מדידת ערך
תאוצת
הנפילה
החופשית

" מדידת תאוצה חופשית "

מטרת הניסוי :

- מציאת תאוצת נפילה .
- הוכחת הקשר בין העתק למהירות ע"י שיטות אינטגרציה .

מהלך הניסוי :

בניסוי זה נשתמש במערכת שתכיל :

א. רשם זמן .
ב. סרט נייר שעליו תרשמנה נקודות המציינות פרקי זמן קבועים ($f= 0.02\ _{Hz}$) .
ג. משקולות .

חלק א' – מציאת תאוצה חופשית

מחברים משקולת לסרט נייר ונותנים לו ליפול נפילה חופשית בו בזמן שרשם הזמן מסמן את הנייר בפרקי זמן קבועים.
מודדים את המרחק בין נקודה לנקודה , מעלים את הנתונים ע"ג גיליון אלקטרוני .
מחשבים את המהירות בכל קטע וממירים את הנתונים לגרף , תוך מציאת קו מגמה ליניארי .
מחשבים אומדן שגיאה .

חלק ב' – קשר בין מהירות והעתק

משחילים סרט לרשם כבחלק א' , אך ללא משקולת , מפעילים את הרשם ומושכים את הסרט בצורה מהירה , מכינים טבלה של זמנים , מיקומים ומהירויות , מעלים את הנתונים ע" גבי גרף של המהירות כתלות בזמן .

ע"פ התיאוריה הקשר בין העתק למהירות בא לידי ביטוי כך :

$$X_{\text{סוף}} - X_{\text{התחלה}} = \int_{t_0}^{t_1} V(t)dt$$

כאשר בניסוי זה ניקח את נק' מס' 1 כהתחלה ואת הנקודה הלפני אחרונה כנק' סיום ונקבל כנוסחת עבודה :

$$X_{N-1} - X_1 = \int_{t_1}^{t_{N-1}} V(t)dt$$

מחשבים את $\int_{t_1}^{t_{N-1}} V(t)dt$ ע"פ 3 שיטות האינטגרציה הגראפית ועבור כל שיטת אומדים את השגיאה , משווים את התוצאות .

<u>הערות</u> :

משתנים מעכבים – שעלולים להשפיע על תוצאות הניסוי :

1. התנגדות סרט הנייר ברשם הזמן – מעכב קבוע .
2. התנגדות האוויר – מעכב משתנה .

ביצוע הניסוי

הערה – ע"פ הנחיית המרצה , במעבדה זו יבוצע רק חלק א' של הניסוי - מדידת התאוצה החופשית!

הרכבנו את המערכת כנדרש , הפעלנו את המערכת וקיבלנו סרט נייר ועליו נקודות .
ערכנו מדידות על הסרט כנדרש , והעלנו את הנתונים ע"ג טבלה .

עיבוד נתונים :

להלן הטבלה שקיבלנו (כפי שהוקלדה בגיליון אלקטרוני) :

מס' נקודה ע"ג הסרט	t[sec]	x[cm]	v[cm/sec]
1	0	0	0
2	0.02	0.5	32.5
3	0.04	1.3	47.5
4	0.06	2.4	70
5	0.08	4.1	90
6	0.1	6	105
7	0.12	8.3	125
8	0.14	11	147.5
9	0.16	14.2	167.5
10	0.18	17.7	182.5
11	0.2	21.5	207.5
12	0.22	26	225
13	0.24	30.5	255
14	0.26	36.2	275
15	0.28	41.5	277.5
16	0.3	47.3	297.5
17	0.32	53.4	327.5
18	0.34	60.4	n/a

הערות לגבי הטבלה :

א. הנקודות שנבחרו לגרף המהירות הן הנקודות 3-17 (סה"כ 16) , נק' 1 ונק' 18 לא נלקחו לצורת חישוב מהירות כי הן נקודות גבוליות ע"ג הסרט ולא ניתן לחשב עבורן מהירות באופן שיתואר בהמשך.
ב. בנק' מס' 1 , מהירות הגוף 0 – הגוף במנוחה.
ג. בנק' מס' 18 – מהירותו איננה רלוונטית (ראה סעיף א').
ד. נק' 2 נבחרה כנק' ההתחלה , ולכן רק מנק' 3 התחלנו לחשב מהירות (שוב , חישוב המהירות יוצג בהמשך).

שיטות החישוב :

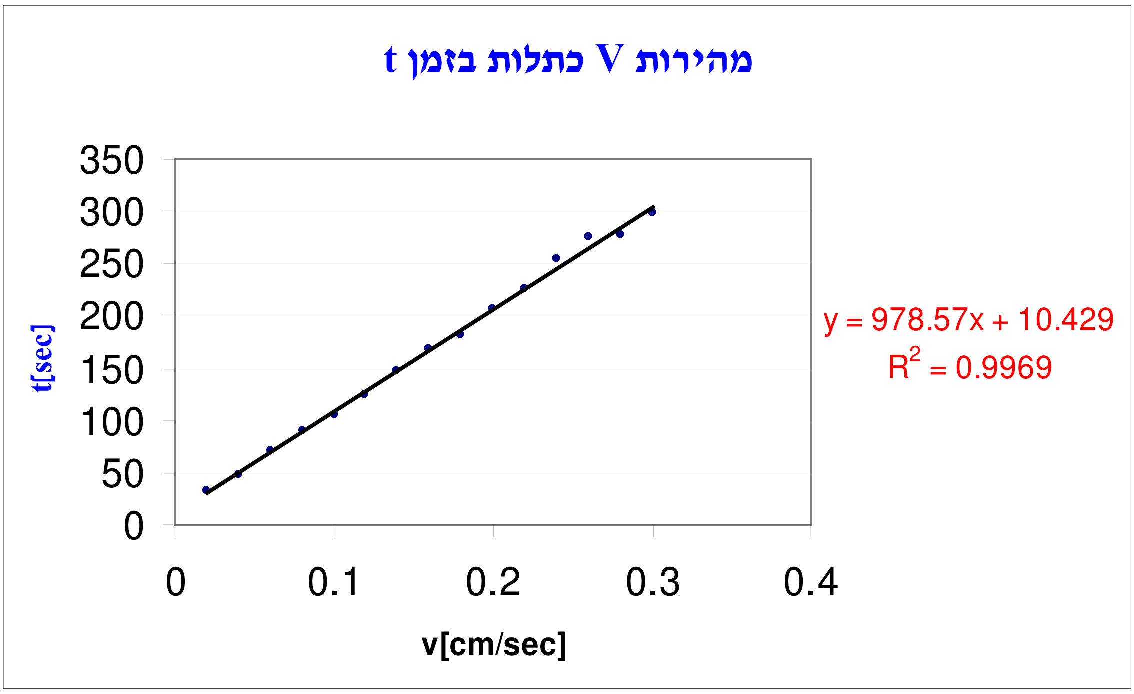
א. חישוב הזמן בוצע שרירותי בהנחה שרשם הזמן הינו מכשיר מדוייק ואכן תונד 50 פעמים בשנייה כלומר תדירותו 50_{Hz} , דהיינו – מסמן נקודה כל 0.02 שניות .
ב. חישוב המרחק לצורך חישוב המהירות נמדד ע"י סרגל – שגיאת המדידה של הסרגל היא שיטתית – $\Delta X \pm 0.1_{cm}$.
ג. חישוב המהירות בוצע ע"י בחירת נקודה וחישוב המהירות הממוצעת עבור הנקודה , למשל : עבור נקודה מס' 7 :

$$v_7 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_8 - x_6}{t_8 - t_6} = \frac{11-6}{0.04} = 125_{cm/sec}$$

הערה : מדידת המרחקים בוצעה ביחס לנק' ההתחלה שנבחרה ולא חיסור ישיר בין 2 הנקודות כדי למזער שגיאות מדידה בין הנקודות ע"י הסרגל ו/או ע"י המודד .
<u>וכך בהתאם לשאר הנקודות</u> !

<u>עיבוד נתונים</u> :

להלן גרף שנעשה ע"י הגיליון האלקטרוני המתאר את המהירות כתלות בזמן :



<u>הערות לגבי הגרף</u> :

א. המשוואה המציינת את התנהגות הגרף רשומה באדום ומאמתת את משוואת התנועה התיאורטית עבור מהירות גוף הנופל נפילה חופשית :

$$v_{(t)} = v_0 + gt$$

ב. הקו השחור בגרף מציין קו המגמה הליניארי של משוואת התרשים .

בהתאם להנחיית המרצה ביצענו באמצעות הגיליון האלקטרוני את פקודת ה-LINEST עבור תחום וטווח הפונקציה שנבחר לצורך הגרף , פקודה זו מחשבת באופן אוטומטי את השגיאה היחסית עבור שיפוע הגרף ולהלן תוצאותיה :

978.5714286	10.42857143
15.24910889	2.772934903

כאשר ע"פ חישוב ספרות משמעותיות , ניתן לראות כי שגיאת המדידה עבור שיפוע הגרף (התאוצה) היא : $\Delta g = \pm 1_{cm/\sec^2}$ וערך השיפוע עצמו הוא : $g = 980_{cm/\sec^2}$, יש לציין כי הערך האמיתי של שיפוע הגרף ללא חישוב ספרות משמעותיות הוא קטן יותר וערך השגיאה גדולה יותר וזאת בהתאם לציפיות.

כלומר ערך התאוצה שקיבלנו הוא :

$$g = 980 \pm 10_{cm/\sec^2}$$

וביחידות M.K.S. (SI) :

$$g = 9.8 \pm 0.1_{m/\sec^2}$$

אם נחשב את הערך הריאלי שקיבלנו למול הערך התיאורטי נקבל סטיית שגיאת מן הצורה הזו :

$$\Delta g = \frac{|g_0 - g_x|}{g_0} \bullet 100\% = \frac{|9.8 - 9.7857|}{9.8} = 0.145\%$$

וזוהי סטייה שממש ניתנת להזנחה .

<u>תשובות לשאלות בתדריך :</u>

א. כן , התאוצה קבועה , קו המגמה שהתקבל הוא ליניארית ומראה על שיוני מהירות בצורה קבועה , דבר שמצביע על תאוצה קבועה.

ב. התאוצה שווה בתחום השגיאות לערך המקובל , שביצענו את הניסוי הקפדנו לשחרר את הגוף עם מינימום גורמים מפריעים כגון חיכוך עם השולחן , ועם הרשם , הערך האמיתי שקיבלנו הוא מעט נמוך מהערך המקובל , דבר המצביע ככל הנראה על כוחות מעכבים שעליהם לא הצלחנו להתגבר במערכת – ככל הנראה , מחט הסימון עצמה של רשם הזמן והתנגדות האוויר במהלך הנפילה.

ג. זוהי שיטה טובה מאוד בתנאים הנתונים למדידת תאוצת הכובד , ניתן היה לשפר את רמת הדיוק אילו הניסוי היה נערך בואקום , ללא משבי רוח פתאומיים וללא אוויר , כמו כן היה טוב אם רשם הזמן היה מוצב בצורה אנכית , כלומר בצורה אנכית המתלכדת עם מסלול נפילת הגוף , דבר שהיה מונע כוחות חיכוך מיותרים – דבר שה ניתן לבצע גם במעבדה ע"י מתאם פשוט ו/או ע"י עמוד אלומיניום סטנדרטי למעבדות, מעבר לכך אם הייתה אפשרות לקחת מסלול נפילה גדול יותר , שגיאות המדידה היו פחות משמעותיות

ד. הערך שהתקבל עבור המהירות ההתחלתית של הגוף הוא :

$$v_0 = 10 \pm 2_{cm/\sec^2}$$

אם נציב זאת בנוסחה :

$$v_{(t)} = v_0 + gt$$

ונבודד את המהירות ההתחלתית ונשווה את המהירות כתלות בזמן לאפס , נקבל :

$$v_0 = gt$$

כלומר ניתן לבטא את הזמן שלקח לגוף לצבור מהירות זו כך :

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{10}{980} \cong 0.01_{\sec}$$

והרי :

$$0 \le 0.01_{\sec} \le 0.02_{\sec}$$

התוצאה בהחלט בתחום המצופה !

<u>מסקנות</u>

1. השגנו את מטרת הניסוי , קיבלנו מעיבוד הנתונים ערך כמעט זהה לערך המקובל של התאוצה החופשית , ובכך אימתנו את נכונות ערכו .
2. למדנו במהלך ניסוי זה להכיר פונקציות חדשות בתוכנת הגיליון האלקטרוני שלא ידענו ועליהם , פונקציות שחוסכות חישובי שגיאות ארוכים , פונקציות שחוסכות זמן רב !

ט.ל.ח.

החוק

ה-II של

ניוטון

החוק ה-II של ניוטון

מטרות הניסוי :
חקירת החוק ה-2 של ניוטון .
בדיקת תלות התאוצה הפועלת על גוף בכוח המופעל עליו , ובדיקת תלות התאוצה הפועלת על גוף במסתו.
תת מטרה : הכרת מערכת ה- V-SCOPE.

רקע תיאורטי :

החוק ה-II של ניוטון מהווה את בסיס המכאניקה הקלאסית, בכלליות ניתן להציגו ע"י :

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

כאשר F הוא שקול הכוחות הפועלים על גוף , a היא תאוצתו ו- m היא מסתו .

תשובות לשאלות ההכנה :

1. החוק ה-II של ניוטון מתקיים על הירח ובהתאם על כל כוכב אחר , הדבר היחיד שמשתנה הוא גודל תאוצת הכובד , גודל המסה איננו משתנה , כך שמסה של 500 ג' תישאר קבועה , אך מאזני קפיץ אינם מודדים מסה אלא מודדים משקל :
ע"ג כדוה"א :

$$m = \frac{\vec{F}}{\vec{g_0}} = \frac{\vec{F}}{9.8_{m/\sec^2}} = 0.5_{kg}$$

כך שהכוח שפעל על הגוף :

$$\vec{F} = m \bullet \vec{a} = 0.5 \bullet 9.8 = 4.9_N$$

על הירח תאוצת הכבידה היא כ- $1.6\, m/\sec^2$ כך שמאזני הקפיץ יראו כך :

$$\vec{F} = m \bullet \overrightarrow{g_{moon}} = 1.6 * 0.5 = 0.8_N$$

אך הן מכוילות עבור תאוצת הכובד של כדה"א כך שהמסה שהמאזניים יראו :

$$m = \frac{\vec{F}}{\vec{g_0}} = \frac{0.8}{9.8} = 0.0816 \cong 0.08_g$$

2. משוואת הכוחות של המערכת ללא כוחות חיכוך תראה כך :

$$m_1 g \sin\alpha - m_2 g \sin\beta = (m_1 + m_2)a$$

כיוון שאין אנו יכולים לדעת איזה ביטוי גדול יותר מהשני באגף שמאל של המשוואה , אין אנו יכולים לדעת מה יהיה סימן התוצאה (חיובי או שלילי) , וכותצאה , אין אנו יכולים לדעת כל כיוון המערכת .

משוואת הכוחות של המערכת עם כוחות חיכוך תראה כך :

$$m_1 g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - m_2 g(\sin\beta - \mu\cos\beta) = (m_1 + m_2)a$$

גם כאן לא ניתן לדעת איזה ביטוי באגף שמאל גדול יותר , כך שלא לדעת על סימן ההפרש בין הביטויים , ומכאן לא ניתן להסיק לגבי כיוון המערכת.

