**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: 3.12.15

תאריך הגשת הדו"ח: 6.12.15

**הדו"ח מוגש על ידי:**

**I אדם כהן 309901205 II עדי יהודה 20143911**

**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 פיזיקאלי סקלרי , הנשמר במערכות סגורות. האנרגיה נמדדת ביחידות [J] (ג'אול). האנרגיה יכולה לעבור מגוף אחד לגוף שני ולהתבטא בצורות שונות.

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

* 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.

הניסוי יוכיח את שימור האנרגיה במערכת על ידי מעבר בין אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית.

אנרגיה קינטית - אנרגית הגוף הקשורה למהירות תנועתו. חישוב אנרגיה זו מתבצע בעזרת הנוסחה:

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

אנרגיה פוטנציאלית - 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- היא כמות האנרגיה המועברת למערכת או גוף כתוצאה מהפעלת כוח לאורך מסלול כלשהו. יחידות העבודה הן [J] (ג'אול). העבודה נתונה על ידי הנוסחה:

1. 

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

חיכוך- הוא כוח הפועל בכיוון ההפוך לכיוון מהירות הגוף ולכן מאט את תנועת הגוף. האנרגיה האובדת לגוף כתוצאה מפעולת כוח החיכוך הופכת לאנרגיה מצורות שונות – חום, קול, אור ועוד.

1. 

כאשר f סימון מקובל לכוח החיכוך,  מקדם החיכוך של הגוף, 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 ().

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 .

**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:

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

1. מדידת משקל הקרונית בעזרת המשקל האלקטרוני.
2. הרכבת המערכת (איור 1):
   1. הצבנו את שני השערים האופטיים במרחק m 0.5 , מרחק הגדול מהמרחק הנבדק בחלק השני.
   2. הצבת הקרונית בקצה המסלול.
3. הענקת מהירות ראשונית לקרונית וביצוע מדידה לתנועת הקרונית (מהירות הקרונית) בעזרת הגדר האופטית ותוכנת המדידה.
4. הוצאת ערכי המהירות במעבר דרך השערים האופטיים.
5. חישוב מקדם החיכוך ושגיאתו בעזרת הנוסחאות המתוארות בתכנון עיבוד תוצאות.

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

1. הרכבת המערכת (איור 2):
   1. בעזרת חוט שאינו אלסטי נחבר את המשקולת, דרך הגלגלות שנמצאות על מגדל העברת אנרגיה לקרונית הנמצאת על המסילה.
   2. הצבת השער האופטי בנקודה בה החוט מתוח אך המשקולת עדיין נוגעת בקרקע.
2. בניסוי נגרור את הקרונית כך שהמשקולת תעלה לאוויר לגובה מסוים, בכך אנו מייצרים אנרגיה פוטנציאלית למשקולת. שחרור הקרונית, תגרום לנפילת המשקולת שיגרום למשקולת ולקרונית לצבור אנרגיה קינטית. נבצע את הניסוי עבור 8 גבהים שונים של המשקולת, בכל גובה נחזור על הניסוי 8 פעמים.

שער אופטי שני

שער אופטי ראשון

גדר אופטית

0.5m

קרונית

מסילה

איור 1- מערכת ניסוי , חלק א'

מגדל וגלגלות

שער אופטי

משקולת

h

גדר אופטית

h

קרונית

מסילה

איור 2 – מערכת ניסוי ,חלק ב'.

**תכנון עיבוד נתונים:**

יחידות המדידה הינם KMS-(kg,m,sec) עבור כל שלבי הניסוי.

חלק א':

בהנחה שמדובר במערכת סגורה, עבור קרונית הנעה על משטח ,מפולס , בעל חיכוך: לפי נוסחאות 1, ו- ()נקבל:

כאשר m הינו מסת הקרונית,g הינו תאוצת הכובד, הינו המרחק אותה עברה הקרונית (בה כוח החיכוך פעל), הינו מהירות הקרונית בזמן מסוים, ואילו הינו מהירות הקרונית בזמן אחר שבין הזמנים כוח החיכוך ביצע עבודה . על ידי העברת אגפים נבודד את מקדם החיכוך(מסומן ב- ):

חישוב שגיאות:

לטובת חישוב שגיאת מקדם החיכוך, , נשתמש בנוסחה הבאה(לפי חישוב שגיאת פונקציה מחוברת הסטטיסטיקה נוסחה 4.15):

כאשר , יגיעו מ- תוכנת Data-Studio.

