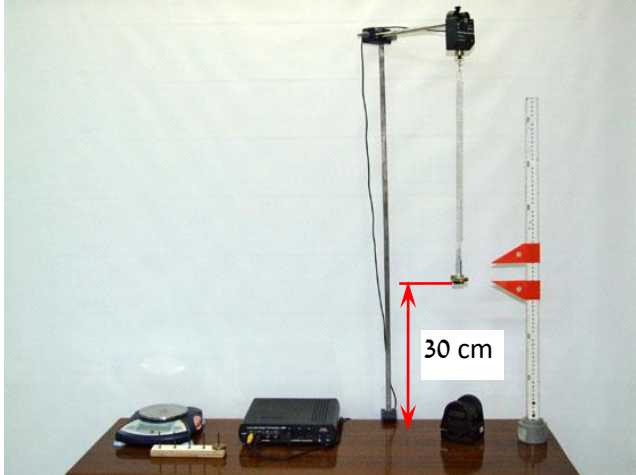


# תנועה הרמונית פשוטה בקצהו של קפיץ אנכי

## מטרות הניסוי

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

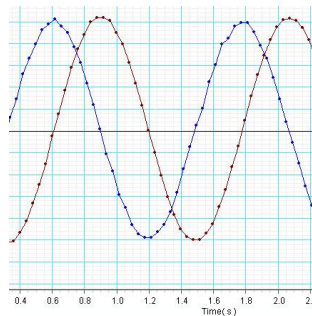


## רשימת הציוד

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

## שאלות הכנה

1. הגדר מצב שווי משקל עבור גוף תלוי על קפיץ אנכי. שרטט סקיצה של גרף הכוח השקול כנגד המקום יחסית לנקודת שווי המשקל.
2. בתנועה ההרמונית 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- $\omega$  המופיעים בביטוי הפונקציה?
3. לפניך תרשים עם שני הגרפים - מקום כתלות בזמן ומהירות כתלות בזמן:



- איזה גרף מתאר את המהירות? נמק.
4. בקצה התחתון של הקפיץ שבניסוי נמצא המתלה (מסתו  $m_0$ ) המועמס ממשקולות שמסתן  $m$ . פתח 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? נמק.
8. איזה גלגולי אנרגיה מתרחשים במהלך תנודות הרמוניות בכיוון אנכי?

## הכנת מערכת המדידות

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




3. העמס על המתלה באופן סימטרי 120 גרם ותלה אותו, עם הקפיץ, על וו חיישן הכוח באמצעות לולאת חוט. הפסק תנודות המתלה וודא שהמרחק בינו לבין פני השולחן הוא כ-30 ס"מ לפחות. במידה ולא – בקש להחליף את הקפיץ.
4. הסר את המתלה עם המשקולות מחיישן הכוח ותלה על וו החיישן אנך בנאים (משקולת על חוט). מקם את חיישן התנועה מתחת לחיישן הכוח כך שהמשקולת תהיה מעל מרכז החיישן. כעת הסר את אנך הבנאים. היזהר שהמשקולת לא תפגע ברשת חיישן התנועה!
5. הפעל את ממשק PASCO. פתח את קובץ תבנית העבודה (Template), בהתאם לסוג הממשק הנמצא ברשותך: "תה\_פ - ניסוי תלמיד\_850" הנמצא במחיצת pupil, בתיקיה "ממשק 850" או "תה\_פ - ניסוי תלמיד\_750" הנמצא במחיצת pupil, בתיקיה "ממשק 750" או "תה\_פ - ניסוי תלמיד\_750". בתבנית העבודה מוגדרים החיישנים אשר מבצעים מדידות בניסוי (חיישן תנועה וחיישן כוח). בתבנית פתוחים 3 דפי עבודה: בדף הראשון מוגדרת מערכת צירים "כוח כתלות במקום"; בדף השני – מערכות הצירים "מקום כתלות בזמן" ו"מהירות כתלות בזמן", בדף השלישי - מערכת צירים "תאוצה כתלות בכוח".

