

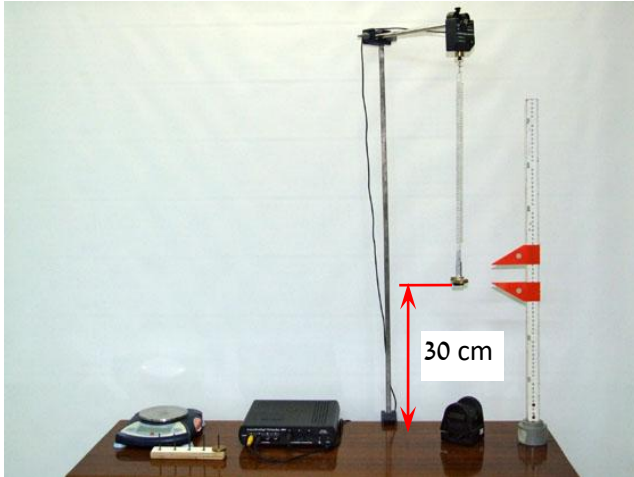
תנועה הרמונית פשוטה בקצהו של קפיץ אנכי

מטרות הניסוי

1. חקר תלות זמן המחזור של משקולת התלויה על קפיץ אנכי במסת המשקולת.
2. בדיקת שימור אנרגיה מכנית בתנודות הרמוניות אנכיות.
3. חקר תקפות החוק השני של ניוטון בתנועה הרמונית פשוטה.

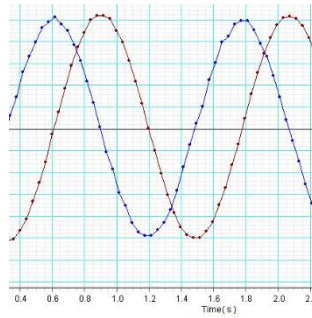
רשימת הציוד

- ממשק PASCO
- חיישן תנועה
- חיישן כוח Economy
- קפיץ PASCO
- מתלה משקולות דו-צדדי
- לולאת חוט קטנה
- סרגל עם מחוונים על מעמד
- 5 משקולות של 20 גר', 2 משקולות של 10 גר'
- מחבר לשולחן
- מחבר דו-כיווני
- מוט באורך של 30 ס"מ
- מוט בעל שטח חתך ריבועי באורך של כ- 110 ס"מ
- שאחד מקצוותיו גלילי
- סרט דבק
- סרגל באורך של 1m



שאלות הכנה

1. הגדירו מצב שוויו משקל עבור גוף תלוי על קפיץ אנכי. שרטטו סקיצה של גרף הכוח השקול כנגד המקום יחסית לנקודת שוויו המשקל.
2. בתנועה הרמונית הפשוטה, מקום הגוף x יחסית לנקודת שיווי המשקל משתנה במשך הזמן בהתאם לביטוי:
 $x = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$, כאשר $t=0$ נבחר ברגע שהגוף נמצא בקצה החיובי של המסלול. מהן משמעותות הקבועים A ו- ω המופיעים בביטוי הפונקציה?
3. לפניכם תרשים עם שני הגרפים - מקום כתלות בזמן ומהירות כתלות בזמן:



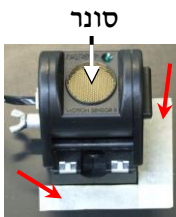
- איזה גרף מתאר את המהירות? נמקו.
4. בקצה התחתון של הקפיץ שבניסוי נמצא המתלה (מסתו m_0) המועמס ממשקולות שמסתן m . פיתחו ביטוי לריבוע זמן המחזור (T^2) כתלות במסה m של המשקולות.
5. מהי צורתו הצפויה של גרף המתאר את T^2 כתלות ב- m ? מדוע עדיף גרף של T^2 על גרף $T(m)$?
6. מהי המשמעות הפיסיקלית של שיפוע הגרף $T^2(m)$ ושל נקודות החיתוך שלו עם הצירים? ערכם של אילו גדלים פיסיקליים ניתן לחשב על פי הגרף וכיצד?
7. בקביעת זמן המחזור של המתנד, האם רצוי למדוד את משכו של מחזור אחד, או למדוד את הזמן הדרוש להשלמת מספר מחזורים ולחלק את התוצאה במספר המחזורים? נמקו.
8. איזה גלגולי אנרגיה מתרחשים במהלך תנודות הרמוניות בכיוון אנכי?

