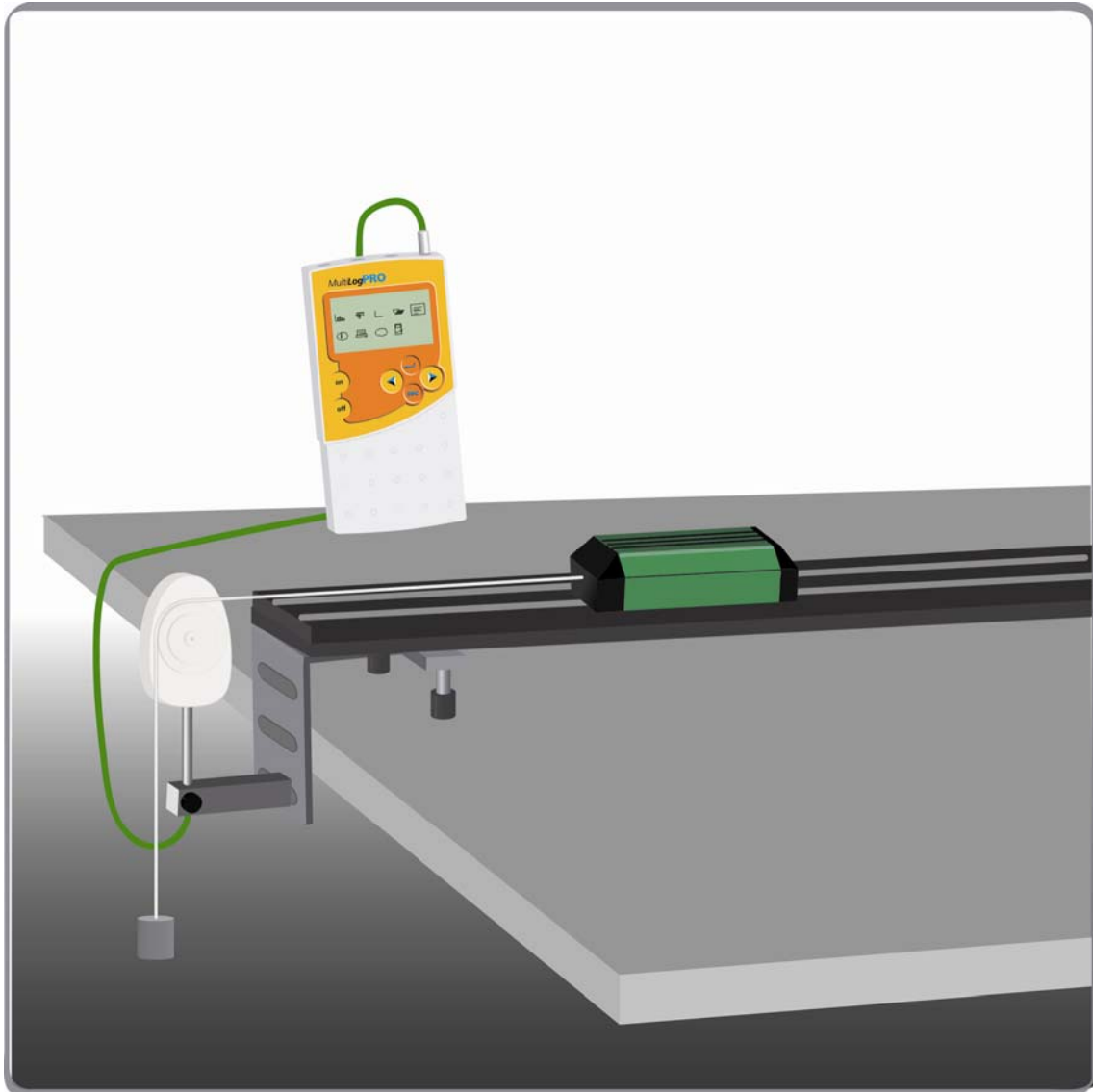


החוק השני של ניוטון בעזרת חיישן תנועה סיבובית



תרשים 1

מבוא

אייזיק ניוטון היה הראשון שהצליח להגדיר את הקשר בין המסה של גוף נתון, m , הכוח השקול המופעל עליו, F , ותאוצתו a הנגרמת על ידי הפעלת הכוח השקול וקבע כי התאוצה היא ביחס ישר לכוח השקול ובאותו כוון:

$$\Sigma F = m \cdot a$$



בניסוי זה אנו נבדוק את הקשר בין הכוח השקול פועל על מערכת של שני גופים לבין תאוצת המערכת (כשמת המערכת קבועה). התאוצה תימדד בעזרת חיישן התנועה הסיבובית.

