

# נפילת אופיט – ניסוי

## קצת רקע...

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

1. הנפילה החופשית היא תנועה בתאוצה קבועה.
2. תאוצת הנפילה החופשית זהה לכל הגופים הנופלים חופשית, בכל מקום בכדור הארץ.

בניסוי זה אנו נצפה בנפילה של גוף ונבצע מדידה של מיקום הגוף  $y(t)$ , כפונקציה של הזמן. מערכת הניסוי מורכבת מסרט נייר ארוך המושחל ברשם זמן ומשקולת המחוברת אל הקצה התחתון של סרט הנייר. המשקולת משוחררת ממנוחה ונופלת לרצפה. **הנפילה אינה נפילה חופשית היות שאנו משתמשים ברשם זמן ובסרט המחובר** בגוף ולא מפילים גוף ומצלמים את נפילתו לדוגמא. נמקם את רשם הזמן כך שגורמי החיכוך יהיו קטנים ככל האפשר. רשם הזמן מסמן נקודות על הסרט, הנע כלפי מטה, בפרקי זמן של 0.02 שניות. על הסרט מתקבל תרשים עקבות: סדרה של נקודות המתארות את מיקום הגוף בזמן נפילתו. בעזרת תרשים העקבות, נמצא את תלות מהירות הגוף בזמן. משיפוע גרף זה נמצא את תאוצת הנפילה החופשית.

## רשימת ציוד

- ספק או מקור מתח חילופין
- רשם זמן (מתח הפעלה  $6V$  - זרם חילופין)
- סרטי נייר המיועדים לרשם זמן
- נייר קופי (פחם) המיועד לרשם זמן
- נייר דבק
- כליבה
- סרגל ארוך
- גלילי מתכת שמסתם 150-300 גרם

## עקרון הפעולה של רשם-זמן

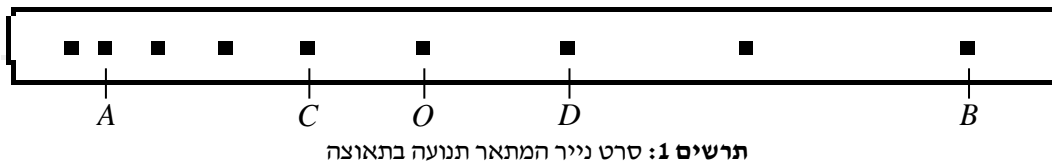
ברשם זמן פס מתכת שקצהו האחד קבוע ונמצא בתוך סליל בו מוזרם זרם חילופין המחליף את כיוונו 100 פעם בשנייה (50 פעם בשנייה הוא זרם בכיוון אחד ו- 50 פעם בשנייה הוא זרם בכיוון ההפוך).

בסמוך לקצהו החופשי של הפס נמצאים שני מגנטים שקוטביהם מנוגדים. כאשר זרם זורם בסליל, פס המתכת מתמגנט ובהתאם לשינוי בכיוון הזרם הוא מחליף את קוטביותו (צפון, דרום). בפועל פס המתכת נמשך 50 פעם בשנייה אל מגנט אחד ו- 50 פעם בשנייה אל המגנט השני. כתוצאה מכך מקיש הנוקש הנמצא בקצהו החופשי של פס המתכת 50 פעם בשנייה על נייר הפחם.

מרווח הזמן בין כל שתי נקישות הוא  $1/50 = 0.02s$ . מתחת לנייר הפחם נמצא סרט נייר. כאשר הנוקש פוגע בנייר הפחם נוצר כתם של צבע על סרט הנייר.

אם נמשוך את הסרט הוא ימצא בתנועה ותרשמה עליו נקודות. הזמן החולף בין נקודה לנקודה הוא 0.02 שניות.

