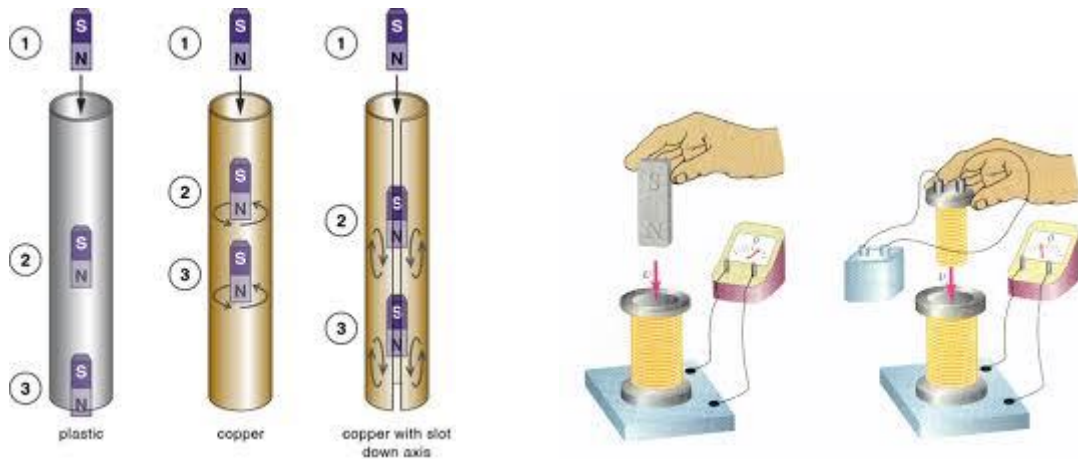
הגליל ומודל כאוסף של מוליכים מעגליים. לכל מוליך מעגלי יש שטח, כך שהמגנט הנופל משנה את השטף המגנטי, ובהתאם לחוק פאראדיי (Faraday's Law) – משרה זרם.

חוק לנץ: בפעולתו המגנטית, הזרם המושרה מתנגד לסיבת היווצרותו. ובאופן ספציפי יותר, השדה המגנטי המושרה על ידי זרם "שואף" לבטל את השינוי בשטף המגנטי היוצר אותו. למעשה, חוק לנץ הוא הסימן השלילי בחוק פאראדיי, אשר קובע את כיוון הכא"מ המושרה:

$$\epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

חוק פאראדיי: קובע, שהשתנות השטף המגנטי דרך תיל מוליך בזמן, גורמת להשראת מתח חשמלי. מתח זה נקרא "כוח אלקטרו מניע" במוליך.

זרמי אדי אלו, יוצרים שדה מגנטי, המאט את נפילת המגנט.



ככל שמהירות הנפילה גדולה יותר, השינוי בשטף המגנטי גדול יותר, זרמי אדי גדולים יותר, הכוח המתנגד לנפילה – גדול יותר. כך שהמגנט מגיע למהירות הסופית (הקבועה) – מהר מאוד.

שיטת החישוב – מאזן אנרגיה

ההספק של כוח הכובד $P_{mg} = Mg v \equiv$ חייב להשתוות להספק (החום) הנפלט במוליך (מהירות המגנט קבועה, כך שאין שינוי באנרגיה קינטית)..

$$P_{conductor} = \int \mathcal{E} dI \equiv$$

חישוב (ראה שרטוט מספר 1)

לשם הנוחיות נעשה אנלוגיה לדיפול חשמלי. נחשב את השטף של כל קוטב. נגזרת עפ"י הזמן של שטף זה ייתן לנו את המתח המושרה היוצר את זרמי אדי.

$$\text{Element of flux} \equiv d\Phi_E = E \cdot 2\pi r \sin \phi \cdot rd\phi$$

גבולות האינטגרל לחישוב השטף של השדה החשמלי המתקבל מהקוטב החיובי +q :

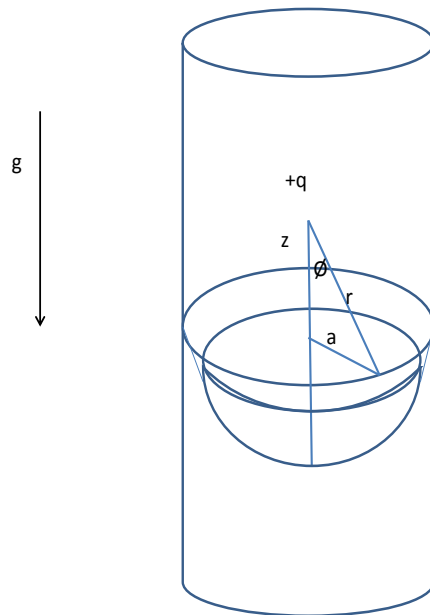
$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{a}{r}\right) \text{ ועד } \phi = 0 \text{ מ}$$

ונקבל :

$$\Phi_{E_+} = E \cdot \int_0^{\sin^{-1}\left(\frac{a}{r}\right)} 2\pi r^2 \sin \phi d\phi = 2\pi r^2 E \cdot (-\cos \phi) \Big|_0^{\sin^{-1}\left(\frac{a}{r}\right)} = 2\pi r^2 E \left(1 - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}}\right)$$

$$\text{כאשר : } z^2 = r^2 - a^2$$

ידוע שהשטף עבור מעטפת כדורית מלאה : $E \cdot A_{sphere} = 4\pi k q$, ולכן :



שרטוט מספר 1

$$\Phi_{E_+} = E \cdot A_{cap} = E \cdot A_{sphere} \cdot \frac{A_{cap}}{A_{sphere}} = 4\pi k q \cdot \frac{2\pi r^2}{4\pi r^2} \cdot \left(1 - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}}\right) = 2\pi k q \cdot \left(1 - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}}\right)$$

נמקם את המטען השלילי במרחק $2l$ מעל המטען החיובי.

כמו כן, נניח ש $z=0$ בפתח העליון של הגליל.

ונקבל :

$$\Phi_{E_1} = 2\pi k(-q) \cdot \left(1 - \frac{z-2l}{\sqrt{a^2 + (z-2l)^2}} \right)$$

כך שהשטף החשמלי הכולל :

$$\Phi_E = 2\pi kq \cdot \left(\frac{z-2l}{\sqrt{a^2 + (z-2l)^2}} - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right)$$

ובאנלוגיה למומנט מגנטי של דיפול מגנטי (המורכב מ 2 קטבים מגנטיים q^* ו $-q^*$) :

$m = 2q^*l$ מומנט דיפול מגנטי. נקבל:

$$\Phi_B = 2\pi k' q^* \cdot \left(\frac{z-2l}{\sqrt{a^2 + (z-2l)^2}} - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right)$$

ועפ"י חוק פאראדיי, נקבל :

$$\begin{aligned} \varepsilon = \frac{d\Phi_B}{dt} &= 2\pi k' q^* \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + (z-2l)^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + z^2}} - \frac{(z-2l)^2}{(a^2 + (z-2l)^2)^{3/2}} + \frac{z^2}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right) \cdot \frac{dz}{dt} = \\ &= 2\pi k' q^* a^2 \cdot v \cdot \left(\frac{1}{(a^2 + (z-2l)^2)^{3/2}} - \frac{1}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right) \end{aligned}$$

ההספק של טבעת יחידה בעלת רוחב dz יהיה : $dP = \varepsilon dl$. נסמן את המוליכות ב G .

$$G = \frac{1}{R}$$

$$dl = \varepsilon dG$$

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$dG = \frac{1}{\rho L} \cdot dA$$

$$L = 2\pi a$$

כאשר שטח החתך הוא $\omega \cdot dz$. ונקבל :

$$dP = \varepsilon \cdot dI = \varepsilon^2 \cdot \frac{\omega}{2\pi\rho a} dz = \frac{4\pi^2 k'^2 q^{*2} a^4 \cdot v^2 \omega}{2\pi\rho a} \cdot \left(\frac{1}{(a^2 + (z-2l)^2)^{3/2}} - \frac{1}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right)^2 dz$$

ומאחר והשדה המגנטי דועך מהר עם המרחק, והמגנט מגיע למהירות הקבועה מהר מאוד – נוכל להניח גליל אינסופי ולעשות את האינטגרל בהתאם. ונקבל :

$$P = \frac{2\pi k'^2 q^{*2} a^3 \cdot v^2 \omega}{\rho} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{1}{(a^2 + (z-2l)^2)^{3/2}} - \frac{1}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right)^2 dz$$

$$P = \frac{45\pi^2 k'^2 (2lq^*)^2 v^2 \omega}{64\rho a^4}$$

נזכור ש : $m = 2q^* l$. וכמו כן : $P_{mg} = Mgv$.

נקבל את הקשר :

$$v = \frac{64Mg\rho \cdot a^4}{45\pi^2 k'^2 m^2 \omega}$$

חלק ב-ביצוע מדידות

ניסוי #1:

המטרה: מדידת הכוח המגנטי המושרה שמפעיל הצינור על המגנט.

ציוד:

1. מאזניים רגישים
2. מגנט חזק. משקלו 0.195 ק"ג- וקוטרו 2 אנץ'.
3. צינור חלול עשוי אלומיניום-חמרן- קוטר פנימי 54.0 מ"מ –עובי דופן 3 מ"מ
4. קופסת קלקל במשקל 55גרם

מהלך הניסוי:

מניחים את הצינור על גבי מאזניים רגישים וקוראים את הורייית המאזניים לפני נפילת המגנט, שזה בעצם משקל הצינור.לאחר מכן מפילים אל תוך הצינור המגנט שפרטיו רשומות למעלה, תוך כדי הנפילה קוראים הורייית המאזניים הקבועה. נא להקיש על הקישור. לשים לב לקריאת המאזניים בהתחלה וגם במשך הנפילה.