3. יש לבחון על התאוצה הפועלת על הגוף בכדי להסיק על מסלולו :
   א. יחסית לקרונית : על הקרונית ועל משקולת פועלת אותה תאוצת הכובד ואותה תאוצה אופקית a , צופה על הקרונית , פשוט יראה את המשקולת נופלת נפילה חופשית .
   ב. יחסית לקרקע : צופה על הקרקע , יראה את הגוף מושפע הן מתאוצת הכובד והן מהתאוצה האופקית , כך שערך התאוצה הכללית (השקולה) שתפעל על הגוף תראה כך :

$$\sum \vec{a} = \sqrt{a^2 + g_0^{\ 2}}$$

המשקולת תיפול במסלול אלכסוני (בעיני הצופה מן הקרקע) בזווית ביחס לקרקע הניתנת לתיאור כך :

$$\theta = \arctan\left(\frac{g}{a}\right)$$

ראה דף נלווה בכתב יד לפירוט נוסף

4. ראה דף נלווה בכתב יד.

תיאור המערכת :

א. מערכת ה- V-SCOPE+מחשב.
ב. מסילה + גלגלת.
ג. עגלה קינטית + משדר.
ד. משקולות.
ה. וו+ חוט + תפס.

שגיאות אפשריות בניסוי :

<u>מסה – שגיאה שיטתית</u> : שגיאת המאזניים כמכשיר דיגיטאלי - $\Delta m = \pm 0.01_g = 1\times10^{-5}{}_{kg}$

למשל המסה הממוצעת של המשקולות היא : $\overline{m} = 0.0053_{kg}$ (מסת 8 משקולות לחלק ל-8)

כלומר מסת המשקולת היא : $m = \overline{m} \pm \Delta m = (0.0053 \pm 1\times10^{-5})_{kg}$

אנו עובדים בשיטת .M.K.S , השגיאה במסה ניתנת להזנחה .

שיטת עבודה - שגיאה שיטתית :
בניסוי זה אנו מזניחים מס' נתונים :

א. מסת הגלגלת שאמנם זניחה , אך משפיעה על תנאי הניסוי כגורם משפיע , מומנט סיבוב הגלגלת מהווה גורם מעכב לנפילתה ה"חלקה" של העגלה.
ב. כוחות חיכוך במערכת (עגלה – מסילה , חוט-גלגלת , משקולת-אוויר) – כוחות אלו לא נלקחו בעיבוד הנתונים וישפיעו על התוצאות כמתואר בהמשך.

מהלך הניסוי :

<u>חלק א' – תאוצת הגוף כתלות בכוח המופעל עליו</u>

מרכיבים את המערכת בהתאם לתדריך, שוקלים את המערכת על רכיביה (משקולות , עגלה , וו + חוט) .

משחררים את העגלה 9 פעמים כאשר בכל פעם העברנו משקולת נוספת מהעגלה לוו (בשחרור העגלה הראשון, הוו היה "ריק" כלומר , ללא משקולות).

בכל פעם "מקליטים" את תנועת העגלה במערכת הויסקופ , מנתוני התכונה בונים גרף של מהירות הגוף כתלות בזמן , מקבלים פיזור נקודות כלשהו , עבור הפיזור הנ"ל , התוכנה מסוגלת לתת את שיפוע הגרף ע"פ משוואת הגרף המשוערכת ע"י התוכנה, שיפוע הגרף הינו תאוצת הגוף , בכל שיפוע מחשבים את הכוח שמניע את המערכת , דהיינו את משקל המשקולת (וו + משקולות) .

לאחר איסוף הנתונים לגיליון אלקטרוני בונים גרף של תאוצת הגוף כתלות בכוח הפועל עליו.

עיבוד נתונים :

הערה : בחרנו לקחת גרף של התאוצה כתלות בכוח, ולא ההיפך, מבחינה פיזיקאלית אין הדבר כ"כ משנה, אך מבחינה מתמטית וחישובית, הגרף שבחרנו פשוט יותר נוח !

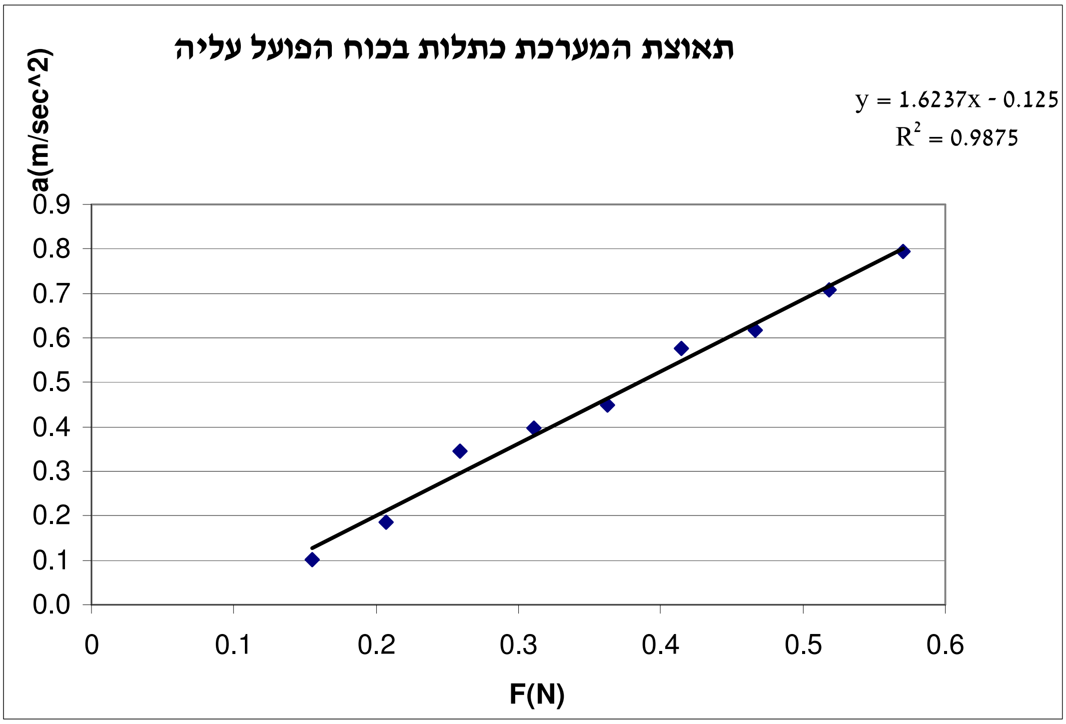
הכוח הפועל על המערכת הוא משקל המשקולת (וו+ משקולות)
אופן חישובו מבוצע כך :

$$\vec{F} = \vec{W} = m \bullet \vec{g} = m \bullet 9.8_{m/\sec}$$

להלן טבלת הנתונים שקובצו הגיליון האלקטרוני :

a(m/sec^2)	F(N)
0.102	0.15484
0.185	0.20678
0.345	0.25872
0.397	0.31066
0.45	0.3626
0.576	0.41454
0.617	0.46648
0.708	0.51842
0.794	0.57036

להלן הגרף שהתקבל מהטבלה הנ״ל :



נשתמש בפונקצית ה- LINEST לצורך חישוב השגיאה.

א. פונקצית ה- LINEST מהגיליון האלקטרוני הניבה את התוצאות הנ״ל :

-0.124964361	1.623668335
0.026671794	0.068989682

שיפוע הגרף הוא למעשה היא המסה שהעניקה כוח כלומר מסת הוו – 1.623_g והשגיאה בהתחשב בספרות משמעותיות היא 0.07_g כלומר שיפוע הגרף הוא : $\frac{\Delta\vec{F}}{\Delta\vec{a}} = m = (1.62 \pm 0.07)_g$

הערך הנמדד של המסה (מסת הוו שהיוותה את הגורם לכוח המושך את המערכת) = 1.77_g

ההפרש בין הערך הנמדד לערך המחושב הוא **<u>חורג מתחום שגיאת המדידה</u>** .

מכיוון שהערכים שונים מעבר לתחום השגיאה נחשב סטייה :

$$\Delta m = \frac{|1.7 - 1.62|}{1.7} \cdot 100\% = 4.7\%$$

הסטייה שהתקבלה קטנה מאוד .

<u>הקו שהתקבל אינו עובר דרך ראשית הצירים</u> , התקבל קו מגמה ליניארי המעיד על תלות פרופורציונאלית בין הכוח הפועל על הגוף לבין תאוצתו.

אם היינו עושים אקסטרפולציה לגרף , הוא היה חותך את ציר ה-Y בכ- -0.125 מ' לשנייה בריבוע , המשמעות היא כי כאשר הגוף במנוחה , עדיין פועלת עליו תאוצה ?!
כיצד ייתכן הדבר ? זה הרי בסתירה מוחלטת לחוק השני של ניוטון !

ההסבר והמשמעות הפיסיקלית לכך, היא כי בניסוי זה היו ופעלו כוחות על המערכת , שלא הובאו לידי ביטוי בעיבוד הנתונים , וזאת בהתאם להערות שהוזכרו קודם לכך – כוחות חיכוך , התנגדות האוויר ומומנט הגלגלת .

מהו מקדם החיכוך ?
כדי לחשבו נבחר נקודה שרירותית בגרף ונחלץ ממנה את מקדם החיכוך .

משוואת הכוחות היא : $m_{hook}g - \mu_k m_{cart} g = \sum m \bullet \vec{a}$

נציב נתונים מנק' על הגרף : $\mu_k = 0.038 \Leftarrow 0.0211 \bullet 9.8 - \mu_k . 0.5638 \bullet 9.8 = 0.02$

<u>חלק ב' – תאוצת הגוף כתלות במסה</u>

מרכיבים את המערכת בהתאם לתדריך, שוקלים את המערכת על רכיביה (משקולות , עגלה , וו + חוט) .
משחררים את העגלה 5 פעמים כאשר בכל פעם **<u>הורדנו</u>** משקולת מהעגלה שבתחילה הכילה 5 משקולות.
בכל פעם "מקליטים" את תנועת העגלה במערכת הויסקופ , מנתוני התכונה בונים גרף של מהירות הגוף כתלות בזמן , מקבלים פיזור נקודות כלשהו , עבור הפיזור הנ"ל , התוכנה מסוגלת לתת את שיפוע הגרף ע"פ משוואת הגרף המשוערכת ע"י התוכנה, שיפוע הגרף הינו תאוצת הגוף , בכל שיפוע מחשבים את הכוח שמניע את המערכת , דהיינו את משקל המשקולת (וו + משקולות) .
לאחר איסוף הנתונים לגיליון אלקטרוני בונים גרף של תאוצת הגוף כתלות במסה.

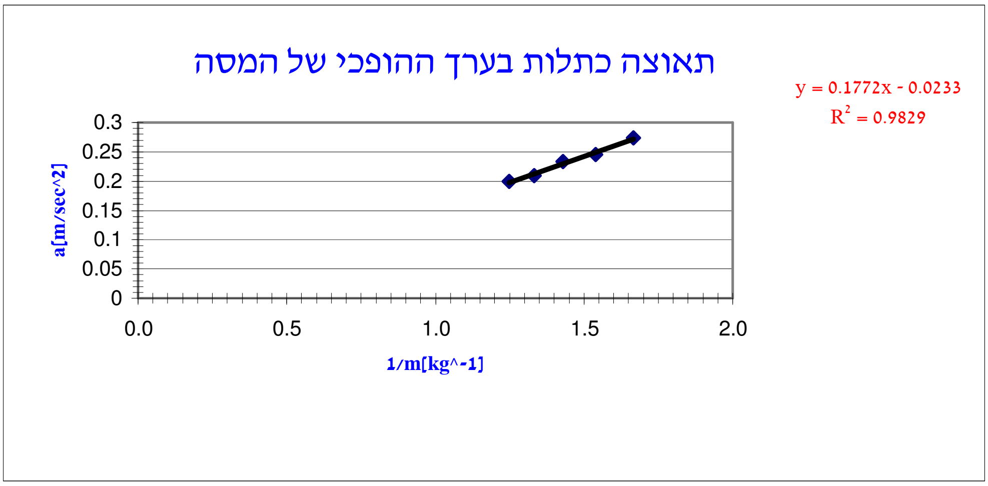
הכוח המניע את המערכת : $m \bullet \vec{g} = 0.163 \bullet 9.8 \cong 1.6_N$

<u>עיבוד נתונים :</u>

להלן טבלת הנתונים שקובצו הגיליון האלקטרוני :

M(kg)	1/M	a(m/sec^2)
0.801	1.248439451	0.2
0.75	1.333333333	0.209
0.7	1.428571429	0.234
0.65	1.538461538	0.245
0.6	1.666666667	0.274

להלן הגרף שהתקבל מהטבלה הנ"ל :



נשתמש בפונקצית ה- LINEST לצורך חישוב השגיאה.

א. פונקצית ה- LINEST מהגיליון האלקטרוני הניבה את התוצאות הנ"ל :

0.177190397	-0.023302484
0.013510914	0.019599523

ע"פ קו המגמה של הגרף ניתן לראות בבירור כי הקשר המתמטי בין תאוצת המערכת לבין הערך ההופכי של המסה הוא **<u>ליניארי</u>**.

מתוך הגרף נובע כי **<u>קיימת פרופורציה הפוכה בין תאוצת המערכת לבין מסתה</u>** .

המשמעות הפיזיקאלית של שיפוע הגרף היא הכוח הפועל על המערכת :

$$\frac{\Delta\vec{a}}{\Delta m^{-1}} = \Delta\vec{F}$$

שיפוע הגרף ע"פ פעולת ה- LINEST :

$$\vec{F} = (1.7 \pm 0.1)$$

בתחום השגיאה הערך שהתקבל **<u>תואם לערך המדוד</u>** !!!

מדוע קיים הפרש בין סעיף זה לקודם ?
שוב, בסעיף האחרון לא נלקחו בחשבון כוחות החיכוך , שפעלו במערכת , אילו היו נלקחים בחשבון , היינו מגיעים לתוצאה יותר מדויקת .

<u>מסקנות :</u>

1. מעיבוד הנתונים , ובהזנחת שגיאות המדידה מתקיים :
   א. קשר ישיר בין התאוצה של גוף לבין הכוח הפועל עליו(מטרת הניסוי) : $\vec{a} \propto \vec{F}$.
   ב. קשר הפוך בין התאוצה של גוף לבין מסתו (מטרת הניסוי) : $\vec{a} \propto \frac{1}{m}$.
2. למדנו להשתמש במערכת ה- V-SCOPE .

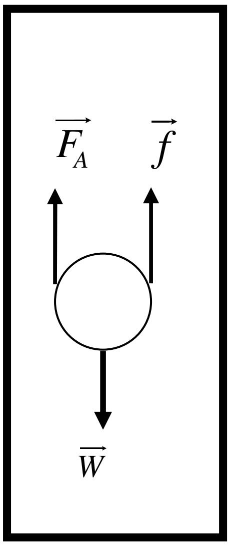
מדידת צמיגות
בעזרת כוח
סטוקס

חוק סטוקס

שם הניסוי : צמיגות של נוזל ע"פ חוק סטוקס
מטרות הניסוי : מציאת צמיגות של נוזל
תתי – מטרות : הכרת מכשירי מדידה , לימוד חישוב שגיאות מדידה .

