

## תדריך מעבדה: מכניקה- זריקה אופקית

רקע תאורטי:



מסלול התנועה של גוף הוא קו, המורכב מאוסף כל הנקודות במישור  $(x,y)$  שדרכן עובר הגוף הנע. ניתן לתאר את מסלול התנועה של גוף הנזרק אופקית כשילוב של שתי תנועות בלתי תלויות, אופקית ואנכית. כוח הכובד פועל על הגוף בכיוון האנכי בלבד. לכן, בהנחה שהתנגדות האוויר זניחה, הרי שבכיוון האנכי ינוע בתאוצה קבועה. התקדמות הגוף בכיוון האופקי אינה מושפעת מכוח הכובד. לכן, בהנחה שהתנגדות האוויר זניחה, הרי שבכיוון האופקי הגוף ינוע במהירות קבועה.

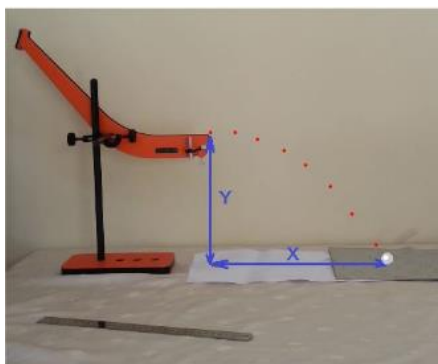
### תיאור הניסוי

בניסוי זה נשגר כדור בזריקה אופקית מעל גבי שולחן. בתנועתו הכדור ינוע באוויר ויפגע בשולחן.

נסמן:

$Y$  = גובה עזיבתו של הכדור את מסלול השיגור (ביחס לשולחן)

$X$  = המרחק האופקי המקסימלי שעבר הכדור מנקודת עזיבתו את מסלול השיגור ועד פגיעתו בשולחן. זהו המרחק שהכדור עבר בתנועתו כגוף חופשי.



### מטרת הניסוי

נבדוק את הקשר שבין המרחק האופקי המקסימלי  $(X)$  לבין הגובה ממנו עזב הכדור את מסלול השיגור  $(Y)$ .

### רשימת הציוד:



1. מסלול שיגור, שבקצה אחד שלו אוחז לכדור ובקצה השני שלו לשונית מסתובבת. למסלול השיגור מחובר גליל מתכתי.
2. סטטיב (כן מעבדתי) עם 3 חורים לכדורים.
3. תופסן מתכתי (מתאם)
4. כליבה
5. אנך בנאים קשור בחוט
6. נייר לבן בגודל A4 ונייר העתקה.
7. נייר דבק ( אם לא נמצא במארז יש להביאו באופן פרטי)
8. כדור פלדה.

### הפעולות הנדרשות לפני הרכבת מערכת הניסוי:

- וודאו שהשולחן, עליו מונח הכן המעבדתי, ישר ויציב (אינו מתנדנד).
- וודאו שמסלול הפלסטיק נקי מגרגרים ומלכלוך.

### הרכבת מערכת הניסוי:



1. הניחו את הכן (הסטטיב) על השולחן. (חשוב! הדקו אותו לקצה השולחן באמצעות הכליבה, כדי שלא יזוז בניסוי).

2. חברו את המתאם אל המוט של הכן.

3. חברו את מסלול השיגור אל הכן על ידי הכנסת גליל המתכת למתאם והידוק המתאם.

4. מקמו את הלשונית בקצה מסלול השיגור.

5. באמצעות הבועה שבפלט וודאו שהקצה התחתון של מסלול השיגור אופקי. בנוסף, וודאו שהכדור אינו מתגלגל מעלה או מטה, בשעה שהוא מונח סמוך לקצה התחתון של מסלול השיגור.

6. הזיזו את הלשונית הצידה כדי שלא יפריע לתנועה.

7. מקמו את דף הנייר, כך שחלקו האחורי יהיה כ-2 ס"מ מאחורי האנך והצמידו אותו לשולחן באמצעות נייר-דבק.

8. סמנו בעזרת עיפרון את נקודת קצה המסלול בדיוק מתחת לנקודה בה עוזב הכדור את המסלול.

