

דוח מעבדה – נפילה חופשית

שם התלמיד – אייל פיקז

מורה – שרון עצמון

תאריך – 8/2/2025

תיכון בליך



## מטרות הניסוי

מטרות הניסוי המרכזיות הן:

- לאשר את הטענה לפיה נפילה חופשית הינה תנועה בתאוצה קבועה
- למדוד את גודל תאוצת הנפילה החופשית בקירוב
- השוואת התאוצות עבור גופים שונים

## רקע תיאורטי

נגדיר מספר מושגים שישמשו אותנו במהלך הדוח:

- זמן – הגדרה אופרטיבית, נמדד בד"כ ביחידות שנייה.
- מקום – מיקום גוף ביחס לציר כלשהו(הציר בעל ראשית), נמדד בד"כ ביחידות מטר.
- מרחק – הפרשים בין מקומות
- העתק מקום – הפרש בין המיקום הסופי למיקום ההתחלתי של גוף מסוים
- מהירות – קצב שינוי המקום ביחס לזמן מסוים, נמדד בד"כ ביחידות מטר לשנייה.
- תנועה קצובה – תנועה שבה המהירות קבועה לאורך הזמן.
- תאוצה – קצב שינוי המהירות של גוף, נמדד בד"כ ביחידות מטר לשנייה בריבוע

### שאלות רקע תיאורטי:

1. נפילה חופשית היא תנועה של גוף שנע בהשפעת כוח המשיכה בלבד. לפי דעתך, הגוף בניסוי אינו ינוע בנפילה חופשית עקב כך שישנו חיכוך מינימלי בין סרט הנייר לרשם הזמן. אמנם חיכוך זה הוא קטן, אך הוא אינו זניח.
2. א. הגדרה זו עדיפה על פני הגדרת המהירות באמצעות ההעתקים עקב כך שהנקודה B לא נמצאת בדיוק בין 2 הנקודות האחרות. חישוב המהירות הממוצעת עפ"י ההעתק תביא לנו את המהירות הממוצעת בקירוב בין 2 הנקודות. כיוון שהנקודה B לא נמצאת באמצע, ההגדרה הנתונה עדיפה.

ב.

[illegible]

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta x = 0.2 \text{ Vert} + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta x = \Delta t \left( v_c + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t \right)$$

$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial v^j} - \frac{\partial L}{\partial x^j} \right) = 0$

$$\Delta x = 2\Delta t \left( v_0 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot 2\Delta t \right)$$

$$\Delta x = 26t(V_0 + a\Delta t)$$

$$\vec{v}_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2 \frac{1}{2} t (v_0^2 \cos \theta)}{2 \Delta t}$$

$$\vec{V}_0 = V_0 + g \Delta t$$

$v = v_0 + at$       מהירות      תאוצה      זמן  
 $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$       מרחק      זמן      תאוצה

3. א. באמצעות נתונים אלו, הגרף שניתן לשרטט הוא גרף מהירות כתלות

בזמן. בגרף זה, שיפוע הגרף הוא  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = m$ . לפיכך, באמצעות

שיפוע הגרף ניתן לחשב את התאוצה.

ב. נוכל גם באמצעות גרף ריבוע המהירות כתלות במקום לחשב את

התאוצה עקב כך שהשיפוע של גרף זה הוא  $a = \frac{m^2/S^2}{m}$ . לפיכך,

אפשר לחשב את שיפוע הגרף ולמצוא מכך את התאוצה.

## ביצוע הניסוי

### רשימת ציוד:

- מקור מתח חילופין
- תילים מוליכים
- רשם זמן
- ניירות פחם
- סרטי נייר
- משקולות במסות שונות
- סרגל
- נייר דבק

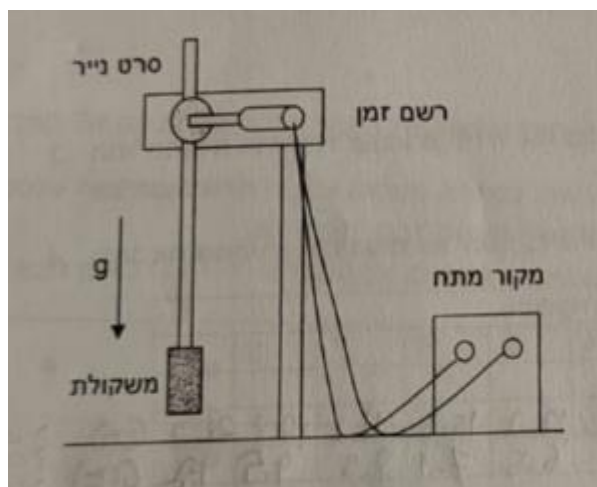
### תיאור מערכת הניסוי:

מערכת הניסוי מורכבת מרשם זמן המחובר למקור מתח חילופין. דרך רשם הזמן מושחל סרט נייר כאשר משקולת מחוברת לקצהו התחתון.

### תיאור מהלך הניסוי:

מרכיבים את המערכת כך שהמוט מוצמד לשולחן. מצמידים למוט בנוסף לכך רשם זמן שמחובר למקור מתח חילופין שמסמן נקודה כל 0.02 שניות.

משחילים סרט נייר שמחובר למשקולת לרשם הזמן. מחזיקים את המשקולת ומפילים אותה. חוזרים על תהליך זה עם משקולת אחרת שמסתה שונה.



## הצגת תוצאות הניסוי:

תוצאות הניסוי להלן:

משקולת 1:

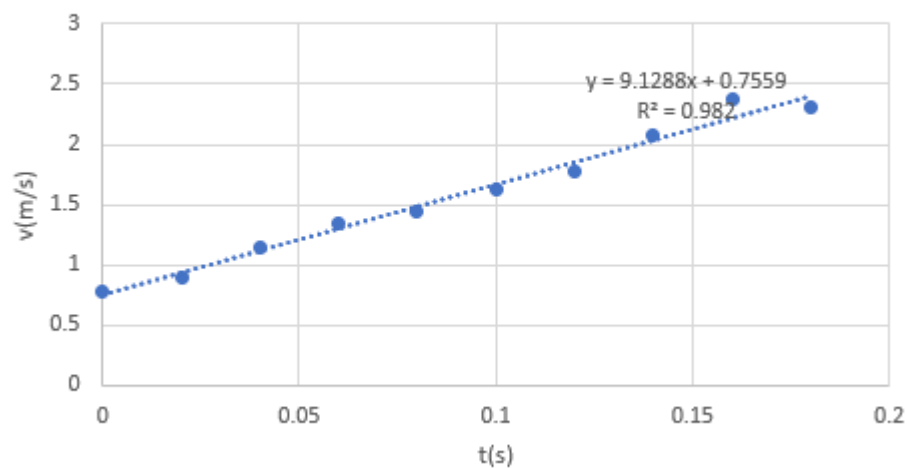
מספר נקודה	t(s)	y(m)	v(m/s)	v <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
0	0	0	0.775	0.601
1	0.02	0.017	0.9	0.81
2	0.04	0.036	1.15	1.323
3	0.06	0.064	1.35	1.823
4	0.08	0.09	1.45	2.103
5	0.1	0.122	1.625	2.641
6	0.12	0.155	1.775	3.151
7	0.14	0.162	2.075	4.306
8	0.16	0.238	2.375	5.641
9	0.18	0.287	2.3	5.29

משקולת 2:

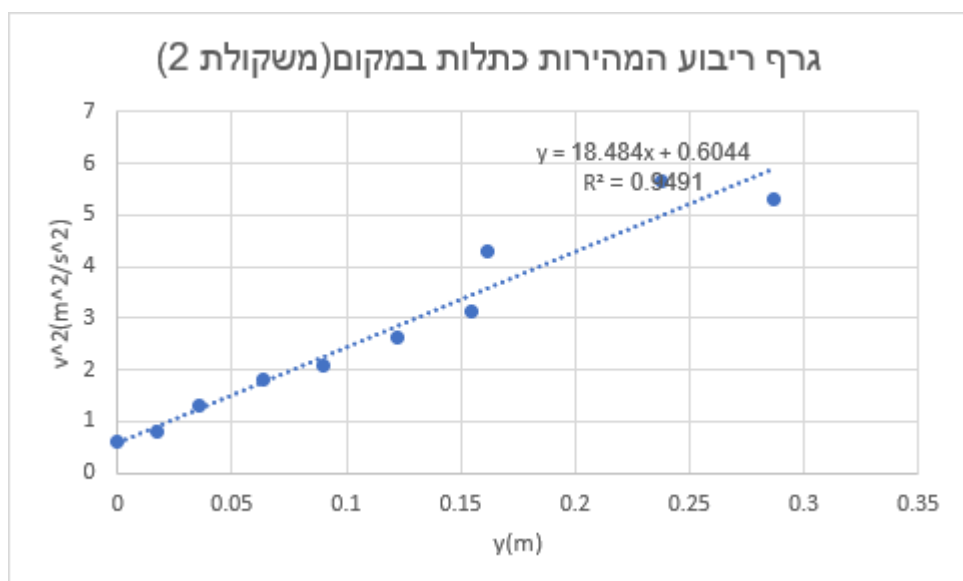
מספר נקודה	t(s)	y(m)	v(m/s)	v <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
0	0	0	1.125	1.266
1	0.02	0.024	1.3	1.69
2	0.04	0.052	1.525	2.326
3	0.06	0.085	1.675	2.806
4	0.08	0.119	1.875	3.516
5	0.1	0.159	2	4
6	0.12	0.199	2.25	5.063
7	0.14	0.248	2.375	5.641
8	0.16	0.292	2.5	6.25
9	0.18	0.347	2.825	7.981

גרף מהירות כתלות בזמן (משקולת 1):

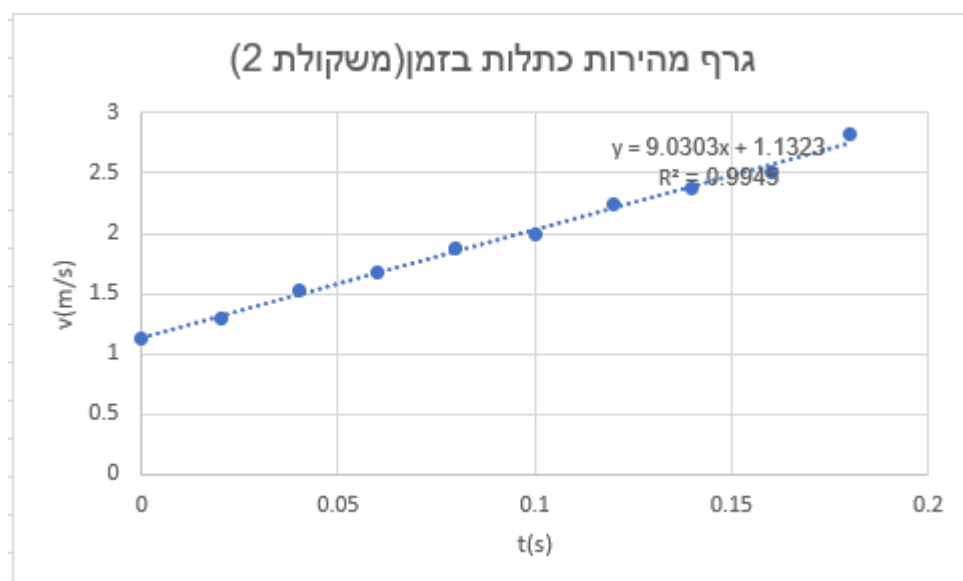
גרף מהירות כתלות בזמן (משקולת 1)



גרף ריבוע המהירות כתלות במקום (משקולת 1):

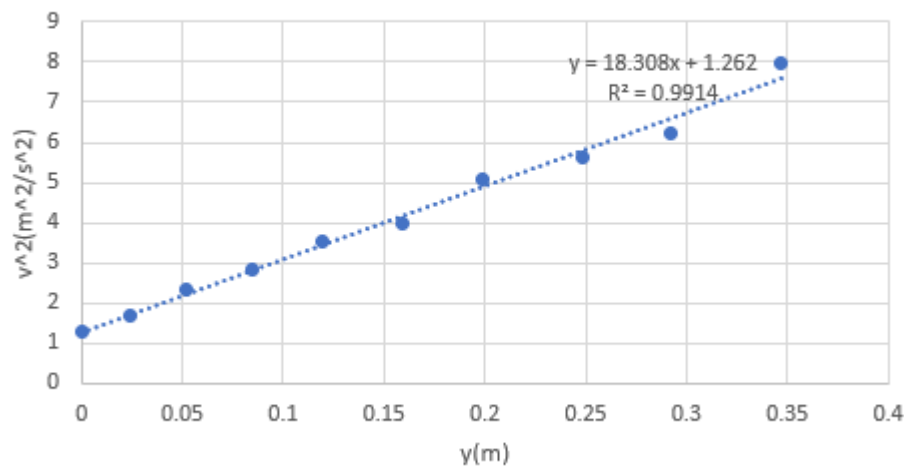


גרף מהירות כתלות בזמן (משקולת 2):



