



## אישוש החוק השני של ניוטון במערכת רב גופית

### ציוד

- מסילת PASCO עם מחסום גומי
- ממשק PASCO
- חיישן שער אופטי עם גלגלת (Photogate with Pulley)
- עגלת דינמיקה
- מתלה עם חוט
- משקולת של 10 g
- 2 משקולות של 20 g
- 6 משקולות של 50 g
- 2 משקולות PASCO של 250 g
- מאזניים לשקילת העגלה



### תיאור המערכת ורקע עיוני

עגלת דינמיקה נעה על מסילה אופקית בהשפעת משקל המתלה עם משקולות. חוט המחובר את העגלה למתלה (מסתו זניחה) כרוך סביב גלגלת חיישן המהירות (Photogate with Pulley) של מערכת מדידות ממוחשבת. מסתם של העגלה והמתלה ניתנת לשינוי אך המסה הכוללת של המערכת נשארת קבועה.

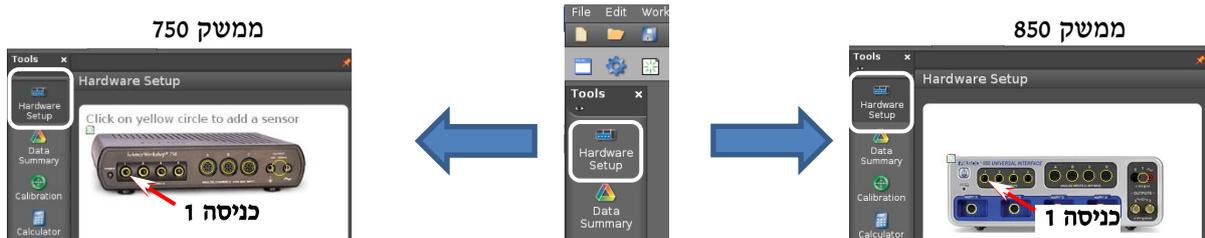
לפני תחילת הניסוי פיתחו ביטוי מתמטי של תאוצת המערכת:

א. שרטטו את הכוחות הפועלים על העגלה והמתלה, בהזנחת החיכוך.

ב. נסמן את המסת המתלה הם משקולות כ-  $m_1$  ואת מסת העגלה עם משקולות עליה כ-  $m_2$ . רשמו את משוואת התנועה לכל גוף בנפרד והיביעו מהן את תאוצת המערכת  $a$  בעזרת המסה  $m_1$ , המסה הכוללת של המערכת,  $M = m_1 + m_2$ , ותאוצת הנפילה החופשית  $g$ . הסבירו את משמעות הביטוי שקיבלתם.

### הכנת מערכת הניסוי

1. מחברים את התקע של השער האופטי לכניסה הראשונה של ממשק המערכת הממוחשבת (כניסה 1 באיור 1) ומפעילים את הממשק.



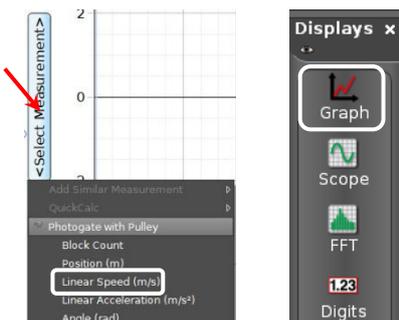
איור 1

2. מעלים תוכנת Capstone ומקליקים על צלמית Hardware Setup (סרגל Tools). מקליקים על כניסה (1) בתמונת הממשק (איור 1) ובחרים Photogate with Pulley ברשימת החיישנים. סוגרים את Hardware Setup (מקליקים שוב על צלמית Hardware Setup).

3. מכינים בתוכנה מערכת צירים "מהירות כתלות בזמן":

א. מקליקים קליק כפול על צלמית Graph בסרגל Displays (בחלק הימני של המסך - איור 2א) - בדף חוברת העבודה תיפתח מערכת צירים.

ב. מקליקים על כותרת הציר האנכי <Select Measurement> ובחרים מהירות (Linear Speed) ברשימת המדידות (איור 2ב).



איור 2

## ביצוע המדידות

- וודאו שהמסילה מאוזנת ושהחוט מקביל למישור המסילה.
- שקלו את העגלה ואת המתלה.