9. הניחו נייר העתקה על הנייר הלבן.



תוכלו לצפות בסרטון הבא, בו מדגים המורה דני עובדיה את שלבי הרכבת מערכת הניסוי. שימו לב, יתכן ויש שינויים קלים במערכת המצולמת לעומת המערכת שלכם.



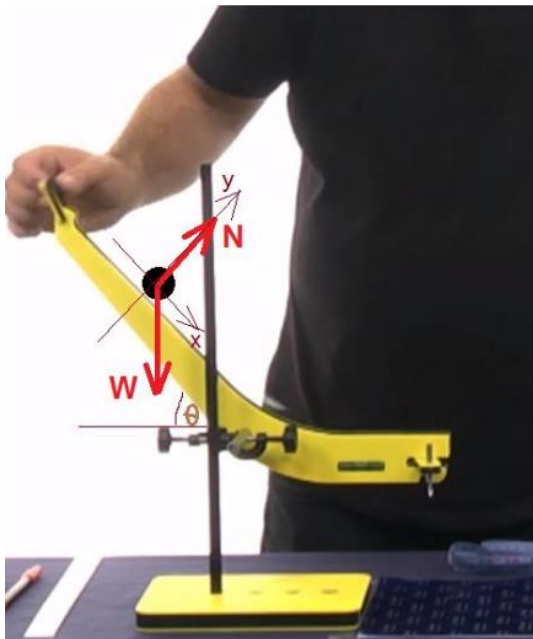
## חלק א: שאלות הכנה

בחלק זה של הניסוי תענו על שאלות הכנה שיעזרו לכם לשער לאיזה תוצאות אתם מצפים לקבל בניסוי. שאלות ההכנה יחדדו את הרקע התיאורטי שלאחר מכן תוכלו להשוות לתוצאות הניסוי.

### שאלה 1

#### תיאור תנועת הכדור על מסלול השיגור

תלמיד שרטט תרשים כוחות על הכדור, בתנועתו על המסלול.



התלמיד בחר מערכת צירים כך שציר X משיק למסלול בכל נקודה, וציר Y ניצב למסלול בכל נקודה.

התבוננו במסלול.

ניתן לראות כי רוב חלקו העליון הוא בעל שיפוע קבוע ואילו חלקו

התחתון מתעגל במקצת ומסתיים כמסלול אופקי.

בחלק בו השיפוע של המסלול קבוע, רכיב המשקל של הכדור בכיוון

משיק למסלול (מקביל לציר X) הינו קבוע (כי הזווית קבועה).

רכיב משקל זה אחראי להגדלת המהירות בקצב קבוע (תאוצה

קבועה).

נסמן את זווית השיפוע הקבוע (בקירוב) ב-  $\theta$ .

תאוצת הכדור בחלק זה שווה ל:

- $g$
- $g \cos(\theta)$
- $g \sin(\theta)$
- $W \cos(\theta)$
- $W \sin(\theta)$
- לא ניתן לדעת

### שאלה 2

#### תיאור תנועת הכדור באוויר

סמנו את התשובה המתארת נכונה, לדעתכם, את תנועת הכדור באוויר:

- תנועה קצובה
- תנועה בתאוצה שגודלה גדל בהדרגה
- תנועה בתאוצה שגודלה קטן בהדרגה
- תנועה שוות תאוצה

רח' קלאוזנר 16 רמת אביב • טל' 03-6460084 / 054-3997584 • פקס 03-6460714

כתובת מייל: [vschool@cet.ac.il](mailto:vschool@cet.ac.il)

כתובת אתר התיכון: <http://www.vschoo1.cet.ac.il>

### שאלה 3: משוואת התנועה

קבעו מערכת צירים שראשיתה בנקודת עזיבת הכדור את המסילה .  
 נקבע את כיוון ציר X החיובי בכיוון מהירות השיגור של הכדור ואת ציר Y החיובי בכיוון מטה.  
 מתוך ידיעה, שאת תנועת הכדור אפשר לראות כשילוב של **תנועה קצובה בכיוון האופקי ותנועה שוות תאוצה בכיוון האנכי**, פתחו ורשמו את הנוסחה, המתארת את **גובה הנפילה Y** כפונקציה של **המרחק האופקי המקסימלי X**.

