



נפילה חופשית

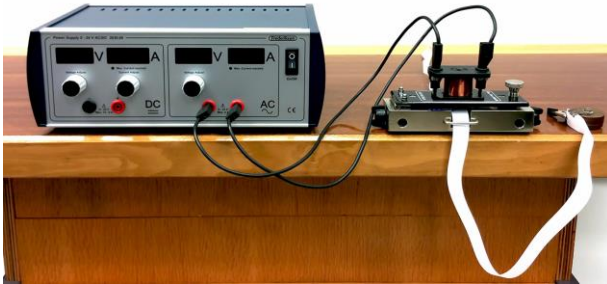
מטרות הניסוי

בסוף המאה ה-16 ניסח גלילאו גליליי שני כללים פשוטים המתקיימים בנפילה חופשית:

1. הנפילה החופשית היא תנועה בתאוצה קבועה.
 2. תאוצת הנפילה משותפת לכל הגופים הנופלים חופשית באתר מסוים על פני הארץ, ללא תלות במסתם.
- מטרות הניסוי הן לאשש את הכלל הראשון ולהעריך את תאוצת הנפילה החופשית על פני כדור הארץ.

רשימת הציוד

- קוצב זמן מחובר לספק AC
- משקולת עם תפסן לסרט נייר
- ספק מתח AC של $6 \div 8V$
- 2 תילים
- סרט נייר
- סרגל



תרשים 1

תיאור המערכת ומהלך הניסוי

מערכת הניסוי מורכבת מסרט נייר ארוך המושחל בתוך קוצב זמן ומשקולת מחוברת אל הקצה התחתון של סרט הנייר (ראה תרשים 1). המשקולת משוחררת ממנוחה ונופלת חופשית. קוצב הזמן מסמן נקודות על הסרט הנמשך כלפי מטה, בפרקי זמן של $\Delta t = 0.01s$. על הסרט מתקבל תרשים עקבות: סדרת נקודות שמתארות את מקומות המשקולת ברגעים השונים במשך נפילתה.

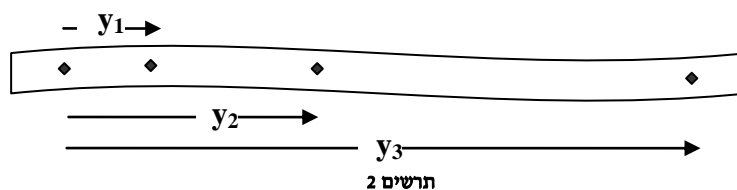
בעזרת תרשים העקבות, נמצא את התלות של מהירות הגוף בזמן $v(t)$, ומן הגרף $v(t)$ שיתקבל נמצא את תאוצת הנפילה החופשית.

ביצוע הניסוי

1. השחל את סרט הנייר אל תוך קוצב הזמן וחבר את המסה אל הסרט בעזרת מצבט התנין. החזק בעדינות את הסרט בנקודה שלפני כניסתו לקוצב הזמן.
2. הפעל את קוצב הזמן בעזרת הספק AC והרפה מן הסרט. הקפד לשחרר את הסרט כך שבמשך נפילתו לא יתחכך במכשיר.
3. נתק את הסרט מהמשקולת, התבונן בו, זהה את הנקודות שסומנו על ידי קוצב הזמן וחזק אותן בעט במידת הצורך.

עיבוד תוצאות המדידות

1. הצמד לשולחן בעזרת נייר דבק את סרט הנייר עליו תרשים העקבות, כך שהמרווחים בין הנקודות הולכים וגדלים משמאל לימין.
2. הגדר ציר מקום עבור תרשים העקבות:
 - א. סרט על סרט הנייר ציר מקום ובחר את כיוונו.
 - ב. קבע נקודה על הסרט שהחל ממנה ניתן למדוד בעזרת סרגל מרחקים של מעל 2cm (מדוע?). סמן את הנקודה הנ"ל בעזרת עט צבעוני. בהמשך תתייחס לנקודה זו כאל **הראשית ציר המקום**, כלומר מיקומה $y=0$. את כל המרחקים בהמשך מדוד מנקודה זו - כפי שמתואר בתרשים 2:



3. החל מנקודת הראשית שבחרת מדוד שיעורי 10-12 נקודות עוקבות על הסרט. ערוך טבלה של מקום הגוף הנופל כנגד הזמן. **שים לב:** נגדיר $t=0$ את הזמן המתאים לנקודת הראשית.

עיבוד התוצאות בגיליון האלקטרוני

1. בנה בגיליון אלקטרוני Excel טבלה עם תוצאות הניסוי והקלד בה את נתוני מקום הגוף והזמן.