[תיעוד יום ד 4 יולי 2012 MOV.012](#)

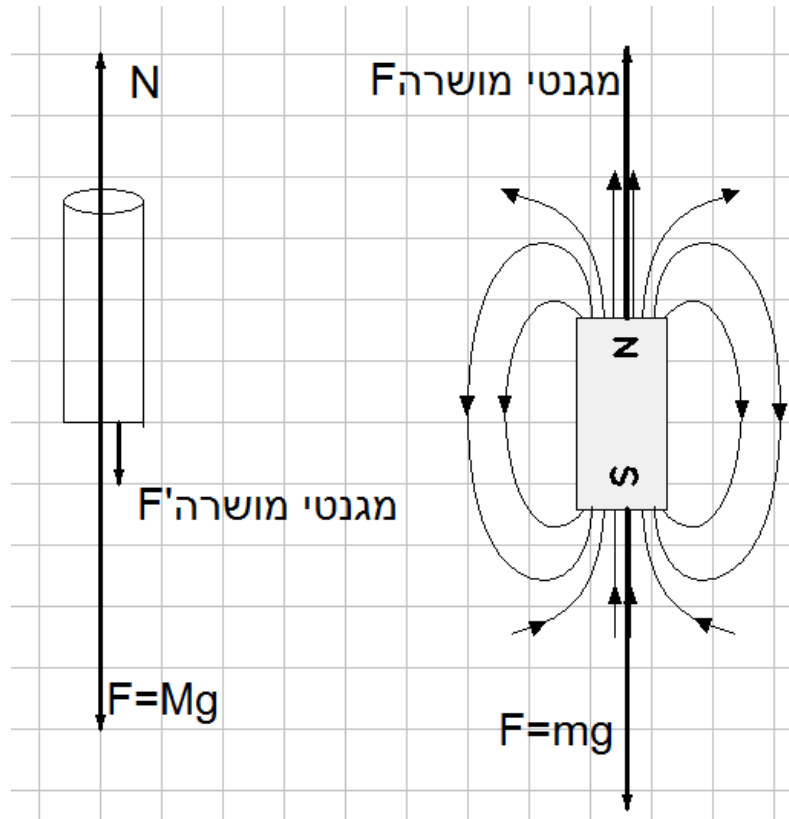
<https://www.dropbox.com/s/t4n02qttr79aji2/%D7%AA%D7%99%D7%A2%D7%95%D7%93 %D7%99%D7%95%D7%9D%20%D7%93 4%20%D7%99%D7%95%D7%9C%D7%99%202012%20012.MOV>

ניתוח התוצאה: למה המאזניים מראים משקל יותר ממשקל הצינור במשך הנפילה?

בזמן הנפילה יש שינוי שטף מגנטי בצינור ולכן לפי פאראדי מתפתח כא"מ זרם מושרה שמתנגד לסיבת היווצרותו -לפי לנץ. כוח זה מופנה כלפי מעלה ומאזן את כוח הכובד של המגנט. ואז על המגנט פועלים שתי כוחות המשקל כלפי מטה והכוח המגנטי המושרה.וכפי שנראה בהמשך תנועת המגנט היא מהירות קבועה. ולכן שקול הכוחות הפועלים על המגנט שווים לאפס.

עכשיו לפי חוק ניוטון השלישי אם הצינור מפעיל כוח על המגנט אז המגנט מפעיל כוח שווה ומנוגד במגמתו על הצינור. ולכן אם נסתכל על הכוחות הפועלים על הצינור והם משקל הצינור כלפי מטה, וכוח התגובה שמפעיל המגנט על הצינור כלפי מטה וכוח הנורמאלי שמפעיל המאזניים על הצינור.

היות והצינור נמצא במנוחה אזי הוא בשווי משקל ועל פי חוק ניוטון הראשון שקול הכוחות הפועלים עליו שווה לאפס. ולכן מקבלים שכוח הנורמאלי – שהם בעצם קריאת המאזניים – משתווה לסכום הכוח הכובד של הצינור ולכוח המגנטי המושרה הנגדי.



$$\sum F = 0 \rightarrow \rightarrow F_{\text{מושרה}} = mg$$

$$\sum F_{\text{צינור}} = 0 \rightarrow \rightarrow N - F_{\text{מושרה}} - Mg = 0 \rightarrow N = Mg + mg$$

וכפי שציינו קריאת המאזניים היא בעצם הכוח הנורמאלי ולכן הצבת מסת המגנט ומסת הצינור אל תוך המשוואה מקבלים את הערך הדרוש.

להלן מתואר ניסוי דומה שבו המשקל שמראה המאזניים:

תרשים א המאזניים מאופס ללא כל משקל. ותרשים ב מראה את משקל הקלקל

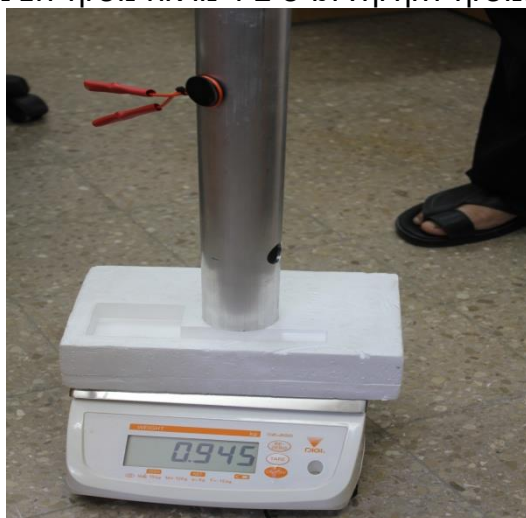


תרשים ב'



תרשים א'

תרשים ג-המאזניים מראים את משקל המגנט ומשקל הקלקל. תרשים ד מראה משקל הצינור



תרשים ד'



תרשים ג'

תרשים ה מראה את משקל מגנט+צינור +קלקל. תרשים ו'-מראה את המשקל בזמן נפילת המגנט



תרשים ו'



תרשים ה'

ניסוי #2:

מטרת הפעילות: חקר תנועת מגנט בצינור מבודד לעומת נפילת מגנט אל תוך צינור אלומיניום.

רשימת ציוד:

1. סרגל באורך מטר.
2. מגנט חזק משקלו 0.195 ק"ג- וקוטרו 2 אינץ'. שאר הפרטים הטכניים למגנט בנספח.
3. צינור אלומיניום-חמרן- קוטר פנימי 54.0 מ"מ-עובי דופן 3 מ"מ
4. מצלמת וידיאו\סמארט פון.
5. מחשב מצויד בתוכנת המרת קבצי mp4 ל mpg
6. תוכנת ניתוח סרטוני וידיאו.
7. סרט נייר.



מערכת הניסוי :





ביצוע ניסוי:

לאחר הרכבת המערכת נשחרר את המגנט סמוך מאד לפתח הצינור ובאותו רגע מתחילים להסריט במצלמת וידאו את תנועת הפס השחור.

[מדידות 5 יולי 2012 MOV.002](#)

<https://www.dropbox.com/s/h5vnpnnfkxie38/%D7%9E%D7%93%D7%99%D7%93%D7%95%D7%AA%205%20%D7%99%D7%95%D7%9C%D7%99%202012%20002.MOV>

תוצאות ועיבוד תוצאות:

את הסרטון הזה מעבירים למחשב שבעזרת תוכנת המרה מפורמט mp4 לפורמט mpg ובעזרת תוכנת ניתוח סרטוני וידאו מקבלים מידע על אופי התנועה.

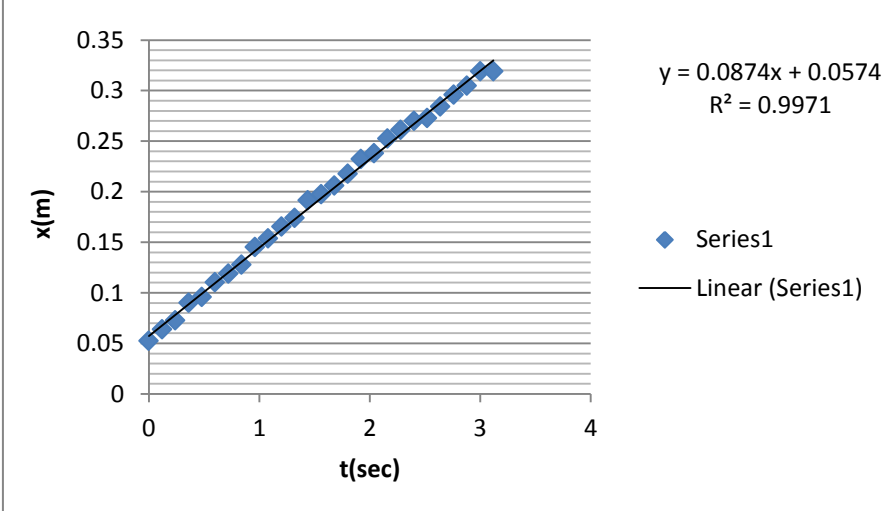
באותו אופן לגבי הפלת המגנט אל תוך צינור הפלסטיק.