רמז: שתי התנועות מתרחשות בו זמנית. כלומר הזמן במשוואת התנועה האופקית שווה לזמן במשוואת התנועה האנכית.  
 ניתן לחלץ את הזמן ממשוואה אחת ולהציב במשוואה השנייה.



**תשובה:**

### שאלה 4

בהסתמך על הביטוי שקיבלתם בסעיף הקודם:  
 אילו היינו משרטטים גרף, המתאר את הגובה בו הכדור עזב את המסלול (Y) כפונקציה של המרחק האופקי המקסימלי (X), איזה גרף הייתם מצפים לקבל? סמנו את התשובה הנכונה:

- גרף המראה יחס הפוך.
- גרף של היפרבולה.
- גרף של פרבולה, העוברת דרך ראשית הצירים.
- גרף של פרבולה שאינו עובר דרך ראשית הצירים.
- גרף לינארי.

### שאלה 5

#### ראשית הצירים

באופן תאורטי, בהסתמך על הביטוי שפיתחתם, האם אתם מצפים שהגרף יעבור דרך ראשית הצירים? הסבירו.

**תשובה:**

### שאלה 6: השפעת הגובה על השגיאה

כזכור לכם מניסויים קודמים, בכל מדידה קיימת אי ודאות. מדידה נחשבת לאמינה במידה והשגיאה היחסית קטנה.  
 בניסוי זה, אנחנו מודדים מרחק אופקי מקסימלי. כיצד לדעתכם (אם בכלל) ישפיע גובה נקודת עזיבת הכדור את המסלול (Y) על **השגיאה היחסית** של מדידת המרחק האופקי המקסימלי (X)? הסבירו .

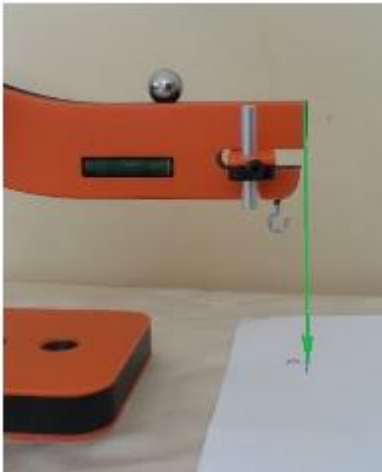
**תשובה:**

## חלק ב: ביצוע הניסוי וניתוח התוצאות

בניסוי זה יש חשיבות רבה לכך שהמדידות יכסו את כל טווח הערכים האפשריים של המערכת. בנוסף יש לוודא שהמערכת מחוברת בעזרת כליבה לשולחן כדי למנוע תזוזה של הכן.



מקמו את גובה קצה המסלול (הנקודה בה הכדור עוזב את המסלול) בגובה 10 ס"מ.