רקע תיאורטי :

כאשר גוף קשיח נמצא בתנועה בנוזל פועלים עליו מס' כוחות , במקרה הבסיסי ביותר , כאשר מפילים גוף לתוך נוזל , הכוחות הפועלים עליו הם :



א. כוח המשקל של הגוף – יסומן כ : W ויחושב ע"פ
ב. W=mg או במקרה זה : $W = \rho * g * V$
ג. כוח העילוי , הנקרא גם כוח ארכימדס והמסומן כ- F_A ויחושב ע"י הנוסחה - $F_A=P_0*g*V$ (V – נפח כדור)
ד. כוח f - כוח צמיגות (כוח סטוקס) המחושב ע"י הנוסחה :
$f = 6\pi\eta v r$

(v - מהירות נפילת הכדור , r – רדיוס הכדור)
(ρ - צפיפות הכדור , P_0 – צפיפות הנוזל)

הכוחות הפועלים בניסוי שנערוך על הגוף באים לידי ביטוי במשוואת הכוחות הבאה :

$$m\ddot{x} = \sum \vec{F} = W - f - F_A$$

הכדור במהלך נפילתו מתייצב על מהירות נפילה קבועה – משמע שקול הכוחות הפועלים עליו שווה לאפס !
מכאן נוכל לחלץ מן המשוואה את η ולחשב את ערכו , המשוואה שנקבל לצורך חישוב η היא :

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \left(\frac{\rho - P_0}{v} \right)$$

נתונים גולמיים :

ערך פיסיקלי נתון	סימון פיסיקלי	גודל הערך הנתון	הערות	יח"ש
צמיגות גליצרול	η	1.490	20^0C	$Pa \bullet \sec$
		0.954	25^0C	
צפיפות גליצרול	ρ_o	1.26	20^0C	$\frac{g}{cm^3}$
תאוצת הכובד	g	9.80		$\frac{m}{\sec^2}$

ערכי הצמיגות הנתונים הם לצורך השוואה עם ערך הצמיגות שנקבל .

שאלת הכנה :
א. מהן יחידות הצמיגות ?
תשובה :
נחשב את היחידות ע"פ הנוסחה הנתונה :

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \left(\frac{\rho - P_0}{v} \right)$$

$$[\eta] = [g] \bullet [r]^2 \bullet \frac{[\rho]}{[v]} = \frac{m}{\sec^2} \bullet m^2 \bullet \frac{\frac{kg}{m^3}}{\frac{m}{\sec}} = \frac{kg \bullet m}{\sec^2} \bullet \frac{\sec}{m^2} = \frac{N}{m^2} \bullet \sec = Pa \bullet \sec$$

ב. בטא את שגיאת הצמיגות :

$$\partial\eta=\left|\frac{\partial\eta}{\partial r}\bullet\Delta r\right|+\left|\frac{\partial\eta}{\partial v}\bullet\Delta v\right|+\left|\frac{\partial\eta}{\partial m}\bullet\Delta m\right|+\left|\frac{\partial\eta}{\partial\rho}\bullet\Delta\rho\right|$$

הערות :

1. כאשר P_0 בניסוי שלנו מופיע כערך קבוע ולכן לא ייחשב בגזירה לצורך קביעת השגיאה .
2. ע״פ הנחיית המרצה – לצורך קביעת שגיאת הצמיגות יש לקחת כמשתנים רק את המהירות הנמדדת ואת רדיוסי הכדורים שנמדדו , יש להזניח את השגיאה הנובעת מצפיפות הכדורים וממסתם .

תיאור המערכת :

- משורה מלאה בגליצרול
- 10 כדורי זכוכית
- מאזניים אלקטרוניות
- קליבר דיגיטלי
- שעון עצר דיגיטאלי
- כלי מדידה וכלי סימון

תיאור הניסוי :

שוקלים 10 כדורים ע״ג המאזניים ומחשבים מסה ממוצעת עבור כדור בודד .
לוקחים כדורים אחרים וזורקים אותם במשורה כדי לאתר בקירוב מיטבי את הנקודה בה מהירות נפילת הכדור מתייצבת לקבועה.
מסמנים נקודה זו ומודדים אורך מסלול מסוים (X=10cm) שעל פיו תימדד מהירות הכדורים .
עבור כל כדור מודדים את הרדיוס שלו ע״י הקליבר.
זורקים את עשרת הכדורים , מודדים את הזמן שלוקח לכדור לעבור לאורך המסלול המסומן.
מחשבים את מהירויות הכדורים , נפחיהם , צפיפותם , וע״פ כל הנתונים – מחשבים את צמיגות הנוזל .
מעלים את כל הנתונים על טבלה , מחשבים ממוצעים , מעריכים ומחשבים שגיאות מדידה .

ביצוע הניסוי :

1. שקילת הכדורים .
   א. איפוס המאזניים ללא עומס .
   ב. שקילת 10 כדורים וחלוקה במספרן בכדי לקבל מסה ממוצעת עבור כדור , ע״פ הנחיית המרצה.
2. מדידת קוטר הכדורים ע״י קליבר דיגיטאלי .
   א. מדידת שגיאת הקליבר כשהוא במצב סגור.
   ב. מדידת קוטר הכדור – סגירת שפתי הקליבר על הכדור במרכזו (ע״י הערכה ויזואלית) וקריאת מדידתו .
3. קביעת מסלול נפילה עבור הכדור .
   א. זריקת כדורים שלא נשקלו .
   ב. סימון נק׳ על המשורה בה מהירות הכדור מתייצבת ומדידת קטע מסוים על המשורה – נבחר קטע שרירותי של עשר ס״מ .
   ג. זריקת הכדורים שנשקלו ומדידת הזמן שלוקח לכל כדור לעבור את המסלול .

להלן טבלת הנתונים שנתקבלו :

מס' ניסוי	X[cm]	T[sec]	r[cm]	V [4/3*π*cm^3]	m[g]	ν [cm/sec]	ρ [g/cm^3]	Po [g/cm^3]	η [Pa*sec]
1	10	7.46	0.2405	0.0583	0.164	1.3405	2.8146	1.26	1.4608
2	10	7.29	0.2470	0.0631	0.164	1.3717	2.5982	1.26	1.2961
3	10	7.40	0.2470	0.0631	0.164	1.3514	2.5982	1.26	1.3157
4	10	7.81	0.2490	0.0647	0.164	1.2804	2.5360	1.26	1.3456
5	10	7.67	0.2500	0.0654	0.164	1.3038	2.5057	1.26	1.3005
6	10	6.45	0.2430	0.0601	0.164	1.5504	2.7286	1.26	1.2181
7	10	6.29	0.2435	0.0605	0.164	1.5898	2.7118	1.26	1.1792
8	10	7.35	0.2515	0.0666	0.164	1.3605	2.4612	1.26	1.2161
9	10	7.79	0.2505	0.0658	0.164	1.2837	2.4908	1.26	1.3102
10	10	7.76	0.2470	0.0631	0.164	1.2887	2.5982	1.26	1.3797
AVG	10.0	7	0.247	0.063	0.164	1.4	2.6043	1.26	1.30
סוג שגיאה	שיטתי	אקראי	אקראי	נגררת	שיטתי	נגררת	נגררת	ערך נתון	נגררת
שגיאה מוחלטת	0.1	1	0.007	0.005	0.005	0.2		0	0.31

הערות לגבי הטבלה :

שגיאות מדידה

שגיאה שיטתית :

שגיאה שיטתית היא שגיאה הנובעת מאי דיוק של מכשיר מדידה כלשהו או שיטת מדידה לקויה . השגיאה תקבע ע"י השנתה הקטנה ביותר שמורה המכשיר .
בניסוי 2 שגיאות שיטתיות :

א. הסרגל איתו מדדנו את מסלול הכדורים במשורה – שגיאת המדידה בסרגל היא : $\Delta x = \pm 0.1cm$
ב. המאזניים באמצעותם שקלנו את הכדורים – שגיאת המדידה במאזניים היא : $\Delta m = \pm 0.01g$

שגיאה אקראית :

שגיאה אקראית נובעת משגיאות שגודלן ומגמתן לא קבוע , בעיקר בגלל תנאי סביבה ובכללן טעויות אנוש .
בניסוי מס' שגיאות אקראיות :

א. טעות בהערכת זמן – אמנם שעון העצר הדיגיטאלי די מדויק , אך זמן התגובה של המשתמש די ארוך (בתנאים אידיאליים מוערך בכ- 0.75 שנייה) לצורך הניסוי נקבע השגיאה בהערכת הזמן ל – 1sec , שגיאה זו משליכה על המהירות שמדדנו , ומוערכת ע"פ הסטייה המקסימאלית מן ממוצע המהירויות - $\Delta \nu_{max} = 0.2_{cm/sec}$
ב. טעות במדידת רדיוסי הכדורים – אמנם הקליבר הדיגיטאלי מאוד מדויק , אך הכדורים עצמם שחוקים ופחוסים , כך שלמעשה הם כבר אינם כדורים ואם נזיז אותם מעט על שפתי הקליבר נקבל ערכי רדיוסים אחרים (כמובן שהכוונה לקוטר הכדור) – שגיאה זו משליכה גם על גודל נפח הכדור והמשך על צפיפותו ובסופו של דבר על ערך הצמיגות , ומוערכת ע"פ הסטייה המקסימאלית מן ממוצע הרדיוסים $\Delta r_{max} = 0.007_{cm}$.

השגיאות המוערכות – ע"פ הנלמד בכיתה.

שגיאה נגררת :

שגיאה נגררת נובעת מחישובים של פרמטרים שגוררים שגיאות בעצמם , כמו שהוזכר לעיל , השגיאות הנגררות בניסוי שלנו מתבטאות בחישוב – נפח , מהירות וצפיפות הכדורים וכמובן גם צמיגות הנוזל .

יחידות מדידה

יחידות הצמיגות בטבלה הומרו ע"י תוכנת ה- EXCELL באופן אוטומטי ליחידות : Pa•sec Pa•sec

עיבוד נתונים :

קביעת הסטייה במהירות		קביעת הסטייה ברדיוס	
ν [cm/sec]	Δv=v נמדד-v ממוצע	r[cm]	Δr=r נמדד-r ממוצע
1.3405	-0.0316	0.2405	-0.0064
1.3717	-0.0003	0.2470	0.0001
1.3514	-0.0207	0.2470	0.0001
1.2804	-0.0917	0.2490	0.0021
1.3038	-0.0683	0.2500	0.0031
1.5504	0.1783	0.2430	-0.0039
1.5898	0.2177	0.2435	-0.0034
1.3605	-0.0115	0.2515	0.0046
1.2837	-0.0884	0.2505	0.0036
1.2887	-0.0834	0.2470	0.0001
0.2	Δvmax= 0.2177	0.007	Δrmax= 0.0064

חישוב שגיאת הצמיגות :

חישוב שגיאה יחסית :

$$\partial\eta = 2\bullet\left|\frac{\Delta r}{\bar{r}}\right| + \left|\frac{\Delta v}{\bar{v}}\right| = 2\bullet\frac{0.0064}{0.247} + \frac{0.2177}{1.3721} \cong 0.21$$

חישוב שגיאה מוחלטת :

$$\Delta\eta = \partial\eta\bullet\bar{\eta} = 0.21\bullet 1.3 \cong 0.27_{Pa\bullet\sec}$$

מכאן שערך הצמיגות של הגליצרול שקיבלנו הוא :

$$\eta = \bar{\eta} \pm \Delta\eta = 1.30 \pm 0.27_{Pa\bullet\sec}$$

נחשב את השגיאה היחסית :

$$\delta_\eta = \frac{\Delta\eta}{\bar{\eta}}\bullet 100\% = \frac{0.27}{1.3}\bullet 100\% \cong 20.8\%$$

השוואה למול ערכי הצמיגות הנתונים :

נתונים לנו 2 ערכי צמיגות גליצרול ב- 20^0C וב- 25^0C .

בניסוי שלנו , טמפ' החדר הממוצעת הייתה כ- 22^0C , בקירוב גס נוכל לעשות ממוצע בין 2 הערכים הנתונים ולהשוותו למול ערך צמיגות הגליצרול שקיבלנו :

$$\bar{\eta}_{22^0_c} = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} = \frac{1.490 + 0.954}{2} = 1.222_{Pa\bullet\sec}$$

כעת נוכל להשוות בין ערך הצמיגות הממוצע הנתון לבין ערך הצמיגות שחושב :
(ההפרש בין 2 הערכים וחלוקתו בערך הגדול מביניהם)

אחוז הסטייה $= = \frac{|\eta - \bar{\eta}|}{\bar{\eta}}\bullet 100\% = \frac{|1.3 - 1.222|}{1.3}\bullet 100\% = 0.06\bullet 100\% = 6\%$

מסקנות :

1. ע״פ אחוז הסטייה שחושב בין הערך הנתון לערך שחושב (6%) , הוכחנו את נכונות חוק סטוקס , הגענו לערך צמיגות הנוזל הקרוב מאוד לערכו הנמדד בתנאים אידיאליים (בהנחה ואכן הערכים הנתונים נמדדו בתנאים אידיאליים).

2. שגיאה יחסית של הצמיגות שחושבה היא מעבר לנורמה (20.8%) , כאמור תנאי הניסוי לא היו אידיאלים , והשגיאה היחסית היא גדולה מכמה סיבות :
   א. שגיאה בהערכת הזמן בגלל מהירות התגובה של המשתתפים בניסוי .
   ב. שגיאה בהערכת המהירות כנגררת מהערכת הזמן.
   ג. שגיאה בהערכת רדיוסי הכדורים בגלל אי שלמותם.
   ד. שגיאה בהערכת נפח הכדורים כנגררת מהערכת רדיוסיהם .
   ה. שגיאה בהערכת צפיפות הכדורים כנגררת מהערכת נפחם .
   ו. שגיאה בחישוב הצמיגות מכיוון שלא נלקחה בחשבון בחישוב השגיאה היחסית מסת הכדורים וצפיפותם.
3. מפתיע שמשקל השגיאה היחסית של ערך הצמיגות שנמדד, הגדול יחסית, לא העיב על הסטייה, הקטנה יחסית, בין הערך המחושב לערך הנמדד של הצמיגות , אך שחושבים על זה , השגיאה היחסית – משקלה קטן מאוד למול הסטייה שנמדדה ולכן לא מהווה גורם מפתיע .
4. בחישובי השגיאות בניסוי התמודדנו עם קשיים במעבר מיחידות מדידה ליחידות מדידה מקבילות , למשל ממ״מ לס״מ למטר וכד׳ , טעות אחת קטנה במעבר יחידות מובילה לטעות מסדר גודל שלם בערך הצמיגות – דבר המחייב משנה זהירות !
5. יש להשתמש במכשירי מדידה המניבים שגיאות יחסיות בתחום סביר , אחרת אין כל ערך למדידות אשר מבצעים בהם , למשל מדידת הזמן – השגיאה בזמן היא גדולה – באותו סדר גדול של השנתות של הערכים שלנו , ניתן לשפר את הניסוי ע״י בחירת משורות גדולות יותר , באופן זה אם מסלול ״נפילת״ הכדורים יהיה ארוך יותר , השגיאה הנובעת מהערכת זמן ה״נפילה״ תהיה פחות משמעותית .

