

נפילה חופשית



רשימת הציוד

- מתקן עם דיודת אור מהבהבת ("המבזק")
- מוט "סלפי" להתקנת סמארטפון
- מחבר שולחני להתקנת המוט
- ממשק PASCO
- חיישן אור PASCO
- דלי המכיל חומר מרכזי לבלימת המבזק בהתנגשותו עם קרקעית הדלי
- סרגל באורך של 1 m

תיאור המערכת ועיקרון הניסוי

מתקן עם דיודת אור מהבהבת (המבזק) משוחרר ממנוחה ונופל חופשית. מצלמים את המבזק במצלמה של סמארטפון בזמן נפילתו. תריס המצלמה נשאר פתוח בעת נפילת המבזק, לכן הבזקי האור משאירים תרשים עקבות בתצלום: סדרת נקודות המתארות את מקומות הגוף ברגעים השונים במשך נפילתו (תרשים העקבות). קצב הבזקי האור של המבזק קבוע והוא ניתן למדידה באמצעות חיישן אור של מערכת ממוחשבת.

בעזרת תרשים העקבות, אפשר למצוא את התלות של מהירות המבזק בזמן, $v(t)$, ואת תאוצת הנפילה החופשית. לקביעת קנה מידה של המרחקים בין הנקודות שמתקבלות בתצלום, מצלמים את המבזק הנופל בסמוך ללוח שגובהו ידוע.

ביצוע הניסוי

הכנת מערך הצילום

1. מעמידים ליד הלוח דלי לתוכו ייפול המבזק.
2. מרכיבים את המצלמה מול הלוח במרחק של כ-4.5 – 5 מטרים ממנו. מרכז עדשת המצלמה של הסמארטפון צריך להיות בערך מול מרכז הלוח. יש להקפיד, עד כמה שאפשר, על הקבלת מישור הסמארטפון למישור הלוח.
3. מכוונים את זמן החשיפה של המצלמה לכ-3 שניות.
4. משנים את זום המצלמה כך שהלוח ימלא את רוב השטח של מסך הסמארטפון.

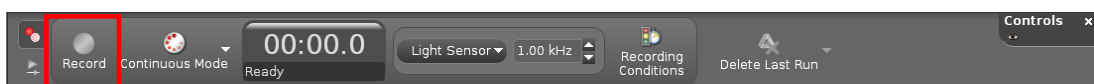
ביצוע הצילום

- לביצוע הצילום דרושים שני תלמידים: אחד מחזיק את המבזק, בעוד שהשני מצלם את נפילת המבזק אחרי שחרורו.
1. מפעילים את המבזק ומחזיקים אותו מעל הדלי מול הקצה העליון של הלוח.
 2. התלמיד המצלם לוחץ על כפתור הצילום ומיד מסמן לשחרר את המבזק לתלמיד שמחזיק אותו.
 3. בודקים את התמונה שצולמה. אם תרשים העקבות מטושטש, אינו משתרע עד הדלי, או אם הנקודות מסודרות בצורת פרבולה (מה הסיבה לכך?), חוזרים על הצילום.

מציאת פרק זמן בין הבזקי המבזק

למדידת הזמן החולף בין שני הבזקים עוקבים של המבזק היעזרו במערכת המדידות הממוחשבת המותקנת על שולחן המורה.

הניחו את המבזק מול חיישן האור במרחק של כ-10 ס"מ ממנו, והפעילו אותו. הריצו מדידות באמצעות לחיצה על צלמית **Record** (איור 1) בתוכנה Capstone וכעבור כשנייה אחת לחצו שוב על אותה הצלמית.

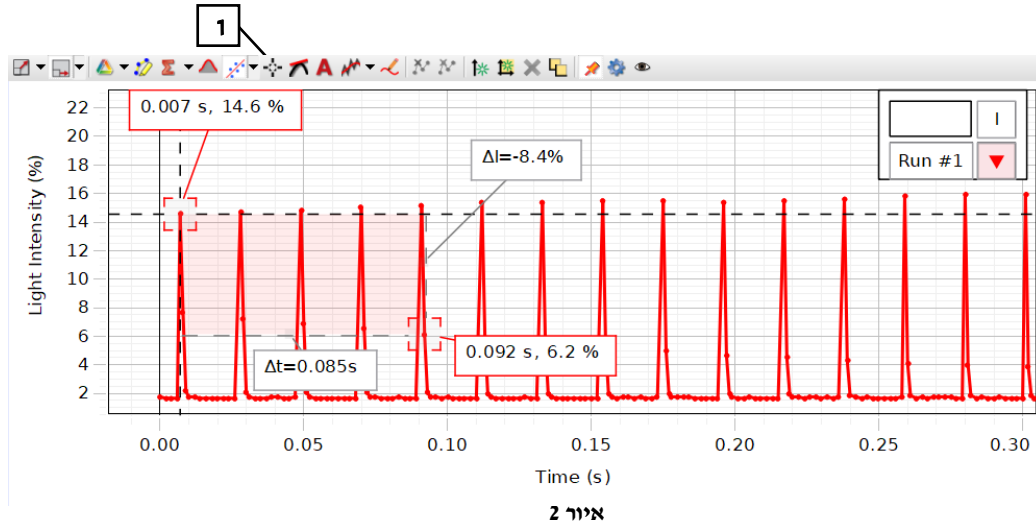


איור 1

בחלון הגרף בתוכנה Capstone הגדילו את קנה המידה של ציר הזמן כך שהציר כולו יכיל כ-0.3 שניות. לשם כך מקמו את סמן העכבר על אחד המספרים על ציר הזמן (הסמן ישנה את צורתו), לחצו על המקש השמאלי של עכבר וגררו את הסמן ימינה.