להלן התוצאות שקיבלנו:

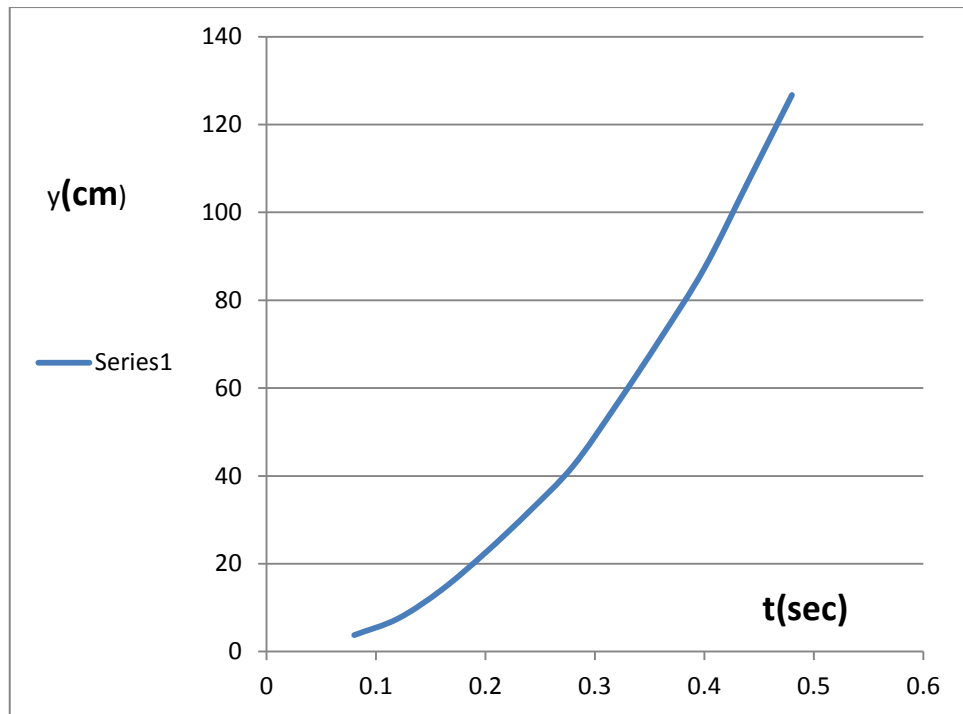
הטבלה הבאה והגרף שליד הטבלה מתאימים לנפילת המגנט אל תוך צינור האלומיניום

t (s)	x (m)	t(s)	x(m)
1.56	0.197271	0	0.052219
1.68	0.205975	0.12	0.063823
1.8	0.217579	0.24	0.072526
1.92	0.232084	0.36	0.089933
2.04	0.237886	0.48	0.095735
2.16	0.252391	0.6	0.11024
2.28	0.261094	0.72	0.118943
2.4	0.269798	0.84	0.127646
2.52	0.272699	0.96	0.145052
2.64	0.284303	1.08	0.153756
2.76	0.295907	1.2	0.16536
2.88	0.30461	1.32	0.174063
3	0.319115	1.44	0.191469
3.12	0.319115		

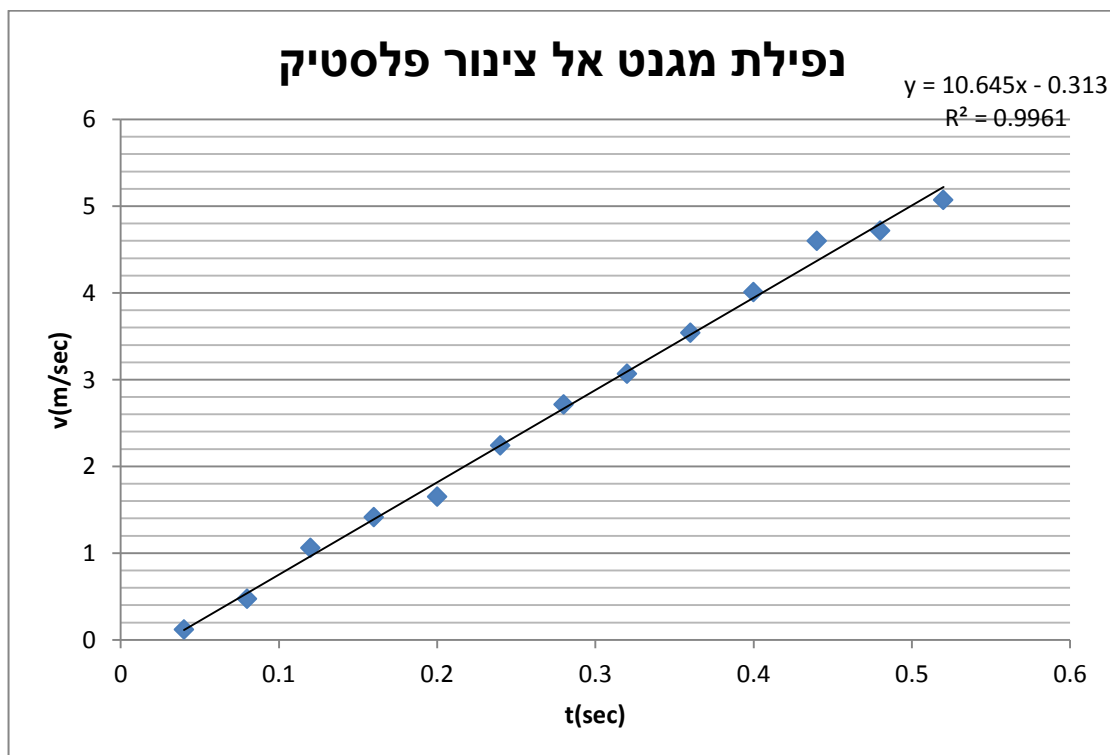
מדידת מיקום בתלות בזמן בנפילת מגנט בצינור אלומיניום



ולגבי נפילת מגנט בצינור פלסטיק בנפילה חופשית קיבלנו:



והגרף למהירות כפונקציה של הזמן :



ניתוח התוצאות

לאחר עיון בתוצאות שקיבלנו לעיל אפשר להסיק בבירור :

1. נפילת המגנט אל תוך צינור פלסטיק היא תנועה מואצת ומתוך שיפוע הגרף מהירות כנגד זמן התאוצה היא תאוצת הכובד ועל כן הכוח היחידי הפועל על המגנט בזמן נפילתו אל תוך הצינור היא כוח הכובד.
2. אין קיום לזרם המושרה וזה היה צפוי כי בפלסטיק החומר הוא מבודד ולא נוצר בו זרם על אף קיום שינוי שטף בזמן הנפילה. ועל כן לא מתפתח זרם מושרה , ולא מתקיים כוח מושרה נגדי לכוח הכובד.
3. שנפילת המגנט אל תוך צינור מוליך אינה נפילה חופשית. אלא התנועה היא תנועה במהירות קבועה . ועל כן מתוקף החוק הראשון של ניוטון שקול הכוחות שווה לאפס ועל כן הכוח המגנטי המושרה מתאזן עם כוח הכובד. וזה מוביל לאותה מסקנה שקיבלנו מהניסוי הראשון.
4. קיים זרם מושרה בדופן הצינור שנוצר עקב שינוי השטף המגנטי לפי חוק פאראדי.היות והצינור הוא מוליך זרם זה הוא האחראי להיווצרות כוח מגנטי מושרה.
5. גודל המהירות הקבועה בצינור האלומיניום הנ"ל היא ! 8.74cm/sec

ניסוי #3:

מטרת הפעילות: חקר תנועת מגנט בצינור אלומיניום בעלי עובי דופן שונה והשפעתו על מהירות המגנט ..

רשימת ציוד :

1. סרגל באורך מטר.
2. מגנט חזק משקלו 0.195 ק"ג- וקוטרו 2 אנץ'. שאר הפרטים הטכניים למגנט בנספח.
3. צינור אלומיניום –חמרן- קוטר פנימי 54.0 מ"מ –עובי דופן 3 מ"מ
4. צינור אלומיניום –חמרן- קוטר פנימי 57.0 מ"מ –עובי דופן 1.5 מ"מ
5. מצלמת וידיאו\סמארט פון.
6. מחשב מצויד בתוכנת המרת קבצי mp4 ל mp3
7. תוכנת ניתוח סרטוני וידיאו.
8. סרט נייר.

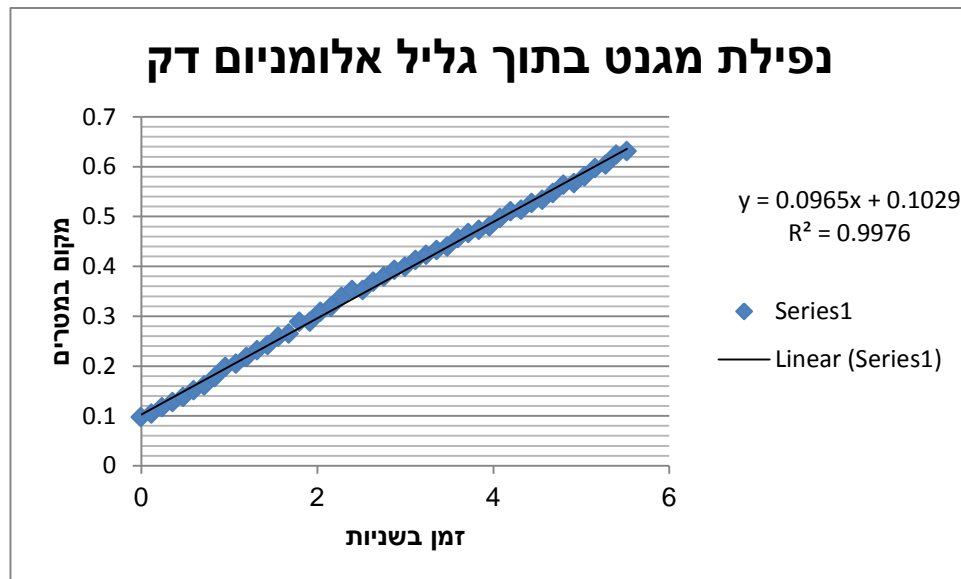
מהלך הניסוי דומה לזה שבניסוי 2. התוצאות עבור צינור האלומיניום בעל עובי דופן 3 מ"מ הן איך שהובאו למעלה , ועל כן אני מסתפק בהצגת התוצאות עבור צינור האלומיניום 1.50 מ"מ.

