

מדידת תאוצה

א. מטרת הניסוי

- (1) ללמוד כיצד משמש רשם זמן למדידת מהירות רגעית.
- (2) ללמוד כיצד למדוד תאוצה.

ב. מבוא תאורטי

מהירות

מהירות גוף מוגדרת כקצב שינוי המיקום של גוף זה. כאשר גוף נע בקו ישר ועובר העתקים שווים בזמנים שווים, ניתן להגדיר את מהירות הגוף כהעתק הגוף ביחידת זמן אחת.

המהירות מסומנת באות v (מהמילה velocity). על פי ההגדרה, אם גוף נע לאורך קו ישר (ציר x) במהירות קבועה, ובזמן מסוים t_1 היה במיקום x_1 ובזמן מאוחר יותר t_2 הוא הגיע למיקום x_2 , מהירות הגוף נתונה על ידי:

$$(1) \quad v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

כאשר Δx הוא העתק הגוף בפרק הזמן Δt . יחידת המהירות בשיטת היחידות SI היא m/s. אם מהירות הגוף בפרק זמן מסוים אינה קבועה, נהוג להתייחס למהירות ממוצעת או למהירות רגעית.

מהירות ממוצעת

כאשר גוף נע בקו ישר במהירות לא קבועה, ועובר העתק Δx בפרק זמן Δt , מהירותו הממוצעת בפרק זמן זה, והמסומנת ב- \bar{v} , מוגדרת כ:

$$(2) \quad \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

על פי הקשר האחרון, המהירות הממוצעת של גוף בפרק זמן מסוים מוגדרת כמהירות הקבועה בגודל ובכיוון אשר אם הגוף נע בה, העתקו יהיה זהה באותו פרק זמן.

מהירות רגעית

המהירות הרגעית של גוף הנמצא בתנועה היא מהירות גוף זה ברגע מסוים. אם נתון גוף הנע בקו ישר במהירות לא קבועה, ועל מנת לחשב את מהירותו בזמן מסוים t , ניתן לקבוע את מיקום הגוף בשני זמנים t_1 ו- t_2 כאשר הזמן t_1 הוא לפני הזמן t ו- t_2 אחריו. הגודל:

$$(3) \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

כאשר x_1 הוא מיקום הגוף בזמן t_1 ו- x_2 הוא מיקומו בזמן t_2 , מבטא את המהירות הממוצעת של הגוף בפרק הזמן $\Delta t = t_2 - t_1$, שנשמך אותה ב- $\bar{v}(t_1 \rightarrow t_2)$. מהירות זו שונה מהמהירות הרגעית של הגוף בזמן t , $v(t)$.

אבל, ככל שפרק הזמן $\Delta t = t_2 - t_1$ סביב לזמן t נעשה קטן יותר, הגודל $\Delta x / \Delta t$ מתקרב לגודל המהירות בזמן t (המהירות הרגעית). כלומר, ככל ש- Δt קטן יותר ויותר (שואף לאפס), הגודל $\Delta x / \Delta t$ מתקרב יותר ויותר אל ערך סופי (הנקרא גבול), שהוא מהירות הגוף בזמן t . מבטאים זאת בכתיב המתמטי הבא:

$$(4) \quad v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)$$

תאוצה

התאוצה היא גודל פיזיקלי המתאר את קצב השינוי במהירות הגוף. גודל זה מסומן באות a מהמילה הלועזית acceleration.

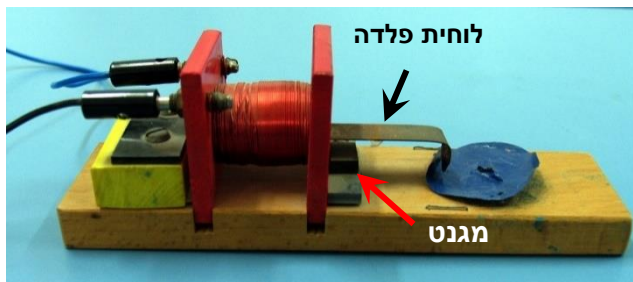
אם התאוצה קבועה, קצב שינוי מהירות הגוף יהיה קבוע. במקרה זה, אם מהירות הגוף בזמן מסוים t_1 , היא v_1 , ובזמן t_2 היא v_2 , תאוצת הגוף בפרק זמן זה (קצב שינוי מהירות הגוף) נתונה על ידי:

$$(5) \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

על סמך ביטוי זה, יחידת התאוצה היא:

$$(6) \quad [a] = \frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

לדוגמה, אם נתון שתאוצת גוף היא 5 m/s^2 , המשמעות היא שמהירות הגוף משתנה ב- 5 m/s בכל שנייה $\left(\frac{5 \text{ m/s}}{\text{s}} \right)$.

**ג. ציוד ומכשור**

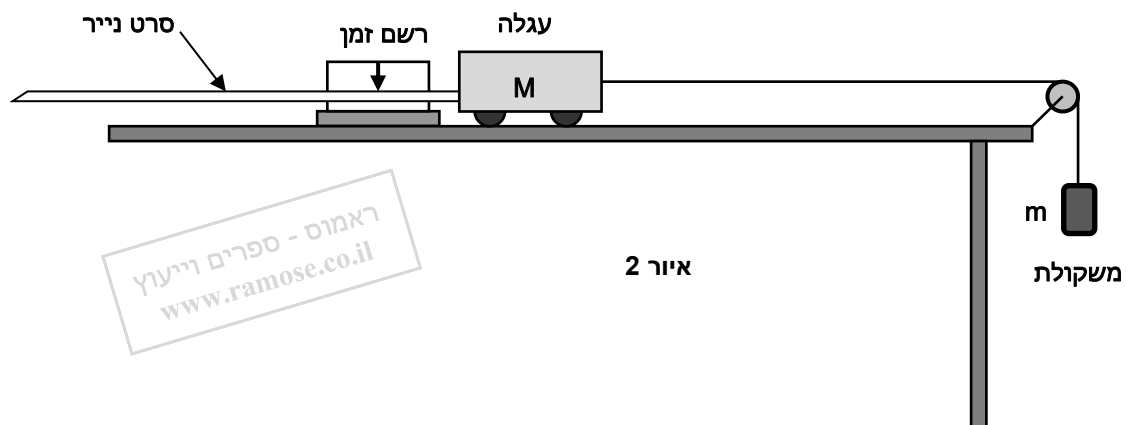
איור 1: רשם זמן

- (1) ספק מתח חילופין.
- (2) חוטי חשמל.
- (3) סרט נייר באורך כ-80 ס"מ ונייר דבק.
- (4) עגלה, גלגלת, משקולת וחוט דק.
- (5) קליבה.
- (6) סרגל ארוך (עדיף באורך מטר).
- (7) מאזניים.
- (8) רשם זמן: רשם זמן, המתואר באיור 1, הוא מכשיר המורכב מסליל המוצב על בסיס. דרך מרכז הסליל

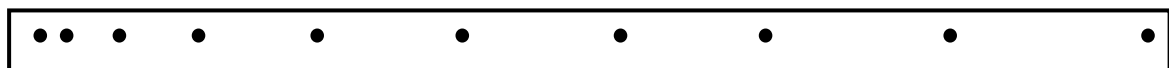
עוברת לוחית פלדה, הבולטת החוצה מהסליל. צד אחד של לוחית זו מהודק במשטח מוגבה, כך שהלוחית עוברת דרך הסליל ויש לה חופש להתנדנד. צדה האחר של הלוחית, שמסתיים בראש חד, חופשי להתנדנד ונמצא מעל מגנט המודבק על בסיסו של רשם הזמן (ראה איור 1). כאשר מחברים את הסליל אל מקור מתח חילופין, נוצר בתוך הסליל שדה מגנטי שהופך את הכיוון שלו באותו תדר כמו זרם החילופין שעובר דרכו. כתוצאה מכך, לוחית הפלדה הופכת למגנט, אבל עם קטבים מגנטיים אשר מתחלפים ביניהם בתדר של הזרם. לכן קצה הלוחית שנמצא מעל המגנט משתנה מדרומי לצפוני באופן רציף דבר שגורם לכך שהכוח המגנטי המופעל בין הקצה החופשי של הלוחית ובין המגנט שנמצא מתחת ללוחית משתנה ממשיכה לדחיה באופן רציף, באותו תדר כמו הזרם. כתוצאה מכך, קצה הלוחית מתנדנד למעלה ולמטה ונוקש על הבסיס בתדר הזרם החילופין. אם מחברים את רשם הזמן לרשת החשמל הארצית, כלומר לזרם חילופין שמשנה את הכיוון שלו בתדירות של כ-50 Hz, נקבל שרשם הזמן מבצע במקרה זה 50 נקישות בשנייה. לכן, הזמן בין כל שתי נקישות עוקבות הוא $1/50$ מהשנייה כלומר 0.02 s .

