

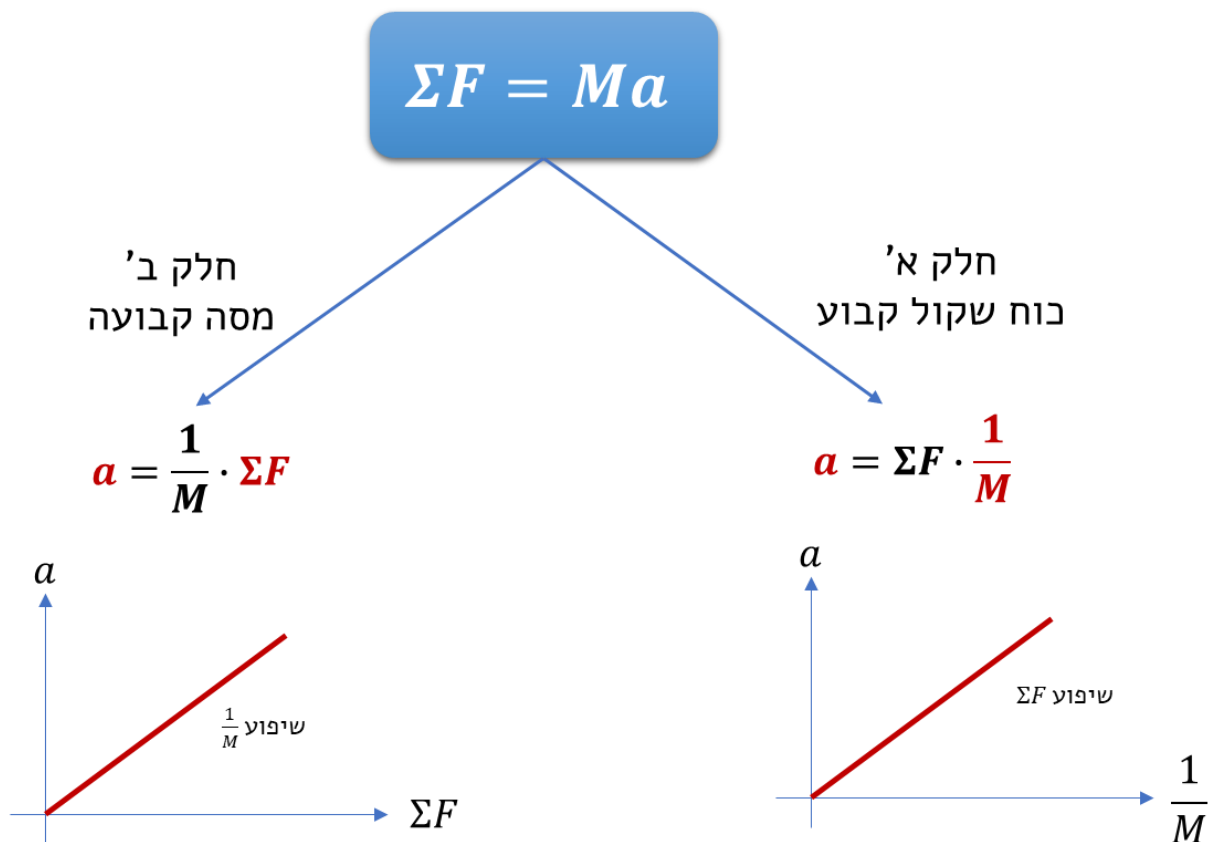
# אישוש החוק השני של ניוטון

תדריך מעבדה

## מבוא

מטרת המעבדה היא לאשש את החוק השני של ניוטון:  $\vec{\Sigma F} = m\vec{a}$ .

הנוסחה כוללת שלושה משתנים, לכן על מנת לבדוק איך משתנה אחד תלוי באחרים נצטרך לחלק את הניסוי לשני חלקים. בכל חלק נחזיק משתנה אחד קבוע, ונבדוק קשר בין שניים אחרים.