הכנת מערכת המדידות

1. מחברים את הפלאג הצהוב של חיישן התנועה לערוץ 1 של **Digital inputs** ואת הפלאג השחור – לערוץ 2.
2. מכוונים את הידית שבצד החיישן, לשַׁנֵּת "90°" ומעבירים את מחלף חיישן התנועה למצב "אלומה רחבה" (בסוגים שונים של חיישני תנועה מצב "אלומה רחבה" מסומן כ-  או כ- .



א'



ב'

איור 1


3. מעמיסים על המתלה באופן סימטרי משקולות של 120 גרם ותולים אותו, עם הקפיץ, על וו חיישן הכוח באמצעות לולאת חוט (איור 1א). מפסיקים תנודות המתלה ומוודאים שהמרחק בינו לבין פני השולחן הוא כ-30 ס"מ לפחות. במידה ולא – מבקשים להחליף את הקפיץ.
4. מורידים את המתלה עם המשקולות מחיישן הכוח ותולים על וו חיישן אנך בנאים (משקולת על חוט). ממקמים את חיישן התנועה מתחת לחיישן הכוח כך שהמשקולת תהיה מעל מרכז הסונר. כעת מסירים את אנך הבנאים. **יש להיזהר שהמשקולת לא תפגע ברשת הסונר!** מסמנים את מיקום החיישן על השולחן עם סרט דבק (איור 1ב) ומסירים את אנך הבנאים.
5. מפעילים את ממשק PASCO ופותחים את קובץ תבנית העבודה (Template), בהתאם לסוג הממשק הנמצא במערכת שלכם: "תה פ - ניסוי תלמיד_850" או "תה פ - ניסוי תלמיד_750". נתיב תבניות העבודה במחשב יינתן על ידי המורה. בתבנית העבודה מוגדרים החיישנים אשר מבצעים מדידות בניסוי (חיישן תנועה וחיישן כוח) ופתוחים 3 דפי עבודה. בדף הראשון מוגדרת מערכת צירים "כוח כתלות במקום"; בדף השני – "מקום כתלות בזמן" ו"מהירות כתלות בזמן", ובדף השלישי – "תאוצה כתלות בכוח".

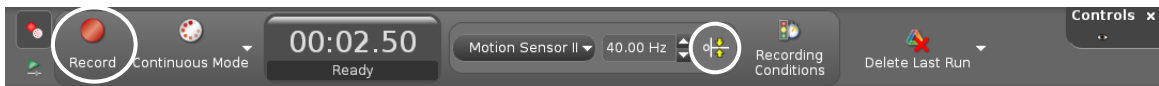
ביצוע הניסוי

I. תלות הכוח במקום

ביצוע המדידות

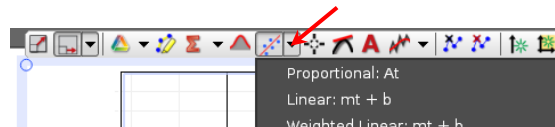
הרחיקו מאזור חיישן התנועה חפצים זרים (תיקים, מחברות, מחשבים ניידים וכו').

1. אפסו את חיישן הכוח (לחצו בעדינות לחיצה ארוכה על הכפתור Tare שעל גוף החיישן). תלו את המתלה, עליו 120 גרם, עם הקפיץ על וו החיישן באמצעות לולאת חוט (איור 1א').
2. הרימו את המתלה **בכ-5 ס"מ** ושחררו בעדינות. השתדלו להימנע מרכיב אופקי של התנודות. אם מבחינים ברכיב אופקי משמעותי, יש לעצור את המתלה ולהתחיל מחדש. חכו כ-5 שניות להתייצבות התנודות, הריצו מדידות (הקליקו על צלמית **Record** – איור 2) והפסיקו אותן כעבור כ-2 שניות.
3. האם הגרף מתאים להשערה שהעלייתם בשאלת הכנה 1? הסבירו את ההבדלים.
4. הזיזו את ראשית ציר המקום לנקודת שווי המשקל. לשם כך הפסיקו את תנודות המתלה עם המשקולות והקליקו על צלמית  בסרגל **Controls** בחלק התחתון של המסך (איור 2).