גרף ריבוע המהירות כתלות במקום (משקולת 2):

גרף ריבוע המהירות כתלות במרחק(משקולת 2)



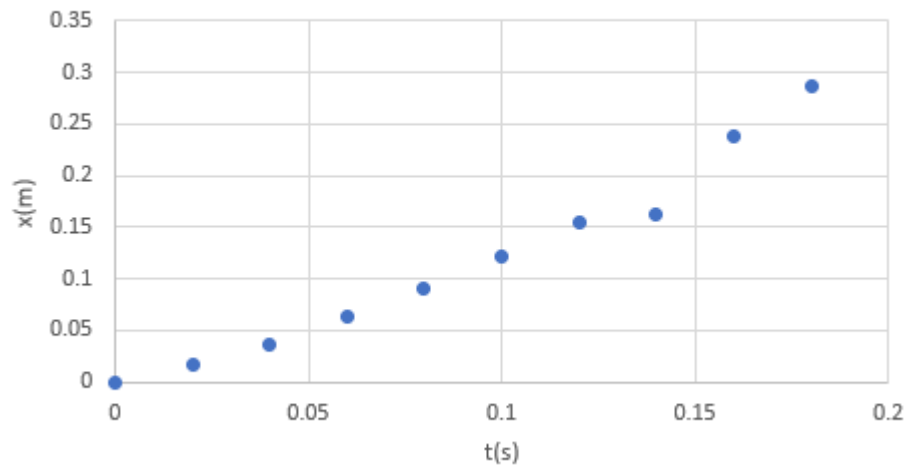
נסתכל על גרפי המהירות כתלות בזמן של כל משקולת. ניתן לראות שהגרף הוא גרף לינארי. משמע, השיפוע קבוע. מקודם הסברנו שהשיפוע בגרף מהירות כתלות בזמן הוא התאוצה. לפיכך, תנועת הגוף היא בתאוצה קבועה. בנוסף לכך, השטח מתחת לגרף זה הוא העתק הגוף(חישוב השטח הוא  $S = \Delta v \cdot \Delta t = \Delta x$ ).

כעת נסתכל על גרפי ריבוע המהירות כתלות במקום. שיפוע הגרף הוא בעל יחידות של תאוצה(הוכח ברקע התיאורטי). כיוון שמדובר בתנועה שוות תאוצה, נשתמש בנוסחה:  $V^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$ . כיוון שגרפים אלו הם לינארים, משוואת קו המגמה היא מסוג  $y = mx + b$ . כיוון שריבוע המהירות ההתחלתית היא קבוע,  $2a$  הוא שיפוע הגרף.

