**דו"ח מסכם בניסוי: אנרגיה וחיכוך**

סמסטר ב' תשס"ב

שם הבודק : \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

תאריך הבדיקה: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ציון הדו"ח: **I** \_\_\_\_

**II** \_\_\_\_

שם מדריך הניסוי (שם מלא):אור גולן

תאריך ביצוע הניסוי: 10.12.15

תאריך הגשת הדו"ח: 23.12.15

**הדו"ח מוגש על ידי:**

**I טום רז 302815618 II אמיר מרקוביץ' 201493525**

**שם פרטי שם משפחה ת"ז שם פרטי שם משפחה ת"ז**

הנדסת חשמל 03 D

מסלול הלימוד מס' קבוצת המעבדה תת קבוצה מספר עמדה

**הערות הבודק לנושאים לקויים בדו"ח:**

**דו"ח חיכוך ואנרגיה:**

**מטרת הניסוי:**

1. מדידת מעבר האנרגיה מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית, ואימות חוק שימור האנרגיה
2. התנסות בחישוב העבודה של כוח החיכוך ומציאת מקדם חיכוך דינאמי.

**רקע תיאורטי:**

אנרגיה היא גודל פיזיקלי סקלרי, שמציין את כמות העבודה היכולה להיעשות על ידי כוח, המסייע להבנה בכל תחומי הפיזיקה. לפי הגדרה כללית יותר, אנרגיה היא הגודל הפיזיקלי שנשמר כתוצאה מכך שחוקי הפיזיקה קבועים בזמן. אנרגיה נמדדת ביחידות של ג'אול [j]

ניתן לחלק את צורות האנרגיות השונות לשתי קבוצות סוגי אנרגיה עיקריות הרלוונטיות לניסוי:

* קבוצת האנרגיה קינטית: אנרגיה קינטית קיימת כאשר אחד ממרכיבי המערכת נמצא בתנועה. גוף בתנועה הוא בעל אנרגיה קינטית.
* קבוצת האנרגיה הפוטנציאלית: אנרגיה המצויה במערכת כתוצאה מכוח הפועל על המערכת ואינה באה לידי ביטוי בתנועה, אך היא יכולה לשנות צורה לאנרגיה קינטית.

בניסוי נראה את שימור האנרגיה במערכת ע"י מעבר בין אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קיננטית.

אנרגיה קינטית (אנרגיית תנועה) - אנרגיה המצויה במערכת עקב תנועה של המערכת או של מרכיביה. את האנרגיה הקינטית () של מערכת בעלת מסה m הנעה במהירות v ניתן לתאר באמצעות הנוסחה:

כאשר אנריגיה קינטית, m מסת הגוף, v מהירות הגוף.

אנרגיה פוטנציאלית כובדית- אנרגיה האצורה בגוף כתוצאה מכוח הפועל עליו, בניסוי זה כתוצאה מכבידת כדור הארץ. אנרגיה זו נתונה על ידי הנוסחה:

כאשר אנרגיה פוטנציאלית, m מסת הגוף, g תאוצת הכובד, h גובה הגוף מעל מישור הייחוס.

עבודה: שינוי באנרגיה כתוצאה מהפעלת כוח, היא נמדדת באמצעות סכימת הכוח לאורך מסלול פעולתו:

כאשר W העבודה, וקטור הכוח, הוא המסלול.

במקרה הפשוט בו הכוח F הפועל **בכיוון התנועה** **קבוע**, כלומר לא משתנה לאורך המסלול, הנוסחא הקודמת מקבלת גרסה פשוטה יותר-

1. 

כאשר העבודה, F הכוח הפועל על הגוף, x המסלול לאורכו פועל הכוח.

