

# הדיפת כיסא

דו"ח מעבדה בפיזיקה

תיכון בליך רמת גן – י"ב 3



שם המגיש: אייל פיקז

שותף לניסוי: זיו פרלמוטר

שם המורה: שרון עצמון

תאריך: 15.10.24

## מטרת הניסוי:

לניסוי יש 4 מטרות עיקריות:

1. חקירת תנועה בעזרת סרטון וידאו ותרשים עקבות של כיסא הנהדף על רצפה.
2. חקירת תנועה של גוף הנע בתאוצה.
3. מציאת מקדם החיכוך בין הכיסא לרצפה.
4. מציאת הכוח שבו נהדף הכיסא.

## רקע תיאורטי:

חוקי ניוטון – שלושה חוקי פיזיקה שעוסקים בתנועת גופים שניסח אייזק ניוטון.

החוק הראשון – קובע כי גוף יתמיד בתנועתו כל עוד לא פועלים עליו כוחות חיצוניים. כלומר, אם  $\sum \vec{F} = 0$  אזי  $\vec{a} = 0$ .  
החוק הראשון הוא מקרה פרטי של החוק השני (יורחב עליו מיד).

החוק השני – קובע כי קיים יחס ישר בין הכוח המופעל לבין התאוצה וקיים יחס הפוך בין מסת הגוף לתאוצה. כלומר, תאוצת הגוף פרופורציונלית לכוח השקול לכיוון, ותלויה גם במסה.  $\vec{F} = m\vec{a}$

החוק השלישי – קובע כי במידה וגוף מפעיל כוח על גוף אחר, הגוף האחר יפעיל כוח הזהה בגודלו אך הפוך בכיוונו על הגוף הראשון. כלומר,  $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$

תרשים כוחות – תרשים שמתאר את כל הכוחות הפועלים על גוף במצב מסוים.

משוואות כוחות – משוואות המתארות את הכוחות הפועלים על גוף באמצעות חוקי ניוטון.

הכוח הנורמלי – כוח שמפעיל משטח מסוים על גוף שמפעיל עליו כוח בתגובה (במקרה הזה בתגובה לכוח שהכיסא מפעיל על המשטח עקב כוח הכבידה).

כוח חיכוך – כוח הפועל כאשר יש מגע בין שני גופים. הכוח מתנגד בכיוונו לכוחות אחרים הפועלים במערכת (במידה ויש).

חיכוך סטטי – חיכוך בין שני גופים כאשר אין תנועה ביניהם. גודלו אינו קבוע, אך במידה והוא החיכוך הסטטי המקסימלי (מעל ערך זה כבר מתקיימת תנועה בין שני הגופים) ניתן לחשבו באמצעות הנוסחה

$$f_{smax} = \mu_s * N$$

$\mu_s$  הוא קבוע הנקרא מקדם החיכוך הסטטי והוא משתנה בין משטח למשטח.

חיכוך קינטי – חיכוך בין שני גופים כאשר יש תנועה ביניהם. ניתן לחשבו באמצעות הנוסחה

$$f_k = \mu_k * N$$

$\mu_k$  הוא קבוע הנקרא מקדם החיכוך הקינטי והוא משתנה בין משטח למשטח.

תאוצה – קצב שינוי המהירות של גוף.

תנועה בתאוצה – תנועה שבה מהירות הגוף משתנה לאורך זמן. במידה והתאוצה חיובית, המהירות גדלה (במידה והמהירות שלילית אזי גודל המהירות קטן) ובמידה והתאוצה חיובית, המהירות קטנה (במידה והמהירות שלילית אזי גודל

המהירות גדל). התאוצה יכולה להיות קבועה(כמו בתנועה שוות תאוצה) או משתנה.

בתנועה בתאוצה ישנם מספר גרפים עיקריים. גרף מקום כתלות בזמן, גרף מהירות כתלות בזמן וגרף תאוצה כתלות בזמן. בניסוי נתמקד יותר בגרף מהירות כתלות בזמן, כאשר בגרף זה השיפוע הוא התאוצה. ניתן לראות זאת לפי המשוואות:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

כאשר ערך ה- $y$  הוא המהירות וערך ה- $x$  הוא הזמן.

