

תנועה מעגלית קצובה

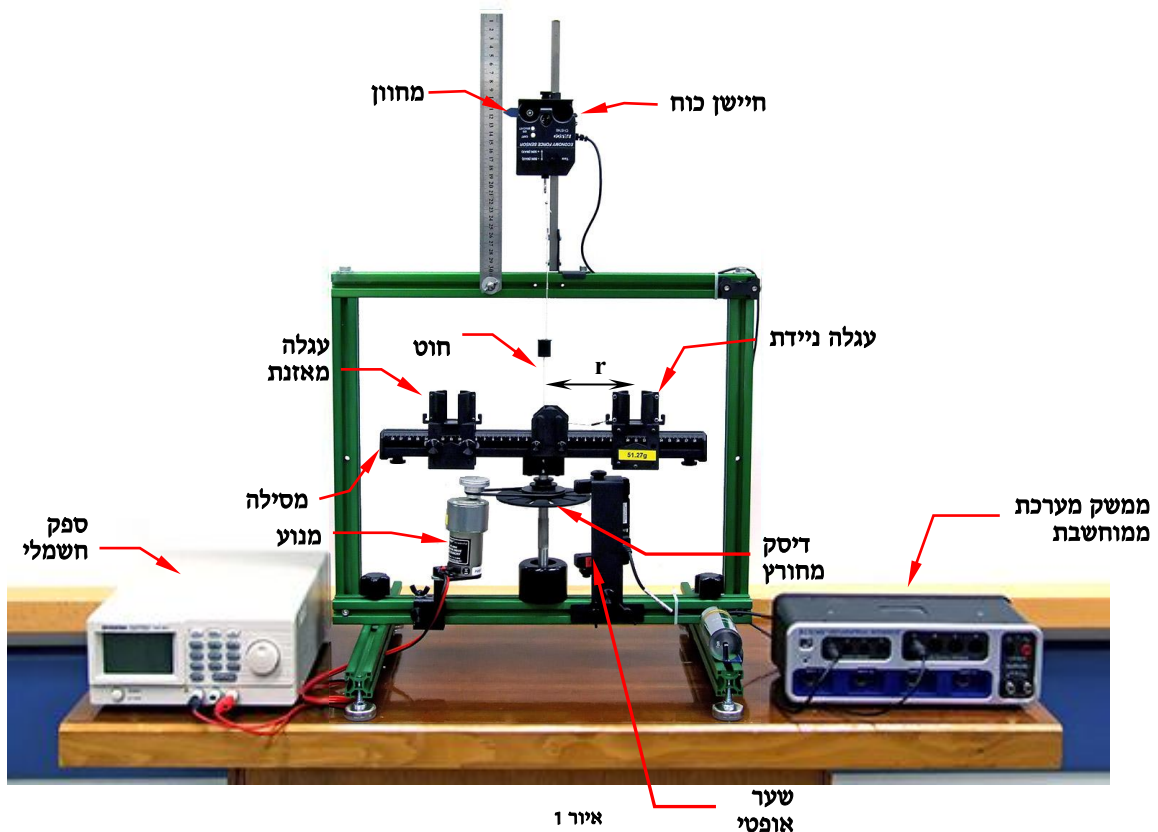
רשימת הציוד

- מערכת תנועה מעגלית
- ספק מתח נמוך מתכוונן
- ממשק של מערכת PASCO
- חיישן כוח Economy
- שער אופטי
- 6 משקולות של 100 גרם
- 2 משקולות של 50 גרם

תיאור המערכת

במערכת הניסוי מסילה מורכבת על ציר מסתובב המונע על ידי מנוע חשמלי (איור 1). המנוע מופעל על ידי ספק חשמלי בעל מתח מתכוונן באמצעותו אפשר לווסת מהירות זוויתית של המסילה. על ציר המסילה, מתחתיה, מותקן דיסק עם חריצים רדיאליים. בזמן סיבוב המסילה הדיסק חוסם לסירוגין חיישן שער האופטי; על סמך מדידות זמני החסימה התוכנה של המערכת הממוחשבת מחשבת מהירות זוויתית של המסילה.