חיכוך: חיכוך הוא כוח הפועל בין שני גופים הנמצאים במגע ומופעל על ידי גוף אחד הדוחף או מושך את הגוף איתו הוא בא במגע. בתנועה של גוף על משטח, החיכוך עם המשטח פועל בכיוון הפוך לכיוון המהירות ולכן מאט את תנועת הגוף. בתהליך זה האנרגיה הקיננטית של הגוף הופכת לאנרגיה מצורות שונות – חום, קול ועוד.

ישנם שני סוגי חיכוך, כאשר לכל אחד מהם מקדם חיכוך שונה:

1. **חיכוך סטטי** – כוח חיכוך הפועל בין שני משטחים שאינם נמצאים בתנועה יחסית, למרות שהם נדחפים או נמשכים זה ביחס לזה בכיוון אופקי.
2. **חיכוך קינטי** – כוח חיכוך הפועל בין שני משטחים הנעים זה ביחס לזה בתנועת החלקה.

בניסוי זהה נתמקד בחיכוך הקינטי, נוסחה לחיכוך קינטי היא:

1. 

כאשר f הוא כוח החיכוך,  מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף למשטח, N הנורמל שמפעיל המשטח על הגוף.

הנורמל בניסוי זה:

1. N 

המסה כפול כוח הכובד, כיוון שלא פועלים כוחות נוספים בכיוון האנכי לתנועת הגוף על גבי המסלול. לכן:

1. 

מקדם החיכוך מושפע מסוג החומר, חספוס משטח המגע, טמפרטורה וגורמים נוספים. בכדי לחשב כמה אנרגיה אבדה לגוף בתנועתו כתוצאה מכוח החיכוך – עבודת כוח החיכוך – יש להציב את כוח החיכוך ואת אורך מסלול התנועה בנוסחה 4.

מתוך שימור האנרגיה נקבל את המשוואה הבאה, לתיאור שימור אנרגיה לפני ואחרי תהליך מסוים שהתרחש.

כאשר מתאר את סכום האנרגיות לפני התהליך.מתאר את סכום האנרגיות לאחר התהליך ואילו מתאר את סכום העבודה (האנרגיה "שהתבזבזה"- לדוגמא: על ידי כוח החיכוך).

**רשימת ציוד**:

1. מסלול אלומיניום באורך 222 ס"מ עם סרגל מיקום מובנה, בעל רזולוציה של .
2. קרונית + גדר אופטית .
3. משקולת ומחזיק המתאים לנגרר החיכוך.
4. שני שערים אופטיים אופטית (picket fence)המחובר לתוכנת Data-Studio (אשר בעזרת נתוני כיול תיתן לנו את המהירויות הדרושות).
5. מגדל העברת אנרגיה.
6. שלוש גלגלות בעלות:
7. חוט אידיאלי(המחובר למשקולת , עובר בגלגלות ומתחבר לקרונית).
8. מעצור לקרונית.
9. פלס.
10. משקל אלקטרוני , ברזולוציית kg .
11. סט נגררי חיכוך

**מהלך הניסוי**:

עבודה מקדימה:

1. כיול מערכת Data-Studio לפי המרחק בין השנתות המופיעות על הגדר האופטי (0.01m).
   1. נתון זה מאפשר למערכת לסנכרן את הזמנים המתקבלים ממעבר הגדר האופטי(הנמצא על הקרונית) דרך השער האופטי. ניתוח הנתונים לאחר הכיול נותן את המהירות ושגיאתה.
2. בדיקת פילוס עבור המסילה

חלק א' – מציאת מקדם החיכוך של המסלול:

מדידת מקדם החיכוך של המשטח ביחס לעגלה, בכדי להבין האם ניתן להזניח את עבודת כוח החיכוך בחלק ב' של הניסוי.

לטובת חלק ב', החלק המרכזי בניסוי. במטרה להבין האם ניתן להתייחס למערכת כאידיאלית, ולהזניח את החיכוך בחישוב שימור האנרגיה.