ד. מהלך הניסוי (הרכבת המערכת, וביצוע הניסוי)

- (1) מדוד, באמצעות המאזניים, את מסת העגלה (M) ומסת המשקולת (m). רשום את הערכים המתקבלים.
- (2) הדק, באמצעות הקליבה, את רשם הזמן לשולחן, וחבר אותו לספק (לא להפעיל את הספק בשלב זה).
- (3) חבר קצה אחד של סרט הנייר לעגלה והעבר את הסרט במקום המיועד לכך ברשם הזמן.
- (4) קשור קצה אחד של החוט לעגלה, העבר את החוט דרך הגלגלת המקובעת בקצה השולחן, ולקצה השני שלו קשור את המשקולת. החזק את העגלה במנוחה ושחרר את המשקולת באוויר (ראה איור 2).
- (5)



- (6) הפעל את ספק המתח (את רשם הזמן), ושחרר את העגלה. העגלה נעה בתאוצה כשהיא מושכת את סרט הנייר איתה.
- (7) התוצאות בניסוי זה מתקבלות כנקודות (סימנים) על סרט הנייר כפי שמתואר באיור 3. נקודות אלה נוצרות מהפגיעות של הראש החד ברשם הזמן המתנדנד בתדירות 50 Hz , וזאת במהלך תנועת סרט הנייר בתאוצה השווה לתאוצת המערכת.



איור 3

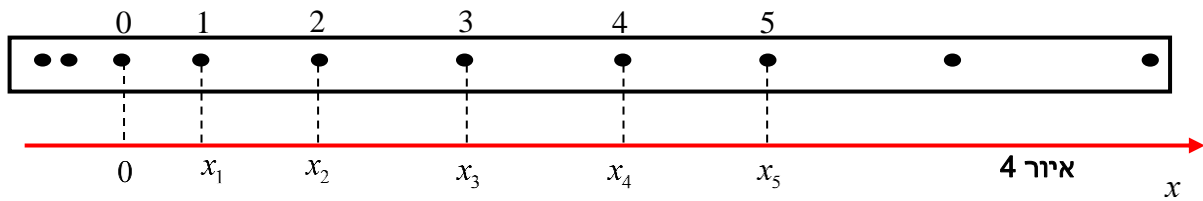
- ניתן להראות (על סמך החוק השני של ניוטון) שתאוצת המערכת בניסוי זה (המערכת המתוארת באיור 2), ובהנחה שכוחות החיכוך זניחים, נתונה על ידי הביטוי הבא:

$$(7) \quad a = \left(\frac{m}{m+M} \right) g$$

כאשר M היא מסת העגלה, m מסת המשקולת, ו- g תאוצת הכובד, $g = 9.8\text{ m/s}^2$.

ה. עיבוד וניתוח תוצאות הניסוי

- (1) בחר נקודה על הסרט הקרובה לקצה הסרט בתחילת התנועה, וסמן אותה ב-0, ואת שאר הנקודות שבאות אחריה סמן ב-1, 2, 3, ... כפי שמתואר באיור 4.
- (2) קבע את $x = 0$ בנקודה המסומנת ב-0, ומדוד, בעזרת הסרגל, את שיעורי שאר הנקודות ביחס לנקודה זו (ראה איור 4).



