



ניסוי דמוי צניחה במצנח

פעילות חקר

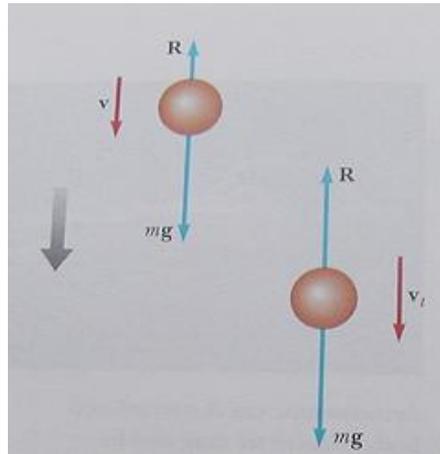
צנחן קופץ ממטוס, מתמרן באוויר ואז פותח את המצנח ונוחת.



כשהצנחן פוסע החוצה מהמטוס, אין לו מהירות בכיוון האנכי. כוח הכובד מאיץ אותו מטה. כשהמהירות בכיוון מטה גדלה, הגרר R - הכוח בו האוויר מתנגד - גדל גם הוא. הגרר מכוון למעלה, דבר שמגביל את מהירות הצנחן. הגרר תלוי במהירות, לכן ברגע מסוים כוח הכובד והגרר משתווים בגודלם. במצב זה, הצנחן אינו מאיץ יותר והוא צונח במהירות קבועה v_f .

כעת הצנחן פותח את המצנח - דבר שמגדיל באופן דרסטי את הגרר R . כתוצאה מפתיחת המצנח, הכוח השקול והתאוצה מכוונים למעלה בכיוון הנגדי למהירות. עתה, המהירות בכיוון מטה קטנה באורח חד ולכן הגרר קטן אף הוא.

בשלב מסוים הגרר וכוח הכובד מתאזנים שוב - במהירות v_f חדשה, קטנה יותר מהקודמת, כך שמתאפשרת נחיתה בטוחה.



בניגוד לאמונה הרווחת, ווקטור המהירות של הצנחן אינו מופנה כלפי מעלה אף פעם במשך הצניחה. ייתכן שצפיתם בסרט וידאו שבו הצנחן נראה "משוגר למעלה כמו טיל" בעת פתיחת המצנח. למעשה, פתיחת המצנח האטה את הצנחן בעוד שהצלם - צנחן המשיך ליפול במהירות גבוהה.

ציוד

- 8 צלוחיות נייר
- חיישן התנועה
- ממשק PASC
- מאזניים

מטרת הפעילות

קביעת הקשר בין כוח התנגדות האוויר לבין המהירות הסופית בנפילת צלוחיות.

רקע תיאורטי

תלותו של כוח התנגדות האוויר במהירות הוא קשר אמפירי, כלומר מבוסס על תצפית ולא על מודל תיאורטי. מתברר שצלוחית נייר שנופלת מגיעה מהר מאוד למהירות קבועה v_f , בדומה לצנחן. בניסוי נעקוב אחרי צלוחיות נייר שהוצמדו יחד, בעת שהן נופלות באוויר. בהיותן צמודות, שטח הפנים לערימת צלוחיות דומה לשטח הפנים של צלוחית בודדת.



גודלו של כוח התנגדות האוויר תלוי במהירות v . התוצאות הניסיוניות מצביעות על קשר מהסוג:

$$(1) \quad F = k \cdot v^n$$

כאשר n ו- k הינם פרמטרים התלויים בצורת הגוף, במהירותו ובתכונות התווך בו נע הגוף. בניסוי הנוכחי הערך הצפוי של המעריך הוא $n=2$.

כשצלוחית נופלת במהירות הסופית, v_f , כוח התנגדות האוויר, F , מאזן את כוח הכובד. לכן גודלו של כוח התנגדות האוויר הפועל על צלוחית יחידה שנופלת במהירות הסופית הוא:

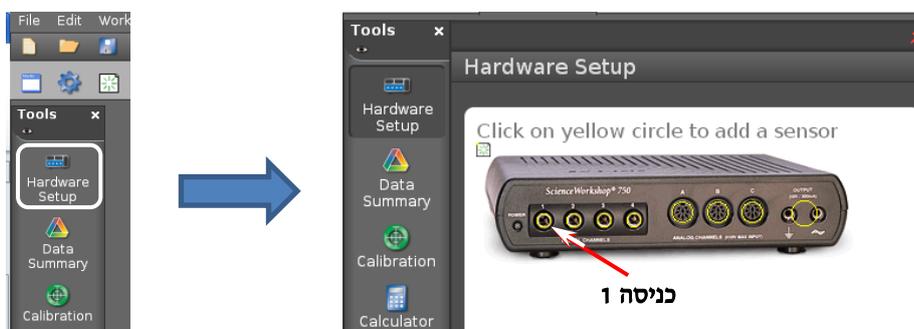
$$(2) \quad F = mg$$

על שתי צלוחיות צמודות יפעל כוח שגודלו $2 \cdot mg$ וכך הלאה.