אם נקשור את סרט הנייר לגוף נע תהיה בידינו אפשרות למדוד את מהירותו הממוצעת בפרקי זמן שונים. המהירות הממוצעת תתקבל על ידי חלוקת המרחק שעבר הגוף בזמן שחלף. את המרחק נמדוד באמצעות הנקודות שעל סרט הנייר ואת הזמן בהתאם למספר המרווחים. אם לדוגמא, נרצה לדעת את המהירות הממוצעת בפרק הזמן שחלף מהרגע בו נרשמה הנקודה A על הסרט לבין הרגע בו נרשמה B (ראה תרשים 1) נמדוד בעזרת סרגל את המרחק בין A ו-B, ונחשב את הזמן שחלף מ-A ל-B (ע"י הכפלת מספר המרווחים בין נקודות ב- 0.02).



לשם קבלת תוצאה כמה שיותר מדויקת – קרובה ככל האפשר למהירות רגעית – נקרב את הנוסחה של מהירות ממוצעת ככל הניתן למשוואה של מהירות רגעית ע"י הקטנת המכנה ככל האפשר (הקטנת פרק הזמן בו מדובר).

כאשר נרצה לחשב את מהירות הגוף ברגע שנרשמה נקודה מסוימת O בסרט, ניקח קטע הכולל את הנקודה ואת הנקודות שמיד לפניו ואחריה. באופן זה נתקרב **ככל הניתן** לערכה של המהירות הרגעית. נכנה את שתי הנקודות C ו-D (ראה תרשים 1). משך התנועה בין C ל-D הוא

$$v_O = \frac{X_D - X_C}{t_{C \rightarrow D}} = \frac{X_D - X_C}{0.04} \quad 2 \times 0.02 = 0.04s \quad \text{הביטוי למהירות בנקודה O יראה כך:}$$

## הרכבת מערכת הניסוי

הרכיבו את מערכת הניסוי על פי הנחיות אלה:

א. הדקו את רשם הזמן לשולחן באמצעות הכליבה, כך שצידו החיצוני של רשם הזמן פונה כלפי קצה השולחן (באופן שבו הסרט יוכל ליפול כלפי הרצפה ללא מחסום כלשהו).

ב. חברו את רשם הזמן בעזרת שני חוטים לספק המתח – לכניסת זרם חילופין AC למתח של 6 וולט (אם ישנה בעיה ורשם הזמן לא עובד – נא לקרוא למורה, שימו לב שהספק מחובר לחשמל לפני שאתם מטריחים אותי לבוא לבדוק).

ג. בחרו את המשקולת הכבדה. השחילו סרט נייר שאורכו 30 ס"מ - 50 ס"מ בנתיבים המתאימים וחברו את קצהו אל גליל המתכת שברשותכם (רובו המכריע של הסרט יהיה בצידו הפנימי של השולחן ורק קצהו יהיה בצידו החיצוני של השולחן – לקצה זה מחוברת המשקולת) בעזרת מצבט תנין.

**ביצוע הניסוי**

1. הפעילו את רשם הזמן (הספק) והרפו מן הסרט. המשקולות תיפול ותמשוך אחריה את סרט הנייר.
2. לאחר שהמשקולות תגיע לרצפה הפסיקו את פעולת רשם הזמן ע"י כיבוי הספק.
3. נתקו את המשקולות מסרט הנייר והדביקו את סרט הנייר שעליו תרשים העקבות אל שולחנכם בכדי שיהיה לכם נוח לערוך מדידות.
4. הגדירו על סרט הנייר את כיוון ציר מקום (הגדר מהו הכיוון החיובי) ואת יחידותיו.
5. קבעו נקודה בה  $x=0$  ו-  $t=0$  (אל תבחרו את הנקודות הראשונות, אך מומלץ לבחור נקודות קרובות יחסית לתחילת הסרט). בנקודה זו הגוף כבר בתנועה.
6. סמנו את הנקודה שבחרתם ב-1, את הנקודה הבאה אחריה ב-2 וכך הלאה 10 נקודות סה"כ.
7. השלימו את טבלה 1

נקודה מס'	$x (m)$	$t(s)$	$v(m/s)$
1		0	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

טבלה 1: ממצאי הניסוי - משקולת כבדה

$x (m)$  - מייצג את ההעתק שעבר הגוף מהנקודה הראשונה ( $x = 0$ ) ועד לנקודה הנדונה.