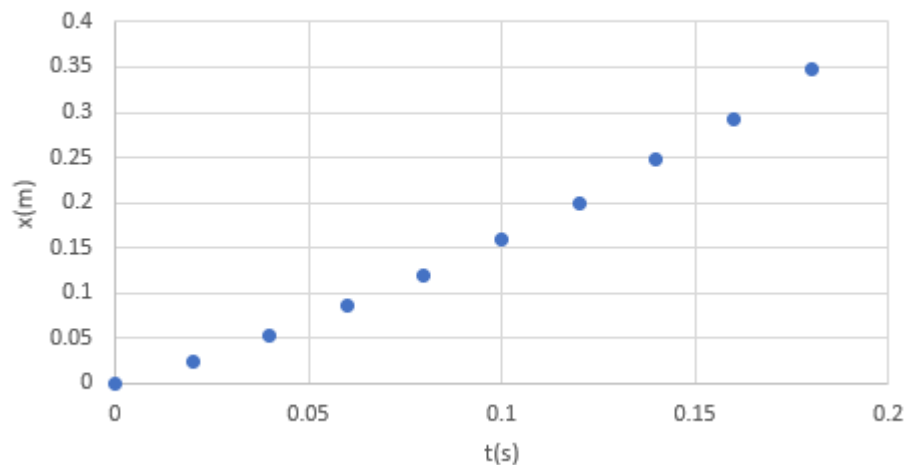
### ניתוח תוצאות הניסוי

- א. המרווחים בשני תרשימי העקבות הולכים וגדלים. כיוון שעובר זמן שווה בין כל 2 נקודות ומרחק הנקודות הולך וגדל, מהירות המשקולות גדלה(המשקולות עוברות מרחקים גדלים בפרקי זמן שווים).
- ב. נבנה גרפי מקום כתלות בזמן לכל משקולת:

גרף מקום כתלות בזמן (משקולת 1)



גרף מקום כתלות בזמן (משקולת 2)



ניתן לראות שהשיפוע בין 2 נקודות בתחילת הגרף קטן בהרבה מהשיפוע בין 2 נקודות בסוף הגרף. משמע, שיפוע הגרף הולך וגדל. שיפוע הגרף הוא

$$m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

משמע, מהירות המשקולות הולכת וגדלה. כאשר יש שינוי במהירות ישנה תאוצה. לפיכך, הגוף נע בתאוצה חיובית (המהירות גדלה).

ג. בגרפי המהירות כתלות בזמן ניתן לראות שערך ה- $\gamma$  הולך וגדל. משמע, המהירות הולכת וגדלה. בנוסף לכך, השיפוע של גרף מהירות כתלות בזמן הוא התאוצה של הגוף (הוכח ברקע התיאורטי). כיוון ששיפוע הגרף קבוע, הגוף נע בתאוצה קבועה.



ד. שיפוע גרף מהירות כתלות בזמן מייצג את תאוצת הגוף. לכן, יחידות הגרף הן מטר לשנייה בריבוע. נחשב את השגיאות המוחלטות והיחסיות עבור 2 המשקולות:

משקולת 1 (מסתה 0.24 קילוגרם):

שגיאה מוחלטת:  $\epsilon = g - a$ . שיפוע גרף המהירות כתלות בזמן הוא 9.129 מטרים לשנייה בריבוע. כיוון שערך ה-g הוא 9.81 מטרים לשנייה בריבוע, השגיאה המוחלטת היא:  $9.81 - 9.129 = 0.681$

נחשב את השגיאה היחסית באמצעות הנוסחה:

$$\delta = \frac{\epsilon}{g} \cdot 100\%$$

לפיכך, השגיאה היחסית היא:  $6.941\% = \frac{0.681}{9.81} * 100\%$

משקולת 2 (מסתה 0.1 קילוגרמים):