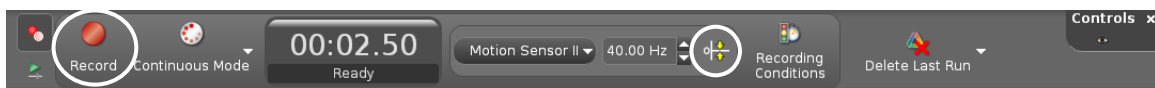
## ביצוע הניסוי

### 1. תלות הכוח במקום


#### ביצוע המדידות

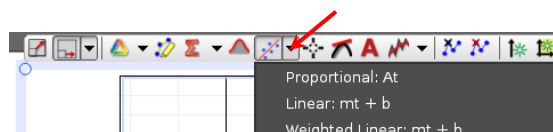
הרחק מאזור המדידה חפצים זרים (תיקים, מחברות וכו').

1. אפס את חיישן הכוח (לחץ בעדינות לחיצה ממושכת על הכפתור Tare שעל גוף החיישן). תלה את המתלה, עליו 120 גרם, עם הקפיץ על וו החיישן באמצעות לולאת חוט.
2. הרם את המתלה בכ- 5 ס"מ ושחרר בעדינות. השתדל להימנע מרכיב אופקי לתנודות. אם אתה מבחין ברכיב אופקי משמעותי, עצור את המתלה והתחל מחדש. חכה כ-5 שניות להתייצבות התנודות, הרץ מדידות (לחץ על כפתור Record – תרשים 1) והפסק אותן כעבור כ-2 שניות.
3. האם הגרף מתאים להשערה שהעלית בשאלת הכנה 1? הסבר את ההבדלים.
4. הזז את ראשית ציר המקום לנקודת שווי המשקל. לשם כך הפסק את תנודות המתלה עם המשקולות ולחץ על הכפתור  בסרגל Controls למטה (תרשים 1).



#### תרשים 1

5. איזה כוח מודד חיישן הכוח? כדי לכוון את חיישן הכוח למדוד את הכוח השקול עליך לכוון את מד הכוח לקריאת אפס כאשר המסה במנוחה במצב שווי המשקל. מדוע?
6. וודא שהמתלה במנוחה, לחץ בעדינות לחיצה ארוכה על כפתור Tare הממוקם על חיישן הכוח וחזור על המדידה. האם כעת הגרף מתאר השתנות של כוח אלסטי מחזיר עם המרחק?
7. מצא את שיפוע הגרף. פעל באופן הבא: בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית לחץ על המשולש הקטן הנמצא מימין מהכפתור  ובחר Linear מתוך רשימת הפונקציות (תרשים 2). במקרא קו המגמה מופיעים מאפייני הקו, כאשר m הוא שיפועו.



#### תרשים 2

8. מהי המשמעות של שיפוע הגרף? מצא באמצעות הגרף את קבוע הקפיץ ורשום אותו במחברתך.
9. שמור את הפעילות.