$t(s)$  - מייצג את הזמן החולף מהנקודה הראשונה ( $t = 0$ ) ועד לנקודה הנדונה.

$v(m/s)$  - מייצג את המהירות בנקודה המבוקשת ומחושב על פי הנוסחה:  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{0.04}$

8. כעת קחו את המשקולת הקלה, ובצעו את שלבים 1-3 ו-9-5 של הניסוי מחדש. הוסיפו את התוצאות של נפילה זו לטבלה מס' 2.

נקודה מס'	$x (m)$	$t(s)$	$v(m/s)$
1		0	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

טבלה 2: ממצאי הניסוי - משקולת קלה

שימו לב שבניסוי זה עליכם לשרטט (בעזרת האקסל) ארבעה גרפים:

- שני גרפי מקום – זמן (אחד עבור כל משקולת)
- שני גרפי מהירות – זמן (אחד עבור כל משקולת)

בהצלחה 😊

## שאלות העמקה

יש לענות על ארבע מבין השאלות

1. א. הסבירו את המושג "קצב דגימה", מהו קצב הדגימה בניסוי שבצעתם? מה מייצגות הנקודות שעל הסרט?  
 ב. מקבץ הנקודות הראשוני המתקבל אינו שימושי. למה? האם עובדה זו לא פוגעת במטרות הניסוי ובדיוקו? הסבירו.
2. א. הסבירו את השיטה לפיה אתם מוצאים את המהירות הרגעית בכל נקודה ורשמו נוסחה מתאימה. האם השיטה מקורבת או מדויקת? נמקו.  
 ב. האם נוכל למדוד את המהירות בנקודה הברורה הראשונה בסרט ובנקודה האחרונה בסרט? נמקו.
3. א. איך תמצאו בעזרת גרף המהירות – זמן שקבלתם את המרחק שעבר הגוף עד לזמן שנבחר כ-  $t=0$ ? מהו המרחק?  
 ב. איך תוכלו לדעת האם התנועה של המשקולת היא תנועה בתאוצה קבועה?
4. א. רשמו ביטויים מתמטיים עבור פונקציות מקום – זמן, מהירות – זמן, תאוצה – זמן הנפילה חופשית.  
 ב. מהי צורת גרף מקום – זמן שצריכה להתקבל במקרה זה? שרטטו גרף איכותי.
5. א. מדוע ניתן לבחור בניסוי את נקודת תחילת המדידה כרצוננו?  
 ב. רשמו מהי נקודת החיתוך עם ציר ה-  $y$ . ציינו את יחידותיה והסבירו מהי מציינת.
6. א. ללא קשר לתוצאות הניסוי, האם אתם מצפים לקבל בניסוי ערך השווה לתאוצת הנפילה החופשית, ערך גדול ממנו או ערך הקטן ממנו? נמקו.  
 ב. השוו את שני הערכים שקיבלתם עבור תאוצת הנפילה החופשית. האם ניתן היה לצפות כי יהיה הבדל בין שתי התוצאות? איזו תוצאה אמורה להיות גדולה יותר, זאת של המשקולת הכבדה או הקלה? הסבירו מדוע יש הבדל בתוצאות.
7. א. מהם הכוחות הפועלים על המערכת במהלך נפילת הגוף? (ציינו לפחות שני כוחות). ציינו אלו מהם הינם כוחות מאיצים ואילו מהם כוחות מעכבים.  
 ב. לו בוצע הניסוי על הירח, מה היה השוני בתוצאות?  
 ג. פתחו את הביטוי לתאוצת הנפילה החופשית (היעזרו בנוסחאות כבידה)