### I. הקשר בין תאוצה לבין כוח הפועל על מערכת גופים

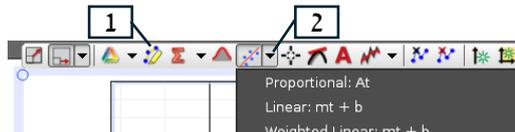
בחלק זה של הניסוי השתמשו בסט הבא של המשקולות: 2 משקולות של 50 גרם, 2 משקולות של 20 גרם ומשקולת אחת של 10 גרם.

1. פתחו גיליון Excel והכינו בו עמודות עבור:
  - מסת המתלה עם המשקולות,  $m_1$ ,
  - חישוב הכוח השקול הפועל על המערכת,
  - תוצאות של המדידות התאוצה.
2. השחילו משקולת שמסתה 50 גרם על יתד המתלה וכרכו את החוט סביב גלגלת החיישן. את שאר המשקולות (100 גרם סה"כ) השחילו על יתד העגלה.
3. הרחיקו את העגלה למרחק של כ- 30 ס"מ מהמחסום, הריצו מדידות (הקליקו על צלמית (1) Record - איור 3) ושחררו את העגלה. אחרי התנגשות העגלה במחסום עצרו את המדידות (הקליקו שוב על צלמית (1)).



איור 3

4. מצאו את שיפוע הגרף "מהירות כתלות בזמן" בתנועת העגלה לעבר המחסום:
  - א. בחרו על הגרף קטע המתאר את תנועת העגלה בתאוצה קבועה: הקליקו על הצלמית של כלי בחירה (1) בסרגל הכלים (איור 4), גררו את מלבן הבחירה אל קטע הגרף והתאימו לקטע זה את מידות המלבן באמצעות הזזת צלעותיו.
  - ב. התאימו לקטע הגרף שבחרתם פונקציה קווית: הקליקו על צלמית המשולש (2) (איור 4) ובחרו **Linear** ברשימת הפונקציות. בהסתמך על משוואת הקו, מצאו את תאוצת העגלה.
  - ג. הזינו בגיליון Excel את התאוצה  $a$  ומסת המתלה עם המשקולות,  $m_1$ .



איור 4

5. חזרו על המדידות 5 פעמים נוספות. תגדילו בכל פעם את המסה הכוללת של המשקולות על המתלה ב-20 גרם על ידי העברת המשקולות מהעגלה אל המתלה.
6. שמרו את הפעילות.

### II. הקשר בין תאוצה לבין מסת המערכת

- בחלק זה של הניסוי תשתמשו בכל המשקולות שסופקו במערכת הניסוי.
1. הוסיפו לגיליון Excel עמודות עבור:
    - מסת העגלה יחד עם המשקולות,  $m_2$ ,
    - חישוב המסה הכוללת של המערכת,  $M$  (עגלה + משקולות + מתלה),
    - תוצאות המדידות של התאוצה.
  2. השחילו על יתד המתלה משקולת אחת של 50 גרם – אין לעבור על מסה זו!
  3. הרחיקו את העגלה ללא משקולות למרחק של כ- 30 ס"מ מהמחסום, הריצו מדידות ושחררו את העגלה. אחרי התנגשות העגלה במחסום עצרו את המדידות.
  4. הזינו בגיליון Excel את מסת העגלה יחד עם המשקולות,  $m_2$ , את חישוב המסה הכוללת של המערכת ואת התאוצה  $a$ .



איור 5

5. חזרו על מדידה זו **6 פעמים**, כאשר בכל פעם תוסיפו משקולת של 50 גרם על יתד העגלה.
6. כעת בצעו 2 מדידות נוספות, בהן תוסיפו על העגלה משקולת של 250 גרם בכל פעם (איור 5).
7. שמרו את הפעילות.

### עיבוד תוצאות המדידות

#### הקשר בין תאוצה לבין כוח הפועל על מערכת גופים

1. בנו ב-Excel גרף פיזור של תאוצת המערכת  $a$  כתלות בכוח הכובד  $m_i g$  הפועל על המערכת. לחישוב כוח הכובד השתמשו בערך תאוצת הנפילה החופשית של  $9.8 \text{ m/s}^2$ .
2. הוסיפו לגרף קו מגמה לינארי, הציגו את משוואתו ואת הערך של  $R^2$ .

