

סמסטר א' תשע"ג

תומר גולדפריינד

שם הבדוק :

12.11.11

תאריך הבדיקה

84+8=92

I : ציון הדו"ח :

II

פקטור

## דו"ח מסכם בניסוי: נפילה חופשית

שם מדריך הניסוי (שם מלא): תומר גולדפריד

תאריך ביצוע הניסוי: 25.10.12

תאריך הגשת הדו"ח: \_\_\_\_\_

הדו"ח מוגש על ידי:

II רועי \_\_\_\_\_ דושניצקי \_\_\_\_\_  
שם פרטי משפחה ת.ז. 301538799

I דן \_\_\_\_\_ לויט \_\_\_\_\_  
שם פרטי משפחה ת.ז. 300120862

הנדסת חשמל \_\_\_\_\_ מס' קבוצת המעבדה 01 \_\_\_\_\_  
מסלול הלימוד תת קבוצה B \_\_\_\_\_ מספר עמדה 5 \_\_\_\_\_

הערות הבדוק לנושאים לקויים בדו"ח:

## מטרות הניסוי

1. אימות נוסחת נפילה חופשית.
2. תרגול כלים סטטיסטיים (fitgui, excel, matlab).

אם כבר, אז תכתבו את הערך  
התיאורטי עם שגיאות

## רקע תאורטי

נפילה חופשית היא תנועה של גוף בהשפעת כוח הכבידה בלבד. תאוצת הכובד היא השינוי במהירותו של גוף הנע בנפילה חופשית בשדה כובד, והיא אינה תלויה במסת הגוף הנופל אלא רק בעוצמת שדה הכבידה. בכדור הארץ תאוצת הנפילה החופשית מסומנת ב-g ומוערכת בקירוב כ-9.8 m/s<sup>2</sup>. ישנן השפעות שונות לכוח הכבידה בכדור הארץ, כמו מרחק ממרכז כדור הארץ, אך הניסוי נערך בתנאי מעבדה ולכן התייחסנו לערך התיאורטי בלבד. מתייחסים לתאוצת הכובד כתאוצה קבועה ולכן ניתן להציבה במשוואת התנועה בתאוצה קבועה:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$

כאשר גוף נופל בנפילה חופשית המהירות ההתחלתית הינה אפס. אם מתייחסים לגובה ההתחלתי כראשית הצירים  $y_0 = 0$ , נקבל את הנוסחה הבאה:

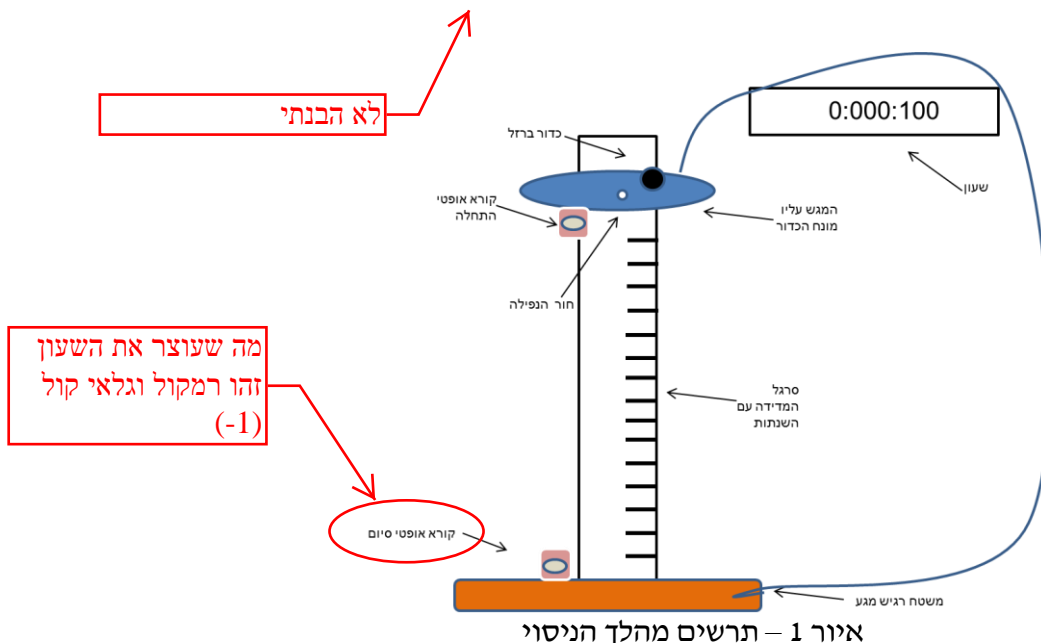
$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