1. מדידת משקל הקרונית בעזרת המשקל האלקטרוני.
2. הצבת שני השערים האופטיים במרחק m 0.5 .
3. הצבת הקרונית בקצה המסלול.
4. הענקת מהירות ראשונית לקרונית.
5. מדידת מהירות הקרונית בשער הראשון והשני בעזרת הגדר האופטית ותוכנת המדידה.
6. חישוב המהירות מתוך הפרש הזמנים במעבר השערים
7. חישוב מקדם החיכוך ושגיאתו בעזרת הנוסחאות הרלוונטיות המתוארות ב"תכנון עיבוד תוצאות"

חלק ב'- בדיקת שימור אנרגיה עבור מעבר מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית.

1. הרכבת המערכת (איור 2):
   1. חיבור הקרונית אל משקולת הנמצאת על מגדל באמצעות חוט שאינו אלסטי.
   2. הצבת השער האופטי בנקודה בה החוט מתוח אך המשקולת עדיין נוגעת בקרקע.
2. גרירת הקרונית וע"י כך העלאת גובה המשקולת – יצירת אנרגיה פוטנציאלית למשקולת.
3. שחרור הקרונית, אשר יגרום לנפילת המשקולת ומעבר מאנרגיה פוטנציאלית של המשקולת לאנרגיה קיננטית המתבטאת בתנועת העגלה.
4. חזרה על שלבים 2 ו-3 עבור 8 גבהים שונים של המשקולת, עבור כל גובה נבצע 8 מדידות שונות.

חלק ג' בדיקת השפעת ההגברה של האי אידלאיות המערכת ע"י הוספת חיכוך למערכת, והתייחסות למערכת כאידאלית. בשלב זה נרצה לראות איך משפיע חיכוך מוגבר על המערכת, כאשר אנחנו עדיין מניחים שהחיכוך זניח. תהליך הניסוי יתבצע באותו אופן כמו חלק ב', למעט הוספת גרר חיכוך כמתואר באיור 3 בסעיף הרכבת המערכת וביצוע מספר שונה של מדידות, 12 גבהים שונים, ובכל גובה נמדוד מהירות אחת בלבד.



**מסילה**

**עגלה**

**שערים אופטיים**

איור 1- מערכת ניסוי , חלק א'

**גלגלות**



**עגלה**

**חוט**

**משקולת**

**שער אופטי**

איור 2 – מערכת ניסוי חלק ב'

**מסילה**

**גלגלות**

**חוט**

**משקולת**

**נגרר חיכוך**

**עגלה**

**שער אופטי**





איור 3 – מערכת ניסוי חלק ג'

**תכנון עיבוד נתונים:**

חלק א':

ע"פ חוק שימור האנרגיה, נרשום את האנרגיה בשער הראשון ונשווה אותה לאנרגיה בשער השני. מכייון שמדובר במערכת סגורה, עבור קרונית הנעה על משטח מפולס, בעל חיכוך, ע"פ נוסחאות 1, 4, 8 נקבל:

כאשר m היא מסת הקרונית, v1,v2 הן המהירות הנמדדות בשערים האופטים הראשון והשני בהתאמה, F הוא כוח החיכוך ו הינו הפרש המרחק בין השערים.

באמצעות נוסחה 7 נוכל לכתוב באופן מפורש יותר:

כאשר הוא מקדם החיכוך הקינטי בין הקרונית למשטח וg הינו תאוצת הכובד, שאר הגדלים הוסברו לעיל.

על ידי העברת אגפים נבודד את מקדם החיכוך(מסומן ב- ):

נחשב את שגיאת חישוב מקדם החיכוך, , לפי חישוב שגיאת פונקציה ע"פ נוסחה 4.15 מחוברת סטט':

כאשר , הן השגיאות הנמדדות באמצעות Data-studio, הינו שגיאת המדידה עבור הסרגל, אשר תחושב ע"י נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה, הינו שגיאת הg התאורטית, ושאר הגדלים הוסברו לעיל.

