



# כוח חיכוך

## ציוד



- ממשק PASCO
- עגלת PASCO
- חיישן כוח גדול
- בול עץ מצופה בד (PASCO)
- מנוע עם גלגלות
- ספק 24V AC ותילי חיבור
- מאזניים
- 4 משקולות PASCO של 250 גרם
- קפיץ קשיח
- מברשת להברשת הבד
- מחבר לשולחן

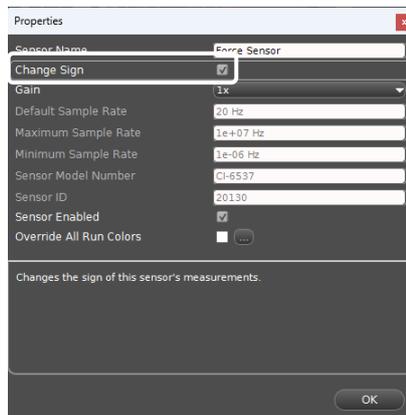
## תיאור המערכת ורקע עיוני

ניסוי זה עוסק באישוש הקשר בין כוחות חיכוך הסטטי והקינטי לבין כוח נורמלי שמשטח מפעיל על גוף. על גוף שבסיסו שטוח ומחוספס מותקן חיישן כוח המחובר למערכת מדידות ממוחשבת. מנוע בעל מהירות זוויתית קבועה מושך בחוט הקשור לחיישן הכוח. בשלב הראשון כוח המתחיות בחוט עולה אבל הגוף נשאר במנוחה בגלל הכוח החיכוך הסטטי. כשכוח המתחיות גובר על הכוח החיכוך הסטטי המקסימלי, הגוף מתחיל לנוע במהירות כמעט קבועה (כמעט - כי הכוח החיכוך הקינטי משתנה במקצת במהלך תנועתו של הגוף).

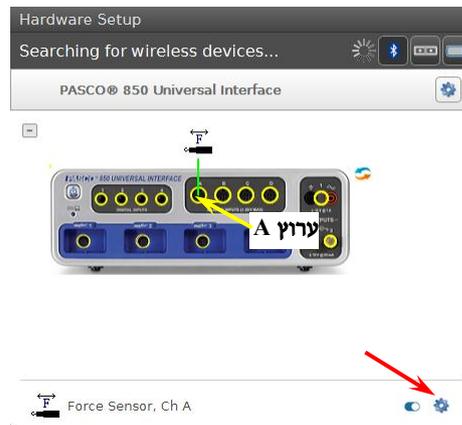
לפי החוק הראשון של ניוטון, כוח המתחיות המופעל על חיישן הכוח שווה לכוח החיכוך כי: בשלב הראשון של המדידות הגוף נמצא במנוחה (עקב החיכוך הסטטי), ובשלב השני הוא נע במהירות קבועה. לכן המדידות המתבצעות הן מדידות עקיפות של כוח חיכוך.

## הכנת המערכת למדידות

1. מעלים את תוכנת Capstone ולוחצים על צלמית Hardware Setup (סרגל Tools, בחלק השמאלי של המסך).



ב



איור 1



א

מקליקים בתוכנה על ערוץ A (איור 1א) ובוחרים ברשימה חיישן כוח (Force Sensor).

2. הכיוון החיובי של חיישן הכוח הוא כיוון דחיפה, בעוד שבניסוי זה החוט מושך בחיישן – לכן יש לשנות את הגדרת הכיוון החיובי של החיישן. פותחים את מעפייני החיישן על ידי לחיצה על גלגלת שיניים (עליה מצביע החץ באיור 1א). בחלונת הנפתחת מסמנים Change Sign ולוחצים על OK (איור 1ב). סוגרים את ההגדרות לוחצים שוב על צלמית Hardware Setup.

3. להכנת מערכת צירים "כוח כתלות בזמן" יש לפעול באופן הבא:

- א. מקליקים פעמיים על כותרת תצוגה Graph בסרגל Displays (איור 2א) – בחוברת העבודה תיפתח מערכת צירים.
- ב. לוחצים על כותרת הציר האנכי <Select Measurement> ובוחרים כוח (Force) ברשימה.

4. מגדירים קצב דגימה של 100 Hz בסרגל Controls על ידי לחיצות חוזרות על החיצים המוקפים באיור ב'.