## רשימת ציוד

1. שעון עצר אוטומטי (רזולוציית מדידה עשרת אלפית השנייה).
2. סרגל (גודל כל שניה 1 מ"מ).
3. שער אופטי.
4. כדור מתכת.
5. מעמד ומגש.
6. משטח מתכתי (המחובר לשעון העצר).

## מהלך הניסוי

1. קבענו את המתקן עם שער האופטי בגובה ההתחלתי של 20 ס"מ.
2. שחררנו את הכדור מגובה זה כעשר פעמים. עם מעבר כדור המתכת בשער האופטי החלה המדידה בשעון העצר עד לפגיעת הכדור במשטח המתכתי.
3. ביצענו כעשר מדידות על מנת לקבל אחוז שגיאה קטן מ-4%.
4. לאחר עשר מדידות וקבלת אחוז שגיאה נמוך מ-4% שינינו את גובה המתקן, לשמונה גבהים משתנים בתחום 20-80 ס"מ.
5. בכל גובה ביצענו כעשר מדידות שונות.
6. תכננו את טווח הגבהים כך שינצל את מרבית תחום הסרגל ובכך יבטל את יתר המשתנים בניסוי, שאינם כוח המשיכה.



## תכנון עיבוד תוצאות הניסוי

### עריכת תוצאות הניסוי להצגתן:

1. בניסוי נמדד הזמן כפונקציה של הגובה. על מנת לסכם את כל ערכי המדידות עבור גובה נבחר, חישבנו את ממוצע הזמן (על פי נוסחה 2.9 בחוברת סטטיסטיקה).
2. בעבור כל גובה חישבנו את השגיאה הסטטיסטית ( $\Delta t_s$ ) על פי נוסחה 3.9 ו- 3.10 מהחוברת.
3. חישבנו את שגיאת מכשירי המדידה. שגיאת מכשיר המדידה מחושבת על פי  $(0.3\Delta x)$  ולכן בעבור הסרגל הינה  $0.09 \text{ [cm]}$  ובעבור שעון העצר הינה  $0.00003 \text{ [sec]}$ .
4. בעבור כל גובה חושבה השגיאה הכוללת בזמן על פי נוסחה (3)  $\Delta x_{finel} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\frac{\sigma}{\sqrt{n}})^2}$
5. על מנת לבדוק את אחוז השגיאה אל מול תוצאות המדידה חישבנו את השגיאה היחסית על פי נוסחה 1.1 בחוברת.
6. בעבור  $t^2$  חושבה השגיאה העקיפה על פי נוסחה (4)  $\Delta f = \sqrt{\sum_i (\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i)^2}$ .
7. כל תוצאות תאוצה שתקבל מהניסוי תשווה לערך התיאורטי ( $g_{th} \approx 980 \pm 10 \text{ [cm/sec}^2\text{]}$ ) כדי לבדוק את טיב ההתאמה על פי הנוסחה (5)  $N\sigma = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2}}$

לא מובן מי אלו הגדלים המופיעים מתחת לשורש. צריך שכל סימון שלכם יהיה מוגדר (1-)