הינו שגיאת המכשיר, הסרגל שעל המסילה, יחושב לפי נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה, שגיאת תקן בהתפלגות אחידה בהצבת הרזולוציה המתאימה(מחושב פעמים-שגיאת מכשיר בשני צדי המדידה).

הינו השגיאה התיאורטית לקוחה מהחומר התיאורטי שאר הגדלים הוסברו לעיל.

חלק ב':

משקולת בנמצאת במצב התחלתי של גובה מסוים תהיה בעלת אנרגיה פוטנציאלית- ,נוסחה . לאחר שחרור המשקולת בהגעתה לרצפה היא תהיה בעלת אנרגיה קינטית- , נוסחה . בעזרת מערכת הגלגלות והחוט האידיאלי הקרונית תהיה בעלת אותה אנרגיה קינטית-, נוסחה . כאשר תנועת הקרונית על המסילה תייצר עבודה- . בנחה שמדובר במערכת סגורה, נוכל לראות את שימור האנרגיה בעזרת נוסחה :

עבור מערכת אידיאלית (ללא חיכוך או בעלת חיכוך זניח) נקבל:

* המשך החישובים מפורטים לגבי מערכת אידיאלית, הסבר מפורט בתוצאות הניסוי.

להתאמה ליניארית במטלב מהצורה ,עבור h כפונקציה של . נעביר אגפים ונקבל:

כאשר הגובה של המשקולת כפונקציה של המהירות הסופית(של המשקולת ושל הקרונית אשר זהות). , -המהירות בריבוע תוצב בערך x, הינו השגיאה השיטתית במידה ויש.

להתאמה פרבולית במטלב מהצורה ,עבור h כפונקציה של . נעביר אגפים ונקבל:

כאשר הגובה של המשקולת כפונקציה של המהירות הסופית(של המשקולת ושל הקרונית אשר זהות). , המיהירות תוצב בערך – x, הינו השגיאה השיטתית במידה ויש.

v המופיע בנוסחאות ו הינו המהירות של הקרונית והמשקולת (שהינם אותו דבר בגלל החוט האידיאלי). בניסוי ביצענו עבור כל גובה h 8 מדידות מהירות ולכן למעשה מדובר במהירות הממוצעת של 8 המדידות שחושבה בעזרת הנוסחה הבאה:

כאשר מוגדר להיות ממוצע המדידות .

לחישוב שגיאת a(1) () נשתמש בנוסחה 4.15 מחוברת הסטטיסטיקה:

כאשר , הינם שגיאת המכשיר, המשקל האלקטרוני, יחושב לפי נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה, שגיאת תקן בהתפלגות אחידה בהצבת הרזולוציה המתאימה.

הינו השגיאה התיאורטית לקוחה מהחומר התיאורטי שאר הגדלים הוסברו לעיל.

מתוך a(1) נחלץ את g, תאוצת הכובד:

לחישוב שגיאת הכובד,, המתקבלת מההתאמה נשתמש בנוסחה 4.15 מחוברת הסטטיסטיקה:

ככל הגדלים הוסברו לעיל. נשים לב - הינו הערך המתקבל מההתאמה ואותו נשווה ל השגיאה התיאורטית לכוח הכבידה.

חישוב שגיאות:

1. - הינה השגיאה בגובה של המשקולת, המתאימה לגודל h(V) בנוסחאות עבור ההתאמה הפרבולית והליניארית. יחושב לפי נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה, שגיאת תקן

בהתפלגות אחידה בהצבת הרזולוציה המתאימה(מחושב פעמים-שגיאת מכשיר בשני צדי המדידה).