זמן	מקום	מהירות
t(s)	y (m)	v(m/s)
0	0	

2. בעמודת המהירות חשב את המהירות הרגעית של הגוף הנופל בזמנים השונים (פרט לנקודה הראשונה והאחרונה) על ידי חישוב מהירות ממוצעת בפרקי זמן של $\Delta t = 0.02s$. לדוגמא, חישוב המהירות הרגעית בנקודה השנייה (ברגע t_1):

$$v_1 = \frac{y_2 - y_0}{t_2 - t_0}$$

3. בנה בגיליון האלקטרוני גרף פיזור (נקודות המדידה) של מקום הגוף כפונקציה של הזמן, $y(t)$.

4. בנה בגיליון האלקטרוני גרף פיזור של מהירות הגוף כפונקציה של הזמן, $v(t)$.

5. הוסף לגרף $v(t)$ קו מגמה - הישר הטוב ביותר שעובר בין נקודות הגרף. הצג את משוואת קו המגמה (משוואת הישר $v(t)$) ואת ערכו של R^2 . במשוואת הישר, החלף את y ו- x בפרמטרים הפיזיקליים המתאימים.

R^2 - "ריבוע מקדם המיתאם"

הינו מדד להתאמת קו המגמה לדיאגרמת הפיזור. ערכי R^2 מקיימים: $0 \leq R^2 \leq 1$. ככל שערכו של R^2 קרוב יותר ל-1, ההתאמה בין הנקודות הניסיוניות (דיאגרמת הפיזור) לקו המגמה טובה יותר.

ניתוח התוצאות

1. א. מתוך תרשימים העקבות, תאר במילים כיצד משתנים המרווחים בין מקומי המשקולת ברגעים שונים. מהי צורת הגרף מקום-זמן שקיבלת? הסבר.

ב. מדוע ניתן לבחור בניסוי את הנקודה של תחילת המדידה כרצוננו?

2. לגבי הגרף מהירות-זמן שהתקבל:

א. הסבר מהי צורתו של הגרף (התייחס למשוואת הקו ולערך R^2).

ב. מהו שיפוע הגרף? ציין את יחידותיו. בדוק את מידת ההתאמה לערך הצפוי.

ג. רשום מהי נקודת החיתוך עם ציר ה- y . ציין את יחידותיה והסבר מה היא מציינת.

בסיום הניסוי

- שמור את סרט הנייר עם כל הרישומים עליו כדי לצרף אותו לדו"ח המעבדה.
- כבה את הספק.
- נתק את הספק מרשת החשמל.
- החזר את המשקולת על השולחן, ליד הכן.

שאלות נוספות

1. א. שרטט ידנית שלושה גרפים איכותיים של שינוי המקום, המהירות, והתאוצה של גוף הנופל חופשית, כפונקציה של הזמן. רשום מה הגדרתן לכיוון הציר וראשיתו.

2. ב. רשום ביטויים מתמטיים עבור פונקציות מקום-זמן, מהירות-זמן ותאוצה-זמן.

3. הסבר את המושג "קצב דגימה". מהו קצב הדגימה בניסוי שביצעת?

4. כיצד היו נראים המרחקים בין הנקודות על הסרט אילו התנועה של הגוף הייתה קצובה?
5. הסבר מדוע המהירות הרגעית ברגע t_2 שווה בקירוב למהירות הממוצעת מ- t_1 ל- t_3 . (ניתן להראות גם באמצעות הגדרות מהירות רגעית ומהירות ממוצעת מגרף מקום-זמן).
6. מהו השיפוע של גרף הפונקציה $v(t)$ שהיה מתקבל אילו ביצעת את הניסוי על הירח? שים לב, תאוצת הנפילה החופשית על הירח היא ששית מזו שעל כדור הארץ.
7. נתון: "תאוצתו של גוף מסוים היא $a = 2.5 \text{ m/s}^2$ ". הסבר במילים את משמעותו של נתון זה.

תרגיל אתגר

- אחת המורות בחמד"ע שנשארה לעבוד מאוחר בלילה ראתה רוח רפאים שטיילה ברחוב הסמוך. המורה האמיצה הצליחה למדוד את מיקום הרוח על הרחוב בפרקי זמן של $\Delta t = 1 \text{ s}$. ואלה התוצאות, במטרים:
 $x(t) = 1, 8, 26, 65, 126, 216, 344, 513$
- א. רשום בשתי עמודות של גיליון אלקטרוני את ערכי הזמן והמקום ובעמודה שלישית חשב את המהירות הרגעית של הרוח.
- ב. בנה גרפים (גרף פיזור וקווי מגמה) של $x(t)$ ו- $v(t)$, והצג גם משוואות קווי המגמה וערכי R^2 . חזור ובנה גרפים אלה פעמיים – פעם אחת עם מגמה של פולינום מסדר שני ופעם נוספת עם מגמה של פולינום מסדר שליש.
- ג. מה ניתן להגיד על תאוצת הרוח? נסה למצוא את הביטוי המתמטי עבור הפונקציה $a(t)$.