## II. תלות זמן המחזור T במסה התלויה


### ביצוע המדידות

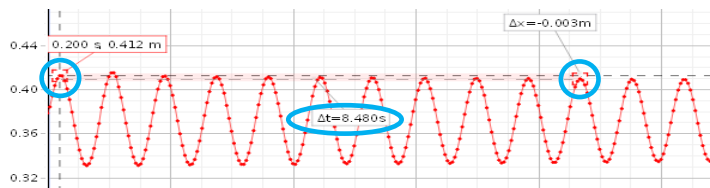
1. הכן טבלה בה רשום את תוצאות מדידותיך.
2. שקול את המתלה יחד עם הקפיץ (ללא משקולות) ורשום במחברתך את מסתו  $m_0$ .
3. עבור לדף  $v(t)$ ,  $x(t)$  בחוברת העבודה של התוכנה.
4. העמס על המתלה באופן סימטרי 100 גרם ותלה אותו על הקפיץ שוב. הרם את המתלה בכ- 5 ס"מ ושחרר בעדינות. השתדל להימנע מרכיב אופקי לתנודות. אם אתה מבחין ברכיב אופקי משמעותי, עצור את המתלה והתחל מחדש. המתן כ-5 שניות להתייצבות התנודות והרץ מדידה. הצג לפחות 20 מחזורים של תנודה יציבה.
5. חזור על המדידות עבור מסות שונות: הסר מהמתלה, בכל פעם, 20 גרם באופן סימטרי - עד שישארו על המתלה המשקולות שמסתן המצטברת היא 20 גרם.
6. הורד את המתלה מהקפיץ ושמור את הפעילות.
7. התבונן בממצאים: האם זמן המחזור גדל או קטן עם הגדלת המסה? האם מבחינים בדעיכה של התנודות בזמן?

### עיבוד תוצאות המדידות

1. היעזר בקורא הקואורדינאטות ומדוד זמן המחזור המתאים עבור כל אחת מההרצות. פעל באופן הבא:



- א. הצג את גרף המקום כתלות בזמן שהופק בהרצה (לחץ על הכפתור עליו מצביע החץ בתרשים 3, ובחר את ההרצה שברצונך להציג).
- ב. הפעל את קורא הקואורדינאטות (כפתור ) בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית) וגרוור אותו לאחת נקודות המקסימום בתחילת ההרצה.
- ג. הקלק במרכז קורא הקואורדינאטות עם המקש הימני של העכבר ובחר את **Show Delta Tool** – ייפתח מלבן שפינתו הנגדית לקורא הקואורדינאטות גם מסומנת. גרוור את הפינה לנקודת המקסימום הנוספת כך שהזמן בין שתי הנקודות יהווה 10 זמני מחזור. הפרש הזמנים יוצג בגרף כ-  $\Delta t$  (תרשים 4).



תרשים 4

2. פתח גיליון Excel והעתק לתוכו את נתוני המדידות. הצג גרף של  $T^2$ , ריבוע זמן המחזור, כפונקציה של  $m$ , מסת המשקולות ללא מתלה.
3. בהתאם לתשובותיך לשאלות ההכנה חשב את קבוע הקפיץ  $k$  ואת מסת המתלה הריק  $m_0$ .
4. השווה את ערך קבוע הקפיץ המתקבל בשיטה זו עם הערך שהתקבל בשיטה הקודמת (כוח כתלות במקום).
5. חשב את הסטייה 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 עליך לאמת קביעה זו בדרך נסיונית. את העבודה של שקול הכוחות תוכל לחשב באמצעות גרף  $F(x)$  לפי השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר המקום, בעוד שמהירות המסה התלויה תתקבל מתוך מדידה ישירה.

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

## ביצוע המדידות

1. בגליון Excel שפתחת הכן את הטבלה הבאה בה תרשום את נתוני מדידותיך ותוצאות חישוביך:

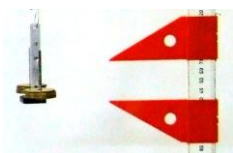
$F_{\max}$ (N)	A(m)	$v_{\max}$ (m/s)	W(J)	$v_{\max}^2$ ( $m^2/s^2$ )

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. העמס על המתלה באופן סימטרי 100 גרם ותלה את המתלה על הקפיץ. הצב את הסרגל עם המחוגים ליד המתלה (הקפד שהמחוגים לא יפריעו לתנודותיו) – סרגל זה יעזור לשלוט בבחירת משרעת התנודות. כוון את המחוג התחתון של הסרגל כך שקצהו יצביע על תחתית המתלה.

3. הזז את ראשית ציר המקום לנקודת שווי המשקל (הפסק לחלוטין את תנודות המתלה ולחץ על הכפתור בסרגל Controls - תרשים 1).