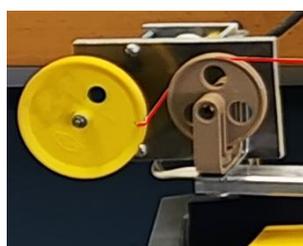
ב'



א'

איור 2

### ביצוע המדידות



איור 3

1. מכניסים את בול העץ בין גלגלי העגלה (הבד כלפי מטה) ומניחים את העגלה על שולחן. מחברים לחיישן הכוח את הקפיץ אליו קשור החוט המחובר לגלגלת המנוע. מרחיקים את העגלה מהמנוע למרחק המקסימאלי האפשרי בו הקפיץ עדיין רפוי, ומשחילים את החוט בחריץ הגלגלת החומה (איור 3).

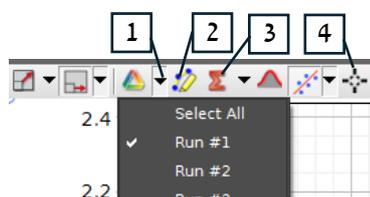
2. מאפסים את היישן הכוח (לוחצים על כפתור Tare על גוף החיישן), אוזנים בכבל חשמל של החיישן ומתחילים מדידות: לוחצים על כפתור Record בסרגל Controls (איור ב') ומפעילים את המנוע. כשהעגלה מתחילה לנוע, "מלווים" אותה עם היד בה אוזנים בכבל החשמל – כך שהכבל לא יפריע לתנועת העגלה. כשהעגלה תעבור כ-15 ס"מ, מכבים את המנוע ומפסיקים את המדידות (לוחצים שוב על אותו הכפתור).

3. משחררים את החוט מהגלגלת הצהובה ומחזירים את העגלה למקום ממנו היא התחילה את תנועתה. חוזרים על המדידות 4 פעמים כאשר בכל פעם מניחים על חיישן הכוח משקולת נוספת של 250 גרם.

### עיבוד תוצאות המדידות

1. שוקלים את מסת העגלה יחד עם חיישן הכוח ( $m_c$ ) ומסת הבול ( $m_w$ ).
2. מכינים טבלה בה יירשמו נתוני המדידות:

מספר משקולות	המסה הכוללת של המשקולות (ק"ג)	מסת המערכת M (מסת המשקולות + מסת העגלה) (מסת הבול)	כוח נורמלי $N=M*g$	כוח חיכוך סטטי מקסימלי $f_s$ (N)	כוח חיכוך קינטי $f_k$ (N)
0	0.00				
1	0.25				
2	0.50				
3	0.75				
4	1.00				



איור 4

3. כבירת מחדל, גרף של הרצת מדידות חדשה מחליף את גרף ההרצה שבוצעה לפניכן. להצגת גרפים של הרצות קודמות לוחצים על הצלמית (1) (איור 4) בסרגל הכלים ובוחרים הרצה ברשימה. עבור כל אחת מההרצות:

א. בעזרת כלי קורא הקואורדינאטות מוצאים את ערכו של הכוח החיכוך הסטטי המקסימלי. מפעילים את הכלי על ידי לחיצה על כפתור (4) (איור 4), אוזנים במרכז שלו וגוררים את הכלי לנקודת הגרף המתאימה. רושמים את קריאת הקורא הקואורדינאטות בטבלה.

ב. מוצאים את הכוח החיכוך הקינטי הממוצע שפעל על העגלה בהרצה. לשם כך:

- מקליקים בסרגל הכלים על כלי בחירה (2, איור 4) – יופיע מלבן הבחירה. גוררים אותו לקטע הגרף המתאים לכוח החיכוך הקינטי. באמצעות הזזת צלעותיו של המלבן, מתאימים את רוחבו לקטע זה.
- לוחצים על כפתור הכלים הסטטיסטיים (3, איור 4) ורושמים את הערך הממוצע (Mean) של הכוח המוצג.

### עיבוד נתוני המדידות ב-Excel

1. בונים גרף של תלות הכוח החיכוך הסטטי המקסימלי בכוח נורמלי,  $f_s(N)$ , ומוציאים בעזרתו את מקדם החיכוך הסטטי בניסוי.
2. בונים גרף של תלות הכוח החיכוך הקינטי בכוח נורמלי,  $f_k(N)$ , ומוציאים בעזרתו את מקדם החיכוך הקינטי בניסוי.

## שאלות

1. מדוע משתמשים בקפיץ בניסוי?
2. למה החוט צריך להיות מקביל למסילה?
3. על אחת הפאות של בול העץ בו משתמשים בניסוי לא מודבק בד. האם מקדמי החיכוך שנמצאו בניסוי היו משתנים אילו פאה זו הייתה מונחת על השולחן?
4. מדוע הכוח המקסימאלי בכל אחד מהמדידות הוא כוח החיכוך הסטטי המקסימלי?
5. מעמיסים על העגלה מסה של 3 kg. יש לחשב איזה כוח מינימלי צריך להפעיל על העגלה כדי לגרום לה לנוע.