על המסילה נמצאות 2 עגלות משני צדי ציר הסיבוב: אחת ניידת והשנייה מקובעת (אך מיקומה ניתן לשינוי); העגלה המקובעת (בהמשך – עגלה מאזנת) מיועדת לאיזון המסילה למניעת הריסת המיסב בו מותקן ציר המסילה. העגלה הניידת קשורה לחיישן כוח בחוט הכרוך סביב הגלגלת המותקנת במרכז המסילה. החוט בהיותו מתוח מאונך למסילה, וקטע החוט היורד מחיישן הכוח נמצא על ציר הסיבוב שלה. רדיוס הסיבוב של העגלה הניידת ניתן לשינוי; על צד המסילה מודפס סרגל המאפשר למדוד את הרדיוס. כמו כן, אפשר לשנות את מסות העגלות באמצעות משקולות המוכנסות לתוכן.



הכנת מערכת הניסוי

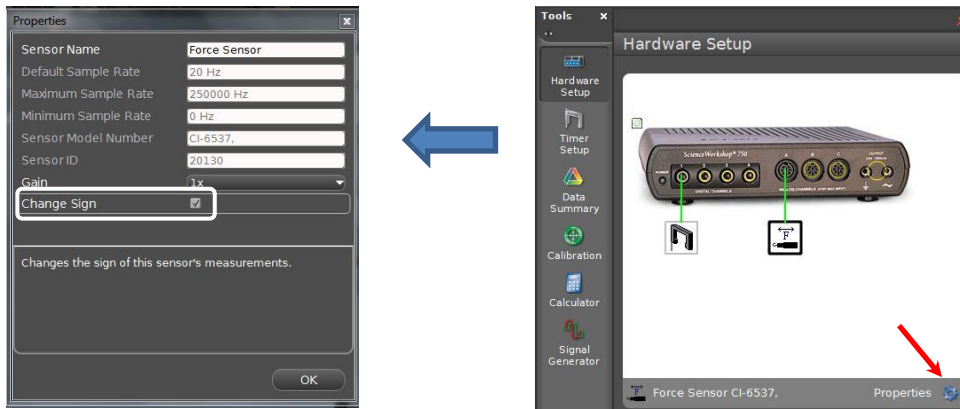
1. מחברים את השער האופטי לכניסה (1) של הממשק, ואת חיישן הכוח – לכניסה A (איור 2). מפעילים את הממשק ומעלים במחשב את תוכנת Capstone.
2. מגדירים חיישן "שער אופטי עם גלגלת": לוחצים על צלמית **Hardware Setup** (סרגל Tools), בחלק השמאלי של המסך), מקליקים על כניסה (1) בתמונת הממשק (איור 2) ובחרים את **Photogate with Pulley**.



איור 2

3. מגדירים את חיישן הכוח:

- א. מקליקים על כניסה A בתמונת הממשק (איור 2) וברשימה בוחרים חיישן כוח (Force Sensor).
- ב. חיישן הכוח רגיש לכיוון בו הכוח מופעל עליו. כיוון חיובי ברירת מחדל של החיישן הוא כיוון הדחיפה, בעוד שבניסוי הכיוון החיובי הוא כיוון משיכה. לשינוי הכיוון החיובי של החיישן נכנסים למאפיינים (לוחצים על הצלמית של "גלגלת שנייים" – איור 3א) ובחלון הנפתח מסמנים את Change Sign (איור 3ב).



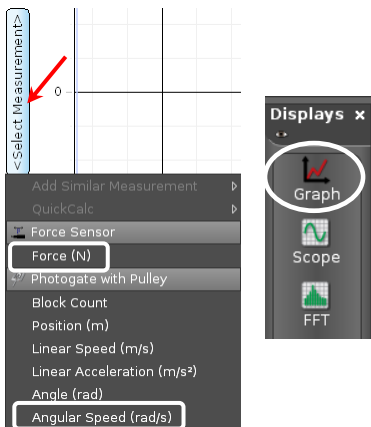
ב

א

איור 3

4. סוגרים את Hardware Setup (מקליקים שוב על צלמית Hardware Setup).

5. מכינים מערכות צירים "כוח כתלות בזמן" ו"מהירות זוויתית כתלות בזמן":



ב

איור 4

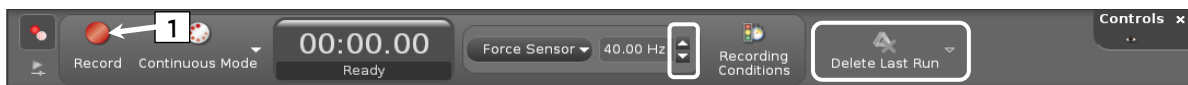
א. מקליקים פעמיים על כותרת תצוגה Graph בסרגל Displays (איור 4א) – תיפתח התצוגה הגרפית.