חלק ב':

מכיוון שמדובר במערכת סגורה, האנרגיה ההתחלית שווה לאנרגיה הסופית. מנוסחאות 1,2 נקבל:

M – מסת העגלה, m – מסת המשקולת, h – הגובה ההתחלתי של המשקולת, v מהירות העגלה ע"פ מדידת השער האופטי. נתייחס למהירות v כמהירות הן של העגלה והן של המשקולת מתוך הנחה שהחוט אינו אלסטי והגלגול של החוט סביב הגלגלת הוא גלגול ללא החלקה.

עבור מערכת אידאלית ללא חיכוך מתקיים:

לאחר סידור מחדש והעברת אגפים נקבל:

בניסוי התבצעו 8 מדידות מהירות שונות עבור כל גובה, לכן ה-v אשר נשתמש לכל גובה יהיה ממוצע המדידות, כלומר :

כאשר הוא המדידה ה-i וN זה מספר סך המדידות.

שגיאת חישוב המהירות:

מכיוון שתוכנת הData-Studio פולט את שגיאת מדידת המכשיר עבור כל מדידת מהירות נפרדת, נשקלל את סך השגיאות ע"פ הנוסחה הבאה:

כאשר הוא שגיאת המדידה ה-i וN הוא מספר המדידות.

שגיאת המהירות מורכבת משקלול של שגיאת המכשיר ואי הודאות הסטטיסטית ע"פ נוסחה 4.15 מחוברת הסטטסטיקה:

כאשר הינה השגיאה הסטטיסטית המחושבת לפי נוסחה 3.9 בחוברת הסטטיסטיקה.

שגיאת חישוב הגובה: תחושב ע"פ נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה עבור הסרגל.

התאמה לינארית: נבצע התאמה לפי הישר , נשווה מקדמים לנוסחה 15. נתייחס ל- כאל x, h כאל y, כאל a. נחלץ את g

1. *.*

*את השגיאה של g נחשב באמצעות הנוסחה לשגיאת פונקציה(4.15 מחוברת הסטט'):*

השגיאות הן שגיאות המשקל הדיגטלי. השגיאה תתקבל מה-fitgui.

האיבר החופשי b צפוי לשאוף לאפס, במידה ויהיה שונה משמעותית, דבר זה יכול לרמז על שגיאה שיטתית בניסוי.

במקרה של ההתאמה הלינארית נאלץ לחשב ביטוי לשגיאת , נחשב ביטוי זה באמצעות נוסחת חישוב שגיאת פונקציה, נוסחה 4.15 בחוברת הסטטיסטיקה:

התאמה פרבולית: תבוצע לפי העקום . נשווה מקדמים לנוסחה 15. נתייחס ל h כאל y, v כאל x , כאל a. נצפה שהאיברים b וc ישאפו לאפס. לאחר חישוב ניתן לראות שהביטוי לחישוב g ושגיאתו זהים לנוסחאות 19 ו-20 בהתאמה.

חלק ג'

עיבוד הנתונים יתבצע בצורה זהה לחלק ב', נוסיף לדון בהשפעת החיכוך על המערכת.

הזנחת עבודת החיכוך

ננסה להראות שעבודת כוח החיכוך המקסימלית קטנה בלפחות סדר גודל אחד מהאנרגיה הסופית המינימלית, ובכך נוכל להזניח את עבודת כוח החיכוך בשלב ב' של הניסוי.

מנוסחה 7 ו-4 נקבל שעבודת כוח החיכוך המקסימלית תהיה:

(22)

כאשר M היא מסת הקרונית, הוא מקדם החיכוך הקינטי שיחושב, – זה הגובה ההתחלתי של המשקולת עבור המדידה ה-i. בגלל שהנחנו שהחוט אינו אלסטי ומבצע גלגול ללא החלקה על הגלגלות זהו גם המרחק שתעבור הקרונית.