**R - מקדם המתאם, או מדד פירסון (Pearson correlation)**, הוא מדד של קשר לינארי בין שני משתנים. ערכי R מקיימים:  $-1 \leq R \leq 1$ . ככל שערכו של  $R^2$  קרוב יותר ל-1, התאמת הקשר בין שתי מדידות ניסיוניות (תאוצה וכוח בחלק זה של הניסוי) לקשר לינארי היא טובה יותר.

3. מהי המשמעות הפיסיקלית של שיפוע הגרף? מהי יחידתו?
4. בהסתמך על משוואת קו המגמה, חישובו את הערך הניסיוני של המסה הכוללת  $M$  של המערכת.
5. חישובו את אחוז הסטייה של ערך המסה הניסיוני מערך המסה שהתקבל בשקילה. למסות העגלה והמתלה שהתקבלו בשקילה יש להוסיף את מסות המשקולות בהסתמך על הערך המסה המוטבע עליהן (אין צורך לשקול את המשקולות).

#### הקשר בין תאוצה לבין מסת המערכת

1. איזה משתנה בלתי תלוי יש לבחור על מנת שהקשר בין תאוצת העגלה לבין משתנה זה יהיה לינארי?
2. הוסיפו לגיליון Excel עמודה וחישובו בה את ערך המשתנה עליו דובר בסעיף הקודם.
3. בנו גרף פיזור של תאוצת העגלה כתלות במשתנה הנ"ל.
4. הוסיפו לגרף קו מגמה לינארי, הציגו את משוואתו ואת הערך של  $R^2$ .
5. מהי המשמעות הפיסיקלית של שיפוע הגרף? מהי יחידתו?
6. חישובו את אחוז הסטייה של ערך שיפוע הגרף מהערך שמתקבל במדידה ישירה.

#### בסיום הניסוי

- כבו את ממשק PASCO.
- כבו את המחשב.
- החזירו את כל המשקולות למתקן בו היו לפני תחילת הניסוי.

### שאלות סיכום

1. מהם גורמי השגיאה האפשריים בניסוי?
2. הגדירו את המושג "תאוצה" וציינו את יחידת המדידה שלה.
3. הגדירו את יחידת המדידה של כוח -  $N$ .
4. כיצד ניתן למדוד מסה?
5. האם אפשר למדוד מסה לא ידועה בחלל החיצון במקום בו כוחות הכבידה זניחים? הסבירו.
6. הסבירו את המושג "הפרדת משתנים". מדוע הפרדת משתנים חשובה בכל ניסוי?
7. בחלק הראשון של ניסוי זה יש לשמור על מסה כוללת  $M$  קבועה. כיצד נעשה זאת?
8. אם החיכוך בצירי העגלה אינו זניח – האם אפשר להפריד בין המשתנים בכל אחד מחלקי הניסוי?
9. הסבירו את עיקרון הפעולה של החיישן "שער אופטי עם גלגלת".
10. מהו סוג תנועת העגלה לאחר שהמתלה נוגע ברצפה? נמקו!

11. בניסוי שביצעת הנחתם ש:

א. תאוצות שני הגופים, עגלה ומתלה, זהות. האם זה נכון מבחינה וקטורית? האם זה נכון מבחינה סקלרית? הסבירו.

ב. כוח מתיחות הפועל על המתלה שווה בגודלו לכוח המתיחות הפועל על העגלה. באיזה תנאי הנחה זו נכונה?

12. היחס בין גודל המתיחות בחוט המחבר בין העגלה למתלה עם משקולות, לגודל כוח הכובד הפועל על המתלה יכול לקיים את התנאים הבאים:

א.  $T = m_1 g$

ב.  $T < m_1 g$

ג.  $T > m_1 g$

תארו מצבים של המערכת בהם מתקיים כל אחד מהיחסים הנ"ל.

13. במערכת הניסוי הודפים את העגלה כך שהמתלה נמשך מעלה, ומשחררים. שרטטו סקיצת הגרף של מהירות כתלות בזמן המתאר את תנועת העגלה.