איור 2

5. איזה כוח מודד חיישן הכוח? כדי לכוון את חיישן הכוח למדוד את הכוח השקול, יש לכוון את מד הכוח לקריאת אפס כאשר המסה במנוחה במצב שווי המשקל. מדוע?
6. ודאו שהמתלה במנוחה, לחצו בעדינות לחיצה ארוכה על כפתור Tare הממוקם על חיישן הכוח וחזרו על המדידה. האם כעת הגרף מתאר השתנותו של כוח אלסטי מחזיר עם המרחק?
7. למציאת שיפוע הגרף יש לפעול באופן הבא: בסרגל הכלים של התצוגה הקליקו על המשולש הקטן עליו מצביע החץ באיור 3 ובחרו **Linear** ברשימת הפונקציות (איור 3). במקרא של קו המגמה מופיעים מאפייני הקו, כאשר m הוא שיפועו.
8. מהי המשמעות של שיפוע הגרף? תיעזרו במשוואת הקו, מצאו את קבוע הקפיץ ורשמו אותו.
9. שמרו את הפעילות.



איור 3

II. תלות זמן המחזור T במסה התלויה

ביצוע המדידות

1. הכינו בגיליון Excel טבלה בה תזינו את תוצאות מדידות.
2. שקלו את המתלה יחד עם הקפיץ (ללא משקולות) ורשמו את מסתו m_0 .
3. עברו לדף $x(t), v(t)$ בתוכנת Capstone.

4. העמיסו על המתלה באופן סימטרי 100 גרם ותלו אותו על הקפיץ שוב. הרימו את המתלה בכ- 5 ס"מ ושחררו בעדינות. השתדלו להימנע מרכיב אופקי לתנועות. אם מבחינים ברכיב אופקי משמעותי, יש לעצור את המתלה ולהתחיל מחדש. המתינו כ-5 שניות להתייצבות התנועות והריצו מדידות; הציגו לפחות 20 מחזורים של תנודה יציבה.
5. חזרו על המדידות עבור מסות שונות: הסירו מהמתלה, בכל פעם, 20 גרם באופן סימטרי - עד שישארו על המתלה המשקולות שמסתן המצטברת היא 20 גרם.
6. הורידו את המתלה מהקפיץ ושמרו את הפעילות.
7. התבוננו בממצאים: האם זמן המחזור גדל או קטן עם הגדלת המסה? האם מבחינים בדעיכה של התנועות בזמן?

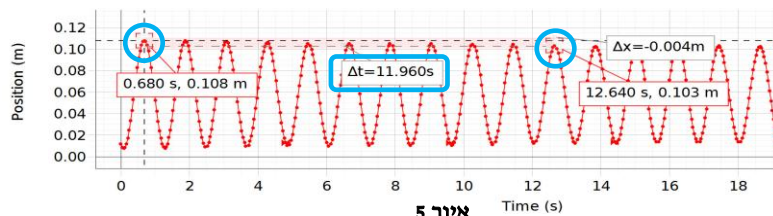
עיבוד תוצאות המדידות

1. היעזרו בקורא הקואורדינאטות ומדדו זמן המחזור המתאים עבור כל אחת מההרצות. פעלו באופן הבא:



איור 4

- א. הציגו את גרף המקום כתלות בזמן שהופק בהרצה: הקליקו על הצלמית עליה מצביע החץ באיור 4 ובחרו את ההרצה שברצונכם להציג.
- ב. הפעילו את קורא הקואורדינאטות: הקליקו על הצלמית \oplus בסרגל הכלים של התצוגה ובחרו **Add coordinates/Delta Tool**. גררו את קורא הקואורדינאטות לאחת הנקודות המקסימום בתחילת ההרצה.
- ג. הקליקו במרכז קורא הקואורדינאטות במקש הימני של העכבר ובחרו את **Show Delta Tool** – יפתח מלבן שפינתו הנגדית לקורא הקואורדינאטות גם מסומנת. גררו את הפינה לנקודת המקסימום הנוספת כך שהזמן בין שתי הנקודות יהווה 10 זמני מחזור. הפרש הזמנים יוצג בגרף כ- Δt (איור 5).