נרצה להשוות גודל זה למינימום האנרגיה הקיננטית בסוף התנועה שתחושב ע"י:

(23)

כאשר הוא ממוצע המהירות של מדידה i ושאר הגדלים הוגדרו לעיל.

**עיבוד תוצאות:**

חלק א':

התקבלו הנתונים הבאים:

ננסה להבין האם נוכל להזניח את השפעת החיכוך עבור חלק ב'. ע"פ נוסחה 22 נראה שעבודת החיכוך עבור הגובה הגבוה ביותר(מדידה 6 בנספח ה' – 0.35m) הינה 0.0083[J].

בנוסף, נראה ע"פ נוסחה 23 שהאנרגיה הסופית המינימלית תתקבל עבור מדידה 1 בנספח ה', והיא 0.13[J].

קיבלנו שהאנרגיה הסופית המינימלית גדולה לפחות בסדר גודל אחד מעבודת החיכוך המקסימלית, ולכן נוכל להזניח את עבודת כוח החיכוך בחלק ב' של הניסוי.

חלק ב':

* 1. התאמה ליניארית



איור 4- גרף התאמה ליניארי עבור הגובה כפונקציה של המהירות בריבוע

*ע"פ ההתאמה התקבלו הערכים:*

1. *a =* *0.23786 ± 0.00052 [sec^2/m]*
2. *b = 0.00172 ± 0.00056 [m]*
3. *chi^2\_reduced = 0.30*
4. *p-value= 0.94*

הp\_value נמצא בטווח תקין, נסיק מכך שההתאמה טובה והגרף אכן מתאר נכונה את התופעה הפיזיקלית. מגרף השארים המופיע בנספח א' נסיק שהפיזור אקראי, כאשר כל הנקודות למעט אחת הן במרחק של עד סטית תקן מהגרף. ניתן לראות שהמקדם החופשי b אכן שואף לאפס כצפוי.

נחלץ את הערך g ושגיאתו ע"פ נוסחות 19 ו20 בהתאמה.

g = 10.03710*±* 0.00052

השגיאה היחסית היא 0.23%.

מול הערך התאורטי

מדד טיב ההתאמה הוא Nσ = 2.2 , כלומר הוא בטווח הרצוי, ולכן נסיק שתוצאות הניסוי מתארות את הנוסחה התאורטית כמצופה.

* 1. התאמה פרבולית



איור 5 - גרף התאמה פרבולי עבור הגובה כפונקציה של המהירות

*ע"פ ההתאמה התקבלו הערכים:*

1. *a = 0.2339 ± 0.0081 [sec^2/m]*
2. *b = 0.006 ± 0.017 [sec]*
3. *c = -0.0010 ± 0.0070 [m]*
4. *chi^2\_reduced = 0.31*
5. *p-value= 0.91*

הp\_value נמצא בטווח תקין, נסיק מכך שההתאמה טובה והגרף אכן מתאר נכונה את התופעה הפיזיקלית. מגרף השארים המופיע בנספח א' נסיק שהפיזור אקראי, כאשר כל הנקודות הן במרחק של עד סטית תקן אחת מהגרף. ניתן לראות שהמקדמים החופשיים b,c אכן שואפים לאפס.

נחלץ את הערך g ושגיאתו ע"פ נוסחות 19 ו-20 בהתאמה.

g= 10.20*±* 0.35

השגיאה היחסית היא 3%.

מול הערך התאורטי

מדד טיב ההתאמה הוא Nσ = 1.1 , כלומר הוא בטווח הרצוי, ולכן נסיק שתוצאות הניסוי מתארות את הנוסחה התאורטית כמצופה.

חלק ג'

התאמה לינארית



איור 6 - גרף התאמה ליניארי עבור הגובה כפונקציה של המהירות בריבוע.