4. חזור לדף F(x) בחוברת העבודה של Capstone.

5. הרחק את המחוג העליון של הסרגל למרחק של כ-4 ס"מ מהמחוג התחתון. לחץ בעדינות לחיצה ארוכה על הכפתור Tare. הרם את המתלה כך שהתחתית שלו תימצא מול המחוג העליון של הסרגל ושחרר. השתדל להימנע מגרימת רכיב אופקי לתנודות. אם אתה מבחין ברכיב אופקי משמעותי, עצור את המתלה והתחל מחדש.

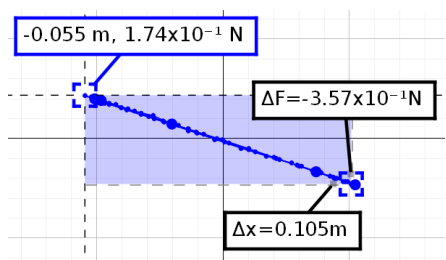
6. חכה כ-5 שניות להתייצבות התנודות והרץ מדידה למשך של כ-2 מחזורים בלבד.

7. חזור על המדידות שש פעמים נוספות, תוך הגדלת המרחק בין המחוגים ב-1 ס"מ בכל פעם (לפני כל מדידה אפס את חיישן הכוח כשהמתלה במנוחה). הכנס את תוצאות מדידותיך לטבלה.

8. הורד את המתלה מהקפיץ ושמור את הפעילות.

## עיבוד תוצאות המדידות

1. עבור כל אחת מההרצות, מצא את כוח  $F_{\max}$  ומשרעת המתלה A. פעל באופן הבא:



• מקם את קורא קואורדינטות למציאת באחת מנקודות הקצה של הגרף  $F(x)$ , הפעל Delta Tool וגרור את הפינה הנגדית של הכלי לקצה השני של הגרף.

• בהיעזר בהפרשי הכוח והמקום שמציג Delta Tool, חשב את הכוח המקסימלי ואת משרעת התנודות.

2. רשום בטבלה את הערכים של גדלים אלה וחשב לפיהם את עבודת הכוח השקול (מהו סימן העבודה?). רשום את ערך העבודה בטבלה.

3. עבור לדף בחוברת העבודה בו מוצגים הגרפים  $v(t)$ ; בדף זה מוגדר חישוב ערך מקסימלי של מהירות המתלה. עבור כל אחד מהגרפים שהופקו בחלק זה של הניסוי, קרא את ערך המהירות המקסימלית והכנס אותו לטבלה.

4. השלם בטבלה את העמודה של  $v_{\max}^2$  ובנה גרף  $v_{\max}^2$  (W). האם צורת הגרף עונה על ציפיותיך? הסבר.

5. הצג קו מגמה יחד עם משוואתו. מהי משמעות השיפוע?

6. מצא מתוך הגרף את מסת המתלה יחד עם המשקולות והקפיץ וחשב את השיאה היחסית במדידת מסה בדרך זו.

## IV. חקר החוק השני של ניוטון

האמנם החוק השני של ניוטון תקף במקרה של תנועה הרמונית פשוטה? בסעיף זה אתה מתבקש לבדוק זאת.

1. עבור לדרך  $a(F)$  בחוברת העבודה של התוכנה.
2. הצג גרף  $a(F)$  עבור אחת ההרצות שביצעת בחקירת גלגולי אנרגיה (בחר הרצה בה יש פחות הפרעות במדידות).
3. האם החוק השני מתקיים כאן? מצא מתוך הגרף את מסת המתלה יחד עם המשקולות והקפיץ וחשב את השגיאה היחסית במדידת מסה בדרך זו.

### בסיום הניסוי

- הורד את הקפיץ והמתלה מווי חיישן הכוח.
- הורד את כל המשקולות מהמתלה והחזר אותן למתקן המיועד להן.
- כבה את ממשק PASCO.
- כבה את המחשב כיבוי מסודר.

### שאלות סיכום

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