ב. מקליקים על כותרת הציר האנכי <Select Measurement> ובוחרים ברשימה כוח (Force) - איור 4ב.

ג. להוספת מערכת צירים "מהירות זוויתית כתלות בזמן" לוחצים על הצלמית בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית ומגדירים מהירות זוויתית (Angular Speed) בציר האנכי של מערכת זו.

א

6. בסרגל Controls (למטה) מגדירים קצב דגימה של 40 Hz עבור חיישן הכוח, על ידי לחיצות על החיצים המוקפים באיור 5. חיישן השער האופטי הוא טיימר, קצב דגימה עבורו לא ניתן להגדרה.



איור 5

עבודה עם מערכת הניסוי

בכל שלב המדידות:

1. מסות של העגלה הניידת והעגלה המאזנת חייבות להיות זהות.
2. אין להעמיס על העגלות יותר מ-300 גרם.
3. לשתי העגלות רדיוס הסיבוב חייב להיות זהה.
4. בזמן הסיבוב, החוט צריך לעבור דרך חריץ הגלגלת המותקנת במרכז המסילה.

כיוון רדיוס הסיבוב (המרחק בין מרכז העגלה לבין ציר הסיבוב) של העגלה הניידת. לכיוון רדיוס הסיבוב של העגלה הניידת יש לפעול באופן הבא:

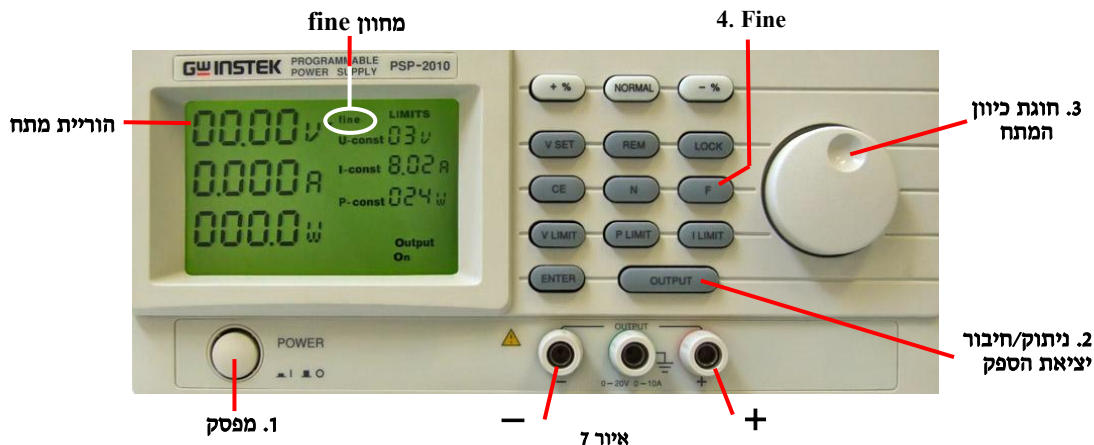
- אוחזים ביד שמאל בחיישן הכוח ומשחררים את בורג המחבר (1) שמקבע את החיישן (איור 6א).
- בלי להרפות מחיישן הכוח, מושכים ביד ימין את העגלה הניידת החוצה עד למתיחת החוט (וודאו שהחוט עובר דרך חריץ הגלגלת המותקנת במרכז המסילה). כעת מזיזים בו זמנית את העגלה ואת החיישן לקבלת רדיוס הסיבוב הרצוי, ומהדקים את בורג (1). את הערך המספרי המדויק של הרדיוס רואים בחלון הצדדי של בסיס העגלה (כשהחוט מתוח), מול הבליטה עליה מצביע החץ באיור 6ב'
- בתום כיוון רדיוס הסיבוב של העגלה הניידת, יש לכוון רדיוס סיבוב זהה לעגלה השנייה שמאזנת את המסילה. לכיוון הרדיוס משחררים את שני הברגים (איור 6ג') (אין להוציא אותם!), מזיזים את העגלה על המסילה וממהדקים את הברגים.



כיוון מתח היציאה של ספק המתח מתבצע באמצעות סיבוב החוגה (3) (איור 7).

- אם על צג הספק לא מופיע מחוון fine (איור 7), יש ללחוץ על כפתור (4) (fine) - במצב זה אפשר לשנות מתח בקפיצות קטנות. סיבוב החוגה אינו מוגבל, אפשר לסובב אותה ביותר מסיבוב אחד.