## מהלך הניסוי:

### רשימת ציוד:

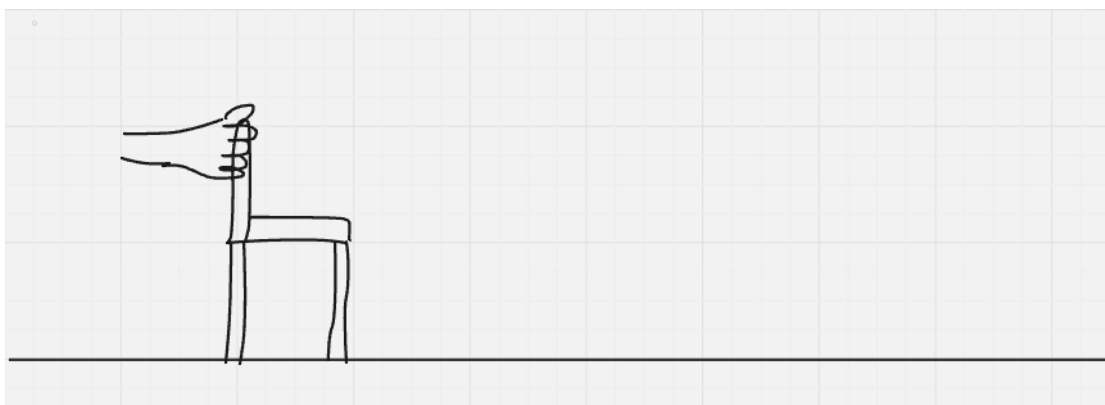
-סרטון וידאו המתאר תנועת כסא הנהדף על רצפה.

-מחשב עם תוכנה לעיבוד סרטוני וידאו.

-גיליון אלקטרוני (excell).

### תיאור מערכת הניסוי:

בסרטון רואים כיסא שכתוב לידו  $M = 5.5kg$  (מדובר במסה) ורוחבו הוא 40 ס"מ (0.4 מטר). רואים בסרטון אדם תופס את הכיסא מאחור ודוחף אותו. הכיסא נע עד לעצירה מוחלטת.

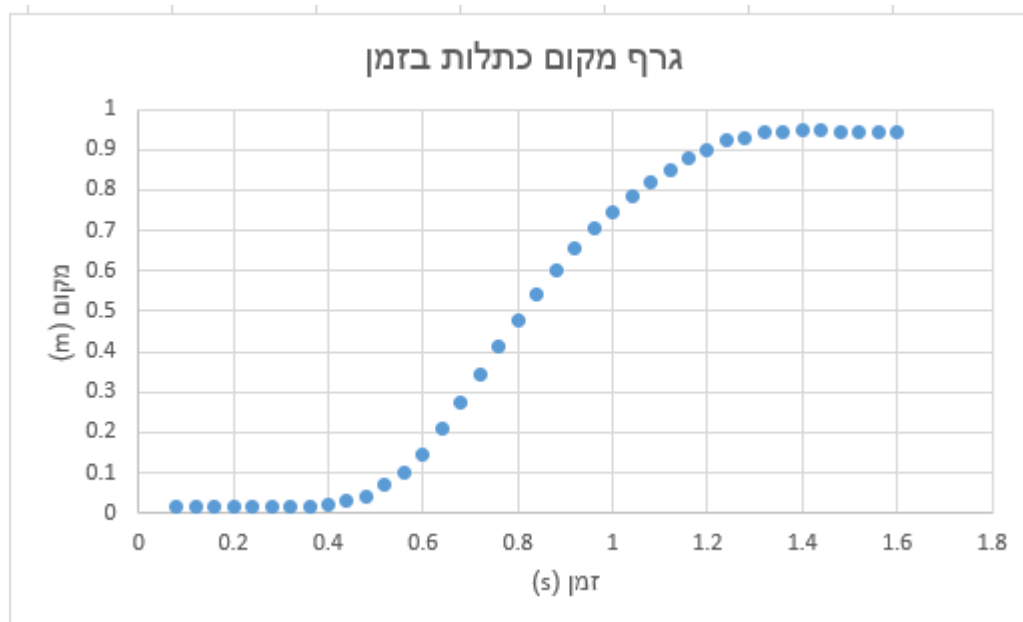


## **תיאור מהלך הניסוי:**

כיוון שעוד לא ביצעתי את הניסוי, את החלק הזה אני אשלים בעתיד ואעדכן את הדוח.

## הצגת תוצאות הניסוי וניתוח התוצאות:

גרף מקום כתלות בזמן:



נקודת הפיתול משנה בין קעירות כלפי מעלה לקעירות כלפי מטה. כאשר הנגזרת השנייה חיובית, הגרף קעור כלפי מעלה וכאשר הנגזרת השנייה שלילית, הגרף קעור כלפי מטה. לפיכך, בנק' הפיתול (בערך 0.8 שניות) הנגזרת השנייה שווה ל-0. הנגזרת השנייה מיוצגת על ידי גרף תאוצה כתלות בזמן.