רשימת הציוד


- MultiLogPRO או TriLink
- יש לחבר את ה-MultiLogPRO לרשת החשמל באמצעות ספק המתח AC/DC כיוון שצריכת הזרם של חיישן התנועה הסיבובית גבוהה
- עגלה בעלת מסה של כ- 500 גרם
- מסילה בעלת אורך של כ- 1 מטר
- חיישן תנועה סיבובית
- 5 - 6 משקולות בעלות מסות של 10 גרם או 20 גרם להעמסה על העגלה (בתחילת הניסוי)
- מחזיק משקולות
- חוט שאינו נמתח
- אוחז לחיישן התנועה הסיבובית

בניית מערכת הניסוי

1. חבר את ה-MultiLogPRO ליציאה הטורית או לכניסת USB של המחשב ולמקור המתח.
2. הדלק את ה-MultiLogPRO.
3. חבר את חיישן התנועה הסיבובית לכניסה 1 (I/O-1) של ה-MultiLogPRO.
4. הרכב את הציוד כמוראה בתרשים 1:
 - א. חבר את חיישן תנועה סיבובי לאחד הקצוות של המסילה.
 - ב. הצב את העגלה בקצה השני של המסילה.
 - ג. חבר את החוט לעגלה. החוט צריך להיות בעל אורך שיאפשר למשקולות התלויות להגיע לרצפה כשהעגלה מתקרבת לחיישן התנועה הסיבובית.
 - ד. חבר משקולת של 10 גרם או 20 גרם (מחזיק המשקולות) לקצה השני של החוט.
 - ה. העמס על העגלה את כל שאר המשקולות.
5. העבר את החוט מעל לגלגלת הגדולה של חיישן התנועה הסיבובית.

6. פלס את המסילה והצב את חיישן התנועה הסיבובית כך שהחוט מקביל למסילה.

7. הפעל את תוכנת ה-MultiLab.

8. פתח את אשף האתחול  בסרגל הכלים העליון והגדר את מערך המדידה לפי הפרוט הבא.

הערה: המרחק מוצג כחיובי או שלילי בהתאם לכיוון הסיבוב של הגלגלת. אם רוצים שהמרחק

יוצג כחיובי יש לבדוק לפני תחילת הניסוי כיצד להרכיב את המערכת :


1. מחברים את הגלגלת ל-MultiLogPRO.

2. מבצעים אתחול תוכנה לפי הרשום מטה.

3. מסובבים את גלגלת.

4. בודקים בגרף באיזה מצב סיבוב של הגלגלת המרחק מוצג כחיובי.


אתחול תוכנת ה-MultiLogPRO

| | | |
|--|---------------|-----------|
| חיישן תנועה סיבובית | כניסה – I/O-1 | חיישן |
| הגדרות החיישן  : מרחק | | |
| הגדרת תצורה < רדיום < 0.025 | | |
| 50 דגימות לשנייה | | קצב מדידה |
| 4 שניות (200 דגימות) | | זמן דגימה |

מהלך הניסוי


1. מדוד במאזניים את מסת העגלה ואת מסות המשקולות.

2. החזק את העגלה בקצה המסילה.

3. לחץ על התחל  בסרגל הכלים העליון כדי להתחיל את המדידה.

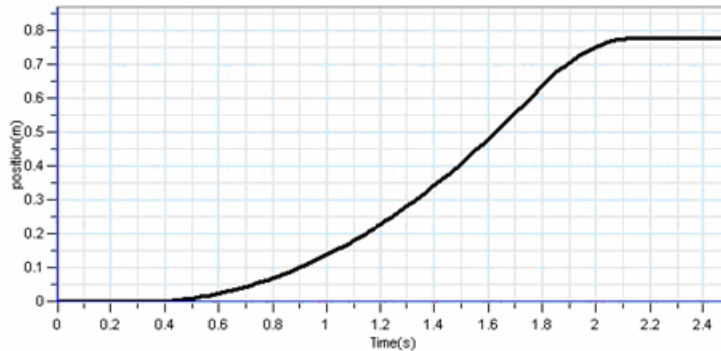
4. שחרר את העגלה.

5. לחץ על עצור  בסרגל הכלים העליון כשהמסה התלויה מגיעה לרצפה.

6. גרף התוצאות יופיע אוטומטית (ראה תרשים 2). לשמירה לחץ על **שמור**  בסרגל הכלים העליון.

7. רשום את המסה של המשקולת בכותרת הגרף: לחץ על **גרף** בסרגל הכלים העליון ובחר ב- **ערוך גרף**. בתיבת הדו-שיח שתיפתח כתוב בשדה **כותרת הגרף** את מסת המשקולת.