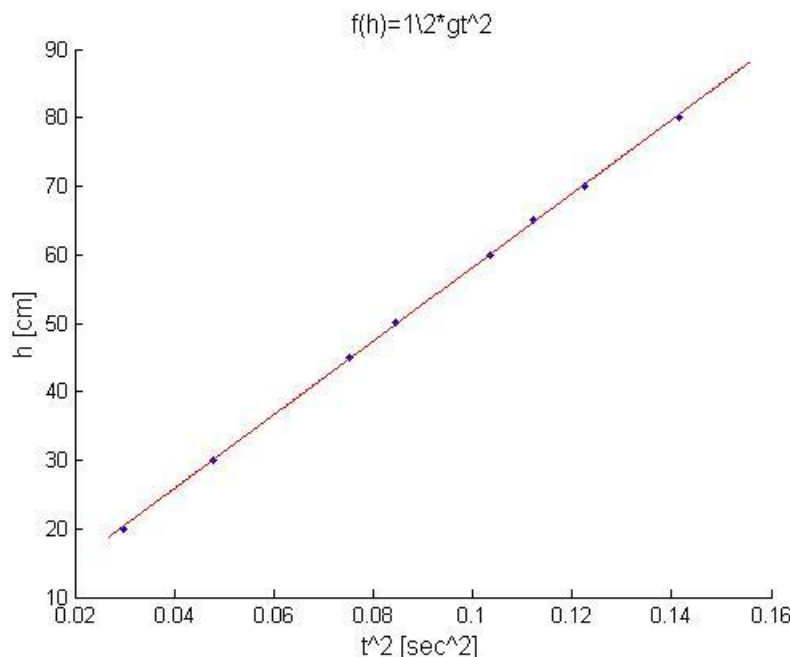
### הצגת תוצאות:

תוצאות הניסוי יוצגו בשני אופנים:

1. כאשר  $y=f(t^2)$ , נבדקת ההתאמה למשוואה הלינארית הנגזרת ממשוואה (1) כאשר  $v_0=0$  ו-  $y_0=0$ .
2. כאשר  $y=f(t)$ , נבדקת התאמת התוצאות למשוואה (1)

## תוצאות הניסוי

### 1. התאמה לינארית:



גרף 1: ההעתק [cm] כפונקציה של הזמן בריבוע  $[\text{sec}^2]$ .

$$g_{exp} = 1076.6 \pm 2.2 \text{ [cm/sec}^2\text{]}$$

בחינה מול נוסחת ההתאמה של ערכים תיאורטיים:

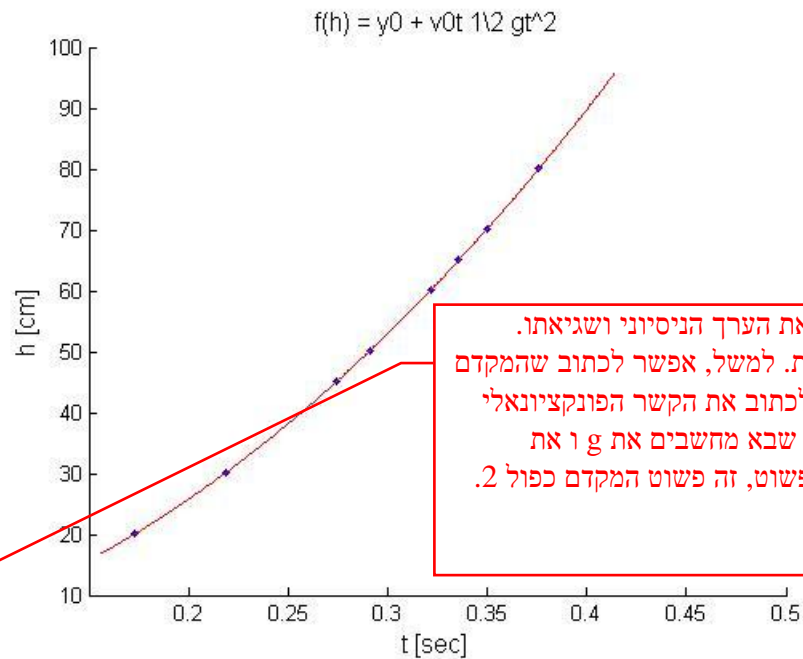
$$N\sigma = 9.43$$

$$\chi^2_{red} = 7.4045$$

$$P\_value = 0.00000006$$

כיוון שערך מדד טיב ההתאמה גדול מ-3, התאמת הגרף אינה מוצלחת. מדד p-value אינו בטוח התקין מאחר שקטן בהרבה מ-0.05. לכן אנו מסיקים כי תתכן שגיאת פיזיקלית בעריכת המדידות.

## 2. התאמה פרבולית:



עליכם להסביר איך מצאתם את הערך הניסיוני ושגיאתו. כנ"ל לגבי ההתאמה הלינארית. למשל, אפשר לכתוב שהמקדם של  $t^2$  יצא ככה וככה, ואז לכתוב את הקשר הפונקציונאלי שלו לג  $g$  ואז להסיק את הדרך שבא מחשבים את  $g$  ו את שגיאתו. במקרה הזה, זה די פשוט, זה פשוט המקדם כפול 2. אך צריך לציין זאת (2-)

גרף 2: ההעתק [cm] כפונקציה של הזמן [sec].