פיסיקה 1 בי – מעבדה

אנרגיה פוטנציאלית של שדה כוח

חלק א': אנרגיה פוטנציאלית של שדה כוח

מטרות הניסוי

א. מדידת שדה כוח לא ידוע
ב. מדידת האנרגיה הפוטנציאלית של שדה זה.
ג. בדיקת הקשר בין האנרגיה הפוטנציאלית לבין הכוח המתקיים ע"פ הנוסחה :

$$U(x_1) = -\int_{x_0}^{x_1} F(x)dx$$

כאשר X_0 היא נקודת הייחוס השרירותית הנבחרת .

תיאור המערכת

עגלה מוצבת על מסלול אוויר הנשען על מגבה (ג'יק) מכני המאפשר שינוי זווית ההטיה של המסלול . הניסוי מבוצע על מסלול זה ע"מ להקטין למינימום את כוחות החיכוך , לעגלה ולמסלול מחוברים מגנטים בקטבים הפוכים זה לזה כך שקיים כוח דחייה מגנטי בין העגלה לקצה המסלול . המסלול מוצב בזווית והעגלה ניצבת במרחק כלשהו מקצה המסלול .

רקע תיאורטי והסבר חישובים

כאשר העגלה מתייצבת במרחק כלשהו , שקול הכוחות עליה הוא אפס , כלומר אנו יכולים ע"פ חוק שלישי של ניוטון להניח כי הכוח המגנטי שפועל עליה שווה לשקול הכוחות הפועל עליה אילו לא היה מגנט קיים , בהזנחת כוח החיכוך , הכוח שנותר הוא כוח הכובד לכן נוכל לחשב את הכוח הפועל על העגלה כך :

$$\vec{F} = m\vec{g}\sin\alpha = m\vec{g}\frac{\Delta h}{\ell}$$

כאשר Δh הוא הפרש הגבהים בין המסלול לבין משטח העבודה (השולחן במקרה זה) , המשתנה עם סיבוב ידית המגבה .
ℓ - הוא מרחק שרירותי קבוע בין 2 נקודות ע"ג המסלול – לצורך נוחות החישוב נלקח מרחק של מטר אחד.
כך שנוסחת העבודה לחישוב הכוח תהא :

$$\vec{F} = m\vec{g}\sin\alpha = m\vec{g}\Delta h$$

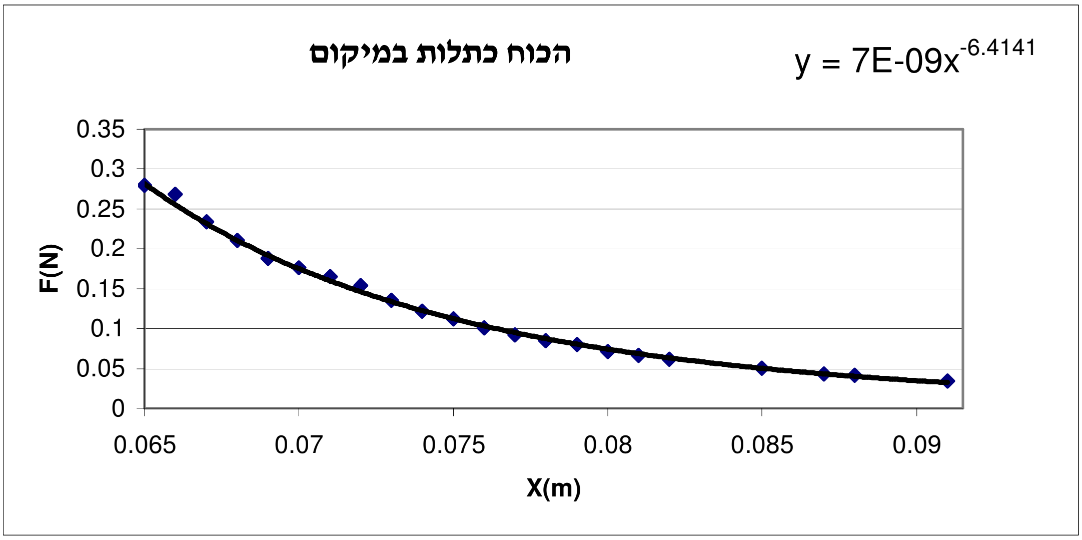
משנים את הזווית של המסלול ומודדים את המרחק בין המגנטים , ע"פ שיוני הזווית מחשבים ע"פ שינוי הזווית את הכוח הפועל על העגלה .
משרטטים גרף המתאר את הכוח כתלות במרחק בין המגנטים ,ניתן לחשב את האנרגיה הפוטנציאלית של העגלה הגובה מסוים ע"י אינטגרציה של הפונקציה המתארת את הגרף בנק' המתאימה בהתאם לנקודת האפס שבחרנו כנק' הייחוס.

עיבוד נתונים

להלן טבלת המדידות אשר עובדה בגיליון האלקטרוני.

נקודת מדידה	X(m)	h1	h2	הפרש הגובה	F(N)
X(אפס)	0.091	13.2	14.7	1.5	0.0344
1	0.088	13.2	15	1.8	0.0413
2	0.087	13.3	15.2	1.9	0.0436
3	0.085	13.4	15.6	2.2	0.0505
4	0.082	13.3	16	2.7	0.0619
5	0.081	13.3	16.2	2.9	0.0665
6	0.08	13.3	16.4	3.1	0.0711
7	0.079	13.3	16.8	3.5	0.0803
8	0.078	13.3	17	3.7	0.0848
9	0.077	13.3	17.4	4	0.0917
10	0.076	13.4	17.8	4.4	0.1009
11	0.075	13.3	18.2	4.9	0.1124
12	0.074	13.3	18.6	5.3	0.1215
13	0.073	13.3	19.2	5.9	0.1353
14	0.072	13.3	20	6.7	0.1536
15	0.071	13.3	20.5	7.2	0.1651
16	0.07	13.3	21	7.7	0.1766
17	0.069	13.3	21.5	8.2	0.188
18	0.068	13.3	22.5	9.2	0.211
19	0.067	13.3	23.5	10.2	0.2339
20	0.066	13.3	25	11.7	0.2683
21	0.065	13.8	26	12.2	0.2798
22	0.064	13.8	27	13.2	0.3027

להלן הגרף שהתקבל :



הגיליון האלקטרוני כצפוי נתן לנו גרף ואת המשוואה המשוערת עבורו .

משוואת הגרף היא : $y = 7*10^{-09}x^{-6.4141}$

כלומר, ניתן להציג את הכוח ע"פ הנוסחה הבאה :

$$F(x) = 7 \bullet 10^{-9} \bullet X^{-6.4141}$$

ואת האנרגיה כתלות במרחק בין המגנטים ניתן להציג כך :

$$U(x_1) = -\int_{X_0}^{X_1} F(x)dx = -\int_{X_0}^{X_1} 7 \bullet 10^{-9} \bullet X^{-6.4141} \bullet dx = -7 \bullet 10^{-9} \int_{X_0}^{X_1} X^{-6.4141} dx =$$

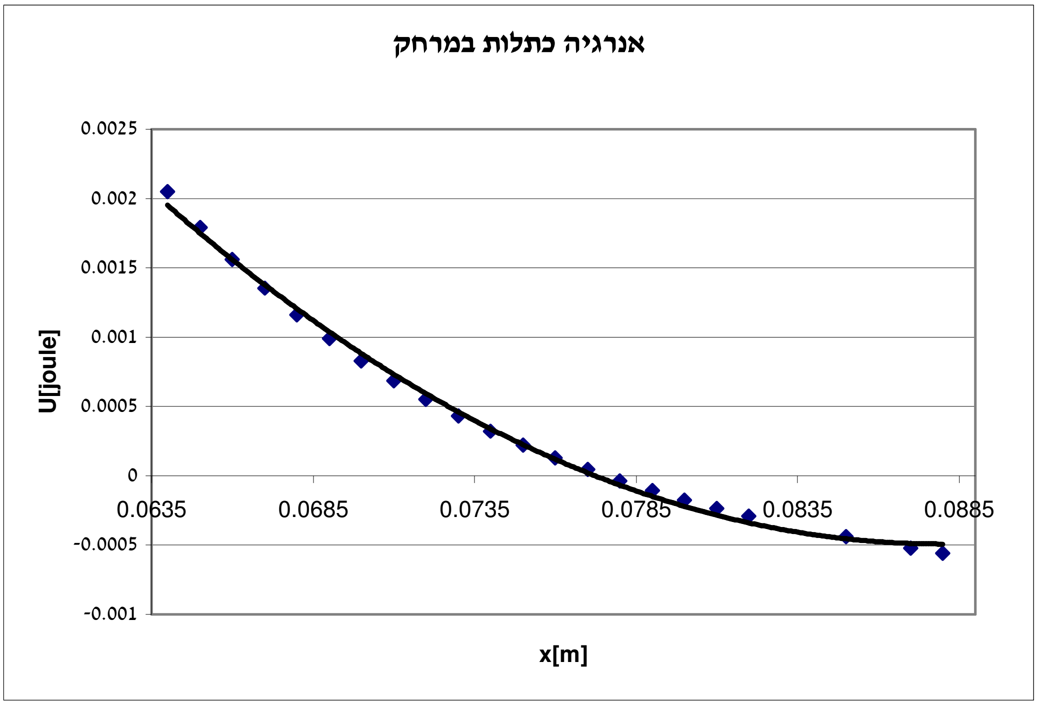
$$= -7 \bullet 10^{-9} \bullet (-\frac{1}{6.4141}) \bullet \left(X^{-5.4141}\right)_{X_0}^{X_1} \cong 1.09 \bullet 10^{-9} \bullet \left(X^{-5.4141}\right)_{X_0}^{X_1}$$

מכאן ניתן לחשב את האנרגיה שתלויה במרחק בין העגלה למסלול .
העלנו את הנתונים שמצאנו ע" הגיליון האלקטרוני (ראה טבלה)

להלן טבלת הנתונים עבור האנרגיה כפי שחושבה.

ΔX(m)	U(joule)
0.091	0.000471282
0.088	9.37892E-05
0.087	0.00050735
0.085	0.000174454
0.082	0.000653769
0.081	0.000231342
0.08	0.000715346
0.079	0.00029806
0.078	0.000787708
0.077	0.000376625
0.076	0.000873098
0.075	0.000469535
0.074	0.000974305
0.073	0.000579907
0.072	0.001094814
0.071	0.000711647
0.07	0.001239011
0.069	0.000869683
0.068	0.001412445
0.067	0.001060275
0.066	0.001622188
0.065	0.001291428
0.064	0.001877319

להלן הגרף שהתקבל מנתוני הטבלה :



חלק ב' מדידת ערכי האנרגיה ביחס לנק' ייחוס מסוימת :

נבחרה נקודת ייחוס מסוימת שהיא בקירוב הממוצע בין הערך המינ' לערך המקס' המתאר את המרחק בין המגנטים בחלק הקודם של הניסוי :

$$x_0 = 0.076_m$$

קבועים נוספים בניסוי - מסת העגלה , תאוצת הכובד כלומר משקל העגלה :

$$\vec{W} = m\bullet\vec{g} = 0.234_g \bullet 9.8_{m/sec^2} = 2.2965_N$$

האנרגיה נמדדה ע"פ הנוסחה הבאה :

$$U(x) = -m\cdot\vec{g}\cdot(x-x_0)\cdot\sin\alpha = m\cdot\vec{g}(x_0-x)\frac{\Delta h}{L} = m\cdot\vec{g}(x_0-x)\frac{\Delta h}{1_m}$$

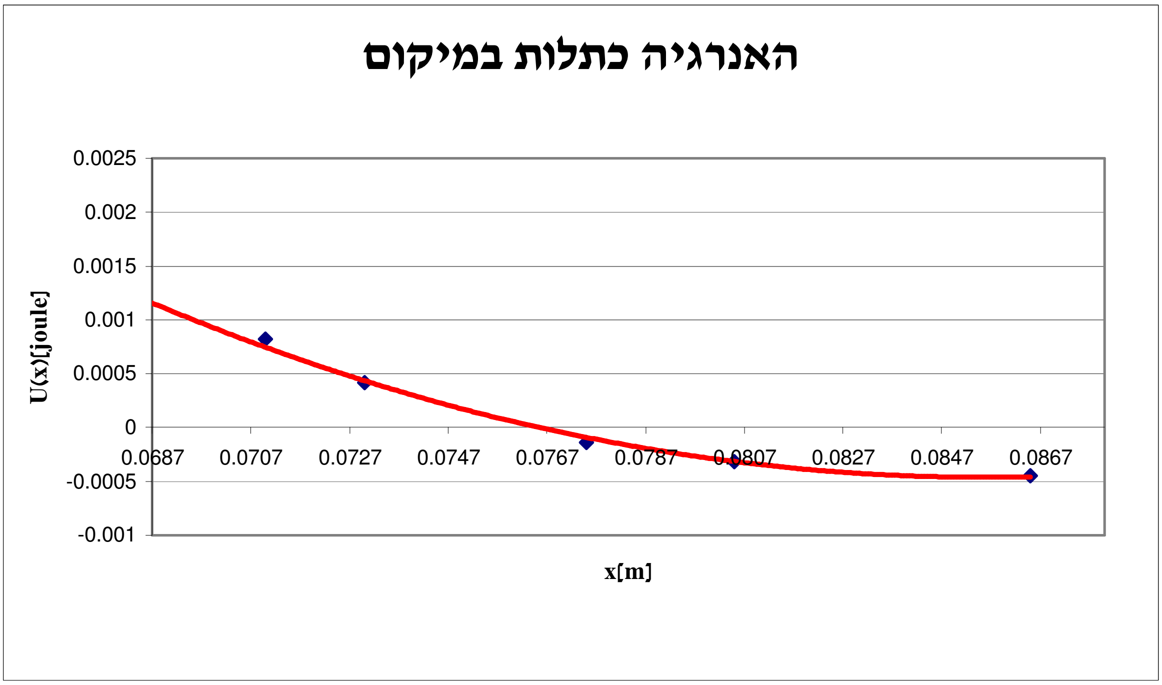
$$= m\cdot\vec{g}(x_0-x)\Delta h = 0.234_{kg}\cdot 9.8_{m/sec^2}(0.0076-x)\cdot\Delta h$$

כאשר Δh הוא הפרש הגובה של זווית נטיית מסילת האוויר ו-α היא זווית הנטייה.