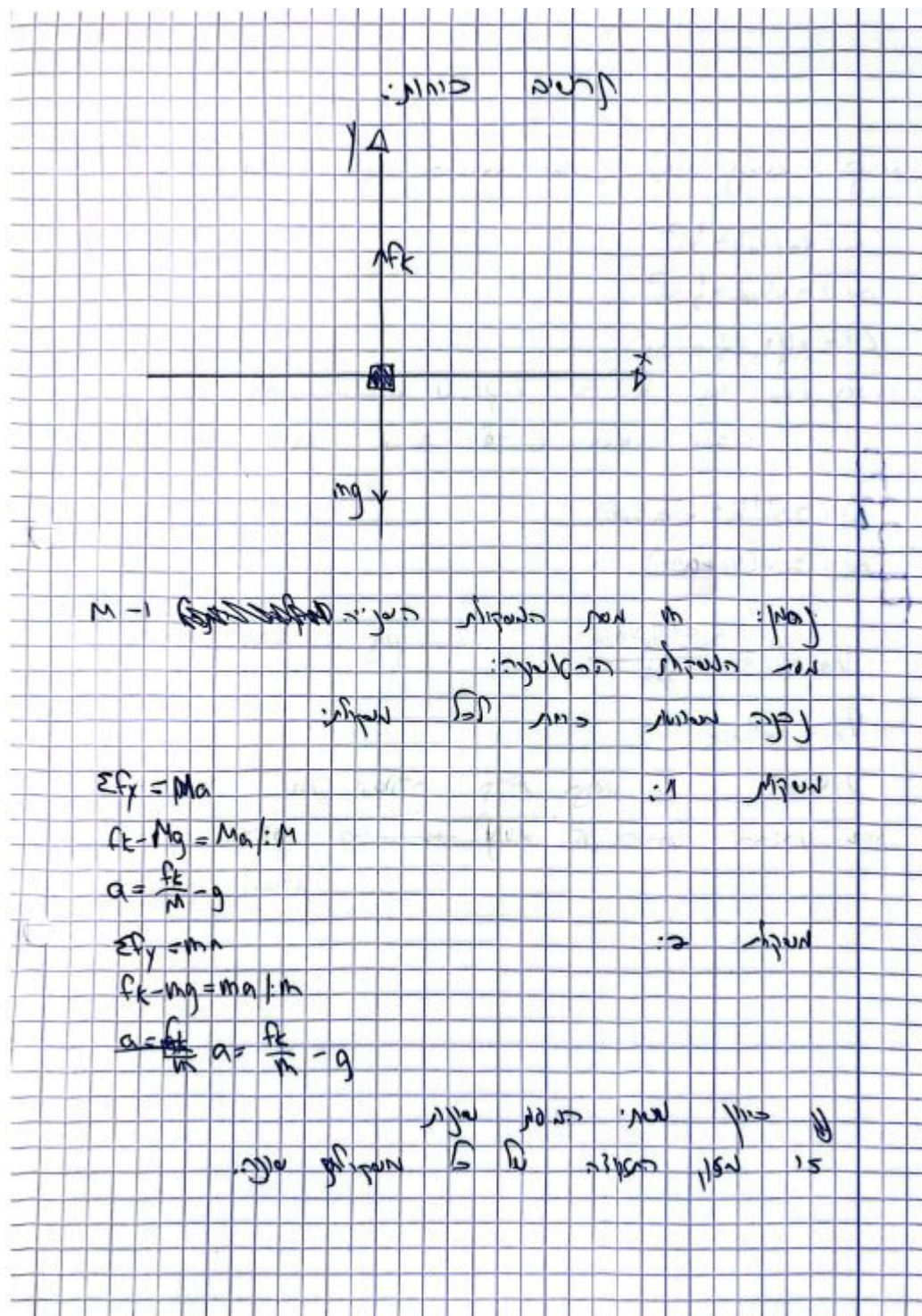
נשתמש באותן נוסחאות לחישוב השגיאות.

שגיאה מוחלטת: שיפוע גרף המהירות כתלות בזמן הוא 9.03 מטרים לשנייה בריבוע. לכן, השגיאה המוחלטת היא  $9.81 - 9.03 = 0.78 m/s^2$

שגיאה יחסית:  $7.951\% = \frac{0.78}{9.81} * 100\%$

ה. נקודת החיתוך של גרף המהירות כתלות בזמן עם ציר ה-y היא הנקודה בה  $t = 0$ . למעשה, המהירות ההתחלתית של הגוף.

ו. ההבדל העיקרי בין 2 המשקולות הוא מסת המשקולות. שני הגופים מושפעים מכוח הכבידה ומהחיכוך הקינטי בכיוון ההפוך. נביע את תאוצת כל אחד מהגופים:



2. הסברנו בעבר ששיפוע גרף ריבוע המהירות כתלות במקום הוא  $2a$

נחשב את שיפוע 2 הגרפים:

משקולת 1:  $m = 2a = 18.484$

$$a = 9.242 \text{ m/s}^2$$

משקולת 2:  $m = 2a = 18.308$

$$a = 9.154 \text{ m/s}^2$$

נחשב את השגיאה היחסית והמוחלטת באמצעות אותן 2 נוסחאות ממקודם:

משקולת 2:

$$\text{שגיאה יחסית: } 9.81 - 9.154 = 0.656$$

$$\text{שגיאה מוחלטת: } 6.69\% = 100\% * \frac{0.656}{9.81}$$

משקולת 1:

$$\text{שגיאה יחסית: } 9.81 - 9.242 = 0.568$$

$$\text{שגיאה מוחלטת: } 5.79\% = 100\% * \frac{0.568}{9.81}$$

### **מקורות אפשריים לשגיאה**

מקורות השגיאה המרכזיים הם:

שגיאות אדם: ייתכנו שגיאות במדידת תוצאות הניסוי עצמן, רובן טעויות אנוש.