## הרעיון הכללי של הניסוי

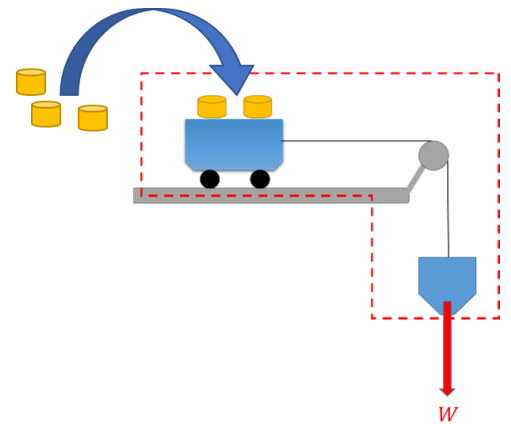
מערכת הניסוי כוללת עגלה, חוט, סל ואוסף משקולות.

אם נזניח את החיכוך<sup>1</sup>, הכוח החיצוני היחיד שפועל על המערכת לאורך ציר התנועה הוא משקל הסל  $W$ , לכן זה הוא הכוח השקול  $\Sigma F$  בציר התנועה.

**בחלק א' של הניסוי** (כוח שקול קבוע) נשנה את מסת המערכת על ידי הוספת משקולות קטנות לעגלה. עבור כל שינוי של מסת המערכת נמדוד את תאוצת המערכת באמצעות חיישן תנועה<sup>2</sup>, ונבנה גרף פיזור תאוצה בתלות באחד חלקי מסת המערכת<sup>3</sup>. אם  $R^2$  של קו מגמה גדול מ 0.98 הראנו שמתקיים יחס ישר בין משתני הגרף.

טבלה עבור חלק א'

| $a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ | $\frac{1}{M_T} \left[ \frac{1}{kg} \right]$ | מסת המערכת<br>$M_T [kg]$ | מספר הרצה<br>$n$ |
|----------------------------------|---|--------------------------|------------------|
|                                  |   |                          | 1                |
|                                  |   |                          | 2                |
|                                  |   |                          | 3                |
|                                  |   |                          | 4                |
|                                  |   |                          | 5                |



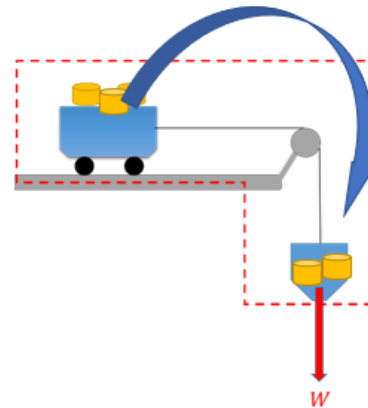
בנוסף שיפוע של קו מגמה הוא הכוח השקול. נוכל לחשב שגיאה יחסית בין ערך השיפוע לבין משקל הסל. במידה והשגיאה קטנה מ 10% - איששנו את הקשר של חלק א'.

<sup>1</sup> מתוך ניתוח התוצאות בסוף הניסוי נוכל לקבוע אם הזנחת החיכוך הייתה מחויבת למציאות או לא.  
<sup>2</sup> אם בין הרצה להרצה השינוי במסת המערכת יהיה קטן מדי, השינוי שיתקבל בתאוצה עלול להיות כה קטן שלא נגלה אותו בניסוי. הקפידו לשנות את המסה בקפידות מספיק גדולות. כמה גדולות? נסו בעצמכם!  
<sup>3</sup> על מנת לקבל קו ישר (במידה והחוק השני אכן מתקיים). איזה צורה של גרף נקבל אם לא ניקח הפכי של המסה?

בחלק ב' של הניסוי (מסת המערכת קבועה) נשנה את הכוח השקול על ידי העברה של משקולות מהעגלה לסל. כמו קודם נמדוד את התאוצה, ונבנה גרף תאוצת המערכת בתלות בכוח השקול. נבדוק באמצעות  $R^2$  התאמה של המדידות ליחס הישר הצפוי. בנוסף נחשב שגיאה יחסית בין השיפוע (1 חלקי מסת המערכת) לבין המדידה הישירה על ידי מאזניים.