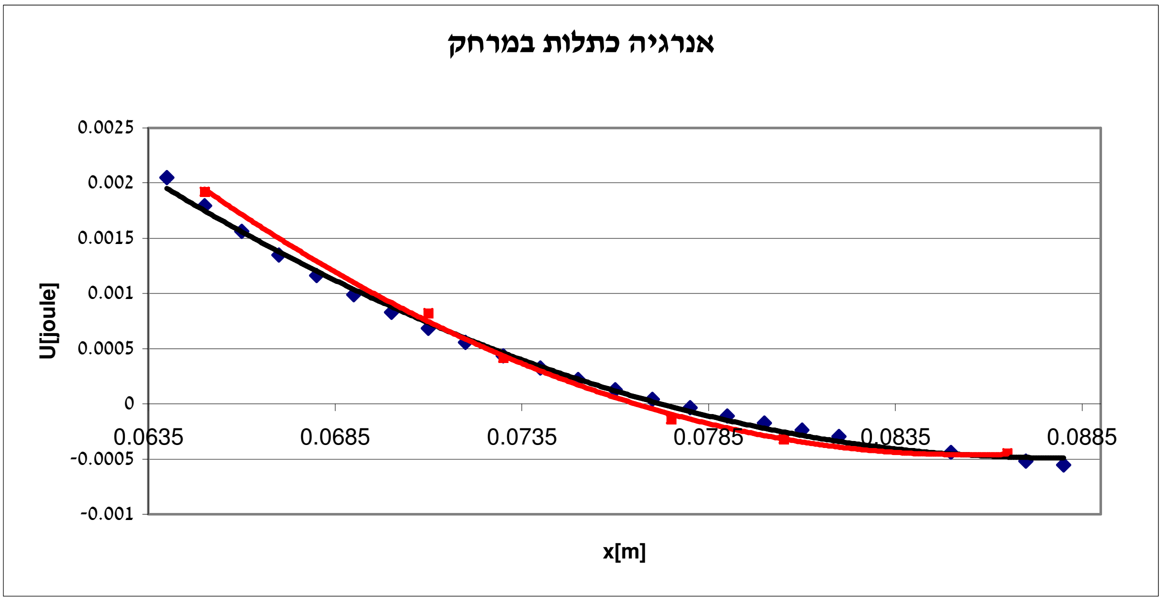
להלן טבלת מדידות האנרגיה כתלות במרחק :

x[m]	H[m]	U(x)[joule]
0.0775	0.04	-0.00014
0.0805	0.0305	-0.00032
0.0865	0.0185	-0.00045
0.073	0.0605	0.00042
0.071	0.0715	0.00082
0.065	0.076	0.00192

להלן הגרף שהתקבל מהטבלה הנ"ל :



ניתן להציג את שני הגרפים המציינים את האנרגיה כתלות במיקום ע"ג מערכת צירים אחת :



ניתן לראות כי שני קווי המגמה , בקירוב טוב , בעלי אותה מגמה .

מסקנות :

1. למדנו כיצד למדוד שדה כוח
2. למדנו למדוד אנרגיה פוטנציאלית של גוף בשתי שיטות (חישוב ומדידה)
3. הוכחנו כי קיים קשר מתמטי בין הכוח הפועל על הגוף ולבין האנרגיה הפוטנציאלית שלו המתקיים ע"פ הנוסחה :

$$U(x_1) = -\int_{X_0}^{X_1} F(x)dx$$

דו"ח מעבדה
מסי 4

תנועה מעגלית

ניסוי מס' 4 – תנועה מעגלית

מטרת הניסוי

התנסות בתנועה במרחב התלת ממדי והמחשת מושגים בקינמטיקה .

תיאור המערכת

מוט מוחזק ע"י מסב , שצירו סוטה מהאנך בזווית זעירה , בקצהו מחובר משדר .
המוט מבצע תנועה של קשת מעגלית , ותנועתו נרשמת ע"י הוי סקופ .

מהלך הניסוי

מקבלים מתוכנת הוי-סקופ נתונים על התנועה (העתק אופקי , העתק אנכי , מהירות אופקית , מהירות אנכית , תאוצה אופקית , תאוצה אנכית) , מעתיקים את טבלת הנתונים לגיליון אלקטרוני , מהגיליון מפיקים גרף של העתק אנכי כנגד העתק אופקי , מארגנים את הגרף באופן ששני ציריו יהיו בקנה מידה מספרי אחיד .
מדפיסים 2 עותקים של הגרף הנ"ל , על אחד משרטטים את רכיבי המהירות של תנועת המוט ע"פ נתוני הטבלה , ועל העותק השני משרטטים את רכיבי התאוצה .
לסיום – מרכיבי המהירות משרטטים את המהירות השקולה , ומרכיבי התאוצה משרטטים את תאוצת הגוף , התאוצה הרדיאלית והתאוצה המשיקית .
הערות :

א. מהירות ותאוצה שקולות תמצאנה ע"פ "שיטת המקבילית" בצורה וקטורית .
ב. נלקחו 4 נקודות בקרה עבור כל גודל פיסיקלי .

תוצאות הניסוי

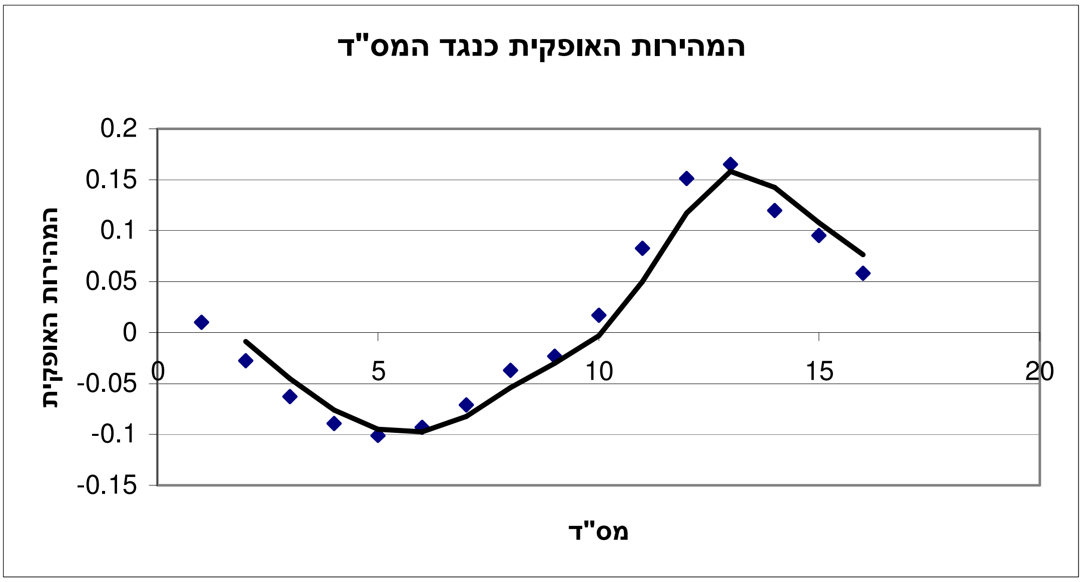
להלן טבלת הנתונים שנתקבלה ממערכת הוי-סקופ :

מס"ד	Y[m]	X[m]	Vx[m/s]	Vy[m/s]	ax[m/s^2]	ay[m/s^2]
1	0.005	0.438	0.01	0.04	-0.392	0.782
2	0.006	0.437	-0.028	0.056	-0.37	0.452
3	0.016	0.432	-0.063	0.13	-0.305	0.725
4	0.033	0.424	-0.089	0.201	-0.187	0.727
5	0.056	0.414	-0.101	0.276	-0.017	0.702
6	0.088	0.404	-0.093	0.342	0.15	0.6
7	0.125	0.396	-0.071	0.396	0.28	0.465
8	0.167	0.39	-0.037	0.435	0.237	0.49
9	0.212	0.385	-0.023	0.494	0.27	0.242
10	0.266	0.385	0.017	0.483	0.532	-0.43
11	0.308	0.392	0.083	0.408	0.672	-0.87
12	0.347	0.402	0.151	0.309	0.41	-0.775
13	0.375	0.415	0.165	0.253	-0.155	-0.377
14	0.398	0.43	0.12	0.234	-0.347	-0.467
15	0.417	0.446	0.095	0.159	-0.312	-0.725
16	0.43	0.454	0.058	0.089	-0.642	-0.465

ראה גרפים ושרטוטים מצורפים :

1. וקטורי המהירות
2. וקטורי התאוצה

תשובות לשאלות בתדריך :
שאלה : האם התקבלו הכיוונים הצפויים עבור המהירות ?
תשובה : כן , וקטורי המהירות התקבלו , בקירוב טוב , בצורה משיקית לקשת התנועה.
ש : האם הערכים הגדולים יותר של המהירות מתקבלים במקומות הצפויים ?
ת : כן , ב"תחתית" הקשת מתקבלת כצפוי מהירות גדולה יותר , כתוצאה מתוספת מהירות כנגזרת מהירידה באנרגיה הפוטנציאלית של הגוף (הגוף צובר אנרגיה קינטית כאשר הוא מאבד גובה).
ש : האם מתקבלת המגמה הצפויה עבור התאוצה המשיקית ?
ת : כן , התאוצה המשיקית מאונכת לתאוצה הרדיאלית ומתלכדת , בקירוב טוב עם כיוון המהירות המשיקית.
ש : האם התאוצה המשיקית הולכת וגדלה במקומות הצפויים ?
ת : ניתן להגיד שכן , בקירוב טוב , התאוצה המשיקית הולכת וקטנה , זווית הרכיב ביחס לאנך הולכת וגדלה , התאוצה המשיקית שהיא $g*\cos\alpha$, הולכת וקטנה.
ש : האם מתקבלת המגמה הצפויה עבור התאוצה המאונכת ?
ת : כן , התאוצה המאונכת מכוונת לכיוון מרכז המעגל.
ש : האם התאוצה המאונכת גדולה יותר במקומות הצפויים ?
ת : כן התאוצה המאונכת היא התאוצה הרדיאלית והיא תלויה בריבוע המהירות המשיקית - $\vec{a_\tau} = \frac{\vec{V}^2}{R}$, היא הולכת וגודלת ככל שהמהירות גודלת.
ש : שרטט גרף כנגד המספר הסידורי ובדוק האם צורת הגרף סבירה . הסבר .
ת : להלן הגרף שהתקבל :



צורת הגרף סבירה , הגוף הולך וצובר מהירות בכיוון נפילתו בקשת , מגיע למהירות מרבית בנקודתו הנמוכה ביותר (נק' השיא בגרף בהתאם לכיוון המהירות) , ומגיע לעצירה רגעית כאשר המוט עולה לשיא הגובה ומשנה כיוון , או אז גם מהירות משנה כיוון.
מסקנות : למדנו להכיר תנועה מעגלית ומאפייניה.

<u>פיסיקה 1 בי – מעבדה</u>

תנע

ומתקף

מסה

ניסוי מס' 6 – תנע ומרכז מסה

מטרות הניסוי

הוכחה כי מרכז המסה של מערכת נע כגוף נקודתי, כלומר, לגוף בודד ולמרכז מסה של מערכת המבצעים אותה תנועה יש אותה תאוצה .

רקע תיאורטי

ע"פ חוק שימור התנע מתקיים :

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$$

בתנאי שלא פועלים על הגוף כוחות חיצוניים.

כמו כן מרכז המסה יחושב ע"פ :

$$\vec{r}_{c.m.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \bullet \vec{r}_i}{\sum m}$$

כאשר r_i הוא המיקום במרחב של אחד מחלקי המערכת, $\sum m$ הוא מסתה הכוללת של המערכת.

מהקשרים הנ"ל, מסת מרכז המערכת אמורה לקיים את החוק ה-II של ניוטון :

$$\sum \vec{F} = \sum_{i=1}^{n} m_i \bullet \vec{a}_i$$

מכיוון שתאוצת הגוף אינה תלויה במסתו, כך תנועת מרכז מערכת אמורה לקבל תאוצה של גוף כמו התאוצה שגוף נקודתי מקבל.

בניסוי שלנו, נוכיח כי תאוצת מרכז מסה של מס' גופים, שווה לתאוצת מסה בודדת (בהזנחת כוחות חיכוך).

תיאור המערכת

ע"ג מסילה משופעת ממקמים 2 עגלות המחוברות זו לזו ע"י גומייה, לאחת העגלות מוצמד מוט מתכת כך שלעגלות לא תהיינה מסות דומות , בין העגלות ישנם מגנטים המקיימים כוחות דחייה מגנטיים בין העגלות , כך שלמערכת יש מגוון כוחות פנימיים אך לאחר שהמערכת "נעה בכוחות עצמה " , לא פועל עליה כוח חיצוני.

מהלך הניסוי

מקנים למערכת תנועה משופעת (העגלות עולות ויורדות חזרה עד לסוף המסלול) ע"י המסילה ועוקבים אחרי תנועתה ע"י מערכת V-SCOPE, מנתחים את תנועת מרכז מסת המערכת, מבצעים ניתוח דומה עבור תנועה של עגלה בודדת .
ומשווים את תאוצתם .

עיבוד נתונים

נתונים גולמיים :

מסת עגלה ללא מוט (משדר כחול) : 0.53308 ק"ג
מסת עגלה + מוט (משדר אדום) : 1.02141 ק"ג
מסת מערכת כוללת : 1.55449 ק"ג

עבור מרכז המסה של המערכת :

להלן טבלת הנתונים שהתקבלה ממערכת ה- V-SCOPE :

Zc.m.[m]	Vz[m/s] Red	Vz[m/s] Blue	Vx[m/s] Red	Vx[m/s] Blue	Z[m]Red	Z[m]Blue	t[s]	
-0.06186	0.003	0.016	0	0.239	-0.067	-0.052	0	0
-0.06086	0	0.015	-0.002	0.252	-0.066	-0.051	0.03	1
-0.05986	-0.003	0.014	-0.003	0.255	-0.065	-0.05	0.06	2
-0.05886	-0.002	0.013	-0.006	0.258	-0.064	-0.049	0.09	3
-0.05786	0	0.012	-0.008	0.253	-0.063	-0.048	0.12	4
-0.05786	-0.002	0.01	-0.004	0.248	-0.063	-0.048	0.15	5
-0.05686	-0.003	0.013	0	0.237	-0.062	-0.047	0.18	6
-0.05586	0.002	0.015	0.021	0.227	-0.061	-0.046	0.21	7
-0.05386	0.007	0.018	0.042	0.224	-0.059	-0.044	0.24	8
-0.05186	0.006	0.02	0.064	0.222	-0.057	-0.042	0.27	9
-0.04886	0.005	0.014	0.087	0.221	-0.054	-0.039	0.3	10
-0.04786	0.003	0.008	0.112	0.22	-0.053	-0.038	0.33	11
-0.04786	0.002	0.011	0.138	0.232	-0.053	-0.038	0.36	12
-0.04786	0.004	0.013	0.165	0.243	-0.053	-0.038	0.39	13
-0.04686	0.007	0.022	0.192	0.261	-0.052	-0.037	0.42	14
-0.04586	0.012	0.03	0.222	0.278	-0.051	-0.036	0.45	15
-0.04486	0.017	0.021	0.252	0.303	-0.05	-0.035	0.48	16
-0.04486	0.019	0.012	0.278	0.327	-0.05	-0.035	0.51	17
-0.04486	0.022	0.02	0.305	0.363	-0.05	-0.035	0.54	18
-0.04386	0.015	0.028	0.332	0.398	-0.049	-0.034	0.57	19
-0.04286	0.008	-0.0065	0.358	0.334	-0.048	-0.033	0.6	20
-0.04286	0.013	0.007	0.388	0.27	-0.048	-0.033	0.63	21
-0.04186	0.018	-0.0073	0.418	0.363	-0.047	-0.032	0.66	22
-0.04186	0.02	0.027	0.448	0.455	-0.047	-0.032	0.69	23
-0.04086	0.022	0.023	0.478	0.441	-0.046	-0.031	0.72	24
-0.03986	0.024	0.02	0.505	0.427	-0.045	-0.03	0.75	25
-0.03886	0.027	0.03	0.532	0.476	-0.044	-0.029	0.78	26
-0.03786	0.027	0.037	0.553	0.525	-0.043	-0.028	0.81	27
-0.03686	0.028	0.042	0.573	0.452	-0.042	-0.027	0.84	28
-0.03586	0.027	0.035	0.581	0.38	-0.041	-0.026	0.87	29
-0.03486	0.025	0.027	0.588	0.35	-0.04	-0.025	0.9	30
-0.03386	0.01	0.018	0.577	0.32	-0.039	-0.024	0.93	31
-0.03386	-0.005	0.018	0.565	0.297	-0.039	-0.024	0.96	32
-0.03286	0.019	0.017	0.57	0.275	-0.038	-0.023	0.99	33
-0.03286	0.043	0.025	0.575	0.259	-0.038	-0.023	1.02	34

יש לציין כי זוהי טבלת נתונים חלקית מתוך הגיליון האלקטרוני ומיותר להציג את כל הטבלה בדו"ח זה , **ובהתאם לגבי טבלת הנתונים עבור העגלה הבודדת בהמשך** !