1. לחישוב שגיאת המהירות, נשתמש בנוסחה לחישוב שגיאה עקיפה ,נוסחה 4.17 מחוברת הסטטיסטיקה(עבור גדלים בלתי תלויים):
   1. עבור התאמה ליניארית:

כאשר הינה השגיאה במהירות בהתאמה הלניארית וחישוב יעשה לפי הנוסחה לחיבור שגיאות:

השגיאה הסטטיסטית יחושב לפי נוסחה 3.10 בחוברת סטטיסטיקה .

שגיאת המכשיר יחושב לפי נוסחה 3.2 בחוברת הסטטיסטיקה. שניהם עבור 8 מדידות מהירות במרחק מסוים.

* 1. עבור התאמה פרבולית:

כאשר הינה השגיאה במהירות בהתאמה הפרבולית. ו- יחושב באותו האופן כמו נוסחה .

**תוצאות:**

* כל נתוני האקסל מופיעים בטבלה 1 בנספחים.

1. חלק א':
   1. התקבלו הנתונים הבאים:

בהתייעצות עם המתרגל, ולאור התוצאות שהתקבלו כבר במעבדה, הוחלט להזניח את השפעת העבודה שמתבצעת בגלל החיכוך. ולהתייחס למערכת כמערכת אידיאלית ולכן מנוסחה והלאה הפיתוחים נעשו עבור מערכת אידיאלית.

1. חלק ב':
   1. התאמה ליניארית



איור 3- גרף התאמה ליניארי עבור הגובה כפונקציות של המהירות בריבוע.

התייחסות לאיור 3- גרף התאמה ליניארי y=a(1)x +a(2):

1. מבחינה חזותית-

המגמה ליחס ישיר בין המהירות בריבוע לגובה (בין האנרגיה הסופי להתחלתית) תואמת את הציפיות. מגרף זה בצורה גסה נראה שהנקודות מתאימו להתאמה, קשה לראות את השגיאות ביחס לגרף, ניתוח יותר מעמיק יעשה מול הגרף שארים.

1. התייחסות לפרמטרים שהתקבלו:

נקודת חיתוך עם ציר Y : a(2) = 0.00424 ± 0.00065m – הצפי היה שיהיה בראשית, השיפוע a(1) = 0.29050 ± 0.00097 אל מול הצפי של (סטייה של ~7%). וכן chi^2\_reduced = 2.2 עבור 6 דרגות חופש (כמעט גדול בסדר גודל אחד) p-value = 3.6% אמור להיות בין 5-95% פחות מהרצוי.

עבור חילוץ תאוצת הכובד g, נוסחה נקבל

. מול ערך תיאורטי (סטייה של ~7%)

לסיכום נתוני הגרף הליניארי- ישנה התאמה טובה בין הגרף למדידות וכן בין הערכים התיאורטיים לערכים שהתקבלו.



איור 4 – גרף שארים עבור התאמה הליניארית.

מבחינת פיזור נקודות: הנקודות יחסית מרכזיות ואין מגמה כלשהי.

גודל שגיאות ביחס למרחק מהציר : ניתן לראות שחצי מהנקודות במרחק הנכלל בשגיאה ואילו החצי האחר בין שנים לשלושה סדרי גודל של השגיאה. ניתן להסיק שמדובר בהתאמה יחסית טובה אך בכל זאת אולי הזנחות שביצענו אכן משפיעות במידה כלשהי.

נקודות חורגות: אחת לפני אחרונה חורגת במספר סדרי גודל, לא נמצאה בסיבה לכך.

* 1. התאמה פרבולית



איור 5- גרף התאמה פרבולי עבור הגובה כפונקציה של המהירות

1. מבחינה חזותית-

המגמה ליחס ישיר בין המהירות בריבוע לגובה (בין האנרגיה הסופי להתחלתית) תואמת את הציפיות. מגרף זה בצורה גסה נראה שהנקודות מתאימו להתאמה, קשה לראות את השגיאות ביחס לגרף, ניתוח יותר מעמיק יעשה מול הגרף שארים.