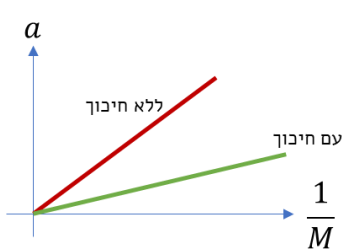
טבלה עבור חלק ב'

| מספר הרצה<br>$n$ | כוח השקול<br>$\Sigma F [N]$ | $a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1                |                             |                                  |
| 2                |                             |                                  |
| 3                |                             |                                  |
| 4                |                             |                                  |
| 5                |                             |                                  |

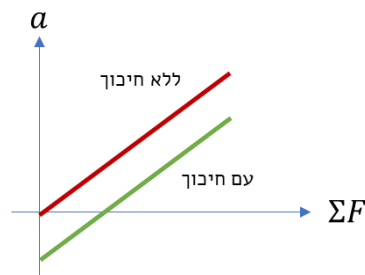


### הערה לגבי כוח החיכוך

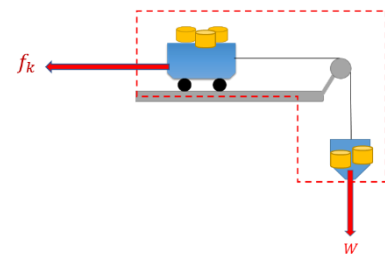
אם לא מזניחים את החיכוך תרשים כוחות על המערכת נראה שונה. אם החוק השני נכון, מצפים לקבל משוואה:  $W - f_k = M_T a$ . אז הגרפים הצפויים יהיו שונים:



הגרף הצפוי עבור חלק א'



הגרף הצפוי עבור חלק ב'



## ביצוע הניסוי

### הרכבת מערכת PASCO



ערכת הניסוי כוללת את המרכיבים הבאים:

- מסילה
- קליבה לחיבור לשולחן
- מחסום
- עגלה
- שתי משקולות גדולות  $0.5[kg]$  כל אחת<sup>4</sup>
- אוסף משקולות קטנות
- גלגלת
- חוט ומתלה (או סל) למשקולות
- חיישן תנועה, מתאם וכבל USB
- מחשב נייד
- פלס (לא בכל ערכה)



חיישן תנועה

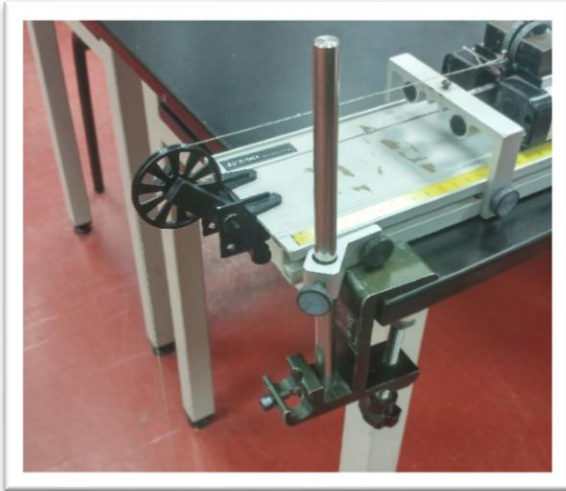


מתאם

<sup>4</sup> שתי המשקולות יהיו קבועות על העגלה לאורך כל הניסוי (גם בחלק א' וגם בחלק ב'). המטרה שלהן לא לאפשר לתאוצה להיות גדולה מדי, ובכך למנוע נפילה של העגלה מהשולחן.