בנוסף לכך, כלי המדידה שאיתם אנו מבצעים את הניסוי אינם מדויקים (לדוגמה, הדיו ברשם הזמן יכול להימרח והסרגל מדויק עד מילימטר). בנוסף לכך, ייתכן שברגע הפלת המשקולת לא הפילו אותה לגמרי בציר אחד כך שייתכן שהייתה תנועה קלה בציר נוסף (דבר הפוגע בתוצאות הניסוי). בנוסף לכך, עקב עיגול התוצאות לעד 3 ספרות לאחר הנקודה, תיווצר שגיאה קטנה מכך.

### **סיכום ומסקנות**

בסופו של דבר, אפשר להגיד שביצענו את מטרות הניסוי שהגדרנו בהתחלה. אכן הראינו שתנועת המשקולות היא תנועה בתאוצה קבועה, מדדנו בצורה מקורבת את גודל התאוצה של הגופים והשווינו בין תאוצת 2 המשקולות ואכן קיבלנו תאוצה שונה (אם כי בקירוב הן היו זהות).

### **רפלקציה**

בסופו של דבר, פחות התחברתי לניסוי זה. אני מרגיש שפקטור גדול בתחושה זו היא שביצעתי בעבר בכיתה י"א דוח מעבדה של נפילה חופשית. אמנם הניסוי עצמו היה שונה, אך מטרת הניסוי וניתוח התוצאות היה תהליך דומה מאוד. מה גם שהניסוי משנה שעברה זכור לי כחווייה לא כל כך מהנה עקב הנסיבות באותה תקופה. חוץ מכך, היו גם דברים חיוביים בניסוי. הניסוי עצמו היה יחסית פשוט לביצוע לפי דעתי ומהנה, וכן תהליך כתיבת דוח המעבדה היה יותר פשוט מהניסויים הקודמים (ייתכן שעקב הניסיון שכבר נצבר בהכנת דוחות אלו ושהניסוי היה דומה בחלקו לניסוי משנה שעברה).

לסיכום, ניסוי זה הוא לפי דעתי מהפחות מהנים מהניסויים עד עכשיו אך אני כן מרגיש שזה עקב נסיבות לא הוגנות, ולא כל כך "באשמת" הניסוי.

### **שאלות נוספות**

1. א. לדעתי, המהירות שחושבה במהלך היא המהירות הרגעית. במהלך הפרק של הרקע התיאורטי, הוכח כחלק מאחת השאלות שהמהירות שחושבה במהלך הניסוי חושב ע"י חישוב המהירות הממוצעת ב. לא רלוונטי
- ג. המונח מהירות רגעית מתייחס למהירות גוף ברגע מסוים, לעומת כך שמהירות ממוצעת היא ממוצע המהירות במקטע מסוים. מהירות ממוצעת זהה למהירות רגעית אך ורק במידה והגוף נע בתנועה שוות מהירות.
2. ניתן לבחור כל נקודה כנקודה התחלתית עקב כך שהמהירות ההתחלתית חסרת חשיבות מכיוון שלא משנה מה גודלה, התאוצה עדיין תישאר זהה.
3. לא ניתן לחשב את המהירות ההתחלתית עקב כך שבשביל לחשב את האומדן של מהירות רגעית, אנו לוקחים נקודה לפני ונקודה אחרי. בנקודה ההתחלתית אין נקודה קודמת לה ועקב כך, לא ניתן לחשב.
4. אם תנועת הגופים הייתה קצובה, תרשים העקבות היה עקבי במרווחים(המרווח בין כל נקודה יהיה זהה).
5. לא ניתן לקבל תוצאה גבוהה מ-9.8 עקב כך שהגורם היחיד המשפיע על המהירות הוא חיכוך המנוגד לתנועה, כך שהתאוצה תקטן מתאוצת הנפילה החופשית(עקב כך שפועל כוח שמתנגד לכוח הכבידה ובמידה ומניחים שאין שגיאות אנוש).
6. עקב כך שכוח הכובד על הירח קטן פי 6 מכדור הארץ, ניתן להסיק שהתאוצה תהיה קטנה גם היא פי 6. משמע, גודל התאוצה יהיה כ- $1.63m/s^2$