הכנת מערכת הניסוי

אתחול המערכת

- חברו את התקע הצהוב של חיישן התנועה לכניסה ראשונה של Digital inputs של הממשק (איור 1) ואת התקע השחור – לכניסה השנייה. הפעילו את הממשק. העבירו את מחלף הנמצא בחלקו העליון של החיישן למצב "אלומה רחבה" (בסוגים שונים של חיישני התנועה, מצב "אלומה רחבה" מסומן כ- או כ- .

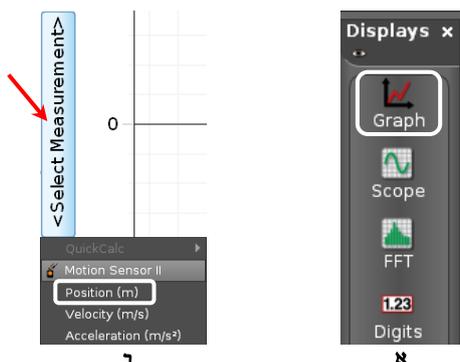


איור 1

- העלו את תוכנת Capstone ולחצו על צלמית **Hardware Setup** (סרגל **Tools**, בחלק השמאלי של המסך). הקליקו על כניסה (1) בתמונת הממשק (איור 1) ובחרו ברשימת החיישנים את חיישן התנועה (**Motion Sensor**). סגרו את **Hardware Setup** (הקליקו שוב על צלמית **Hardware Setup**).

הכנת מערכת צירים "מקום כתלות בזמן"

- הקליקו קליק כפול על צלמית **Graph** בסרגל **Displays** (איור 2) – בדף חוברת העבודה תיפתח מערכת צירים.
- הקליקו על כותרת הציר האנכי **<Select Measurement>** ובחרו ברשימת המדידות מקום **(Position)** (איור 2ב).



איור 2

ביצוע המדידות

1. מדדו את המסה של צלוחית אחת (בדיוק המרבי האפשרי) ורשמו אותה.
2. מקמו את חיישן התנועה על הרצפה (היזהרו לא לדרוך על החיישן ולא להפיל עליו חפצים כבדים).
3. החזיקו צלוחית אחת בדיוק מעל חיישן התנועה בגובה של כ-2 מטרים, הריצו מדידות ושחררו את הצלוחית. כשהצלוחית תגיע לחיישן התנועה, עצרו את המדידות.
- הערה: חיישן התנועה לא קולט חפצים הנמצאים במרחק הקטן מ-15 ס"מ ממנו, לכן בסוף נפילת הצלוחיות גרף המקום יהיה משובש.
4. חזרו על סעיף 3 עם 2, 3, ..., 8 צלוחיות צמודות.

עיבוד וניתוח התוצאות

פתחו גיליון Excel והכינו בו טבלה (m_T – המסה הכוללת של הצלוחיות, v_f – המהירות הסופית שלהן):

m_T (kg)	v_f (m/s)	מס' הצלוחיות
		1
		2
		3
		4
		5
		6
		7
		8

עבור כל אחת מההרצות:

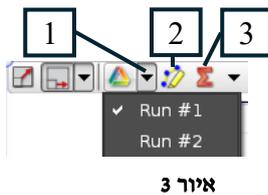
1. חישובו והזינו בגיליון את ערך המסה הכוללת של הצלוחיות הנופלות, m_T .

2. מצאו את המהירות הממוצעת של הצלוחיות:

א. לחצו על צלמית (1) בסרגל הכלים של התצוגה (איור 3) ובחרו מרשימת ההרצות את ההרצה הרצויה.

ב. בחרו על גרף המהירות קטע המתאר תנועה קצובה של הצלוחיות. לשם כך, הקליקו על הצלמית של כלי בחירה (2) (איור 3) – באזור הגרף יופיע מלבן הבחירה. גררו אותו אל קטע הגרף הנ"ל והתיאמו את רוחבו של המלבן לקטע זה באמצעות הזזת צלעותיו.

ג. לחצו על צלמית (3) של כלים סטטיסטיים – יוצג ערך המהירות הממוצעת; הזינו אותו בגיליון.



שאלות

1. הסבירו מדוע התבקשתם למצוא את מהירות הצלוחיות רק בקטע המתאים לתנועתן הקצובה.

2. לפי המוסבר ברקע התיאורטי, מתקיים הקשר:

$$v_f^2 \propto m_T$$

פיתחו נוסחה שמאמתת טענה זו.

3. בנו בגיליון Excel גרף $v_f^2(m_T)$ והציגו קו מגמה ליניארי. מה מייצג שיפוע הגרף?

4. חישובו על פי הגרף את הפרמטר k המופיע בביטוי (1).

5. מהו הקשר בין גודלו של כוח התנגדות האוויר שפעל על הצלוחיות לבין מהירותן?