הערה: לא היה באפשרות המעבדה להזמין צינור אלומיניום בעל אותו קוטר פנימי זהה לצינור הראשון.

עיבוד התוצאות נעשה באופן דומה למה שנעשה בניסוי 2. על אופי השימוש בתוכנת ההמרה של קבצי ה mp4 ל קבצי mpeg עבור שימוש בתוכנת ניתוח סרטוני וידיאו אפשר לעיין בנספח.

תוצאות ועיבוד תוצאות

t (s)	x(m)	t (s)	x(m)	t(s)	x(m)
3.84	0.473058	1.92	0.288532	0	0.097296
3.96	0.479769	2.04	0.308662	0.12	0.104006
4.08	0.496544	2.16	0.318727	0.24	0.117426
4.2	0.509964	2.28	0.338858	0.36	0.127491
4.32	0.513319	2.4	0.352278	0.48	0.137556
4.44	0.526739	2.52	0.352278	0.6	0.150976
4.56	0.533449	2.64	0.369053	0.72	0.161041
4.68	0.546869	2.76	0.379118	0.84	0.177816
4.8	0.563644	2.88	0.392538	0.96	0.197946
4.92	0.566999	3	0.399248	1.08	0.204657
5.04	0.580419	3.12	0.412668	1.2	0.218077
5.16	0.597194	3.24	0.422733	1.32	0.231497
5.28	0.603904	3.36	0.432798	1.44	0.241562
5.4	0.624035	3.48	0.439508	1.56	0.258337
5.52	0.630745	3.6	0.456283	1.68	0.265047
		3.72	0.466348	1.8	0.288532



ניתוח התוצאות:

1. לאור התוצאות שקיבלנו אנו נאמץ את המסקנות 3,4,5, שקיבלנו בניסוי ה-2.
2. בנוסף אנו רואים שהמהירות בצינור הדק היא 9.65cm/s לעומת הצינור העבה יותר. וזה עולה בקנה אחד עם הנוסחה שקיבלנו עבור המהירות..המהירות היא ביחס הפוך לעובי הדופן.
3. גודל המהירות שקיבלנו **אינו** גדול פי שניים מגודל המהירות מאשר הצינור הדק על אף שהעובי קטן פי שניים! על הסיבה אפשר לחשוב בגלל שהמרווח בין המגנט לבין הדופן הפנימית של הצינור הדק, גדול יותר, וכנראה שיש השפעה על תוצאות המדידה. בגלל שלא היה אפשר לספק לנו צינור בעל קוטר פנימי זהה ונבדלים רק בעובי דופן היה קשה לקבוע באופן חד משמעי -על סמך תוצאת הניסוי את ממצאי המהירות שקיבלנו.

ניסוי #4:

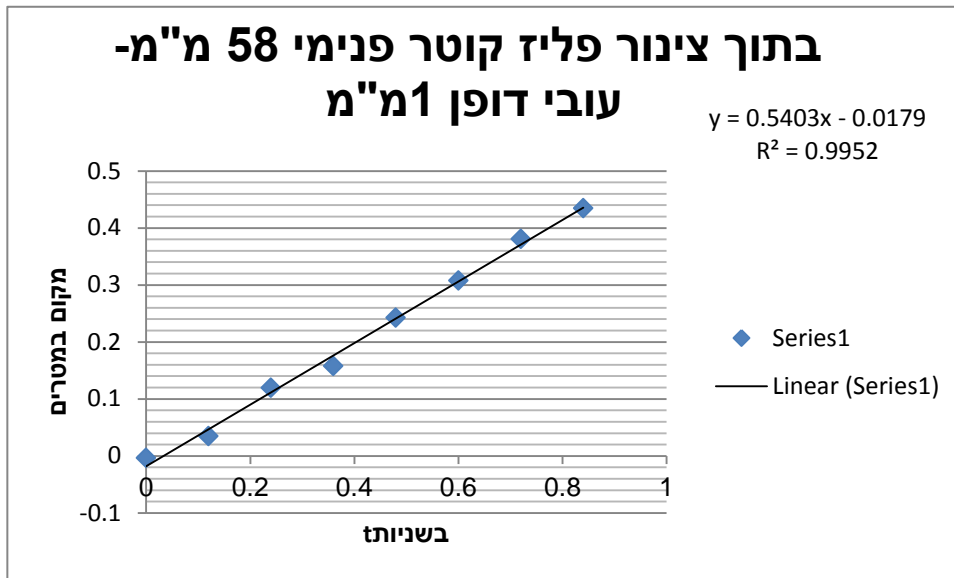
מטרת הפעילות: חקר תנועת מגנט בצינור עשוי חומר פליז והשוואתו עם צינור האלומיניום הדק והשפעתו על מהירות המגנט. (דין קיימת השפעת עובי דופן המוליך)

רשימת ציוד :

1. סרגל באורך מטר.
 2. מגנט חזק משקלו 0.195ק"ג וקוטרו 2אנ"ל . שאר הפרטים הטכניים למגנט בנספח.
 3. צינור פליז קוטר חיצוני 60מ"מ וקוטר פנימי 58.0מ"מ –עובי דופן 1מ"מ
 4. צינור אלומיניום –חמרון- קוטר חיצוני 60מ"מ קוטר פנימי 57.0מ"מ –עובי דופן 1.5מ"מ
 5. מצלמת וידיאו\סמארט פון.
 6. מחשב מצויד בתוכנת המרת קבצי mp4 ל mp3
 7. תוכנת ניתוח סרטוני וידיאו.
 8. סרט נייר.
- אופן הביצוע הוא דומה לניסויים הקודמים ועל כן אני לא אפרט, ומסתפק בהצגת התוצאות.

תוצאות ועיבוד תוצאות

להלן עיבוד מוצגת טבלה המתארת את עקבות המגנט במהלך תנועתו. היה בולט המהירות הגדולה יחסית של המגנט ולכן מספר הנקודות של הדגימה היה קטן בהשוואה לצינורות הקודמים:



t(s)	x(m)
0	-0.00384
0.12	0.034588
0.24	0.119137
0.36	0.157569
0.48	0.242118
0.6	0.307451
0.72	0.380471
0.84	0.434275

ניתוח תוצאות:

1. המהירות בצינור הפליז היא קבועה וגודלה 54cm/sec.
2. מתוך הנוסחא של המהירות שהוזכרה בחלק התיאורטי ראינו שהמהירות פרופורציונאלית להתנגדות הסגולית של החומר של הצינור וביחס הפוך לעובי. אם מחשבים את יחס המהירות $\frac{v_{\text{פליז}}}{v_{\text{אלומיניום}}} = \frac{54}{9.65} = 5.59$ ולפי הנוסחא היחס הזה $\frac{v_{\text{פליז}}}{v_{\text{אלומיניום}}} = \frac{\rho_{\text{פליז}} \cdot w_{\text{אלומיניום}}}{\rho_{\text{אלומיניום}} \cdot w_{\text{פליז}}} = \frac{7.5 \cdot 10^{-8} \cdot 1.5}{2.7 \cdot 10^{-8} \cdot 1} = 4.16$
3. עוד פעם ההבדל בין התוצאות נובע בגלל המרווח בין המגנט והצינור. ככל שמרווח זה גדול יותר המהירות תהיה יותר גדולה.
4. אפשר גם לבדוק את היחס הנ"ל עבור צינור האלומיניום העבה:

$$\frac{v_{\text{פליז}}}{v_{\text{אלומיניוםעבה}}} = \frac{54}{8.7} = 6.20$$

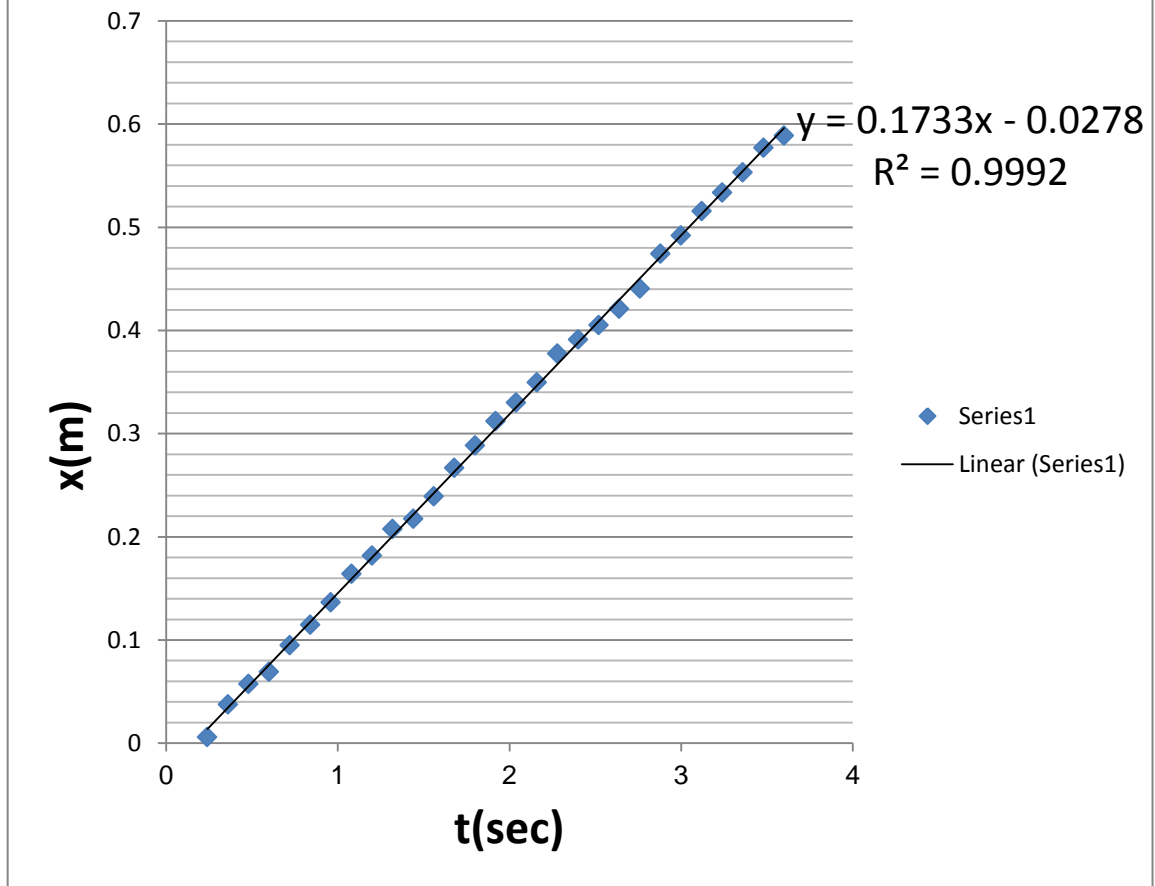
$$\frac{v_{\text{פליז}}}{v_{\text{אלומיניוםעבה}}} = \frac{\rho_{\text{פליז}} W_{\text{אלומיניום}}}{\rho_{\text{אלומיניום}} W_{\text{פליז}}} = \frac{7.5 \cdot 10^{-8} 3}{2.7 \cdot 10^{-8} 1} = 8.33$$

אפשר להביא כאן גם את המדידות שביצענו בצינור נחושת שמימדיו הם כדלקמן:

$\rho[\Omega\text{m}]$	עובי דופן m " m	קוטר פנימי m " m	קוטר חיצוני m " m	סוג צינור\מימדים
1.8×10^{-8}	2	62.5	66.6	נחושת

t(s)	x(m)	t(s)	x(m)
1.8	0.288456	0	0
1.92	0.312165	0.12	-0.0079
2.04	0.329947	0.24	0.005927
2.16	0.349704	0.36	0.037539
2.28	0.377364	0.48	0.057296
2.4	0.391194	0.6	0.069151
2.52	0.405024	0.72	0.094835
2.64	0.42083	0.84	0.114592
2.76	0.440588	0.96	0.136325
2.88	0.474175	1.08	0.163985
3	0.491957	1.2	0.181767
3.12	0.515665	1.32	0.207452
3.24	0.533447	1.44	0.21733
3.36	0.553204	1.56	0.239063
3.48	0.576913	1.68	0.266723
3.6	0.588767		

מקום זמן בצינור נחושת-מדידות 11-4-2013



$$\frac{V_{\text{פליזת}}}{V_{\text{נחושת}}} = \frac{\rho_{\text{פליזת}}}{\rho_{\text{נחושת}}} \frac{W_{\text{נחושת}}}{W_{\text{פליזת}}} \frac{a_{\text{פליזת}}^4}{a_{\text{נחושת}}^4} = \frac{7.5 \cdot (10^{-8})}{1.8 \cdot (10^{-8})} \frac{2}{1} \frac{30^4}{33^4} = 5.6$$

ולפי התוצאות בניסוי קיבלנו

$$\frac{v_{\text{פליזת}}}{v_{\text{נחושת}}} = \frac{54}{17.3} = 3$$

עדיין בולטת השפעת המרווח בין המגנט לדופן הפנימי של הצינור.

ניסוי #5:

מטרת הפעילות:

חקירת הזרמים הנוצרים בגליל :

1. חקירת מיקום הזרם \ הכא"מ המושרה.
2. צורת השתנות הזרם \ הכא"מ המושרה במקום שמתהווה בדופן הצינור .
3. א. כיוון ועצמת הזרמים.
- ב. תלות כיוון ועוצמת הזרמים במיקום המגנט הקבוע.

השלות שנשאלו בהקשר זה הם:

- א. האם קיים זרמים לאורך הצינור?
- ב. האם קיים זרמי מערבולת בדופן הצינור.
- ג. האם קיים זרמים היקפיים ?
- ד. האם קיים זרמים לאורך עובי הצינור?

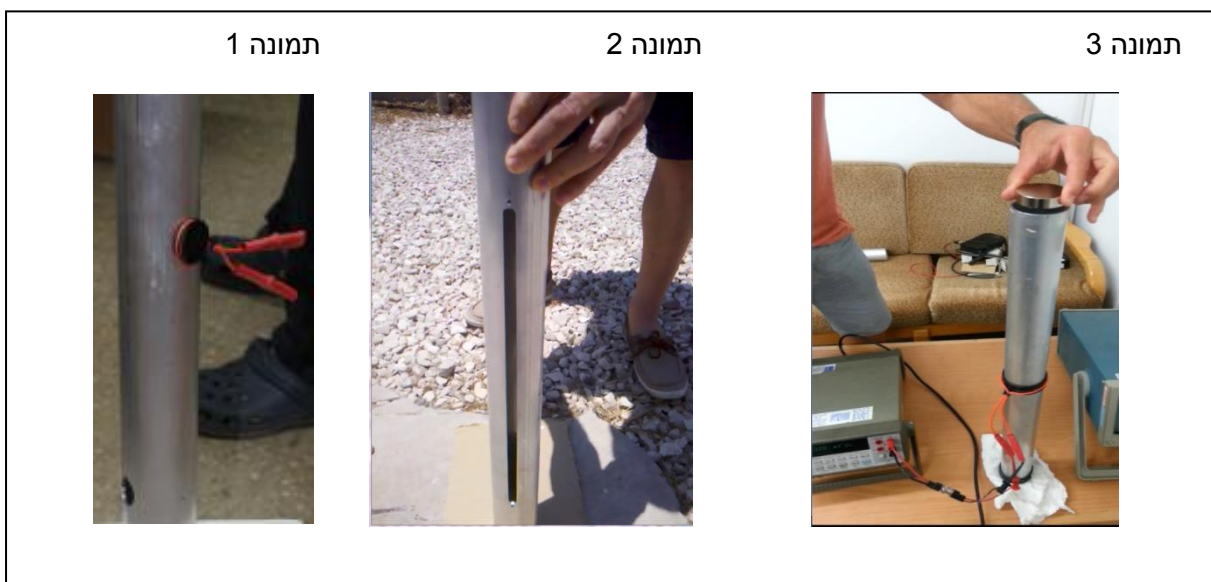
רשימת ציוד :

1. מגנט חזק משקלו 0.195 ק"ג- וקוטרו 2 אנץ'. שאר הפרטים הטכניים למגנט בנספח.
2. צינור אלומיניום נפער פתחים על הדופן תמונה 1
3. צינור אלומיניום שלאורכו נפתח חריץ תמונה 2
4. צינור אלומיניום שעל היקפו נפתח חריץ תמונה 3

5. רב מודד רגיש במיוחד
6. חוטי חיבור מתאימים.
7. תוכנה הדוגמת את המדידות לגרף. (A\D CARD NATIONAL INSTRUMENT 16 bit)

מהלך הניסוי וביצוע מדידות איכותיות

- א. התחלנו לבדוק קיום זרמי מערבולת בדופן הצינור. –תמונה 1. הפלנו את המגנט אל תוך הצינור, לאחר שחיברנו את קצוות החוטים לרב מודד דיגיטלי רגיש. נוכחנו לדעת שברב המודד לא נמדד זרם כאשר המגנט היה רחוק יחסית מהחור הנפער, אולם ברגע המעבר סמוך מאוד לחריץ הרב מודד הצביע על זרם. חשוב לציין כאשר הקטנו היקף הלולאה הרב מודד הצביע על זרם גדול יותר.
- ב. לאחר מכן התחלנו לבדוק קיום זרם לאורך הצינור ובשביל זה הכנסנו חוט בצורת מלבן אל תוך החריץ –ראה תמונה 2. במשך כל תנועת המגנט לא נמדד זרם. ועל כן הגענו למסקנה שלא קיים זרם מושרה שזורם לאורך הצינור.
- ג. לא היה באפשרותנו למדוד קיום זרם מושרה לאורך עובי הצינור מסיבות טכניות. ועל כן ויתרנו על מדידה כזו.
- ד. את הזרם המשמעותי נמדד לאורך היקף הצינור ועוצמתו היגעה למקסימום ברגע מעבר המגנט בלולאת המדידה. -ראה תמונה 3.