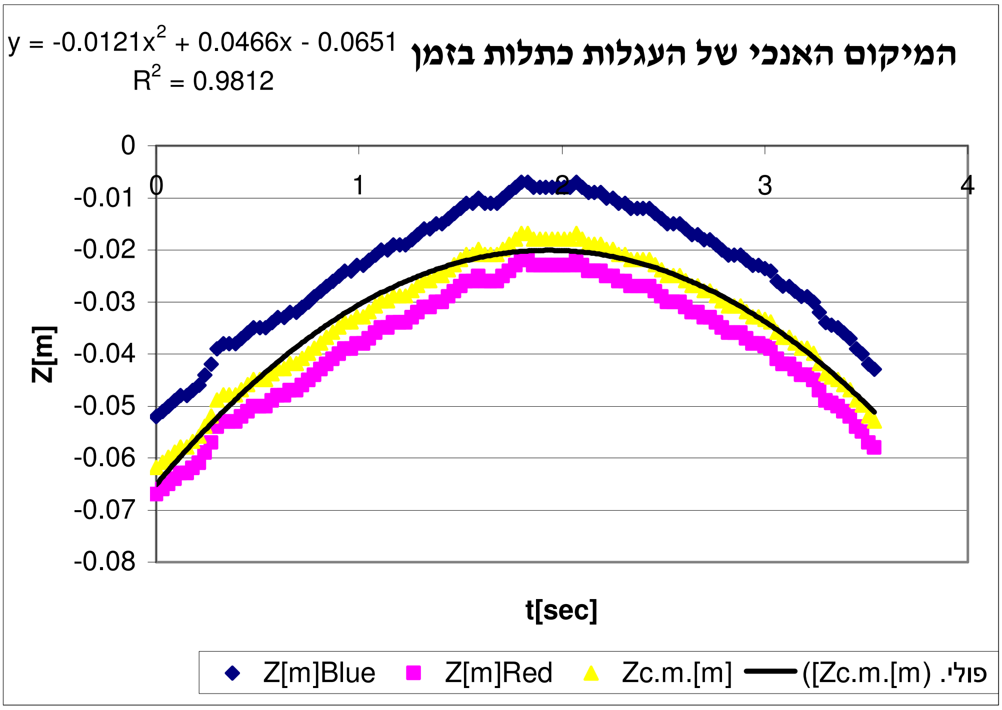
מרכז המסה בכיוון ציר Z של המערכת שחושב ע"פ הנוסחה הרשומה מעלה באופן הבא :

$$\vec{z}_{c.m.}=\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \bullet \vec{r}_i}{\sum m}=\frac{\vec{z}_1 \bullet 0.53308_{kg}+\vec{z}_2 \bullet 1.02141_{kg}}{1.55449_{kg}}$$

ובהתאם , אותו חישוב לגבי מהירות מרכז מסה.

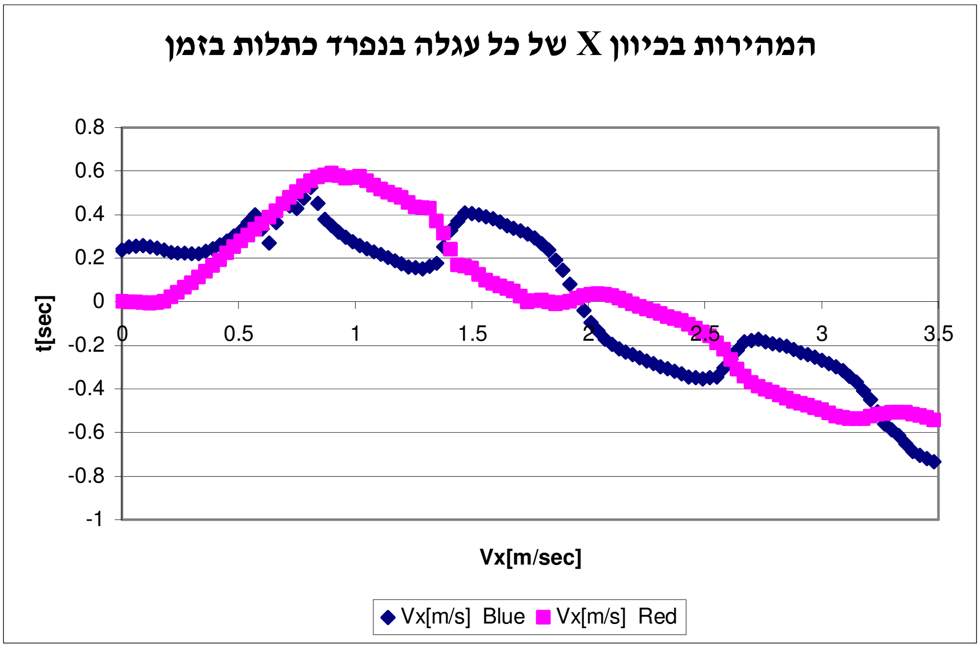
הערה : לכל הגרפים בהמשך מצורף מקרא המבדיל בין העגלה האדומה עם המוט ובין העגלה הכחולה.

גרף המיקום בכיוון Z של כל אחת מהעגלות בנפרד ומרכז המסה של המערכת :



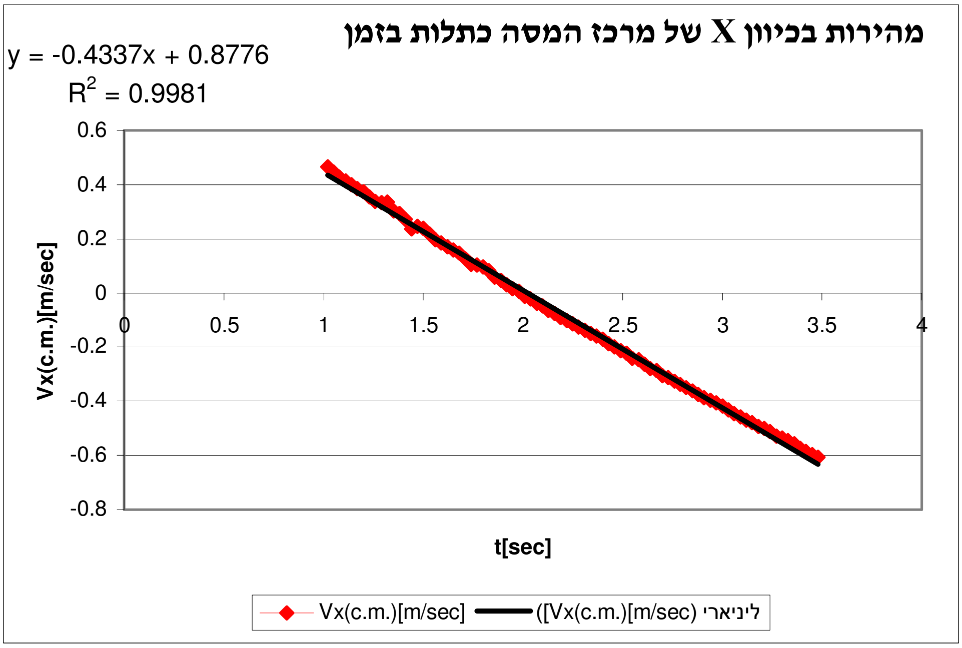
ניתן לראות כי עבור כל אחד מהגופים בנפרד ועבור מרכז המסה הכולל התקבל מסלול פרבולי , כצפוי.

להלן מערכת צירים המתארת את מהירותה של כל עגלה בנפרד :



ניתן לראות בבירור כי לא ניתן להסיק דבר לגבי מהירותה כל עגלה בנפרד , זאת בגלל שכל עגלה מושפעת מהכוחות הפנימיים (חיכוך , כוחות מגנטיים, כוח אלסטי מן הגומייה) הפועלים במערכת , אך עבור מרכז המסה של המערכת , אנו מניחים כי יתקבל גרף אחר .

להלן גרף המתאר את מהירותו של מרכז המסה של המערכת בכיוון X :



ניתן לראות כי התקבל גרף ליניארי , שיפוע הגרף למעשה הוא תאוצת המערכת :

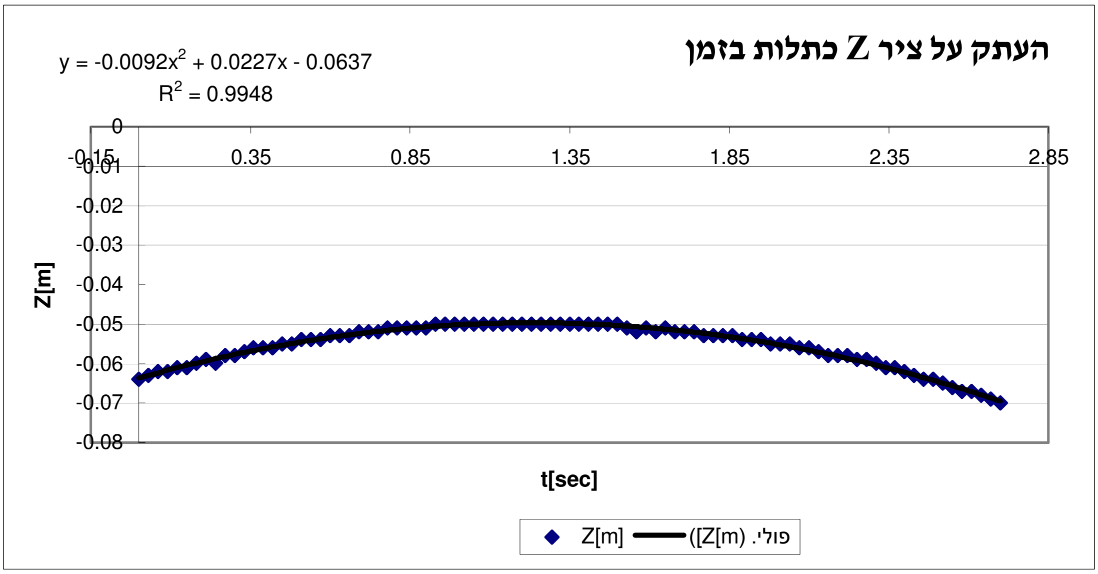
$$a=\frac{dv}{dt}=-0.4337\,{}^{m}/_{sec^2}\cong-0.43\,{}^{m}/_{sec^2}$$

עבור העגלה הבודדה :

להלן טבלת הנתונים שהתקבלה ממערכת ה- V-SCOPE :

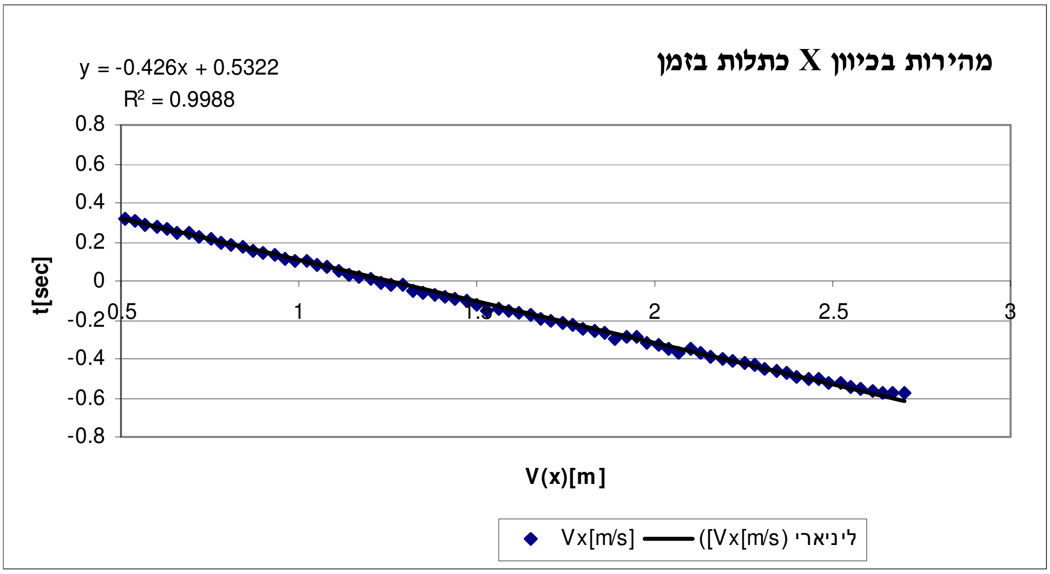
Vz[m/s]	Vx[m/s]	Z[m]	t[s]	Blue
0.022	0.55	-0.064	0	0
0.022	0.536	-0.063	0.03	1
0.027	0.52	-0.062	0.06	2
0.025	0.509	-0.062	0.09	3
-0.004	0.487	-0.061	0.12	4
0.02	0.478	-0.061	0.15	5
0.022	0.467	-0.06	0.18	6
0.0179	0.445	-0.059	0.21	7
0.022	0.44	-0.06	0.24	8
0.0227	0.438	-0.058	0.27	9
-0.006	0.408	-0.058	0.3	10
0.0232	0.403	-0.057	0.33	11
0.017	0.385	-0.056	0.36	12
0.013	0.37	-0.056	0.39	13
0.015	0.362	-0.056	0.42	14
0.015	0.345	-0.055	0.45	15
0.0151	0.333	-0.055	0.48	16
0.013	0.32	-0.054	0.51	17
0.004	0.305	-0.054	0.54	18
0.013	0.292	-0.054	0.57	19
0.012	0.28	-0.053	0.6	20
0.01	0.265	-0.053	0.63	21
0.01	0.25	-0.053	0.66	22

<u>להלן הגרף שהתקבל מניתוח המיקום בכיוון Z עבור עגלה בודדת</u> :



גם כאן התקבל מסלול תנועה פרבולי כצפוי .