שימו לב: ערכו של המתח החשמלי על צג הספק אינו מהווה ערך המהירות הזוויתית של המסילה!



ביצוע מדידות

לפני תחילת הניסוי:

1. רושמים את מסת העגלה הריקה (מעתיקים מהמדבקה על העגלה הניידת).
2. מפעילים את ספק המתח באמצעות כפתור (1) (איור 7).

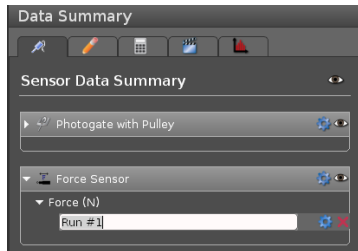
חלק 1: תלות הכוח הצנטריפטלי במסת הגוף המסתובב

1. מכוונים את רדיוס הסיבוב של העגלה הניידת לכ-14 ס"מ (ראה הסבר בתחילת התדריך) ורושמים את ערכו המדויק. מהדקים את העגלה המאזנת במרחק זהה ממרכז המסילה.
2. מכוונים את מתח היציאה של הספק ל-5V.

3. מרחיקים את העגלה הניידת ממרכז המסילה עד שהחוט יימתח, ומוודאים שהחוט עובר דרך חריץ הגלגלת במרכז המסילה. בהרצה ראשונה אין להכניס משקולות אל תוך חביות העגלות.
4. הפעלת המערכת:

- א. כשהמסילה במנוחה, מריצים מדידות באמצעות לחיצה על כפתור הקלטה (1) **Record** (איור 5).
- ב. מפעילים את המנוע על ידי לחיצת כפתור **Output** בספק המתח (כפתור (2) באיור 7).
5. במהלך המדידות מביטים בגרף הכוח: אחרי שהכוח יתייצב, ממתנינים כ-10 שניות ועוצרים את המדידות - לוחצים שוב על כפתור (1) (איור 5).
6. מכבים את המנוע באמצעות לחיצה חוזרת על כפתור **Output** בספק המתח.

הערה: אם המדידות השתבשו, אפשר למחוק את ההרצה האחרונה באמצעות לחיצה על צלמית **Delete Last Run** בסרגל **Controls** בתחתית המסך (איור 5) ולחזור על ההרצה.



איור 8

7. להקלת זיהוי ההרצות בניתוח המדידות, אפשר לתת להן כותרת בהתאם למסת העגלה. לשם כך:
- א. לוחצים על צלמית **Data Summary** בסרגל **Tools** ומקליקים פעמיים על כותרת ההרצה – היא תיצבע באפור (ראו דוגמה באיור 8).
- ב. מקלידים את מסת העגלה ומקישים **Enter** במקלדת המחשב.
8. מודדים את הכוח הממוצע בקטע הגרף $F(t)$ שמתאר תנועה מעגלית קצובה:
- א. בוחרים על הגרף $F(t)$ קטע שמתאר תנועה מעגלית קצובה: בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית מקליקים על הצלמית של כלי בחירה - יופיע מלבן הבחירה. גוררים אותו אל הקטע ובאמצעות הזזת צלעותיו של המלבן מתאימים את רוחבו לקטע זה.
- ב. מקליקים על גרף הכוח ולוחצים על הצלמית בסרגל הכלים – יוצג הערך הממוצע של הכוח בקטע שבחרנו.
9. בדומה למציאת ערך הכוח הממוצע, מוצאים את המהירות הזוויתית הממוצעת $\bar{\omega}$.
10. שומרים את הפעילות באמצעות לחיצה על הצלמית (נתיב התיקה בה תשמרו את הקובץ יינתן על ידי המורה).
11. רושמים את מסת העגלה יחד עם המשקולות ואת הערכים הממוצעים של הכוח הצנריפטלי והמהירות הזוויתית.
- חוזרים 6 פעמים נוספות על המדידות כאשר בכל מדידה חדשה מגדילים אם המסה של כל אחת משתי העגלות ב-50 גרם. יש לזכור ללחוץ על הכפתור **Tare** אחרי כל הפעלת המנוע ולוודא שקריאת חיישן הכוח אינה חורגת מרזולוציית החיישן.