(3) בחר $t = 0$ בנקודה 0, והכן טבלה הכוללת שלוש עמודות: בעמודה הראשונה רשום את המספר הסדורי של הנקודה, בשנייה את הזמן עד לנקודה זו ביחס ל- $t = 0$ ובשלישית את המיקום של נקודה זו ביחס ל- $x = 0$, כפי שמתואר בטבלה הבאה. שים לב שפרק הזמן בין כל שתי נקודות עוקבות הוא 0.02s .

n	$t(\text{s})$	x_n
0	0	0
1	0.02	x_1
2	0.04	x_2
3	0.06	x_3
4	0.08	x_4
\vdots	\vdots	\vdots

ראמוס - ספרים וייעוץ
www.ramose.co.il

(4) הכן, על סמך הטבלה הקודמת, טבלה חדשה המתארת את מהירות המערכת בכל אחד מהזמנים שבטבלה הקודמת (המהירות הרגעית). על מנת להסביר כיצד עושים זאת, נניח שרוצים לחשב את המהירות הרגעית בנקודה n (בזמן t_n). נבחר שני זמנים הקרובים ביותר לזמן t_n , אחד לפני ואחד אחרי, כלומר הזמנים t_{n-1} ו- t_{n+1} , ומחשבים את הגודל:

$$(8) \quad v_n = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{0.04\text{s}}$$

הגודל $\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$ מחולק בגודל $\Delta t = t_{n+1} - t_{n-1}$ מבטא את המהירות הממוצעת בפרק הזמן $\Delta t = t_{n+1} - t_{n-1}$. אבל, מכיוון שפרק זמן זה קטן מאוד (0.04s), גודל מהירות זו קרוב מאוד למהירות הרגעית בזמן t_n כפי שהסברנו ברקע התיאורטי בניסוי זה. בנוסף, ניתן להוכיח (ראה שאלת הכנה מס' 3) שהמהירות הממוצעת בפרק זמן Δt , עבור גוף הנע בתאוצה קבועה, שווה למהירות הרגעית במחצית פרק זמן זה. לכן הגודל:

$$(9) \quad \bar{v}(t_{n+1} \rightarrow t_{n-1}) = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = v(t_n)$$

הערה: שים לב לכך שלא ניתן לחשב את המהירות הרגעית בנקודה הראשונה בטבלה הנ"ל כי אין נקודה לפנייה, וגם לא את המהירות הרגעית בנקודה האחרונה בטבלה כי אין נקודה אחרייה. (5) סרטט, על סמך הטבלה המתקבלת מהסעיף הקודם, גרף המתאר את מהירות המערכת כפונקציה של הזמן.

(6) הסתמך על הגרף וחשב את תאוצת המערכת (שיפוע הגרף).

(7) חשב את גודל התאוצת המתקבלת על סמך משוואה (7), והשווה את התוצאה המתקבלת מהחישוב לתוצאה המתקבלת מהניסוי.

(8) חשב את אחוז השגיאה.

ו. שאלות הכנה

- (1) הוכח את הקשר (7).
- (2) תאר את התפלגות הנקודות המתקבלות על סרט הנייר אם המערכת נעה במהירות קבועה.
- (3) הוכח שבתנועה בתאוצה קבועה, המהירות הממוצעת של הגוף בפרק זמן מסויים, שווה למהירות הרגעית שלו באמצע פרק זמן זה.
- (4) הגרף המתקבל בניסוי זה, ואשר מתאר את מהירות הגוף כפונקציה של הזמן, הוא גרף לינארי. קבע מה מייצג שיפוע גרף זה ומה מייצגת נקודת חיתוך הגרף עם הציר האנכי.
- (5) הסבר מדוע הגרף המתקבל בניסוי זה אינו עובר בראשית מערכת הצירים למרות שהעגלה התחילה את תנועתה ממנוחה.