<u>להלן גרף המתאר את מהירותה של העגלה הבודדת בכיוון X</u> :



ניתן לראות כי התקבל גרף ליניארי , שיפוע הגרף למעשה הוא תאוצת המערכת :

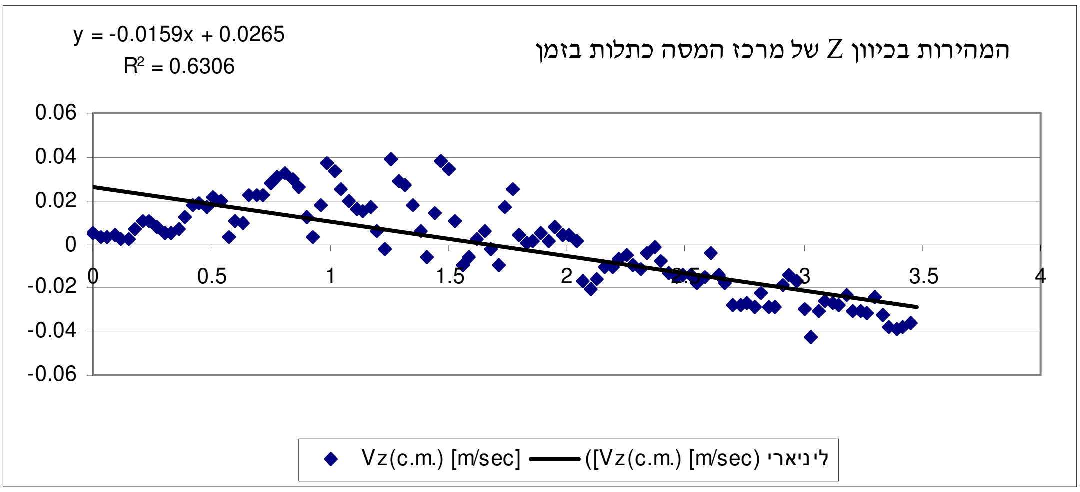
$$a=\frac{dv}{dt}=-0.426\,{}^{m}\!/_{sec^2}\cong-0.43\,{}^{m}\!/_{sec^2}$$

ניתן לראות כי בכיוון X, כי עבור תאוצת מרכז המסה של 2 העגלות ועבור תאוצת העגלה הבודדת, בהזנחת כוחות חיכוך, מתקבל בקירוב טוב אותו ערך !

<u>נראה כי גם בכיוון Z מתקיים אותו קשר</u> !

בכיוון Z נצפה לראות מהירויות פחות "מסודרות" בצורה גרפית , בגלל כוחות החיכוך של המערכת אשר אותם אנו מזניחים !

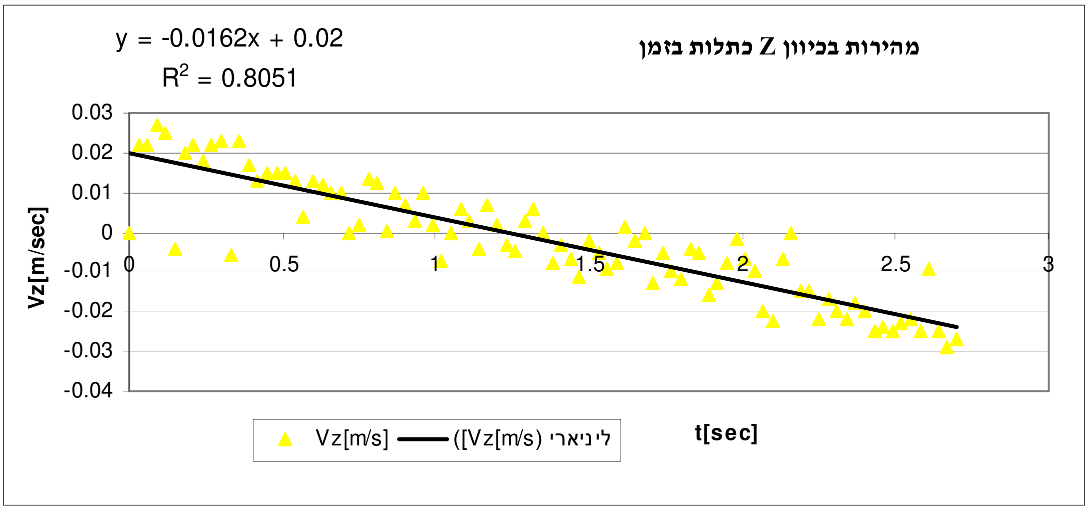
עבור מרכז המסה של המערכת :



ניתן לראות כי התקבל גרף ליניארי , שיפוע הגרף למעשה הוא תאוצת המערכת :

$$a=\frac{dv}{dt}=-0.0159\,{}^{m}\!/\!_{sec^2}\cong-0.016\,{}^{m}\!/\!_{sec^2}$$

עבור העגלה הבודדת :



ניתן לראות כי התקבל גרף ליניארי , שיפוע הגרף למעשה הוא תאוצת המערכת :

$$a=\frac{dv}{dt}=-0.0162\,{}^{m}\!/\!_{sec^2}\cong-0.016\,{}^{m}\!/\!_{sec^2}$$

כמו בכיוון X ניתן לראות כי בכיוון Z, כי עבור תאוצת מרכז המסה של 2 העגלות ועבור תאוצת העגלה הבודדת, בהזנחת כוחות חיכוך, מתקבל בקירוב טוב אותו ערך !

מסקנות :

1. הוכחנו , כי בשני כיווני תנועה שונים , גם גוף בודד וגם מרכז מסה של מערכת רב גופית , בהנחה והם מבצעים אותה תנועה וכל עוד לא פועלים כוחות חיצוניים , מקבלים אותה תאוצה , ע"פ החוק ה-II של ניוטון וע"ב חוק שימור התנע (מטרת הניסוי) .

פיסיקה 1 ב' – מעבדה

תנועה

הרמונית

בלתי

מרוסנת

תנועה הרמונית בלתי מרוסנת

מטרות הניסוי

1. אישור חוק HOOKE – קבוע הקפיץ .
2. הכרת המושג "זמן מחזור" , מציאת הקשר בין מסת המערכת לזמן מחזור ובין אורך המשרעת לזמן מחזור בתנועה הרמונית בלתי מרוסנת, מוכיחים תלות פרופורציונית בין המסה לזמן המחזור ע"פ הקשר : $\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = \frac{T_1}{T_2}$ המתקבל מ - $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

נבדוק האם אכן קיימת פרופורציה מסוג : $T \propto \sqrt{m}$

הכנה תיאורטית (תשובות)

א.שקול הכוחות הפועל על העגלה:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} = \sum \vec{f}_{e\ell_1} = k_1(\ell_1 - L) - [-k_2(\ell_2 - L)] = k_1(\ell_1 - L) - k_2(L - \ell_2)$$
$$= k_1(\Delta\vec{\ell}) - k_2(-\Delta\vec{\ell}) = (k_1 + k_2)(\Delta\vec{\ell}) = (k_1 + k_2)(L - \ell_0)$$

מ.ש.ל.

ב. מעבר לכוח הקפיצים, במסלול משופע פועל גם רכיבי כוח המשיכה בשני כיווני התנועה כנגד כוחות הקפיץ :

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{f}_{e\ell_1} = k_1(\ell_1 - L) + m\vec{g}\sin\alpha - [-k_2(\ell_2 - L)] - m\vec{g}\sin\alpha = k_1(\ell_1 - L) - k_2(L - \ell_2)$$
$$= k_1(\Delta\vec{\ell}) - k_2(-\Delta\vec{\ell}) = (k_1 + k_2)(\Delta\vec{\ell}) = (k_1 + k_2)(L - \ell_0)$$

מ.ש.ל.

תיאור הניסוי :

מציאת הקשר בין הכוח שפועל על הקפיץ לבין מידת התארכותו (חוק הוק)
כאשר קפיץ תלוי במצב מנוחה , המשקל שהוא נושא שווה לכוח הנגדי אשר מפעיל הקפיץ :

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow m\vec{g} = k\Delta\vec{\ell} = k(x - x_0)$$

עורכים סידרת מדידות כאשר משנים את המסה שנושא הקפיץ ומודדים את מידת התארכות הקפיץ,
משרטטים גרף של - $\Delta\vec{\ell}$ כתלות ב - $m\vec{g}$, שיפוע הגרף המתקבל ייתן את ערכו ההופכי של קבוע הקפיץ , הגרף הצפוי הוא ליניארי , שאינו מתחיל מראשית הצירים .
עגלה נעה על מסלול ומחוברת מכל צד לקפיצים בעלי קבועים מסוימים.
מקנים לעגלה תנועה ומנתחים את תנועתה ע"י מערכת ויסקופ, ומודדים את זמן מחזור התנועה, משנים את משרעת התנועה, משנים את מסת העגלה, מודדים שוב זמן מחזור ומשווים לתנאי הניסוי הקודמים.

זמן המחזור יחושב ע"פ : $T = \frac{t_N - t_0}{N}$

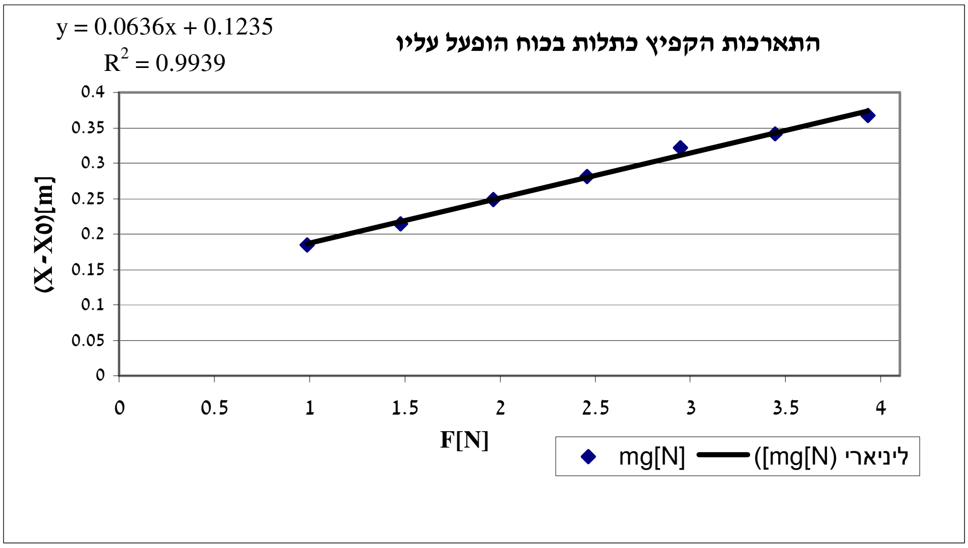
כלומר : בוחרים מהגרף שנוצר מס' נקודות קיצון מגרף סינוסואידלי צפוי (2 קצוות משרעת) מודדים את הפרש הזמנים ומחלקים במס' המחזורים שנבחר , וזהו זמן המחזור.
בודקים את תלות זמן המחזור במסת המערכת , ובודקים את תלות זמן המחזור במשרעת התנועה.

א. מדידת קבוע הקפיץ (אישור חוק הוק)

בוצעו מדידות כנדרש , להלן הטבלה של המדידות שבוצעו :

M[kg]	x[m]	mg[N]
0.10065	0.185	0.98637
0.150625	0.214	1.476125
0.2006	0.249	1.96588
0.250655	0.281	2.456419
0.300905	0.322	2.948869
0.351545	0.341	3.445141
0.401375	0.368	3.933475

להלן הגרף שהתקבל מן המדידות :



התקבל גרף ליניארי שאינו מתחיל מראשית הצירים כצפוי .

שיפוע הגרף - $a=\frac{\Delta\vec{\ell}}{\Delta\vec{F}}=\frac{\Delta\vec{\ell}}{\Delta K\vec{\ell}}=(\Delta K)^{-1}$, כלומר ערכו ההופכי של קבוע הקפיץ .

נחשב את ערכו ההופכי ע"פ פונקצית LINEST :

0.063647626	0.12349704
0.002237756	0.00592584

כלומר ערכו ההופכי של הקפיץ - $(\Delta K)^{-1}=0.064\pm0.002$

ערכו של קבוע הקפיץ : $k={}^{1}\!/_{0.064}=15.625\,{}^{N}\!/_{m}$

ב. מציאת הקשר בין זמן המחזור לבין מסת המערכת מחד ובין אורך המשרעת מאידך

לאחר הרכבת המערכת נותחה תנועת המערכת במערכת הויסקופ.

חישוב זמני המחזור עבור התנועות התקבלו הנתונים הבאים המתוארים בטבלה :

זמן מחזור (sec)	משרעת (m)	מסת המערכת (kg)	
$T=(5.07-0.96)/5=0.822$	0.05	עגלה	0.536
$T=(4.77-0.66)/5=0.822$	0.10	עגלה	
$T=(4.86-0.75)/5=0.822$	0.15	עגלה	
$T=(6.24-0.57)/5=1.134$	0.05	עגלה + משקולת	1.032
$T=(8.34-1.05)/5=1.458$		עגלה + 2 משקולות	1.525

ניתן לראות כי בשינויי המשרעת של המערכת, התקבלו ערכי זמן מחזור זהים.

עבור שינוי מסת המערכת ננסה לראות אם קיימת פרופורציה מסוג : $T \propto \sqrt{m}$

נחשב עבור 3 המצבים האפשריים של שינויי המסה יחסים בין זמני המחזור ע"פ הקשר : $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}}$

מצב ראשון : 1- עגלה + משקולת , 2- עגלה + 2 משקולות

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} \Rightarrow \frac{1.134}{1.458}=\frac{\sqrt{1.032}}{\sqrt{1.525}} \Rightarrow 0.7777 \neq 0.8289$$

התקבלו ערכים שונים , נחשב שגיאת מדידה , ונראה אם הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה , זוהי שגיאה חישובית לכן נחשב שגיאה ע"י גזירה חלקית :

$$\Delta\left(\frac{T_1}{T_2}\right)=\left|\frac{1}{T_2}\cdot\Delta T_1\right|+\left|-\frac{T_1}{T_2^{\,2}}\cdot\Delta T_2\right|=\left|\frac{1}{1.458}\cdot 0.06\right|+\left|-\frac{1.134}{2.125}\cdot 0.06\right|\cong 0.07$$

הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה $\Rightarrow 0.7777 \pm 0.07 = 0.8289$

מצב שני : 1- עגלה , 2- עגלה + משקולת

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} \Rightarrow \frac{0.822}{1.134}=\frac{\sqrt{0.536}}{\sqrt{1.032}} \Rightarrow 0.7248 \neq 0.7203$$

התקבלו ערכים שונים , נחשב שגיאת מדידה , ונראה אם הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה , זוהי שגיאה חישובית לכן נחשב שגיאה ע"י גזירה חלקית :

$$\Delta\left(\frac{T_1}{T_2}\right)=\left|\frac{1}{T_2}\cdot\Delta T_1\right|+\left|-\frac{T_1}{T_2^{\,2}}\cdot\Delta T_2\right|=\left|\frac{1}{1.134}\cdot 0.06\right|+\left|-\frac{0.822}{(1.134)^2}\cdot 0.06\right|\cong 0.09$$

הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה $\Rightarrow 0.7248 \pm 0.09 = 0.7203$

מצב שלישי : 1- עגלה , 2- עגלה + 2 משקולות

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}}\Rightarrow\frac{0.822}{1.458}=\frac{\sqrt{0.536}}{\sqrt{1.525}}\Rightarrow 0.5637\neq 0.5930$$

התקבלו ערכים שונים , נחשב שגיאת מדידה , ונראה אם הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה , זוהי שגיאה חישובית לכן נחשב שגיאה ע״י גזירה חלקית :

$$\Delta\left(\frac{T_1}{T_2}\right)=\left|\frac{1}{T_2}\cdot\Delta T_1\right|+\left|-\frac{T_1}{T_2^{\ 2}}\cdot\Delta T_2\right|=\left|\frac{1}{1.458}\cdot 0.06\right|+\left|-\frac{0.822}{(1.458)^2}\cdot 0.06\right|\cong 0.064\approx 0.06$$

$$0.5637\pm 0.06=0.593\Rightarrow$$ הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה

מסקנות

1. בחלקו הראשון של הניסוי הוכחנו את חוק HOOKE ע״י מציאת פרופורציה בין מידת התארכות קפיץ ביחס לכוח המופעל עליו , מתוך הפרופורציה הנ״ל מצוי את ערכו של קבוע הקפיץ הנ״ל .
2. בחלקו השני של הניסוי :
   א. הכרנו את המושג ״זמן מחזור״.
   ב. מצאנו כי שינוי משרעת המערכת, אינו משפיע על זמן המחזור.
   ג. מצאנו כי שינוי מסת המערכת משפיע על זמן המחזור , וזמן המחזור תלוי פרופורציונית בשורש ערכו של המסה.