$g_{exp} = 960 \pm 46 \text{ [cm/sec}^2\text{]}$   
 $y_{0exp} = 0.1 \text{ [cm]}$   
 $v_{0exp} = 32.20 \text{ [cm]}$   
 $g_{th} \approx 980 \pm 10 \text{ [cm/sec}^2\text{]}$

מה השגיאות של ערכים אלו?  
 (1-)

בחינה מול נוסחת ההתאמה של ערכים תיאורטיים (על פי משוואה (5)):

$N\sigma = 0.424$   
 $\chi^2_{red} = 1.5037$   
 $P\_value = 0.18485$

הנתונים מראים כי ישנה התאמה גבוהה בין תוצאות הניסוי לבין משוואת המודל. ערך ה- $p\_value$  בטווח התקין ולכן ניתן לקבוע כי הנתונים אמינים דיים. ההתאמה הפרבולית, בשונה מהלינארית, מוכיחה כי קיים גובה התחלתי (זניח) ומהירות התחלתית אשר מצביעה על שגיאה שיטתית.

שגיאה שיטתית זו שגיאה שמסיטה לנו את התוצאות בצורה שיטתית כל פעם באותה צורה. הביטוי הזה לא כל כך מתאים פה שכן בכל פעם שמפילים את הכדור יש מהירות התחלתית שונה. בכל אופן, אין ספק שהמהירות ההתחלתית היא גורם שמפריע להשוות בין התיאוריה לניסוי.

צריך להתייחס ולהפנות לגרף השאירים שבנספח. גם כאן וגם בהתאמה הלינארית.  
 (4-)

**1. מסקנות**

- א. משוואה (2) אינה מתארת היטב את תוצאות הניסוי.
- ב. משוואה (1) מתארת היטב את תוצאות הניסוי.
- ג. לכדור גובה התחלתי זניח.
- ד. לכדור מהירות התחלתית ( $v_0$ ) אשר גרמה לשגיאה שיטתית בתוצאות הניסוי.
- ה. המודל התיאורטי שוקף היטב בתוצאות הניסוי.

**2. דיון**

ככלל נוסחאות המודל התיאורטי מתבססות על משוואה (1) להצגת תוצאות מדידות הנפילה החופשית. בהסתמך על אופן ביצוע הניסוי וההנחה כי המגש מבטל מהירות התחלתית, הנחנו כי הצבת מהירות התחלתית וגובה התחלתי אפסיים תאפשר להציג את הנתונים באופן ליניארי ובעצם כך לנתח את הנתונים ביתר קלות.

מניתוח תוצאות הניסוי הסקנו כי מומלץ להשתמש בנוסחאות כלליות ככל האפשר, שכן המשתנים הנוספים אשר נלקחים בחשבון בשרטוט הנרף יאפשרו לאתר את השגיאות בניסוי ביתר קלות. בתוך כך, הבחנו כי קיימת מהירות התחלתית, לא זניחה, אשר שינתה את תוצאות הניסוי וגרמה לסטייה מהערך התיאורטי. בהתאם למסקנה זו יש להשתמש תחילה בנוסחה כללית ולכן ניתוח כלל המשתנים בה ניתן לערוך מספר התאמות נוספות להצגת מקרים פרטיים, אם תהיה בכך תועלת לניתוח תוצאות הניסוי.

אינני מסכים עד הסוף עם המסקנה הזו. באופן עקרוני, בעריכת ניסוי, נשאף להתאימו לתיאוריה עם כמה שפחות פרמטרים חופשיים. קשה לבצע התאמה לתיאוריה עם 10 פרמטרים חופשיים כי יקח הרבה זמן ל"חפש" את הערכים שיתנו התאמה הכי טובה, ונצטרך לקחת הרבה מאוד נקודות כדי שנקבל סט פרמטרים אחד ויחיד שמתאים טוב לניסוי. כמובן, שבניסוי זה, כמו שכתבתם, אי אפשר להתעלם מהמהירות ההתחלתית, לבצע התאמה פרבולית ל-8 נקודות זה בסדר גמור. כמובן שאפשר להציע דרכים שבהן ניתן לשפר את הניסוי כך שהמהירות ההתחלתית תהיה קרובה ל-0.