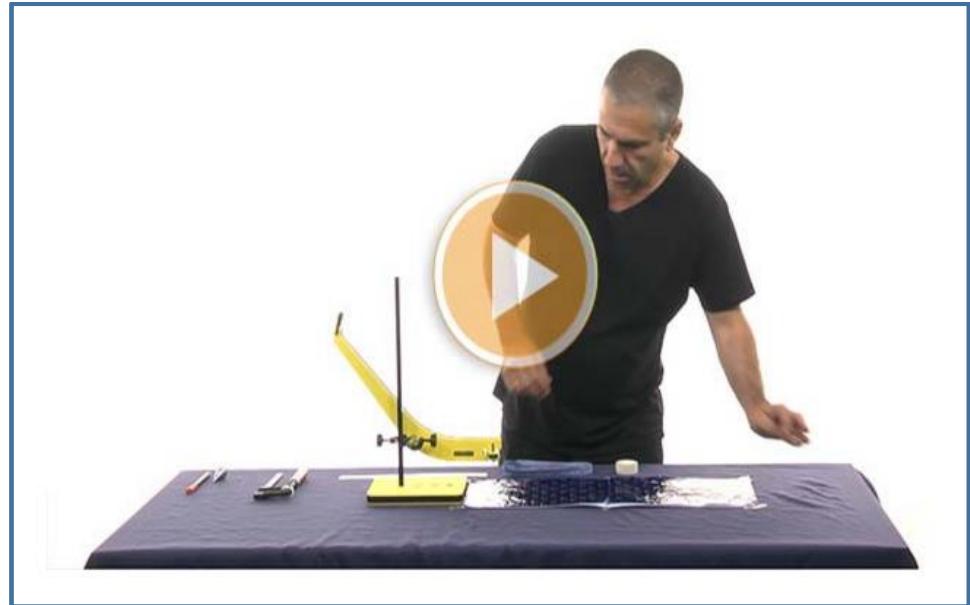


- א. הניחו את הכדור בקצה התחתון של המסלול וודאו כי הוא אינו מתגלגל אחורה או קדימה. ישרו את המסלול כך שהכדור יהיה יציב.
- ב. הניחו את ניירות העתקה על הגיליונות הלבנים. סמנו נקודת O, הנמצאת מתחת לנקודת עזיבת הכדור את מסלול השיגור.
- ג. מקמו את הכדור בקצה המסלול העליון בתוך אוחז הכדור ושחררו את הכדור.
- ד. וודאו שהכדור, בנפילתו על הנייר (שמעליו מונח נייר ההעתקה), הותיר סימן ברור על הנייר הלבן.
- ה. חזרו על כל הפעולות כ-10 פעמים, עד שיתקבל מקבץ ברור של נקודות פגיעה באותו אזור.

שימו לב: בכל פעם, לפני שאתם חוזרים על פעולת שחרור הכדור, וודאו שהמסלול מאוזן. כלומר- שהכדור אינו מתגלגל קדימה או אחורה כשהוא מונח בקצה התחתון של המסלול וכן שהכך לא זז.



- ו. הסירו את נייר ההעתקה מהנייר הלבן. זהו את מקבץ הנקודות שנוצרו וסמנו נקודה אחת, המהווה מרחק ממוצע (משוער) של הנקודות שהתקבלו.
  - ז. מדדו את המרחק האופקי X בין הנקודה אותה סימנתם בשלב בניית מערכת הניסוי ("נקודת האפס", הנקודה שנמצאה בדיוק מתחת לאנך הבנאים) לבין נקודת מרכז המקבץ (שסימנתם בסעיף הקודם). רשמו את ערך המדידה שלכם על הנייר, ליד מקבץ הנקודות שקבלתם. ציינו לעצמכם לאיזה גובה (של עזיבת הכדור את המסלול) מתייחס ערך זה.
  - ח. הגביהו את המסלול וחיזרו על פעולות א'-ז' עבור גבהים שונים (בקפיצות של 5 ס"מ), עד אשר המסלול נמצא בגובה המרבי האפשרי. הקפידו על כך שהמסלול לא זז בכל פעם ששיניתם את הגובה.
- תוכלו לצפות בסרטון, המתאר את שלבי ביצוע הניסוי, כפי שמדגים המורה דני עובדיה. שימו לב, יתכנו שינויים קלים בין המערכת שלכם למערכת המצולמת.



### שאלה 7 : ריכוז תוצאות הניסוי

א. בתוכנת אקסל הכינו טבלת ערכים, ורשמו בטבלה את תוצאות המדידה ואת היחידות המתאימות. דוגמא לטבלה:

טבלה מספר 1: המיקום האופקי של הכדור כתלות בגובה ממנו נזרק אופקית .

								המיקום - x
								[ ]
								הגובה - y
								[ ]

הערה: בניסוי זה המרחק האופקי הוא "המשתנה התלוי", ערכו תלוי בגובה ממנו נזרק הכדור.

למרות זאת, משיקולי נוחות בלבד, נבחן את הקשר ההפוך: גובה המסלול כתלות במרחק האופקי.

ב. בנו בתוכנת האקסל גרף פיזור נקודות של גובה המסלול כתלות במרחק האופקי. מהתבוננות בפיזור הנקודות, קשה להעריך האם ההתאמה הטובה ביותר לפיזור הנקודות הינה פונקציה ליניארית. לכן נשתמש בנוסחאות שפיתחנו בשאלות ההכנה.