ניתן לראות זאת מפה:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

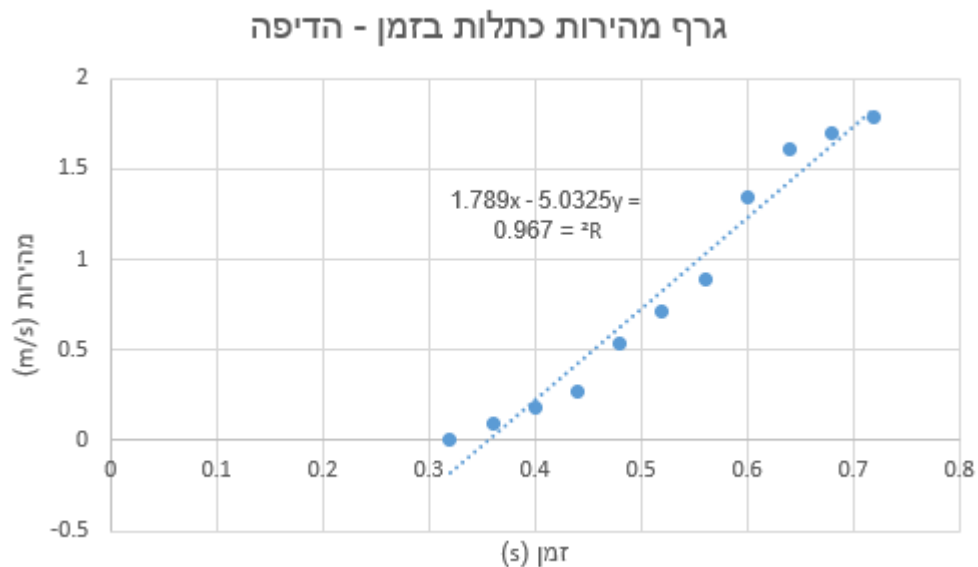
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

לפיכך, גרף המהירות כתלות בזמן הוא גרף הנגזרת של הגרף (בנוסף לכך, ברקע התיאורטי הוכח שגרף תאוצה כתלות בזמן הוא הנגזרת של גרף מהירות כתלות בזמן).

משמע, בנק' הפיתול התאוצה היא 0 מטרים לשנייה בריבוע. לפיכך, לפני נק' הפיתול התאוצה חיובית (התאוצה חיובית

כאשר הכיסא נהדף) ולאחר נק' זו התאוצה שלילית(כאשר הכוח היחיד שפועל בציר האופקי הוא החיכוך הקינטי).

החלק הראשון:



הגרף לינארי, משמע, השיפוע קבוע. כיוון שהשיפוע קבוע, אפשר לדעת שהתאוצה שווה לאורך כל הגרף. נק' החיתוך בגרף עם ציר הזמן היא הנק' שבה מתחילים להדוף את הכיסא(לפני כן אין מהירות ולכן הגוף במנוחה). השטח מתחת לגרף מייצג את ההעתק שעבר הגוף(נשתמש בנוסחה לתנועה שוות תאוצה):  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

חישוב השטח הוא  $s = \Delta v * \Delta t * \frac{1}{2}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} \frac{\Delta v}{\Delta t} \Delta t^2 = \frac{1}{2} \Delta v * \Delta t = s$$

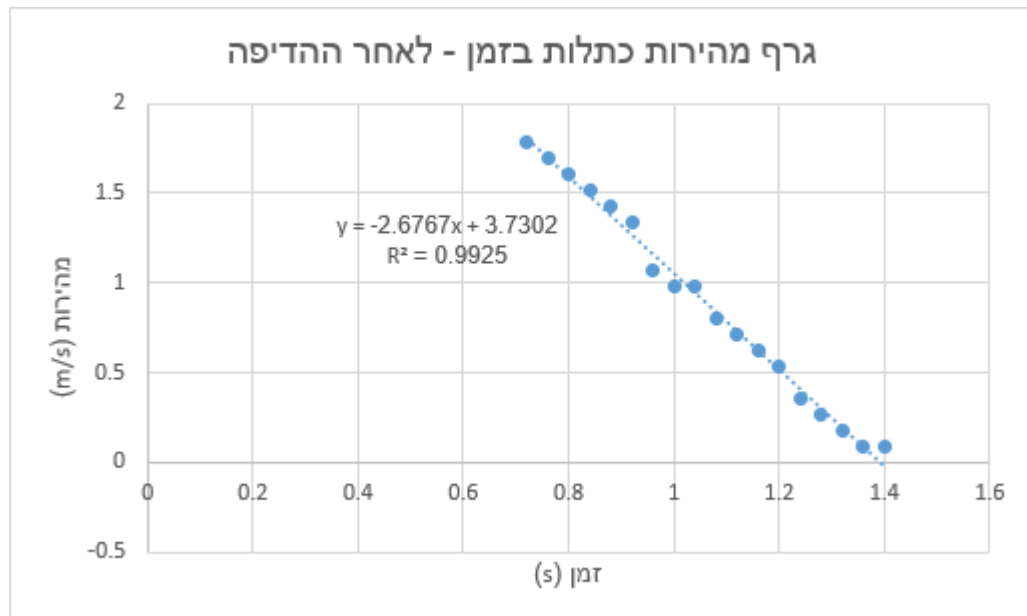
ניקח 2 נקודות על הגרף: הנק' שבחרתי הן  $(0.7, 1.7)$  ו- $(0.35, 0)$