חלק 2: תלות הכוח הצנריפטלי במהירות הזוויתית

1. משאירים מרחקים של 14 ס"מ בין מרכז הסיבוב לבין מרכזי העגלות (ניידת ומאזנת).
2. משאירים בתוך כל אחת מהעגלות שתי משקולות של 100 גרם.
3. מכוונים את מתח היציאה של הספק ל- $3.5V$ באמצעות סיבוב החוגה (3) (איור 7).
4. מרחיקים את העגלה ממרכז המסילה עד שהחוט יימתח, ומוודאים שהחוט עובר דרך חריץ הגלגלת במרכז המסילה.
5. מריצים מדידות בתוכנה ומאפסים את חיישן הכוח (לוחצים על כפתור **Tare** של החיישן). מפעילים את המנוע, ממתנינים עד שהכוח יתייצב ואחרי כעשר שניות מרגע זה, מבלי להפסיק את המדידות, מגדילים את מתח היציאה בכ- $0.5V$. ממשיכים לפעול כך עד שנגיע למתח של כ- $6.5V$. אין להעלות את המתח מעל $7V$!
6. עוצרים את ההרצה, מכבים את המנוע ושומרים את הפעילות.
7. עבור כל אחד מקטעי הגרפים בהם מהירויות זוויתיות קבועות, מוצאים את הערכים הממוצעים של המהירויות הזוויתיות ושל הכוחות המתאימים להן.

חלק 3: תלות הכוח הצנריפטלי ברדיוס הסיבוב של הגוף

1. בתוך כל אחת מהעגלות נשארות שתי משקולות של 100 גרם.
2. מכוונים את מתח היציאה של הספק ל- $5V$ באמצעות סיבוב החוגה 3 (איור 7).
3. מכוונים את רדיוס הסיבוב של העגלות (הניידת והמאזנת) לכ-16 ס"מ (ראו הסבר אודות כיוון הרדיוסים בתחילת התדריך).



איור 9

4. מרחיקים את העגלה הניידת ממרכז המסילה עד שהחוט יימתח, ומוודאים שהחוט עובר דרך חריץ הגלגלות במרכז המסילה. רושמים את רדיוס הסיבוב המדויק.
5. מריצים מדידות ומאפסים את חיישן הכוח. מפעילים את המנוע וממתינים להתייצבות הכוח. אחרי כעשר שניות מרגע זה עוצרים את ההרצה, מכבים את המנוע ושומרים את הפעילות.
6. מודדים את הערכים הממוצעים של הכוח ושל המהירות הזוויתית בפרק זמן בו תנועה מעגלית הייתה קצובה, ורושמים את ערכיהם.
7. להקלת זיהוי ההרצות בניתוח מדידות, אפשר להתאים את שם ההרצה לרדיוס הסיבוב של העגלות (ראו הסבר בחלק 1 של הניסוי).
8. חוזרים למדידות 7 פעמים נוספות כאשר בכל מדידה חדשה מקטינים את רדיוס הסיבוב של העגלות בכ- 1 ס"מ. לשינוי רדיוס הסיבוב של העגלה הניידת נוח להיעזר בסרגל המותקן במערכת: אוזנים בחיישן הכוח, משחררים אותו, מעלים ב-1 ס"מ ומקבעים שוב (איור 9). בכל מדידה רושמים את הערך המדויק של רדיוס הסיבוב.
9. יש לזכור לשנות גם את רדיוס הסיבוב של העגלה המאזנת.

בסיום הניסוי

- מכבים את ממשק ה-PASCO,
- מכבים את המחשב.

שאלות סיכום

1. הסבירו במילים, ללא נוסחאות, את המושגים:
 - א. תנועה מעגלית קצובה
 - ב. זמן מחזור
 - ג. תדירות
 - ד. מהירות זוויתית
 - ה. מהירות קווית
 - ו. תאוצה רדיאלית
 - ז. כוח צנטריפטלי
2. מהו הכוח הצנטריפטלי הגורם לתנועה המעגלית במקרים הבאים (יש לשרטט תרשים כוחות לכל מקרה):
 - א. המסה המסתובבת בניסוי זה (קרונית + משקולות),
 - ב. הירח במסלולו סביב כדור הארץ,
 - ג. מכונית הנוסעת במעקם של כביש אופקי (ללא שיפוע),
 - ד. מכונית הנוסעת במעקם של כביש, הנטוי כלפי מרכז המעגל,
 - ה. מטוס הפונה הצידה בעת טיסתו.
3. מדוע יש בניסוי שלושה שלבים? הסבר את עקרון הפרדת המשתנים בניסויים.
4. באילו משלבי הפעלת המערכת יש לעגלות תאוצה רדיאלית, ובאילו שלבים יש להן תאוצה משקיית?