הרכיבו את המערכת לפי סדר פעולות הבא<sup>5</sup>:

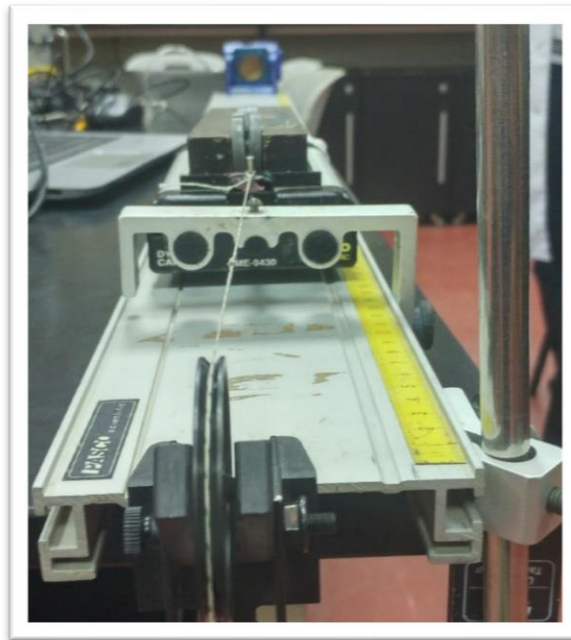
1. פנו את השולחן מכל חפץ מיותר: תיקים, ספרים, מחברות, טלפונים וכו'. דאגו שהשולחן יציב.



2. חברו את המסילה לשולחן באמצעות קליבה. בדקו באמצעות פלס, או באמצעות הנחת עגלה שהמסילה מקבילה לרצפה.

3. חברו מחסום למסילה במרחק של כ 20 ס"מ מקצה המסילה (ראו איור משמאל).

4. חברו את הגלגלת לקצה של המסילה. העבירו חוט מעגלה דרך הגלגלת, וחברו אותו למתלה משקולות. דאגו שהחוט יהיה מקביל למסילה.



כאן החיבור לא מספיק טוב: הגלגלת לא מחוברת באמצע של המסילה.

<sup>5</sup> שימו לב, כל תלמיד\ה בקבוצה חייב\ת לדעת להרכיב את מערכת הניסוי. עשו את השלבים לאט ובזהירות.

5. הצמידו חיישן תנועה לקצה השני של המסילה. חברו אותו למתאם, ואת המתאם למחשב נייד. וודאו שמתג מתאים על החיישן במצב של עגלה.

6. הפעילו במחשב נייד תכנה Capstone, כנסו ל Hardware setup, וודאו שהתכנה מוצאת את חיישן התנועה.

7. פתחו הצגה של גרף מהירות-זמן ונסו לבצע הקלטה (Record) על מנת לוודא שהחיישן קולט את תנועת המכונית לארוך כל המסילה. שנו תדירות ההקלטה ל  $100[Hz]^6$ .

### ביצוע חלק א' של הניסוי (הכוח השקול קבוע)

1. באמצעות מאזניים מדדו מסות של כל הגופים השייכים למערכת הגופים:

- מסת העגלה
- מסה של המשקולות הגדולות הקבועות (לוודא שהן אכן 0.5 ק"ג כל אחת)
- מסה של המשקולות הקטנות
- מסה של מתלה והחוט

כתבו המדידות באופן מסודר במחברת אולו ב EXCEL אולו ב WORD –  
הנתונים הללו יופיעו בדו"ח מעבדה שתבינו.

2. חשבו וכתבו את גודל כוח השקול הפועל על המערכת.

---

<sup>6</sup> ככה נקבל בכל שנייה 100 מדידות.

3. הכינו טבלת מדידות מסודרת (במחברת או ב EXCEL)

| $a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ | $\frac{1}{M_T} \left[ \frac{1}{kg} \right]$ | מסת המערכת<br>$M_T [kg]$ | מספר הרצה<br>$n$ |
|----------------------------------|---|--------------------------|------------------|
|                                  |   |                          | 1                |
|                                  |   |                          | 2                |
|                                  |   |                          | 3                |
|                                  |   |                          | 4                |
|                                  |   |                          | 5                |

4. חברו חוט לעגלה ובצעו מדידה ראשנה כאשר אין משקולות קטנות על העגלה (רק שתי משקולות קבועות).