*ע"פ ההתאמה התקבלו הערכים:*

1. *a =* *0.2700 ± 0.0019 [sec^2/m]*
2. *b =*  *0.0320 ± 0.0017 [m]*
3. *chi^2\_reduced = 372*
4. *p-value= 0*

ניתן לראות שהתאמה לינארית לא מספיק טובה כדי לתאר את התופעה. דבר זה נובע מכך שהקשר בין המהירות הסופית בריבוע לגובה ההתחלתי הוא כנראה לא קשר לינארי כאשר מוסיפים חיכוך לא זניח.

נחלץ את הערך g ושגיאתו ע"פ נוסחות 19 ו20 בהתאמה.

g= 8.842*±*  0.063

השגיאה היחסית היא 0.71%.

מול הערך התאורטי

מדד טיב ההתאמה הוא Nσ = 8.2

ניתן לראות שתאוצת הכובד המתקבלת במקרה זה קטנה יותר מהתאוצה התאורטית. דבר זה נובע מכך שהנחנו בנוסחה 14 שאין חיכוך, אך במקרה שלנו קיים חיכוך לא זניח, אשר גורם לאנרגיה הסופית של המערכת להיות קטנה יותר מחלק א' של הניסוי, בה החיכוך היה זניח. התייחסות ומסקנות נוספות יופיעו בחלק "מסקנות ודיון".

התאמה פרבולית



איור 7 – גרף התאמה פרבולי עבור הגובה כפונקציה של המהירות

*ע"פ ההתאמה התקבלו הערכים:*

1. *a = 0.203 ± 0.034 [sec^2/m]*
2. *b = 0.099± 0.059 [sec]*
3. *c = -0.001 ± 0.018 [m]*
4. *chi^2\_reduced = 447*
5. *p-value= 0*

נראה שגם התאמה פרבולית לא מספיק טובה כדי להתאים את המהירות לגובה. בדומה להתאמה הלינארית, נסיק שהחיכוך מכניס קשר שהוא גם לא פרבולי בקשר בין הגובה ההתחלתי למהירות הסופית.

נחלץ את הערך g ושגיאתו ע"פ נוסחות 19 ו20 בהתאמה.

g= 11 *±*  2.0

השגיאה היחסית היא 16%.

מול הערך התאורטי

מדד טיב ההתאמה הוא Nσ = 0.98

קיבלנו כביכול מדד טיב התאמה תקין, אך השגיאה היחסית במדידת הg גדולה מדי(16%) כדי שנוכל להתייחס בחיוב למדד טיב ההתאמה. גם במקרה הפרבולי נראה שהוספת החיכוך מגדילה משמועתית את השגיאה בחישוב הערך של g.

**מסקנות ודיון:**

עמידה במטרות הניסוי

חלק א' + ב'

בחלק ב' של הניסוי ניתן לראות שהמודל התאורטי של מעבר אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קיננטית מתקיים, למרות הזנחת השפעת כוח החיכוך. באמצעות חלק א' של הניסוי, ניתן לראות שהעבודה המקסימלית שמבצע כוח החיכוך קטנה בלפחות סדר גודל אחד מהאנרגיה הסופית המינימלית, ולכן הזנחת כוח החיכוך מוצדקת.

ניתן לראות שמדד הp\_value בהתאמה הלינארית והפרבולית נמצא בטווח הרצוי (0.94 ו 0.91 בהתאמה), ולכן נסיק מכך שהן מתארות בצורה נכונה את הקשר בין הגובה למהירות או המהירות בריבוע במקרה של ההתאמה הלינארית. כמו כן, ניתן לראות את נכונות תאורית שימור האנרגיה מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קיננטית במדד טיב ההתאמה Nσ שהתקבל עבור g, 2.2 עבור ההתאמה הלינארית ו-1.1 עבור ההתאמה הפרבולית.

דיוק התוצאות מוכיח שוב שההנחה שהתבצעה על בסיס חלק א' של הניסוי – הזנחת כוח החיכוך – מוצדקת.