(הנק' הן הערכה ולא מדויקות עקב כך שלקחתי אותן מקו המגמה):

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{1.7 - 0}{0.7 - 0.35} = \frac{1.7}{0.35} = 4.857 m/s^2$$

החלק השני:



הגרף לינארי, משמע, השיפוע קבוע. כיוון שהשיפוע קבוע, אפשר לדעת שהתאוצה שווה לאורך כל הגרף.

נק' החיתוך בגרף עם ציר הזמן היא הנק' שבה מפסיקים להדוף את (הגרף מוגדר ברגעים שלא הודפים את הכיסא). השטח מתחת לגרף מייצג את ההעתק שעבר הגוף (נשתמש בנוסחה לתנועה שוות תאוצה):  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

חישוב השטח הוא  $s = \Delta v * \Delta t * \frac{1}{2}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} \frac{\Delta v}{\Delta t} \Delta t^2 = \frac{1}{2} \Delta v * \Delta t = s$$



ניקח 2 נק' מקו המגמה,  $(1.4, 0)$   $(1, 1)$

(הנק' הן הערכה ולא מדויקות עקב כך שלקחתי אותן מקו המגמה):

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{1 - 0}{1 - 1.4} = \frac{1}{-0.4} = -2.5 m/s^2$$

חלק I: חלקיקים נעים יחד  
 חלק II: חלקיקים נעים בנפרד

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - mg = 0 \Rightarrow N = mg$$

$$N = mg$$

חלק II: חלקיקים נעים בנפרד

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$F_f = ma_x$$

$$\mu_k N = ma_x$$

$$\mu_k mg = ma_x$$

$$0.55 \cdot \mu_k = 12.75 / 55$$

$$\mu_k = 0.25$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$m = 5.5 \text{ kg}$$

$$a_x = 2.5 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = 4.957 \text{ m/s}^2$$

חלק III: חלקיקים נעים בנפרד  
 חלק IV: חלקיקים נעים יחד

$$F = m(a_x + g \cdot \mu_k)$$

$$F = 5.5(4.957 + 10 \cdot 0.25)$$

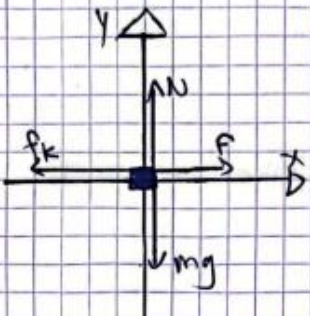
$$F = 32.9 \cdot 2.13 \text{ N}$$

$$F = 5.5(4.957 + 2.5)$$

$$F = 40.463 \text{ N}$$

תרגיל כוחות:

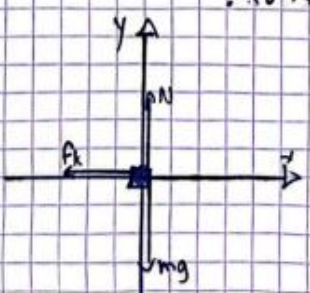
מסב' - חלק' הסעיף:



נמצא במקום I בזה הענין (כיוון שאין תנאי כוח):  
 כי, כשנמצא שם זה וזמן לשינוי במקום I:  
 $\Sigma F_y = 0$   
 $N - mg = 0 \Rightarrow mg$   
 $N = mg$

נמצא במקום II בזה הענין:  
 $\Sigma F_x = ma$   
 $F - f_k = ma$   
 $F - \mu_k \cdot N = ma$   
 $F - mg \cdot \mu_k = ma \Rightarrow mg \cdot \mu_k$   
 $F = m(a + g \cdot \mu_k)$

מסב' - חלק' הסעיף:



## סיכום ומסקנות:

בניסוי עצמו ביצענו את מטרות הניסוי, כך שחקרנו את תנועת הכיסא בוידאו. באמצעות הגרפים השונים שהשתמשנו בהם במהלך הניסוי, מצאנו את מקדם החיכוך בין הכיסא לרצפה ואת הכוח שבו נהדף הכיסא.

$$\mu_k = 0.25$$

$$F = 40.463N$$

בסופו של דבר, הצלחנו לבצע את 4 מטרות הניסוי.