5. בגרף מהירות-זמן שנוצר, התמקדו בנקודות המתאימות לשלב ההאצה הקבועה. סמנו אותן, העבירו קו מגמה. השיפוע של הקו הוא התאוצה. הוסיפו את התאוצה לטבלה יחד עם מסת המערכת בהרצה הראשונה: מסת העגלה + מסה של שתי משקולות קבועות + מסת המתלה והחוט.



6. הוסיפו משקולת קטנה אחת לעגלה<sup>7</sup>. דאגו שהמשקולת לא תנוע בחופשיות. אפשר להשיג זאת באופן הבא: לשים משקולת קטנה בין הגדולות. חזרו על המדידה. הוסיפו תוצאות לשורה השנייה בטבלה.

7. חזרו על השלב הקודם, כאשר בכל פעם

מוסיפים\ות משקולות קטנות לעגלה. מלאו את הטבלה בהתאם.

8. ב EXCEL בנו גרף תאוצת המערכת כתלות באחד חלקי מסת המערכת. העבירו קו מגמה, הציגו  $R^2$  ומשוואת הקו.

<sup>7</sup> אפשר גם להוסיף זוגות של משקולות בכל הרצה. הדבר יגרום לשינוי גדול יותר בתאוצה ממדידה למדידה ולתוצאות מובהקות יותר. אם עושים\ות זאת - תעדכנו טבלה בהתאם.

9. בעזרת חישוב שגיאה יחסית, השוו את גדול כוח השקול שחישבתן\ם בשלב 2 לשיפוע הגרף.

10. דונו בקבוצה שלכם\ן על תוצאות הניסוי, והסיקו מסקנות. בדו"ח מעבדה סופי תצטרכו לפרט את המסקנות. אם יש צורך לחזור על הניסוי – עשו זאת. כל חברי הקבוצה חייבות\ים לדעת לבצע מדידות, לארגן נתונים ולבנות גרף.

### ביצוע חלק ב' של הניסוי (מסת המערכת קבועה)

1. מדדו בעזרת המאזניים את מסת הגופים השייכים למערכת. סכמו אותם ורשמו לשימוש עתידי.

2. מקמו את כל המשקולות הקטנות על העגלה. המתלה ללא משקולות. חשבו את הכוח השקול במצב הזה.

3. בצעו מדידה והציגו גרף מהירות-זמן. הוסיפו קו מגמה וגלו את תאוצת המערכת.

4. מלאו את השורה הראשונה בטבלה.

5. העבירו משקולת מהעגלה למתלה, וחזרו על המדידה. עדכנו את החישוב של הכוח השקול ומלאו את השורה השנייה בטבלה.

| $a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ | כוח השקול<br>$\Sigma F[N]$ | מספר הרצה<br>$n$ |
|----------------------------------|----------------------------|------------------|
|                                  |                            | 1                |
|                                  |                            | 2                |
|                                  |                            | 3                |
|                                  |                            | 4                |
|                                  |                            | 5                |

6. חזרו על השלב הקודם, כאשר בכל הרצה אתם\ן מעבירים\ות משקולת נוספת מהעגלה למתלה. מלאו את הטבלה.



7. ב EXCEL בלשונית חדשה בנו גרף תאוצת המערכת כתלות בכוח השקול. העבירו קו מגמה, הציגו  $R^2$  ומשוואת הקו.
8. בעזרת חישוב שגיאה יחסית, השוו את מסת המערכת שמדדתם\ן קודם לשיפוע הגרף.
9. דונו בקבוצה שלכם\ן על תוצאות הניסוי, והסיקו מסקנות.

### מטלה

גשו למטלה במערכת PETEL בפרק 'מעבדה' ← 'חוק שני', ובצעו אותה על פי ההנחיות.

### סיום העבודה

- פרקו את המערכת. כבו את המתאם על ידי לחיצה ארוכה על כפתור שחור.
- החזירו באופן מסודר את המרכיבים לארגז, ואת הארגז לעגלת ציוד. את המסילה לערמה של מסילות.
- כבו את המחשב הנייד וחברו אותו להטענה בארון מחשבים ניידים.