איור 5

2. פתחו גיליון Excel והזינו בו את נתוני המדידות. בנו גרף של T^2 , ריבוע זמן המחזור, כפונקציה של m , מסת המשקולות ללא מתלה.
3. בהתאם לתשובותיכם לשאלות ההכנה, חשבו את קבוע הקפיץ k ואת מסת המתלה הריק m_0 .
4. השווו את ערך קבוע הקפיץ המתקבל בשיטה זו עם הערך שהתקבל בשיטה הקודמת (כוח כתלות במקום).
5. חישובו את הסטייה היחסית במדידת מסת המתלה m_0 בדרך עקיפה זו לעומת הערך הנמדד על ידי שקילה ישירה.

III. עבודה ואנרגיה בתנועה הרמונית פשוטה

עבור תנועת המשקולת כלפי מטה בין נקודת השיא לבין נקודת שיווי המשקל אפשר לרשום את משפט עבודה - אנרגיה בצורה הבאה:

$$W = \frac{M \cdot v_{max}^2}{2}$$

(v_{max} - מהירות המשקולת בנקודת שיווי המשקל, M - מסת המתלה עם המשקולת). כעת עליכם לאמת קביעה זו בדרך נסיונית. את העבודה של שקול הכוחות תוכלו לחשב באמצעות גרף $F(x)$ לפי השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר המקום, בעוד שמהירות המסה התלויה תתקבל באמצעות מדידה של חיישן התנועה.

בשלב זה של הניסוי המיקום הנכון של חיישן התנועה הוא קריטי במיוחד, לכן אם במהלך המדידות הזזתם את החיישן – החזירו אותו למקום המסומן על השולחן.

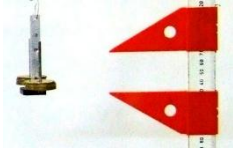
ביצוע המדידות

1. בגליון Excel שפתחתם הכינו את הטבלה הבאה בה תזינו את נתוני המדידות ותוצאות חישוביכם:

F_{max}	$A(m)$	v_{max}	$W(J)$	$v_{max}^2 m^2/s^2$

כאשר F_{max} – הכוח השקול הפועל על המתלה עם המשקולות בשיא המסלול, A – משרעת התנודה, v_{max} – מהירות מקסימלית במחזור של המתלה, W – עבודה המתבצעת על ידי שקול הכוחות בתנועת המשקולת כלפי מטה בין נקודת השיא לבין נקודת שיווי המשקל.

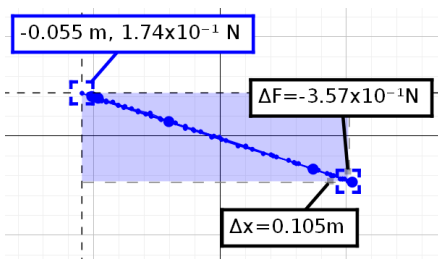
2. העמיסו על המתלה באופן סימטרי 100 גרם ותלו את המתלה עם הקפיץ על חיישו הכוח. הציבו את הסרגל עם המחוונים ליד המתלה (הקפידו שהמחוונים לא יפריעו לתנודותיו) – סרגל זה יעזור לשלוט בבחירת משרעת התנודות. כוונו את המחוון התחתון של הסרגל כך שקצהו יצביע על תחתית המתלה.
3. הגדירו את ראשית ציר המקום בנקודת שווי המשקל (הפסיקו לחלוטין את תנודות המתלה והקליקו על הצלמית \oplus בסרגל Controls - איור 2).
4. חזרו לדף F(x) בחוברת העבודה של Capstone.
5. הרחיקו את המחוון העליון של הסרגל למרחק של כ-4 ס"מ מהמחוון התחתון. לחצו בעדינות לחיצה ארוכה על הכפתור Tare. הרימו את המתלה כך שהתחתית שלו תימצא מול המחוון העליון של הסרגל ושחררו. השתדלו להימנע מגרימת רכיב אופקי לתנודות. אם מבחינים ברכיב אופקי משמעותי, יש לעצור את המתלה ולהתחיל מחדש.
6. חכו כ-5 שניות להתייצבות התנודות והריצו מדידות למשך של כ-2 מחזורים בלבד.
7. חזרו על המדידות שש פעמים נוספות, כאשר בכל פעם מגדילים את המרחק בין המחוונים בכ-1 ס"מ (לפני כל מדידה אפסו את חיישן הכוח כשהמתלה במנוחה). הזינו את תוצאות המדידות בטבלה שהכנתם בגיליון.
8. הורידו את המתלה מהקפיץ ושמרו את הפעילות.