למדידת פרק זמן בין הבזקי המבזק (איור 2):

1. הפעילו את קורא הקואורדינטות (כפתור 1) וגררו אותו לפולס הראשון.
2. הקליקו במקש הימני של העכבר על קורא הקואורדינטות וסמנו בתפריט את Show Delta Tool – יופיע מלבן הכלי כאשר אחת הפינות שלו נמצאת בקורא הקואורדינטות, והפינה הנגדית - על אחת הנקודות של הגרף.
3. אחזו במקש השמאלי של העכבר בסמן שבפינה הנגדית (הימנית) של Delta Tool וגררו אותו לפולס ה-11 (סה"כ יש לכסות 10 מרווחים בין הפולסים). הפרש הזמן בין הפולסים שנבחרו יוצג בחלון הגרף כ- Δt . למציאת פרק הזמן T בין שני הבזקים עוקבים חילקו את ההפרש ב-10 ורשמו את התוצאה.



עיבוד תוצאות המדידות

1. ייבאו את התצלום מהסמרטפון למחשב והדפיסו אותו.
2. הכינו טבלה בגיליון Excel:

מהירות (m/s)	מקום במציאות (m)	מקום בתצלום y (mm)	זמן הנפילה t(s)
	0	0	0

3. סרטטו על התצלום את ציר המקום ובחרו את כיוונו החיובי כלפי מטה.
4. קבעו בתצלום נקודה שהחל ממנה אפשר למדוד בסרגל מרחקים של מעל 0.5 cm (מדוע?). סמנו את הנקודה הנ"ל בעט. בהמשך התייחסו לנקודה זו כאל ראשית ציר המקום, כלומר $y_0=0$. בהמשך מדדו את כל המרחקים מנקודה זו - כפי שמתואר באיור 3. יש למדוד את המרחקים בין מרכזי הדמויות של דיודת האור.



איור 3

5. מדדו בסרגל את השיעורים של 10-12 נקודות עוקבות על התצלום ביחס לראשית ציר המקום והזינו אותם בגיליון. יש להגדיר זמן $t=0$ עבור מקום הנקודה בראשית הציר.
6. מדדו ורשמו את גובה הלוח מולו צולם המבזק הנופל; נסמן אותו כ- h_0 . כעת מדדו את גובה הלוח על התצלום - נסמן אותו כ- h_i . הביעו את תוצאת המדידות של h_0 ו- h_i במטרים ומצאו את היחס h_0/h_i .
7. בהסתמך על היחס h_0/h_i , חישבו את שעורי הנקודות של תרשים העקבות במציאות והזינו אותם בעמודה המתאימה במטרים.
8. חישבו את מהירות המבזק בזמנים שהוזנו בגיליון (פרט לרגעים הראשון והאחרון) על ידי חישוב מהירות ממוצעת בפרקי זמן של $2T$, כאשר T הוא הזמן שחולף בין שני הבזקים עוקבים. לדוגמה, חישוב המהירות בנקודה השנייה (ברגע t_1):

$$v_1 = \frac{y_2 - y_0}{t_2 - t_0}, \quad t_2 - t_0 = 2T$$

9. בנו גרף פיזור של מהירות כפונקציה של הזמן, $v(t)$, והוסיפו לו קו מגמה ליניארי (קו ישר הטוב ביותר שעובר בין נקודות הגרף) יחד עם משוואתו וערכו של R^2 .

R - מקדם המתאם, או מדד פירסון, הוא מדד של קשר ליניארי בין שני משתנים. ערכי R מקיימים: $-1 \leq R \leq 1$. ככל שערכו של R^2 קרוב יותר ל-1, ההתאמה בין שתי מדידות ניסיוניות לקשר ליניארי טובה יותר.

ניתוח התוצאות

1. הסבירו מדוע הקשר בין מהירות לזמן הוא ליניארי.
2. מהי המשמעות הפיסיקלית של שיפוע הגרף $v(t)$? ציינו את יחידותיו.
3. חישובו את אחוז הסתיה של ערך השיפוע מהערך הצפוי.
4. מהי המשמעות הפיסיקלית של נקודת החיתוך של הגרף $v(t)$ עם הציר האנכי? ציינו את יחידותיה.

שאלות סיכום

1. הסבירו את המושג "תדירות". חישובו את תדירות ההבזקים של המבזק.
2. הסבירו כיצד נוצר תרשים העקבות בתצלום.
3. בעת נפילת הגוף, תריס המצלמה נשאר פתוח. מדוע דמויות של דיודת האור אינן מרוחות? מדוע לא רואים את המבזק הנופל בתצלום?
4. מדוע ניתן לבחור כרצוננו את הנקודה הראשונה ממנה מתחילים לנתח את תרשים העקבות?
5. ציינו את מקורות השגיאות במדידותיכם.
6.
 - א. שרטטו סקיצות של שלושה גרפים: המקום, המהירות, והתאוצה של גוף הנופל חופשית כפונקציה של הזמן. ציינו את הראשית וכיוון ציר המקום אותם בחרתם לצורך סרטוט גרפים אלה.
 - ב. רשמו ביטויים מתמטיים עבור פונקציות מקום-זמן, מהירות-זמן ותאוצה-זמן.
7. הוכיחו שבתנועה שוות תאוצה המהירות הרגעית ברגע t שווה למהירות הממוצעת בין הרגעים $(t+\Delta t)$ ו- $(t-\Delta t)$ כאשר בניסוי זה Δt הוא פרק זמן בין שני הבזקים עוקבים של המבזק.
8. מה היה השיפוע של גרף הפונקציה $v(t)$ אילו הניסוי היה מתבצע על הירח? תאוצת הנפילה החופשית על הירח היא ששית מזו שעל כדור הארץ.