חלק ג'

בחלק זה ניתן לראות שהגברת השפעת כוח החיכוך, והמשך הזנחתו והתייחסות למערכת כאל מערכת אידאלית גורר סטייה מהתאוריה. ראינו שההתאמה הלינארית והפרבולית לא יכלו לתאר במצב זה את הקשר בין הגובה למהירות(או המהירות בריבוע בהתאמה הלינארית), זה התבטא בp\_value אפס בשני המקרים, וערך גבוה של *chi^2\_reduced.*

*כמו כן, ההתאמה של הערך התאורטי מול הערך הנמדד של g נפגעה מהזנחת השפעת כוח החיכוך. דבר זה מתבטא בהתאמה* הלינארית במדד טיב התאמה Nσ לערך של g, הנמצא מחוץ לטווח הרצוי ( >5). בהתאמה הפרבולית ניתן לראות את השפעת הזנחת החיכוך בשגיאה יחסית גבוה במדידת הg(16%).

דבר מעניין נוסף שניתן לראות הוא הg הנמוך שנמדד בהתאמה הלינארית. דבר זה נובע מההנחה בנוסחה 14 שאין חיכוך, אך במקרה זה קיים חיכוך לא זניח, אשר גורם לאנרגיה הסופית של המערכת להיות קטנה יותר מחלק ב' של הניסוי, בה החיכוך היה זניח. כיוון שהנחנו שהאנרגיה הפוטנציאלית ההתחלית שווה לאנרגיה הקינטית הסופית, ללא עבודת כוח החיכוך, אנחנו מקבלים שהביטוי לאנרגיה ההתחלית – האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית קטן יותר, וזה מתבטא בעצם בערך נמוך יותר של g.

**נספחים:**

נספח א' – גרף שארים חלק ב' - התאמה לינארית



נספח ב' – גרף השארים חלק ב' – התאמה פרבולית



נספח ג' – גרף שארים חלק ג' – התאמה לינארית



נספח ד' – גרף השארים חלק ג' – התאמה פרבולית



נספח ה' – מדידות שבוצעו במהלך הניסוי – חלק ב'

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **H[m]** | **V1[m/sec]** | **D\_inst\_V1[m/sec]** | **V2[m/sec]** | **D\_inst\_V2[m/sec]** | **V3[m/sec]** | **D\_inst\_V3[m/sec]** | **V4[m/sec]** | **D\_inst\_V4[m/sec]** | **V5[m/sec]** | **D\_inst\_V5[m/sec]** | **V6[m/sec]** | **D\_inst\_V6[m/sec]** |
| 0.1 | 0.644 | 0.00055 | 0.64 | 0.00052 | 0.644 | 0.00028 | 0.648 | 0.00024 | 0.646 | 0.0004 | 0.648 | 0.0003 |
| 0.15 | 0.791 | 0.00052 | 0.79 | 0.00074 | 0.791 | 0.00074 | 0.791 | 0.00072 | 0.788 | 0.0003 | 0.79 | 0.0002 |
| 0.2 | 0.912 | 0.00031 | 0.913 | 0.00034 | 0.913 | 0.00033 | 0.911 | 0.00029 | 0.915 | 0.0004 | 0.911 | 0.0003 |
| 0.25 | 1.02 | 0.00072 | 1.02 | 0.00086 | 1.02 | 0.00097 | 1.02 | 0.00084 | 1.02 | 0.001 | 1.02 | 0.0009 |
| 0.3 | 1.12 | 0.0012 | 1.12 | 0.0011 | 1.12 | 0.001 | 1.12 | 0.0011 | 1.12 | 0.0009 | 1.12 | 0.0009 |
| 0.35 | 1.21 | 0.00098 | 1.21 | 0.0011 | 1.21 | 0.0011 | 1.21 | 0.00051 | 1.21 | 0.0006 | 1.21 | 0.0011 |
| 0.23 | 0.977 | 0.00058 | 0.984 | 0.00077 | 0.977 | 0.00077 | 0.98 | 0.0009 | 0.981 | 0.0007 | 0.978 | 0.0009 |
| 0.33 | 1.175 | 0.00079 | 1.176 | 0.00094 | 1.175 | 0.0011 | 1.174 | 0.00074 | 1.175 | 0.0009 | 1.176 | 0.0008 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **V7[m/sec]** | **D\_inst\_V7[m/sec]** | **V8[m/sec]** | **D\_inst\_V8[m/sec]** | **D\_inst\_tot[m/sec]** | **dv\_stat[m/sec]** | **dv\_tot[m/sec]** | **h\_inst [m]** | **v\_avg[m/sec]** | **v\_avg^2[m^2/sec^2]** | **dv\_^2[m^2/sec^2]** |
| 0.638 | 0.00037 | 0.64 | 0.0005 | 0.00013 | 0.0013 | 0.0014 | 0.0004 | 0.6435 | 0.41409 | 0.00174 |
| 0.788 | 0.00057 | 0.789 | 0.0003 | 0.000192 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 | 0.7898 | 0.62371 | 0.00078 |
| 0.914 | 0.00032 | 0.913 | 0.0003 | 0.000108 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 | 0.9128 | 0.83311 | 0.00092 |
| 1.02 | 0.00087 | 1.025 | 0.0009 | 0.000291 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0004 | 1.0206 | 1.04168 | 0.00141 |
| 1.12 | 0.0013 | 1.12 | 0.001 | 0.00036 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0004 | 1.1200 | 1.2544 | 0.00081 |
| 1.21 | 0.0011 | 1.21 | 0.0009 | 0.000318 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 1.2100 | 1.4641 | 0.00077 |
| 0.977 | 0.00083 | 0.98 | 0.0004 | 0.000258 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0004 | 0.9793 | 0.95893 | 0.0018 |
| 1.176 | 0.001 | 1.176 | 0.001 | 0.000302 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0004 | 1.1754 | 1.38151 | 0.00094 |