הסבר קצר על המערכת אפשר לצפות בסרטון המצורף להלן:

[מדידת זרם היקפי. mp4](https://www.dropbox.com/s/8x0qhcv30zs93we/%D7%9E%D7%93%D7%99%D7%93%D7%A%D7%96%D7%A8%D7%9D%20%D7%94%D7%99%D7%A7%D7%A4%D7%99.mp4)

<https://www.dropbox.com/s/8x0qhcv30zs93we/%D7%9E%D7%93%D7%99%D7%93%D7%A%D7%96%D7%A8%D7%9D%20%D7%94%D7%99%D7%A7%D7%A4%D7%99.mp4>

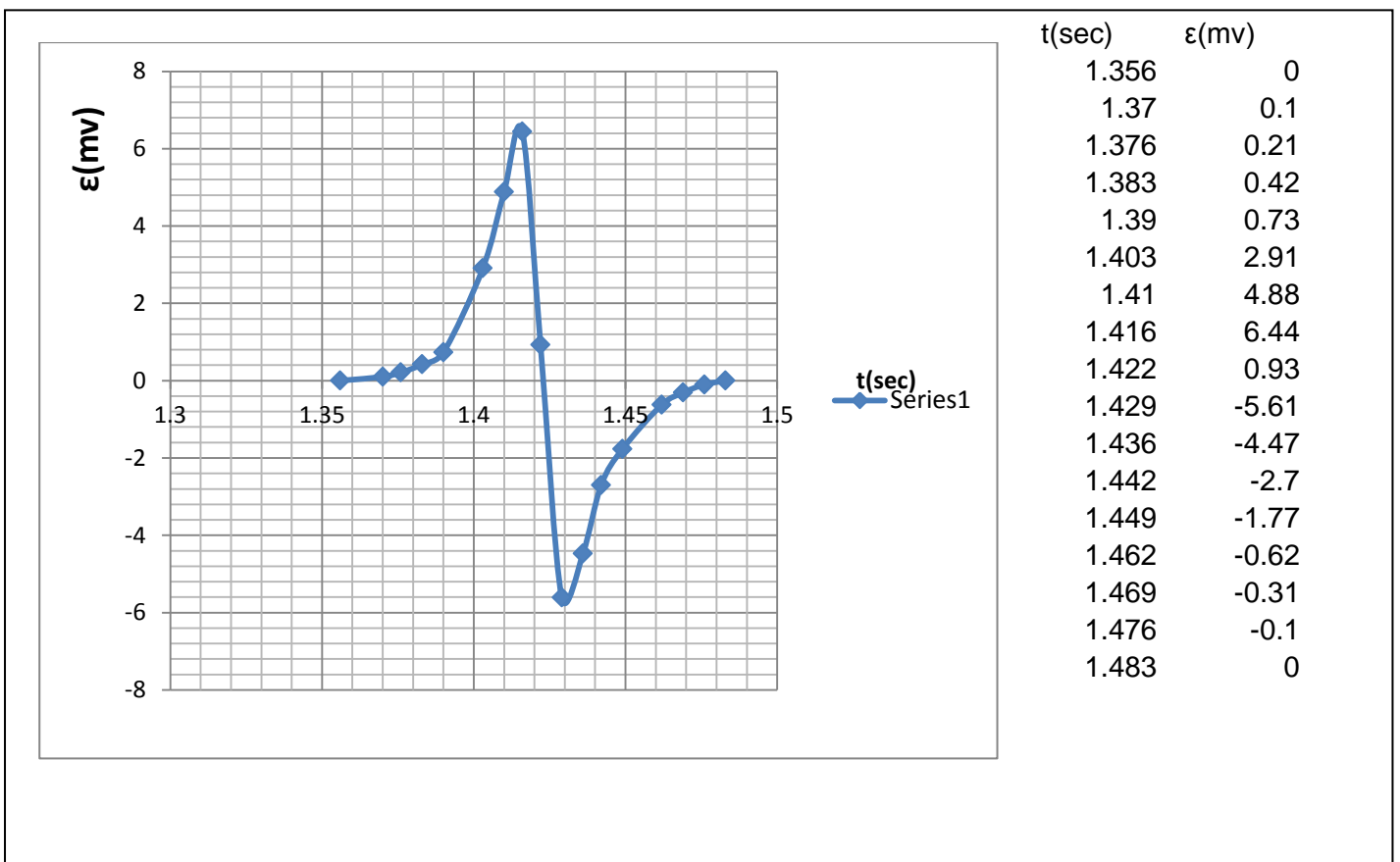
רישום ועיבוד תוצאות

לאור המדידות האיכותיות הנ"ל התמקדנו בזרם הזורם בהיקף הצינור. על מנת לתעד את אופי שינוי הזרם נעזרנו בתוכנה מיוחדת שסיפק לנו יורי מהמחלקה ובאישורו של פרופסור אלישע. תוכנה זאת תפקידה לדגום את ערכי המתח אשר נמדדות ע"י מד המתח ולאחר מכן מקבלים גרף השתנות הזרם כפונקציה של הזמן.

חשוב לציין שהמדידה בעזרת אוסצילוסקופ לא הצליחה על אף כל הניסיונות והמאמץ שהושקע לשם מטרה זו. וזאת הזדמנות להודות ליורי בעזרתו בהפקת הגרף המתואר למטה.

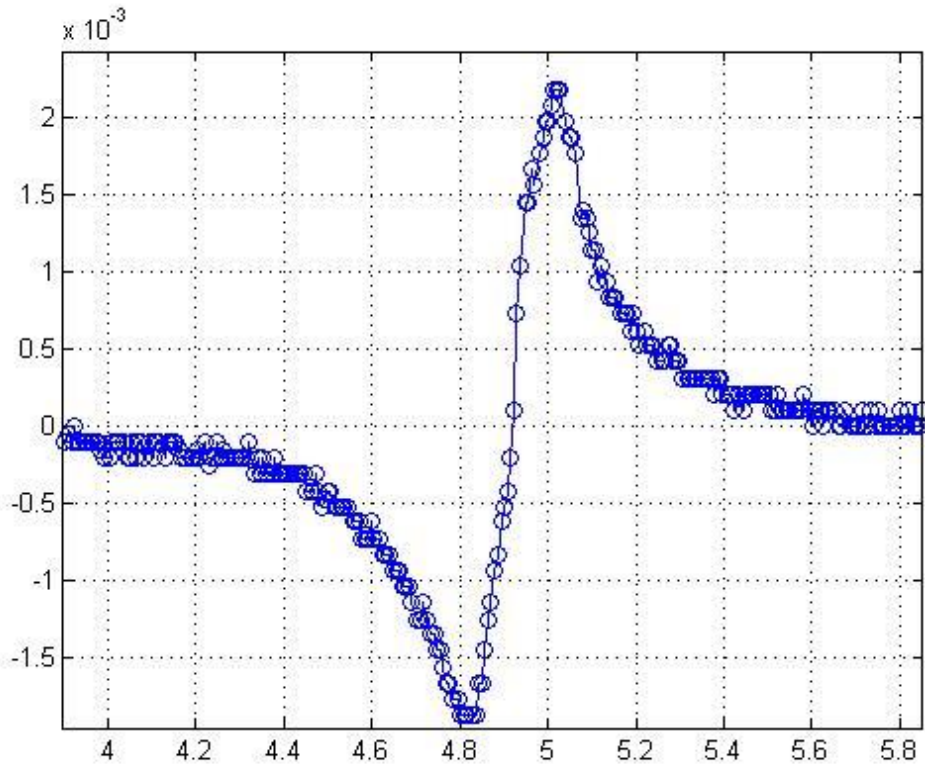
הציר האופקי-זמן בשניות. והציר האנכי הכא"מ המושרה-במילי וולט.

ציור 1-הכא"מ המושרה בלולאה של צינור אלומיניום קוטר פנימי 54.0 מ"מ –עובי דופן 3 מ"מ



ציור 2- צינור אלומיניום –חמרן- קוטר פנימי 57.0 מ"מ –עובי דופן 1.5 מ"מ קיבלנו:

עכשיו הציר האנכי בוולטים והציר האופקי בשניות:



מסקנות:

1. קיים זרם מושרה לאורך היקף הצינור.
2. עוצמת הכא"מ המושרה/הזרם המושרה משתנה ומתחיל להיות משמעותי בהגיע המגנט סמוך ללולאה. וסמוך מאד לעזיבתה.
3. כוון הזרם המושרה משתנה : לפני מעבר המגנט את הלולאה עם כוון השעון , ולאחר המעבר –נגד כוון השדה. חוק לנץ מתקיים ובר הבחנה.
4. גודל הכא"מ והזרם המושרים תלויים בעובי הדופן-ככל שהעובי גדול יותר הכא"מ והזרם המושרים גדולים יותר.

המלצות לשיפורים והצעות למחקרים עתידיים

התופעה אשר חקרנו למעלה היא אחת התופעות המעניינות והמרתקות ביותר, אבל ללא ספק נתקלנו בכמה בעיות ביצוע ובעיות באספקת חומר, חלק שפתרנו וחלק אפשר היה לעשות יותר טוב.

אחת הבעיות הייתה בלהשיג צינורות מחומרים שונים ובעלי אותו עובי דופן. עוד בעיה הייתה בלהשיג צינורות בעלי אותו חומר אבל בעלי עובי דופן שונה. ובכך הקושי בכדי לבודד משתנה אחד בלבד.