התאמה של פונקציה, המקרבת בצורה הטובה ביותר האפשרית סידרת מדידות שאינן מדויקות, מסתמכת על שיטות מתמטיות החורגות ממסגרת הקורס הזה. לכן, במקרים בהם קיים מודל פיזיקלי ואנו מנסים לבדוק אם הניסוי מתאים למודל זה, יש בדרך כלל העדפה לגרף ליניארי. כדי לקבל גרף ליניארי, נבצע תהליך של "ליניאריזציה".



ג. השתמשו בידע התיאורטי-פיזיקלי (בו נעזרתם בפיתוח הנוסחה בעמוד הקודם) ובחרו משתנה חדש, אותו תוסיפו לטבלת הערכים שלכם באקסל.

בחרו מתוך הרשימה הבאה את המשתנה, שלדעתכם שיסייע במעבר לקירוב ליניארי:

1.  $x^2$

2.  $\frac{1}{x^2}$

3.  $\frac{1}{x}$

4.  $g$

ד. השלימו בטבלה את הערכים עבור המשתנה שבחרתם.

ה. צרו גרף חדש, דיאגרמת פיזור הנקודות בהתאם למשתנה החדש.

התאימו לגרף קו מגמה, תוך הכנסת אילוץ לכך שהקו יעבור דרך ראשית הצירים.

בחרו באפשרות הצגת הפונקציה המתמטית של קו המגמה על הגרף. צרפו את קובץ האקסל לדו"ח.

### שאלה 8

- האם תוצאות הגרף החדש מתיישבות עם התיאוריה? הסבירו את תשובתכם.
- חשבו את המהירות האופקית, בה עזב הכדור את המסילה, על סמך הקשר המתמטי שקיבלתם בגרף. (הניחו כי תאוצת הנפילה החופשית  $g=9.8\text{m/s}^2$ , אך שימו לב ליחידות שבחרתם למדידת המרחקים: האם הם תואמים ליחידות המידה של תאוצת הנפילה החופשית בה אתם משתמשים?)

**תשובה:**



### שאלה 9

אילו היינו לוקחים את מערכת הניסוי אל הירח ומבצעים בדיוק את אותו ניסוי, כלומר- בכל פעם היינו משחררים את הכדור בקצה העליון של המסלול, ובודקים את הקשר בין המרחק האופקי המקסימלי  $X$  לבין גובה עזיבת הכדור את המסלול  $Y$ ,

- א. האם עבור גובה  $Y$  נתון נקבל את אותו מרחק מקסימלי, הן בירח ובכדור הארץ?  
 ב. האם השיפוע בגרף של הגובה  $Y$  כתלות בריבוע המרחק האופקי  $X^2$  יגדל/יקטן או לא ישתנה? הסבירו.  
**רמז:** פתחו את הנוסחה הכללית המתארת את הקשר המתואר בגרף.

**תשובה:**

### שאלה 10

- במהלך הניסוי הקודם, איששתם קשר מתמטי תיאורטי וחיבתם מתוך תוצאות הניסוי ועל סמך התיאוריה את מהירות השיגור האופקית של הכדור.  
 כדי לבדוק מהימנות של תוצאה זו, יש לחשב את מהירות השיגור בדרכים נוספות.  
דרך נוספת לחישוב מהירות השיגור:  
 א. העלו רעיון וכתבו- כיצד ניתן למדוד את זווית השיפוע של מסלול השיגור, ומדדו אותה.  
 ב. בעזרת זווית זו, חשבו את תאוצת הכדור על המדרון הקבוע.  
 ג. מדדו את אורכו של המישור המשופע וחשבו את מהירות השיגור של הכדור בקצה מסלול השיגור.  
 ד. השוו את המהירות שחיבתם למהירות המתקבל בניסוי וחשבו את הטעות שנוצרת. העלו השערות לגבי אי התאמה של המספרים.

**תשובה:**

### בנוס

- בעבר למדתם כי אנרגיית גובה מומרת לאנרגיה קינטית .  
 מדדו את גובה מסלול השיגור, וחשבו את מהירות הכדור בקצה המסילה, האם אתם מקבלים ערכים הגיוניים?

**תשובה:**