(1-)

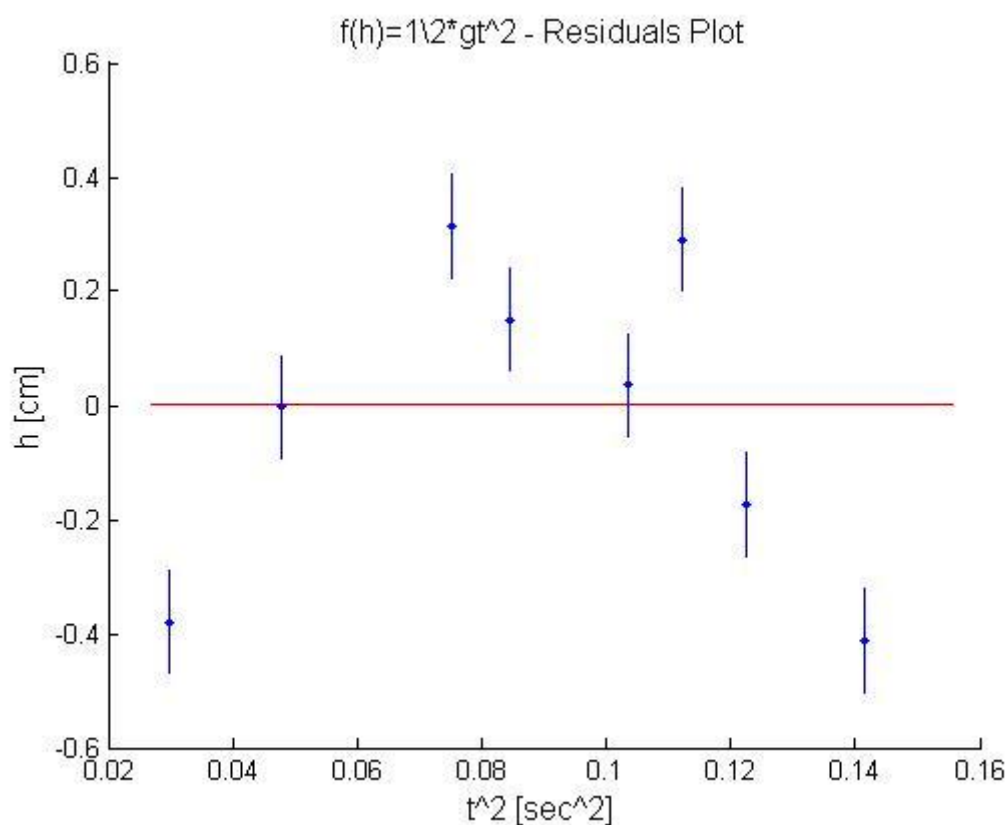
**נספח 1 – מדידות הניסוי ועיבודן**

No.	h[cm]	$\Delta h$ [cm]	t1[sec]	t2[sec]	t3[sec]	t4[sec]	t5[sec]	t6[sec]	t7[sec]	t8[sec]	t9[sec]	t10[sec]
1	20.05	0.09	0.17265	0.17335	0.17325	0.17355	0.17355	0.17295	0.17285	0.17285	0.17165	0.17305
2	30.05	0.09	0.21805	0.21945	0.21885	0.21925	0.21925	0.21785	0.21835	0.21855	0.21845	0.21815
3	60.05	0.09	0.32195	0.32125	0.32205	0.32205	0.32265	0.32125	0.32125	0.32195	0.32135	0.32065
4	50.05	0.09	0.29155	0.29025	0.29135	0.29075	0.29115	0.29185	0.29075	0.29015	0.29045	0.29145
5	80.05	0.09	0.37595	0.37635	0.37675	0.37515	0.37655	0.37615	0.37715	0.37405	0.37655	0.37615
6	70.05	0.09	0.35005	0.35005	0.35025	0.35015	0.35035	0.34955	0.34905	0.34945	0.35005	0.34985
7	45.05	0.09	0.27395	0.27365	0.27405	0.27395	0.27395	0.27315	0.27475	0.27435	0.27375	0.27435
8	65.05	0.09	0.33485	0.33425	0.33475	0.33495	0.33485	0.33615	0.33615	0.33475	0.33565	0.33425