8. בתרשים 2 דוגמא לתוצאות המתקבלות בניסוי זה:



תרשים 2

9. העבר משקולת בעלת מסה של 10 גרם או 20 גרם מהעגלה למחזיק המשקולות וחזור על סעיפים 2 עד 7 כשהפעם תשמור את הגרף בשם אחר.

10. חזור על סעיפים 2 עד 7 כשאתה מעביר כל פעם משקולת אחת, מהעגלה למחזיק המשקולות ושומר את התוצאות בכל פעם בשם אחר.

ניתוח תוצאות הניסוי ושאלות

1. כל עוד המסילה אופקית, החוק השני של ניוטון עבור מערכת זו מבטא בנוסחה הבאה:

$$(1) \quad m_2 \cdot g - f = (m_1 + m_2) \cdot a$$

כאשר, f הוא כוח החיכוך הקינטי בין העגלה לבין המסילה, g היא תאוצת הנפילה החופשית, a היא תאוצת המערכת, m_2 היא מסת המשקולת התלויה ו- m_1 היא מסת העגלה (כולל המשקולות שעליה).

אם נתעלם מהחיכוך (כיום יש מערכות דינאמיקה בעלות מקדם חיכוך זניח), אזי נוסחה (1) הופכת ל:

$$(2) \quad a = \frac{1}{m_1 + m_2} \cdot m_2 g$$



מכיוון שהמסה הכוללת של המערכת, $m_1 + m_2$, נשארת קבועה, גרף התאוצה כפונקציה של הכוח המופעל על ידי המשקולת התלויה, m_2g , הינו קו ישר ששיפועו:

$$(3) \quad slope = \frac{1}{m_1 + m_2}$$

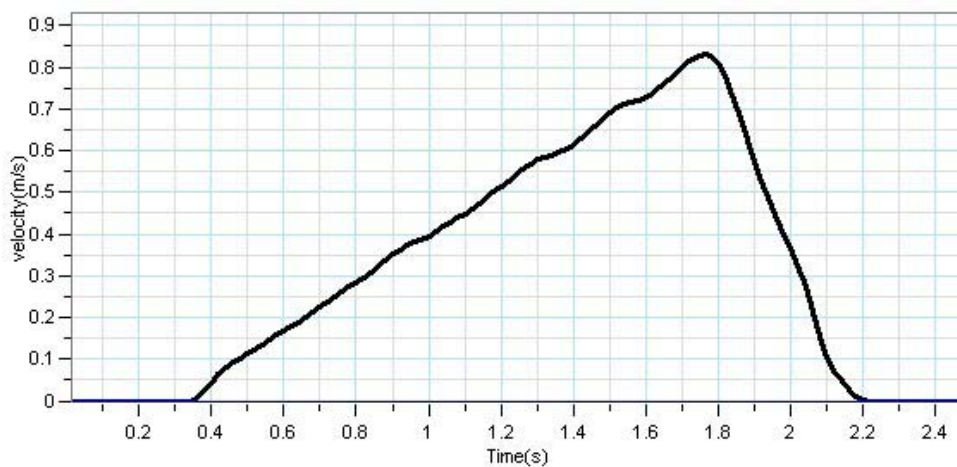
2. על מנת לשרטט גרף של תאוצת העגלה כתלות בכוח m_2g יש למצוא את תאוצת העגלה בכל הרצה של העגלה. בתנועה שוות תאוצה שיפוע גרף המהירות כתלות בזמן היא תאוצת הגוף.






3. המהירות היא נגזרת של העתק העגלה כפונקציה של הזמן. לכן לחץ על נגזרת שבסרגל הכלים העליון על מנת לקבל גרף של המהירות כפונקציה של הזמן. אם הגרף שהתקבל אינו מספיק חלק, החלק אותו בצורה הבאה: סמן את גרף המהירות ע"י לחיצה על

הצג סמן ראשון  שבסרגל הכלים התחתון ולאחר מכן על יותר החלקה  שבאותו סרגל.

4. בתרשים 3 דוגמא לגרף מהירות כתלות בזמן.



תרשים 3

5. גרף המהירות כתלות בזמן הוא קו ישר ושיפוע הקו היא התאוצה שהיא קבועה. על מנת לחשב את התאוצה סמן שתי נקודות מרוחקות בקטע הישר העולה של הגרף בעזרת הצג סמן ראשון  והצג סמן שני  שבסרגל הכלים התחתון. לאחר מכן התאם לקטע הזה קירוב ליניארי על ידי לחיצה על קירוב קו ישר  שבסרגל הכלים העליון. גרף הקירוב

הליניארי יופיע על גרף המהירות והנוסחה שלו בתחתית חלון הגרף. שיפוע הגרף המופיע בנוסחה היא התאוצה. רשום אותה במחברתך.