עלה בינינו רעיון שאפשר לחקור זאת ע"י שימוש בגליל הבנוי מנייר אלומיניום אבל זה היה מאוחר וצריך להזמין הזמנה מיוחדת המתאימה לאותו מגנט שברשותנו וזה גם היה מאוחר. כמוכן היה לנו עוד קשיים בביצוע המדידות חלק ניכר התגברנו וחלק לא. אחת מהן לא הצלחנו ללמוד על קיום או אי קיום זרם לאורך עובי הדופן. וכמוכן לא הצלחנו למדוד את האנרגיה שהתפתחה כתוצאה מזרימת זרמים בדופן הצינור על אף שנסינו ע"י שימוש בחומר רגיש לטמפרטורה.

כל אלה אפשר לעשות מחדש ולשפר עוד יותר את הביצועים ולהשיג תוצאות יותר מדויקות. עוד דבר חשוב שגילינו – וזה לא היה ממטרות העבודה – נוכחנו לדעת ולצפות בתנועה מעניינת ומוזרה שאפשר לחקור אותה לעומק ולעמוד על פרטיה והיא כאשר שחררנו את המגנט אל תוך צינור האלומיניום הנטוי, המגנט התחיל להסתובב בתוך הצינור – ללא מגע עם הדפנות – תוך כדי תנועתו לאורך ציר הצינור. תופעה מרתקת מאוד ושווה לחקור לעומק. מצורף סרטון וידיאו שצילמנו.

<https://www.dropbox.com/s/z47jgh0mp7l5hze/2013-05-01%2021.33.53.mp4>

[גלגול מגנט בצינור אלומיניום-פרויקט גמר](#)

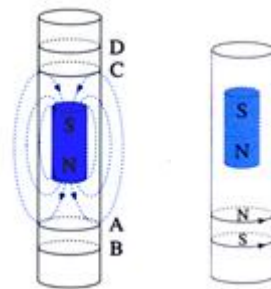
ובנוסף אנחנו ממליצים לחקור גם את פרק הזמן הקצר מרגע תחילת הנפילה ועד לשלב שבו המגנט נע במהירות קבועה.

חלק ג-ערכת הדגמה למורה ופעילות תלמידים

רקע תיאורטי (לתלמיד)

על פי חוק לנץ' אנו יודעים כי כאשר יש שינוי בשטף מגנטי דרך כריכה מוליכה, ייווצר בכריכה זרם מושרה אשר יתנגד לסיבת יצירתו. במילים אחרות, המערכת תמיד תשאף למצב בו השינוי בשטף יהיה אפס.

נבחן תנועת מגנט ה"נופל" בתוך צינור אלומיניום



תנועת המגנט תגרום לשינוי בשטף המגנטי דרך הצינור אשר יגרום לזרמים מושרים בצינור. זרמים אלו יפעילו על המגנט כוח המנוגד לכוון תנועת המגנט.

ניתוח: (לתלמיד)

* נניח כי צינור האלומיניום מורכב לאורכו מכריכות דקות. בעת תנועתו של המגנט כלפי מטה גדול שטף השדה המגנטי דרך כריכה A משטף השדה המגנטי דרך כריכה B,

ושטף השדה המגנטי דרך כריכה C גדול משטף השדה המגנטי דרך כריכה D. ככלל, ככל שהכריכה קרובה יותר למגנט, שטף השדה המגנטי דרכה גדול יותר.

* עתה נעקוב אחרי שינויי השטף בכריכה A (כמייצגת את הכריכות שמתחת למגנט): בעת תנועת המגנט כלפי מטה, השטף דרך כריכה A, שמגמתו מטה גדל ולכן נוצר בכריכה A זרם מושרה המתנגד לסיבת יצירתו: לפי כלל היד החובקת יוצר בכריכה A ובכל הכריכות מתחת למגנט, זרם מושרה במגמה כזאת היוצרת שדה מגנטי, שהקוטב הצפוני שלו קרוב למגנט, והקוטב הדרומי רחוק ממנו.

קטבים זהים דוחים זה את זה, מכאן – החלק התחתון של הצינור, כמגנט, מפעיל כוח המתנגד לתנועת המגנט כלפי מטה (בהתאם לחוק לנץ'). נבחן את שינוי שטף השדה המגנטי

בכריכה C (תרשים 7) כמייצגת את כל הכריכות מעל למגנט: ככל שהמגנט מתרחק מן הכריכה C, קטן השטף המגנטי דרכה ולפי כלל לנץ נוצר בכריכה C (ובכל הכריכות שמעל למגנט) זרם מושרה השואף להגדיל את השטף דרכה, ומגמתו כמתואר בשרטוט. מסקנה: בחלק העליון של הצינור נוצר שדה מגנטי שהקוטב הצפוני שלו קרוב למגנט והקוטב הדרומי שלו רחוק מן המגנט. קטבים שונים מושכים זה את זה, מכאן: החלק העליון של הצינור, כמגנט, מפעיל כוח המתנגד לתנועת המגנט כלפי מטה. (בהתאם לחוק לנץ).

הדגמה(למורה)



ציוד ההדגמה:-(למורה)

- ❖ צינור אלומיניום
- ❖ צינור ברזל
- ❖ צינור פלסטיק
- ❖ מגנט
- ❖ מד כוח (דינמומטר)
- ❖ מאזניים

משימת קדם:-

סוג החומר	זרם זרם	אינטראקציה עם מגנט
אלומיניום		
פלאסטיק		
ברזל		

שלב I : ניבוי (לתלמיד)

- ❖ תאר מה יקרה לדעתך כאשר המורה יעזוב את המגנט בתוך כל אחד מהצינורות.
- ❖ הסבר את הניבוי שלך באמצעות עקרונות פיזיקאליים.
- ❖ מהם הכוחות הפועלים על כל אחד מן המגנטים בעת תנועתם בתוך הצינורות? מי מפעיל את כל אחד מן הכוחות הללו.
- ❖ תאר במילים את אופי התנועה של המגנט בתוך צינור האלומיניום.
- ❖ דון עם חבריך בעקרונות הפיסיקליים העומדים מאחורי ההתרחשויות ההדגמה.

שלב II : צפייה ואישור (לתלמיד)

- ❖ האם הניבוי שלך היה נכון? אם לא, היכן טעית? מהי לפי דעתך הסיבה לטעות בניבוי שלך?
- ❖ דון עם חבריך בעקרונות הפיסיקליים העומדים מאחורי ההתרחשויות ההדגמה. נסח אותם בכתב.

שלב III : שאלות למחשבה

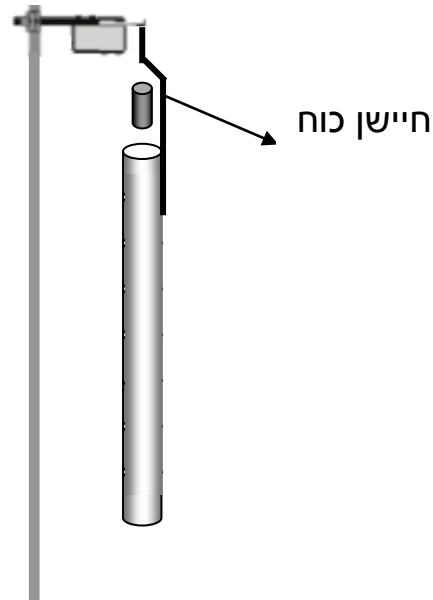
- ❖ מה דעתך יקרה אם נסובב את המגנט ב 180 מעלות, **הסבר (לתלמיד)**.
- ❖ מה דעתך יקרה אם נסובב את המגנט ב 90 מעלות, **הסבר (למומחה)**.

שלב IV : שימוש במאזניים (לתלמיד)

- ❖ חזור על הניסוי כאשר אתה מניח את צינור האלומיניום על מאזניים וצלם את קראת המאזניים.
- ❖ חשוב קודם מה אתה מצפה.
- ❖ נתח את תוצאת הקריאה.
- ❖ תחשוב על דרך למדידת מהירות המגנט בתוך הצינור.
- ❖ חשב כמה אנרגיה הפסיד המגנט עד שעבר את הצינור.

❖ למה הפכה האנרגיה ?

❖ חזור כל השלבים מקודם אבל הפעם תתלה את הצינור במד כוח.