1. התייחסות לפרמטרים שהתקבלו:

נקודת חיתוך עם ציר Y : a2 = 0. ± 0.00021הצפי היה שיהיה בראשית (התאמה טובה), המקדם :a(1) a(1) = 0.2963 ± 0.0077 אל מול הצפי של (סטייה של ~9%). וכן chi^2\_reduced = 11.24עבור 6 דרגות חופש (גדול מאוד יחסית לרצוי-~11 סדרי גודל) p-value = אמור להיות בין 5-95% ,משמעותית פחות מהרצוי.

עבור חילוץ תאוצת הכובד g, נוסחה נקבל

. מול ערך תיאורטי (סטייה של ~9% תוצאה פחות טובה מהליניארית)

לסיכום נתוני הגרף הפרבולי- מדובר בהתאמה משמעותית פחות טובה מהליניארית בכל המדדים.



איור 6 – גרף שארים התאמה פרבולית

מבחינת פיזור נקודות: רוב הנקודות נמצאות באותו מרחק מהציר. ניתן לראות שהחצי הראשון של הנקודות מעל הגרף והשני מתחת נותן תחושב שיש קשר בין הנקודות ודווקא הגרף הוא שאינו מתאים.

גודל שגיאות ביחס למרחק מהציר: ניתן לראות שרוב הנקודות רחוקות משמעותית מההתאמה ביחס לשגיאות שלהם, מראה שההתאמה אינה מתאימה לשגיאות.

נקודות חורגות: הנקודה האחרונה והראשונה חורגות הכי משמעותית.

**מסקנות ודיון:**

-עמידה במטרות הניסוי : מבחינת תוצאות אכן עמדנו בתוצאות הניסוי, הזנחת החיכוך לא השפיעה משמעותית על התוצאות אך מצד שני, מסתמן שהמערכת אינה אידיאלית לגמרי וישנם דברים החסרים בחישובים.

- מדדים סטטיסטיים: בהתאמה הליניארית הגענו למדדים בסדרי גודל יחסית טובים ,ביחס למערכת שעבדנו הניסוי. כנראה ישנם תופעות שלא לקחנו בחשבון (כגון: גלגול עם החלקה חלק מהזמן בגלגלי הקרונית ובגלגלות, יכול להיות שהחוט אלסטי במידה מסוימת).

- הערכת גורמי שגיאה: היות וה- chi^2\_reduced גדול מ-1. באופן כללי זה עלול לנסוע מחישוב חסר של שגיאות או מהעובדה שלא לקחנו בחשבון גורמים מסוימים (שצוינו בסעיף מדדים סטטיסטיים). העובדה כי השגיאה היחסית, שניתן לראות בנתוני אקסל בטבלה 1 בנספחים, הינה גדולה מ-5% בחלק גדול מהמקרים מראה שהשגיאות הינם גדולות ביחס למהירות הממוצעת. המעיד על הערכת יתר לגורמי שגיאה שמחזק את הטענה כי אכן לא נלקחו בחשבון גורמים נוספים במערכת או שהזנחת החיכוך לא הייתה נכונה.

- ישנה שגיאה אשר לא השתמשנו בה- עבור תוכנת ה- Data-Studio הינו צריכים למדוד את אורך השנתות. מדידה זו ביצענו בסרגל עם רזולוציית . התוכנה לא דורשת הכנסת שגיאת המדידה אלא רק את הנתון ולכן מרכיב זה לא נכלל, כנראה שיחסית זניח.

- מבחינת מערכת הניסוי: מדובר במערכת טובה יחסית. המרכיב הבעייתי במערכת הינם גלגלי המכונית וגם הגלגלות. יכול להיות שעדיף קרונית ללא גלגלים וכך ביתר ודאות אפשר לקבל את היחס בין המהירות הקינטית לעבודה.

**נספחים:**



*טבלה 1 – נתוני אקסל לטובת המטלב.*

*כאשר h גובה המשקולת, מהירויות נמדדות (עבור כל מרחק), השגיאות המתאימות לכל מדידת מהירות, v-avrage ממוצע מהירויות למרחק מסויים וכן (v-avrage)^2הממוצע בריבוע .*

*dv-stat= dv-final= צוינו בעיבוד נתונים.*

*ואילו dt\t% הינה השגיאה היחסית.*