איור 6

עיבוד תוצאות המדידות

1. עבור כל אחת מההרצות, מצאו את כוח F_{max} ומשרעת המתלה A. יש לפעול באופן הבא:



איור 6

- מקמו את קורא הקואורדינטות באחת מנקודות הקצה של הגרף F(x), הפעילו Delta Tool וגררו את הפינה הנגדית של הכלי לקצה השני של הגרף.
 - בהיעזר בהפרשי הכוח והמקום שמציג Delta Tool, חישוב את הכוח המקסימלי ואת משרעת התנודות כמוצג של הפרשים.
2. הזינו בטבלה שהכנתם בגיליון את הערכים של גדלים אלה וחישוב לפיהם את עבודת הכוח השקול (מהו סימן העבודה?). הזינו את ערך העבודה בגיליון.
 3. עברו בחוברת העבודה ב-Capstone לדף בו מוצגים הגרפים $v(t)$; בדף זה מוגדר חישוב ערך מקסימלי של מהירות המתלה. עבור כל אחד מהגרפים שהופקו בחלק זה של הניסוי, קראו את ערך המהירות המקסימלית והזינו אותו בטבלה.
 4. השלימו בטבלה את העמודה של v_{max}^2 ובנו גרף $v_{max}^2(W)$. האם צורת הגרף עונה על ציפיותיכם? הסבירו.
 5. הציגו קו מגמה יחד עם משוואתו. מהי משמעות השיפוע?
 6. מצאו בעזרת הגרף את מסת המתלה יחד עם המשקולות והקפיץ וחישוב את הסטייה היחסית במדידת מסה בדרך זו.

IV. חקר החוק השני של ניוטון

- האמנם החוק השני של ניוטון תקף במקרה של תנועה הרמונית פשוטה? בסעיף זה אתם מתבקשים לבדוק זאת.
1. עברו לדף a(F) בחוברת העבודה של התוכנה.
 2. הציגו גרף a(F) עבור אחת ההרצות שביצעתם בחקירת גלגולי אנרגיה (בחרו הרצה בה יש פחות הפרעות במדידות).
 3. האם החוק השני מתקיים כאן? מצאו בעזרת הגרף את מסת המתלה יחד עם המשקולות והקפיץ וחישוב את הסטייה היחסית במדידת מסה בדרך זו.

בסיום הניסוי

- הורידו את הקפיץ והמתלה מווי חיישן הכוח
- הורידו את כל המשקולות מהמתלה והחזירו אותן למתקן המיועד להן
- כבו את ממשק PASCO
- כבו את המחשב

שאלות סיכום

1. אילו גדלים פיזיקליים שהיו בשליטתכם במהלך הניסוי, אינם משפיעים על זמן המחזור?
2. בחקירת זמן המחזור, שינוי במסה התלויה גרם להתרחקות הגרף $x(t)$ מציר הזמן. מדוע?
3. נניח שהייתם מבצעים את הניסוי על פני הירח. כיצד היה הדבר משפיע על זמן המחזור של המתנד?
4. שרטטו את הכוחות הפועלים על המסה המתנדנדת בניסוי זה בנקודת שיווי המשקל ובקצות התנודה ובטאו את הכוח השקול בכל אחד מהמקומות באמצעות k , m , g . היכן הכוח המופעל על ידי הקפיץ (כוח מחזיר) מקבל ערך מרבי?