6. הכן את הטבלה הבאה ורשום בה את הנתונים המתאימים:

| $a \text{ (m/s}^2\text{)}$ | $m_2g \text{ (N)}$ | $m_2 \text{ (kg)}$ |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

7. חזור על סעיפים 1 עד 5 עבור כל אחד מהקבצים ששמרת.

8. סרטט גרף של התאוצה, a , כפונקציה של הכוח המופעל, m_2g , ומצא את שיפועו.

9. השווה את השיפוע שהתקבל מהניסוי עם השיפוע התיאורטי הנתון בנוסחה (3).

10. חשב את השגיאה היחסית במדידת מסת המערכת.

הצעות נוספות

1. ניתן לבדוק גם את הקשר בין תאוצת המערכת לבין מסתה כאשר הכוח השקול הפועל הוא


קבוע. הקשר הפעם הוא יחס הפוך בין המסה לתאוצת הגוף. במקרה זה מרכיבים


ומאתחלים את מערכת כמו שמתואר לעיל. תולים על החוט משקולת של 20 גרם (הכוח המושך את העגלה יישאר קבוע לכל אורך הניסוי). בכל מדידה מקטינים את מסת המערכת על ידי הורדת משקולות מן העגלה מבלי שלנות את הכוח המושך אותה. מצא את השגיאה היחסית במדידת הכוח המושך את העגלה.

2. אם יש חיכוך לא זניח במערכת, הסר את מחזיק המשקולות. הצב את העגלה הריקה על

המסלול במרחק של בערך 50 ס"מ מהחיישן. התחל את המדידה והענק לעגלה מהירות התחלתית, על ידי דחיפה קלה.

3. מדידת המהירות ההתחלתית ואת תאוצת העגלה:

4. סמן בעזרת הצג סמן ראשון  והצג סמן שני  שבסרגל הכלים התחתון את קטע הגרף בה המהירות הולכת וקטנה.

א. לחץ על קירוב קו ישר  שבסרגל הכלים העליון לקטע הגרף שסימנת ב א'.

- ב. מתוך המדידות שביצעת, הערך את מקדם החיכוך בין העגלה למישור.
- ג. מדוד את תאוצת העגלה כאשר m_2g מפעיל כוח על העגלה אך סכום המסות $m_1 + m_2$ קבוע. הוסף כעת את ההתייחסות לכוח החיכוך. ערוך את הטבלה הבאה:

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | מסה m_1 (ק"ג) |
| | | | | | | מסה m_2 (ק"ג) |
| | | | | | | $F_\mu = \mu m_1 g$ - כוח החיכוך (ניוטון) |
| | | | | | | $F_2 = m_2 g$ - הכוח החיצוני (ניוטון) |
| | | | | | | $F = F_2 - F_\mu$ הכוח השקול (ניוטון) |
| | | | | | | תאוצה a (מ'/ש"י ²) |

- ד. שנה את m_2g ושרטט גרף של התאוצה a כפונקציה של הכוח השקול F . מצא את שיפוע הגרף. מה הוא מייצג? האם ערכו מתאים לציפיותיך?
- ה. השווה את השיפוע שהתקבל מהניסוי עם השיפוע התיאורטי הנתון בנוסחה (3).
- ו. חשב את השגיאה היחסית במדידת מסת המערכת.

הסמן: ניתן להציג, לכל היותר, שני סמנים על גרף בו-זמנית.

ניתן להשתמש בסמן הראשון כדי להציג ערכים בודדים שנמדדו, או כדי לבחור גרף מסוים.
ניתן להשתמש בשני סמנים כדי להציג את ההפרש בין שני ערכים של קואורדינטות, או כדי לבחור טווח מסוים של מדידות.



הצגת הסמן הראשון: לחץ פעמיים על ערך מסוים בגרף או לחץ על הצג סמן ראשון
שבסרגל הכלים התחתון. ניתן לגרור את הסמן, בעזרת העכבר, לערך אחר בגרף או לגרף אחר.
לגרירה עדינה יותר ניתן להשתמש במקשי החיצים (ימינה ושמאלה) אשר במקלדת. ערכי
הקואורדינטות של הנקודה הנבחרת יופיעו בתחתית חלון הגרף.



הצגת הסמן השני: לחץ פעמיים במקום כלשהו באזור הגרף או לחץ על הצג סמן שני
שבסרגל הכלים התחתון. המידע שיופיע יהיה ההפרש שבין שני ערכי קואורדינטות.



הסרת הסמנים: לחץ פעמיים במקום כלשהו באזור הגרף, או לחץ על הצג סמן ראשון
שבסרגל הכלים התחתון פעם שנייה.



הסרת הסמן השני: לחץ על הצג סמן שני שבסרגל הכלים התחתון פעם שנייה.