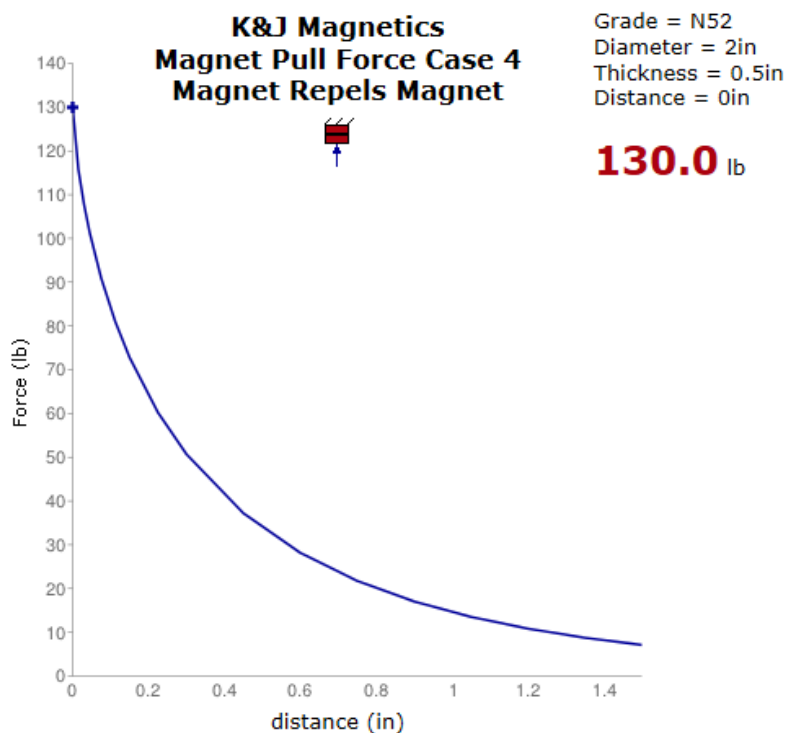
שאלות נוספות (מיועד למורה)

1. כיצד מגנטים בעלי עוצמות שדה מגנטי שונות – משפיעים על זמן \מהירות הנפילה? נסה להפיל 2 מגנטים בעלי אותה מסה, עם עוצמות שדה מגנטי שונות דרך אותו גליל.
2. כיצד משפיע שינוי עובי הגליל על זמן \מהירות הנפילה?
3. כיצד שינוי אורך הגליל ישפיע על זמן הנפילה?
4. כיצד שינוי החומר ממנו עשוי הגליל, משפיע על זמן הנפילה?
5. כיצד קירור הגליל ע"י נוזל ניטרוגן – ישפיע על זמן הנפילה?
6. הצע דרך לקביעת עובי דופן הגליל על פי מהירות הנפילה.
7. הצע דרך לקביעת סוג החומר ממנו עשוי דופן הגליל על פי מהירות הנפילה.

תשובון

1. עוצמת שדה מגנטי יותר גדולה – מהירות יותר קטנה-זמן נפילה יותר ארוך.
2. עובי דופן גליל יותר גדול- מהירות יותר קטנה-זמן נפילה יותר ארוך.
3. ככל שהגליל ארוך יותר גם הזמן ארוך יותר. (גם לתלמיד)
4. ככל שההתנגדות הסגולית של החומר יותר גדולה-מהירות הנפילה יותר גדולה- זמן הנפילה יותר קצר.
5. ככל שהטמפרטורה קטנה יותר – ההתנגדות קטנה-מהירות הנפילה קטנה-זמן הנפילה גדל.
6. נמדוד את המהירות בגליל שבו עובי דופן ידוע. ואחר מכן, נמדוד את המהירות בגליל שבו עובי דופן איננו ידוע. ובהמשך נמצא את עובי הדופן של הגליל השני ע"י יחס המהירויות. ובאותה שיטה ועל בסיס אותו עקרון ניתן לקבוע סוג החומר של גליל לא ידוע.

נספחים



DY08-N52 Specification Sheet

Product Specifications

Type: DISC

Dimensions: 2 dia x 0.5 thk (in)

Tolerance: All dimensions ± 0.004 in

Material: NdFeB, Grade N52

Plating: NiCuNi

Max Op Temp: 176°F (80°C)

Br max: 14,800 Gauss

BH max: 52 MGOe

Performance Specifications

Pull Force, Case 1,

Magnet to a Steel Plate: 130 lb

Surface Field values are derived from calculation and verification with experimental testing. These values are the field values

at the surface of the magnet, centered on the axis of magnetization. Measurement of the B field with a magnetometer may

yield varying results, depending on the geometry of your sensor. Pull Force values are based on extensive product testing in

our laboratory. Different configurations of magnets and surrounding ferromagnetic materials may substantially alter your

results.

K&J Magnetics, Inc.

www.kjmagnetics.com - Phone: 215.766.8055 - Fax: 215.766.8054

תוכנה לניתוח לקטעי וידאו: VideoExp Ver:3.0.24

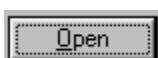
אפשר להוריד תוכנה זו מאתר משרד חינוך או ע"י התקנה מ CD הנקנית עם ספר פעילויות במכאניקה של עדי רוזן.

מדריך הפעלה:

1. **פתיחת קובץ וידאו** - בחר בעזרת העכבר בפריט **קבצים** שבשורת התפריט,

ולאחר מכן בפריט **פתח**. אפשרות פשוטה ומהירה יותר היא ללחוץ ביחד על

המקשים Ctrl ו- O.



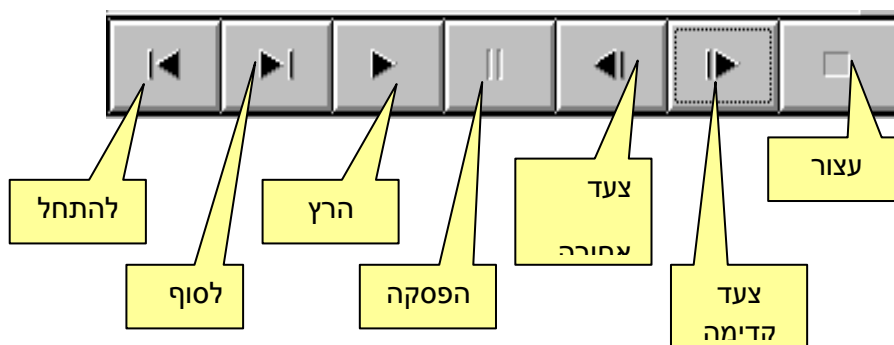
"נווט" לקובץ שברצונך לפתוח. בסיום "הקלק" על הכפתור :

התוכנה פותחת שני חלונות חלון. חלון וידאו:



וחלון תוצאות:

2. **בקרת וידאו** -



3. **קביעת קנה מידה** - מתפריט **צירים** בחר בפריט קנה מידה. הצבע על שתי

נקודות שהמרחק בניהן ידוע לך. הקלד את המרחק במקום המתאים בחלון

הקנה מידה. לחץ על הכפתור **אישור**.

4. **קביעת ראשית**- מתפריט **צירים** בחר בפריט **בחירת ראשית**. בחלון הסרט הצבע על נקודה שברצונך לקבוע כראשית. הבחירה באפשרות **בחירת זמן אפס** תגרום לכך שתוכנה תגדיר את המצב הרגעי המוצג בחלון הווידיאו כזמן אפס.
5. **סיבוב מערכת הצירים** יעשה בעזרת פס הגלילה שבתחתית חלון התוצאות.
6. **סימון נקודה**- בעזרת התוכנה ניתן לעקוב אחרי גוף אחד או יותר. כדי לסמן מקום של גוף אחד הבא את סמן העכבר לנקודה ברורה על הגוף ולחץ על הכפתור השמאלי של העכבר. בחלון תוצאות מופיע נקודה **אדומה** וקטע הווידיאו ידלג תמונה (Frame) אחת קדימה. ניתן לשנות את גודל הצעד בדילוג וזאת ע"י בחירה בפריט **גודל צעד** שבתפריט **צירים**.
7. **ביצוע תיקון**- הצבע על נקודה בחלון התוצאות. קטע הווידיאו יורץ לתמונה המתאימה. סמן את המיקום מחדש.
8. **מעקב אחרי יותר מגוף אחד**- סמן את מיקומו של הגוף הראשון בעזרת לחיצה על המקש השמאלי של העכבר. את מיקום הגוף השני סמן בעזרת לחיצה על המקש הימני של העכבר.
9. **העברת תוצאות לגיליון**- מתפריט **קבצים** בחר בפריט **העבר לגיליון** או פשוט לחץ ביחד על המקשים Ctrl - I W. המתן **בסבלנות!** לפתיחת הגיליון המבוקש.
10. **חישוב מהירות**- בחירה באפשרות זאת מתפריט **עריכה** תגרום לכך שיחד עם העברת הנתונים לגיליון האלקטרוני, התוכנה גם תחשב את המהירות הרגעית.

11. סרטוט תרשים עקבות בחלון הוידאו- אפשרות זו קימת רק עבור סרטונים מסוג "avi". ניתן למצוא אותה בתפריט התצוגה.

12. גרפי מקום זמן- בחר באפשרות הרצויה מתפריט **תצוגה**. כדי לחזור לתרשים העקבות חזור לחלון **תצוגה** ובחר באפשרות המתאימה.

תוכנה להמרת סרטוני וידיאו מפורמט mp4 ל MPG(אפשר להוריד תוכנה זו מהאינטרנט-בחינם).

1. צילום במצלמת סמארט פון .
2. אפשר להוריד את הסרטון למחשב שמוקנת בו התוכנה
3. פותחים את התוכנה ועל שאר השלבים אפשר לעיין בתמונה שהכנו.

The screenshot shows the 'Tube Tilla Mp4 to Mpeg Converter' application window. On the left, three green ovals with arrows pointing to the interface contain the following Hebrew text:

- מכניסים לכאן את הסרטון (Insert the video here)
- התוכנה מראה היכן נשמר הסרטון בפורמט MPG (The software shows where the video is saved in MPG format)
- התוכנה מראה את ההמרה של הסרטון (The software shows the conversion of the video)

The software interface includes the following elements:

- Buttons: 'Add MP4 File', 'Add Folder', 'Browse', 'Convert to: MPEG'.
- Text fields: 'Select single MP4 file' (C:\video projet\20130701_130704.mp4), 'Select folder containing MP4 files', 'Select output folder' (C:\Users\ריאד\Desktop\סרטונים\mpg).
- Table of files to convert:

Type	File Name (click to view)	Progress	Converted File (click to open)	DEL
MP4	20130701_130704	Done	MPG	X

At the bottom of the window, there are links for 'Ringtone Maker', 'Wav to Mp3', 'Free FLV Player', and 'YouTube Downloader'.