|  |  |
| --- | --- |
| 0.53011 | משקל עגלה[kg] |
| 0.12716 | משקולת [kg] |
| 0.00041 | שגיאת מכשיר - סרגל [m] |
| 0.00001 | רזולצית משקל [kg] |

נספח ו' – מדידות שבוצעו במהלך הניסוי – חלק ג':

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **V[m/sec]** | **DV\_inst[m/sec]** | **H[m]** | **d\_h\_inst[m]** | **v^2[m^2/sec^2]** | **dv^2[m^2/sec^2]** |
| 0.411 | 0.012 | 0.1 | 0.00041 | 0.1689 | 0.0099 |
| 0.583 | 0.0079 | 0.14 | 0.00041 | 0.3399 | 0.0092 |
| 0.804 | 0.0054 | 0.18 | 0.00041 | 0.6464 | 0.0087 |
| 0.877 | 0.0039 | 0.22 | 0.00041 | 0.7691 | 0.0068 |
| 0.951 | 0.0038 | 0.26 | 0.00041 | 0.9044 | 0.0072 |
| 1.04 | 0.0035 | 0.3 | 0.00041 | 1.0816 | 0.0073 |
| 0.8 | 0.0057 | 0.34 | 0.00041 | 0.6400 | 0.0091 |
| 1.21 | 0.003 | 0.38 | 0.00041 | 1.4641 | 0.0073 |
| 0.332 | 0.012 | 0.06 | 0.00041 | 0.1102 | 0.0080 |
| 1.06 | 0.005 | 0.36 | 0.00041 | 1.1236 | 0.0106 |
| 0.86 | 0.0051 | 0.24 | 0.00041 | 0.7396 | 0.0088 |
| 0.65 | 0.0063 | 0.15 | 0.00041 | 0.4225 | 0.0082 |

|  |  |
| --- | --- |
| 0.77269 | משקל עגלה [kg] |
| 0.22316 | משקולת [kg] |
| 0.00001 | רזולצית משקל[kg] |