### **רפלקציה:**

כיוון שעוד לא ביצעתי את הניסוי, איני יכול לכתוב את הרפלקציה בצורה משקפת וכנה כיוון שחלק גדול מהרפלקציה נובע מביצוע הניסוי עצמו. כאשר אבצע את הניסוי, אכתוב את הרפלקציה ואעדכן אותה.

### **מענה על השאלות הנוספות:**

1. מהי החשיבות של קביעת קנה המידה בתחילת הניסוי – חשיבות קביעת קנה המידה בתחילת הניסוי היא קביעת המרחק של כל פיקסל בכל פריים. במידה ולא היינו קובעים את קנה המידה, לא היינו יכולים למדוד את המרחק שהכיסא עבר בצורה נכונה.
2. על אילו מתוצאות הניסוי תשפיע קביעה שגויה של קנה המידה - במידה והיינו בוחרים קנה מידה שגוי, המהירות של הכיסא הייתה משתנה (כך שגרף המהירות כתלות בזמן היה משתנה) וכתוצאה מכך, גם התאוצה תשתנה (התאוצה היא קצב שינוי המהירות ובמידה אשנה את קנה המידה, קצב שינוי המהירות ישתנה אך הזמן יישאר שונה וכתוצאה מכך התאוצה תשתנה). במידה והתאוצה משתנה, החישוב של מקדם החיכוך הקינטי ישתנה (מחשבים אותו באמצעות התאוצה) והכוח שהודף את הכיסא ישתנה (מחשבים גם אותו באמצעות החיכוך הקינטי והתאוצה).
3. התבונן בגרפים שיצרת במהלך הניסוי וענה על השאלות הבאות. נמק היטב את תשובותיך:

א. האם כוח החיכוך קבוע במהלך התנועה – כוח החיכוך  
אכן קבוע במהלך התנועה, וניתן לראות זאת  
באמצעות הגרף השני. הכוח היחיד שפועל על הגוף  
בציר האופקי הוא החיכוך, ולפיכך הוא הכוח היחיד  
שמשפיע על התאוצה. כיוון שהמסה של הגוף לא  
משתנה והתאוצה אינה משתנה גם (הוכח בניתוח  
תוצאות הניסוי), החיכוך נשאר קבוע לאורך כל  
התנועה.

ב. האם הכוח ההודף את הכיסא קבוע במהלך התנועה -  
הכוח ההודף את הכיסא אכן קבוע וניתן לראות זאת  
באמצעות הגרף השני. פועלים שני כוחות ברגעים  
אלו, החיכוך הקינטי והכוח שהודף. על פי הגרף,  
התאוצה שווה בקירוב. לפיכך, התאוצה מושפעת  
מהכוח ההודף, מהחיכוך הקינטי והמסה. כיוון  
שהמסה והחיכוך הקינטי לא משתנים (לחיכוך קינטי  
יש ערך אחד קבוע כל עוד הנורמל לא משתנה ואנו  
מניחים שההדיפה של הכיסא מתבצעת רק בציר אחד  
כך שהנורמל לא משתנה) והתאוצה נשארת שווה  
לאורך כל הגרף הראשון, הכוח ההודף הוא בקירוב  
זהה לאורך כל התנועה (בפועל הוא לא עקב הדיפה  
לא מדויקת לגמרי אך אני יוצא מנקודת הנחה  
שהשגיאות בגרף הן בעיקר בסימון הנקודות).

4. מהם הגורמים המשפיעים על דיוק התוצאות - הסיבות  
האפשריות לשגיאה בניסוי הנ"ל נעות בין כמה גורמים.  
הסיבות העיקריות הן: אי דיוק במדידה (שימוש בעד  
שלוש ספרות אחרי הנק', שימוש ב- $g$  שערכו 10),  
טעויות אנוש (זווית צילום הסרטון יכולה להיות בזווית  
שתשפיע במעט על התוצאות, סימון הנקודות בתוכנה  
לא מדויק לחלוטין, בחירת נקודות לא מדויקות על קו  
המגמה, הדיפת הכיסא בשני צירים במקום רק בציר  
האופקי).