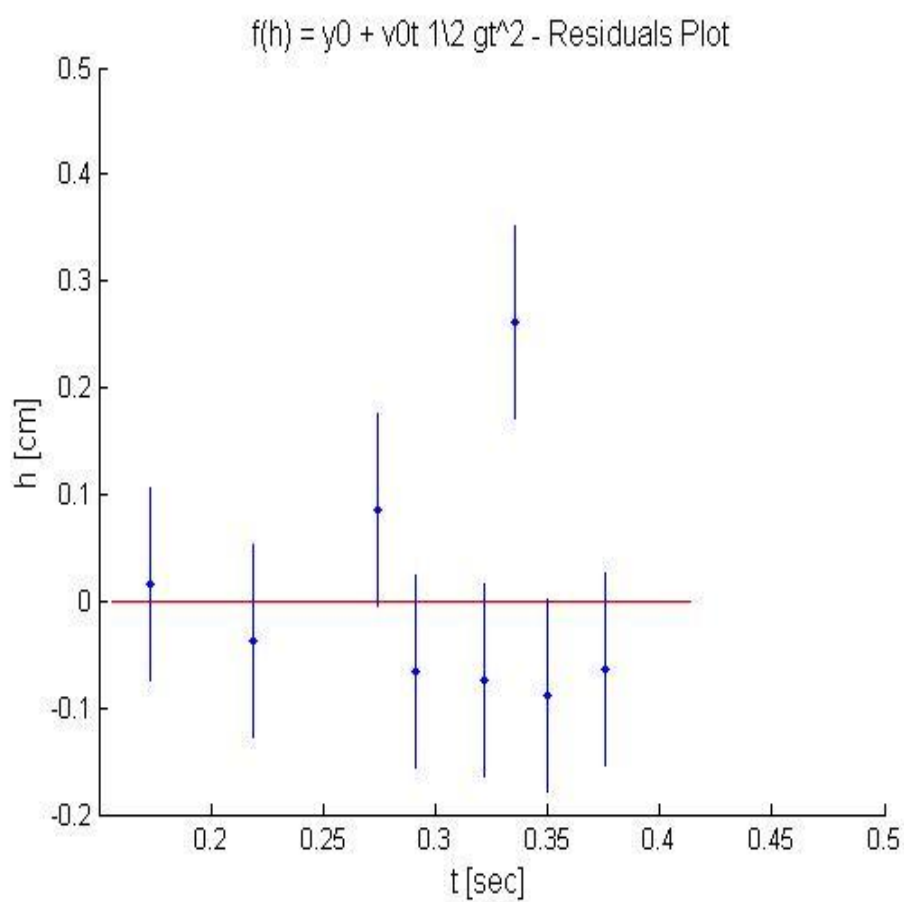
**טבלה 1:** תוצאות המדידות מהניסוי.

t_avg[sec]	$\Delta t_{stat}$ [sec]	$\Delta t_{inst}$ [sec]	$\Delta t_{fin}$ [sec]	$\Delta t/t$ %	t_avg <sup>2</sup> [sec <sup>2</sup> ]	$\Delta t_{avg}^2$ [sec <sup>2</sup> ]
0.17297	0.000175626	0.00003	0.00017817	0.00103	0.029918621	6.1636E-05
0.21862	0.000175784	0.00003	0.00017833	0.00082	0.047794704	7.79711E-05
0.32164	0.000184662	0.00003	0.00018708	0.00058	0.10345229	0.000120347
0.29097	0.000184872	0.00003	0.00018729	0.00064	0.084663541	0.000108992
0.37608	0.000281287	0.00003	0.00028288	0.00075	0.141436166	0.000212773
0.34988	0.000129142	0.00003	0.00013258	0.00038	0.122416014	9.2775E-05
0.27399	0.000138404	0.00003	0.00014162	0.00052	0.07507052	7.76036E-05
0.33506	0.000219317	0.00003	0.00022136	0.00066	0.112265204	0.000148337

**טבלה 2:** ריכוז הנתונים להצגה גרפית.



גרף 3: גרף שארים להצגה הלינארית (גרף 1).



גרף 4: גרף שארים להצגה הפרבולית (גרף 2).