פיסיקה 1 ב' – מעבדה

תנועה הרמונית מפוסנת

תנועה הרמונית מרוסנת

מטרות הניסוי

1. הכרת תנועה הרמונית מרוסנת ע"פ הקשר :

$$m\ddot{x} = -(k_1 + k_2)(x - x_0) - b\dot{x}$$ (b - מקדם הריסון)

2. קביעת ערך מקדם הריסון .

רקע תיאורטי

ע"פ הגדרה מתקיים :

$$x_0 - x = Ae^{-\gamma t}\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

כאשר A היא משרעת התנועה , ω- מהירותה הזוויתית של התנועה כאשר :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m} - \gamma^2} = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}$$

שאלה הכנה (תשובות)

חישוב b :

$$m\ddot{x} = -(k_1 + k_2)(x - x_0) - b\dot{x} \Rightarrow [N] = -[N/m]\bullet[m] - b[m/sec] \Rightarrow [kg][m/sec^2] = b[m/sec] \Rightarrow b = [kg]/[sec]$$

חישוב γ :

$$\gamma = \frac{b}{2m} = \frac{[\frac{kg}{sec}]}{[kg]} = [1/sec] = [Hz]$$

תיאור הניסוי

בדומה לניסוי " תנועה הרמונית בלתי מרוסנת", אך כאן לעגלה מגנטים בתחתיתה אשר במהלך התנועה משרים זרם חשמלי המקנה כוח המתנגד לתנועה ע"פ עקרון לנץ.
חוקרים את תנועת המערכת ע"י מע' ויסקופ . קביעת מקדם הריסון של המערכת , מודדים את זמן המחזור ומשווים לערכו התיאורטי.

מודדים את ערכו של γ ע"י חילוץ ערכו מן הביטוי $\gamma \cdot \frac{T}{2}$ המתקבל מן הגרף המתאר את המשוואה :

$$\chi_i = ACe^{-\gamma(t_1 - T/2)} \cdot e^{-\gamma\frac{Ti}{2}}$$

כאשר לצורך נוחות מתמטית נציב:

$$C = |\cos(\omega t + \varphi)|$$

קביעת מקדם הריסון בשיטה נוספת תבוצע ע"פ הקשר :

$$V(t) = V_0 e^{-bt/m}$$

מסרטטים גרף מעריכי המתאר את המשוואה הנ"ל , ומוצאים את b מהביטוי b/m (חוזרים על הניסוי בכיוון הפוך ועושים ממוצע בין 2 הערכים).

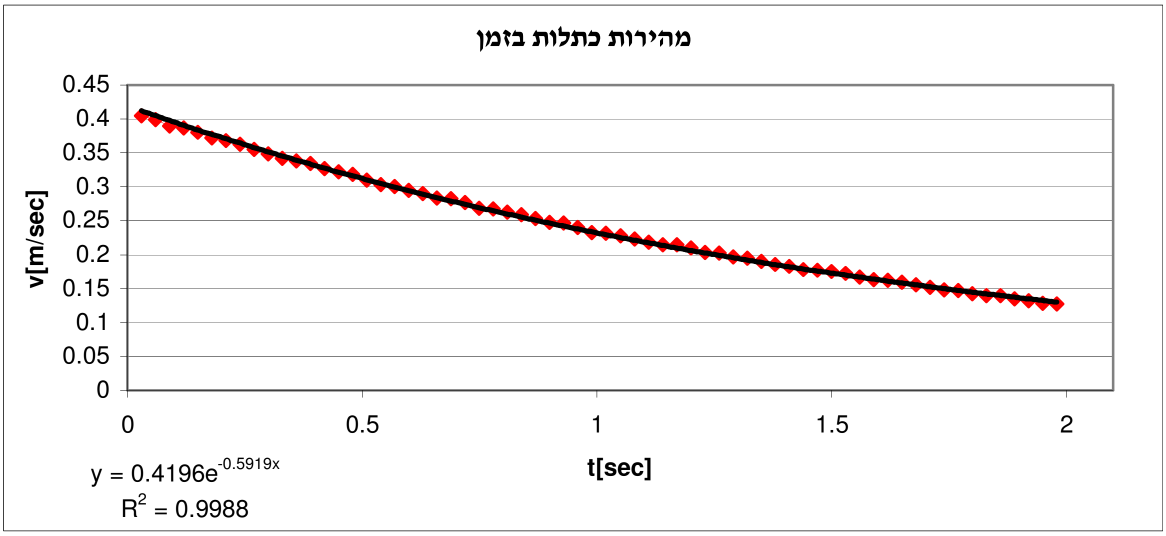
תוצאות וממצאים

מסת העגלה : $564.67_g \cong 0.565_{kg}$

חלק א' : מציאת ערכו של γ מתוך ניתוח מהירות כתלות בזמן

בוצע איזון למסילה ע"י פלס מים, הוענקה לעגלה תנועה , ותנועתה נרשמה במע' V-SCOPE .

להלן הגרף שהתקבל עבור כיוון א' :

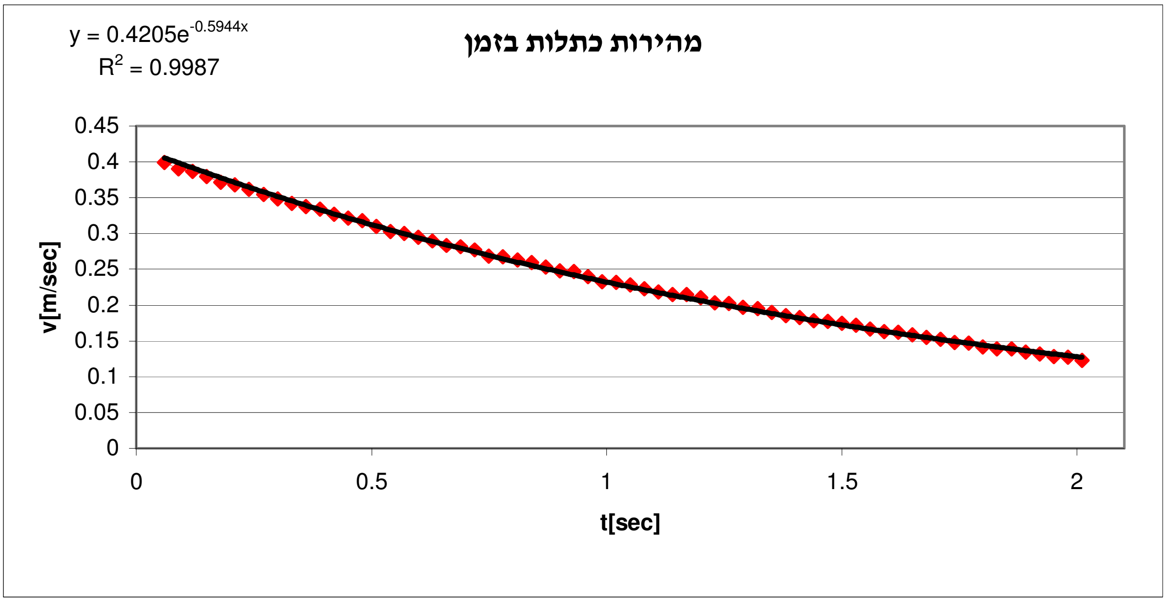


מתוך קו המגמה שהתקבל , התקבלה המשוואה הבאה $y = 0.4196 \cdot e^{-0.5919 \cdot x}$

המקדם של X הוא כאמור ערכו של $\frac{b}{2m}$

מכאן ש- b_1 : $\frac{b}{m} = 0.5919 \Rightarrow b = 0.5919 \cdot m = 0.5919 \cdot 0.565 = 0.3344235_{kg/sec}$

להלן הגרף שהתקבל עבור כיוון ב' :



מתוך קו המגמה שהתקבל , התקבלה המשוואה הבאה $y = 0.4205 \cdot e^{-0.5944 \cdot x}$

המקדם של X הוא כאמור ערכו של $\frac{b}{2m}$

מכאן ש- b_2 : $\frac{b}{m} = 0.5944 \Rightarrow b = 0.5944 \cdot m = 0.5944 \cdot 0.565 = 0.335836_{kg/sec}$

לקחנו את העגלה והענקנו לה תנועה בשני כיוונים כדי לקבל 2 ערכים שונים של b ולקבל ממוצע , זאת כדי לצמצם שגיאה ולקבל ערך מדויק ככל האפשר של b .

$$\bar{b}=\frac{b_1+b_2}{2}=\frac{0.3344235+0.335836}{2}=0.33512975_{kg/sec}\cong 0.36_{kg/sec}$$

כעת נוכל למצוא את γ :

$$\gamma_1=\frac{\bar{b}}{2m}=\frac{0.33512975}{2\cdot 0.565}=0.296575_{Hz}\cong 0.3_{Hz}$$

חלק ב' : מציאת ערכו של γ מתוך ניתוח העתק כתלות בזמן

הרכבנו את המערכת בדומה לניסוי " תנועה הרמונית בלתי מרוסנת " ועקבנו אחרי תנועתה ב- V-SCOPE גרף העתק העגלה כתלות בזמן התקבל בצורת סינוסואידה דועכת, כיוון שגודל המשרעת אינו משפיע על זמן המחזור, נוכל לחשב זמן מחזור ממוצע עבור התנועה (נבחרו 5 מחזורים) :

$$\bar{T}_5=\frac{T_1+T_5}{5}=\frac{4.32-0.84}{5}=0.696_{sec}$$

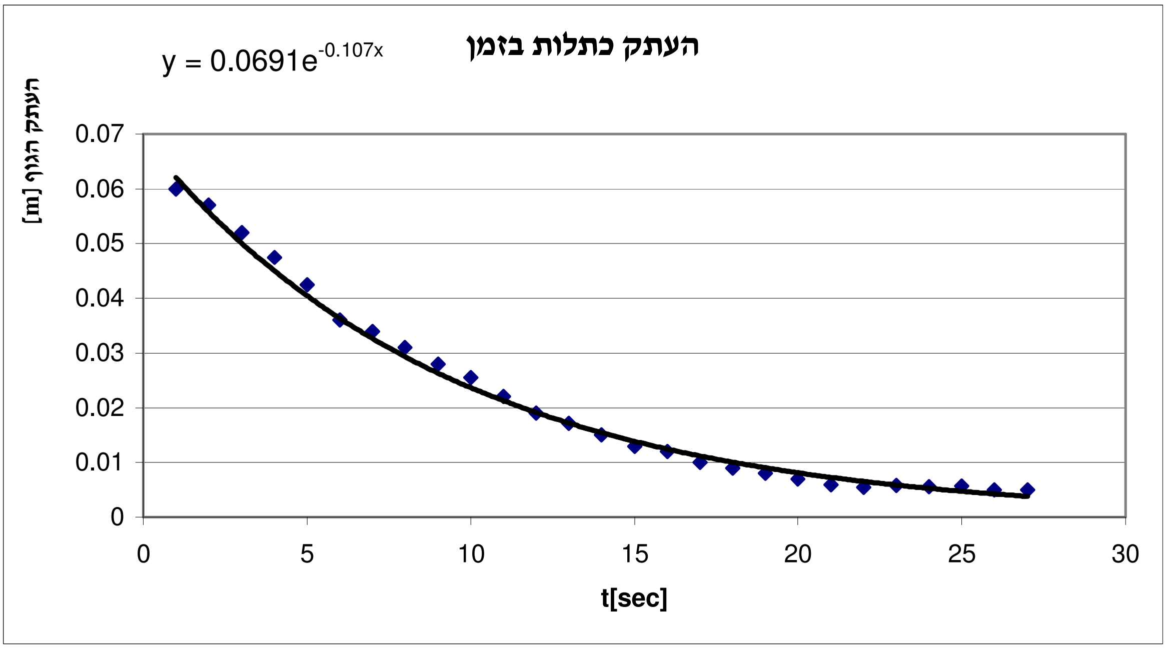
מכאן שמחצית זמן המחזור : $t=T/2=0.348_{sec}$

בכל נק' שיא, רשמנו את העתק הגוף , ולבסוף ערכנו טבלה בה נרשם הפרש המרחק שעבר הגוף מנק' הש"מ שלו שבו עצר בסיום תנועתו ($X_0=1.45_m$).

להלן הטבלה שנתקבלה :

i	Xi[m]	Xi-X0[m]
1	1.51	0.06
2	1.5071	0.0571
3	1.502	0.052
4	1.4975	0.0475
5	1.4925	0.0425
6	1.414	0.036
7	1.484	0.034
8	1.419	0.031
9	1.478	0.028
10	1.4245	0.0255
11	1.472	0.022
12	1.431	0.019
13	1.4671	0.0171
14	1.435	0.015
15	1.463	0.013
16	1.438	0.012
17	1.46	0.01
18	1.441	0.009
19	1.458	0.008
20	1.443	0.007
21	1.456	0.006
22	1.4445	0.0055
23	1.4558	0.0058
24	1.4556	0.0056
25	1.4557	0.0057
26	1.455	0.005
27	1.455	0.005

להלן הגרף שהתקבל מתוך נתוני הטבלה :



מתוך קו המגמה שהתקבל , התקבלה המשוואה הבאה $y = 0.0922e^{-0.107x}$

המקדם של X הוא כאמור ערכו של $\gamma \cdot \frac{T}{2}$

מכאן ש- γ :
$$\gamma_2 \cdot \frac{T}{2} = 0.107 \Rightarrow \gamma_2 = \frac{0.107}{\frac{1}{2} \cdot T} = \frac{0.107}{0.348} \cong 0.307_{Hz}$$

כדי להשוות בין שני השיטות נחשב שגיאה ונראה אם 2 התוצאות הם בתחום ערך שגיאה זה , השגיאה היא חישובית ולכן תחושב ע"י גזירה חלקית :

כאשר השגיאה במסה נובעת משקילת המסה והשגיאה ב-b נובעת מחישוב הממוצע :

$$\Delta b = \pm 0.01$$
$$\Delta m = \left|\pm 0.000001\right|_{kg}$$

חישוב השגיאה :

$$\Delta\gamma = \frac{1}{2} \cdot \left(\left|\frac{1}{m} \cdot \Delta b\right| + \left| -\frac{b}{m^2} \cdot \Delta m \right| = \right) \cong \frac{1}{2} \cdot \left(\left| \frac{1}{0.565} \cdot 0.01 \right| + \left| -\frac{0.36}{0.565^2} \cdot 0.000001 \right| \right) \cong 0.009 \approx 0.01$$
$$\Delta\gamma = \pm 0.01$$

נבדוק כעת את שני הערכים , אם הם בתחום השגיאה :

$$\gamma_1 \pm \Delta\gamma = \gamma_2 \Rightarrow (0.3 \pm 0.01)_{Hz} = 0.307_{Hz}$$

הערכים שווים זה לזה בתחום השגיאה.

מסקנות :

1. למדנו להכיר תנועה הרמונית מרוסנת .
2. חישבנו את מקדם הריסון ואישרנו את חישובינו ב-2 שיטות מדידה.