## חיכוך ואנרגיה-תדריך עבודה

## מטרות הניסוי

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

## רשימת ציוד

- 1. מסלול אלומיניום באורך 222 ס"מ עם סרגל מיקום מובנה.
  - 2. קרונית + גדר אופטית (picket fence).
    - .3 סט משקולות ומנשא לחיבור למגדל.
  - 4. סט משקולות ומחזיק המתאים לנגרר החיכוך.
    - 5. שני שערים אופטיים + מעמדים.
      - 6. מגדל העברת אנרגיה.
  - $\mathbf{I} = \mathbf{1.8} \cdot \mathbf{10^{-6}} [kg \cdot m^2]$ . שלוש גלגלות בעלות: 7
    - . חוט.
    - .9 מעצור לקרונית.
      - 10.פלס.
    - .11.סט נגררי חיכוך
    - .13 משקל אלקטרוני.

## 1. כיול המערכת

בחלק זה נכין את המערכת למדידות:

- המשמשת אותנו למדידת Data-Studio נגדיר את השער האופטי לתוכנת ה המהירות.
- נבדוק את טיב הקירוב למערכת אידיאלית: בדיקת היות הקרונית והמסילה מערכת חסרת חיכוך בקירוב.

## **1.1. <u>שאלות הכנה</u>**

- המחליקה m השמו את הביטוי לעבודה שמבצע כוח החיכוך שפועל על מסה. על משטח עם מקדם חיכוך μ על פני מרחק Δx.
- גמדדה מהירות μ. מחליקה על משטח עם מקדם חיכוך μ. בנקודה x<sub>1</sub> נמדדה מהירות 1.1.2 גמדדה מהירות v<sub>1</sub> (v<sub>1</sub>>v<sub>2</sub>), רישמו ביטוי ל- μ.
- בניסוי נרצה למצוא את מקדם החיכוך μ. התבוננו בביטוי שבשאלה הקודמת 1.1.3 וציינו לפניכם מהם הגדלים אותם יש למדוד. האם יש צורך לדעת את m?

## 1.2. <u>ביצוע המדידות</u>

לפני תחילת הניסוי נוודא כי המשטח מפולס (באמצעות פלס) כדי לוודא שאין השפעה של כוח המשיכה על מהירות הקרונית.

#### 1.2.1. הגדרת השער האופטי וקביעת המרחק בין השנתות

נמדוד את המרחק בין שתי שנתות של הגדר האופטית ( סדרת השנתות העליונה ביותר). המרחק בין שנתות הוא המרחק בין הקצה של שני פסים שחורים, כפי שמופיע בשרטוט 1.

מהי הדרך המדויקת ביותר למדוד את המרחק בין שתי שנתות (בהנחה שהשנתות אחידות והמרחק ביניהן קבוע)? שימו לב לשגיאה שמתקבלת עבור אופן החישוב שתבחרו.



איור 1: המרחק בין שנתות על הגדר.

Data - נגדיר לתוכנה את שני השערים האופטיים ונזין את המרחק שמדדנו לתוכנת ה-Stat נגדיר לתוכנה את שני Studio כמתואר בנספח א'.

כעת נוכל לחשב מהירויות: השערים האופטיים מתפקדים כשעון-עצר הרושם את הזמן בכל פעם שהקרן האופטית נשברת (כלומר, בכל פעם ששנת חותכת את הקרן). ובאמצעות המרחק שעבר בין כל שתי מדידות זמן, נוכל לבצע התאמה ליניארית ולחשב את מהירות שהייתה לקרונית כאשר עברה בשער האופטי. המהירות מתקבלת ע"י התאמה ליניארית בdata studio, כמפורט בנספח א'.

#### 1.2.2. מדידת אי האידיאליות שבמערכת

נמקם את שני השערים האופטיים על המסילה ונמדוד את המרחק ביניהם. נלחץ על בתוכנה ונדחוף את הקרונית כך שתעבור דרך שני השערים האופטיים. נלחץ על כפתור Stop.

על מסך התוכנה נקבל שני סטים של מדידות. נסמן סט מדידות אחד, נבצע עבורו התאמה ליניארית באמצעות תוכנת ה-Data Studio ונשמור את המידע שהתקבל עבור השיפוע (זוהי המהירות). נעשה זאת גם עבור סט המדידות השני (מהשער השני) ונרשום את המהירות.

מאחר ווידאנו כי המשטח מפולס אובדן המהירות בין השער הראשון לשני הוא הודות לחיכוך הנובע מגורמים שאינם אידיאליים במערכת. שערו מהם הגורמים לכך.

## 1.3. הנחיות לעיבוד מדגמי במעבדה

מתוך חוקי שימור האנרגיה, חשבו את מקדם החיכוך הנובע מאי האידיאליות שבמערכת הקרונית-מסילה, בעזרת המרחק שמדדתם בין שני השערים והמהירות כפי שנמדדה בכל שער בנפרד. השתמשו בביטוי שכתבתם בשאלה 1.1.2 למעלה.

וודאו שמקדם החיכוך בסדר גודל של כאלפית. אם לא כך הדבר, יתכן שלא חישבתם כראוי, או שמשהו במערכת מגדיל את החיכוך (ודאו כי החוט המחבר את העגלה והמשקולת מלופף כראוי סביב הגלגלות).

## 1.4. הנחיות לעיבוד תוצאות ושאלות להתייחסות בדו"ח

- . בדו"ח הציגו ביטוי פרמטרי למקדם החיכוך. השתמשו בחישוב שגיאה עקיפה 1.4.1 לרשום ביטוי פרמטרי לשגיאת מקדם החיכוך.
  - 1.4.2. הציגו את המדידות, את מקדם החיכוך ושגיאתו שחישבתם.

לחישוב השגיאה <u>בחלק זה בלבד,</u> השתמשו בשגיאת המהירות המתקבלת מה . Data Studio

1.4.3. הציגו את המרחק בין השנתות בסרגל האופטי והסבירו כיצד השתמשתם בנתון זה.

## 2. שימור אנרגיה במעבר מאנרגית גובה לאנרגיה קינטית

בחלק זה:

- נבחן את תהליך שימור האנרגיה במעבר מאנרגיית גובה לאנרגיה קינטית.
- נחשב תאוצת הכובד g מתוך המשוואות לשימור אנרגיה במערכת (בהנחה שהיא אידיאלית).

בחלק זה נזדקק לשער אופטי יחיד.

בניסוי זה נשנה גובהה של המשקולת המוצמדת למגדל. משקולת זו מחוברת דרך סט גלגלות אל עגלה היושבת על מסילה. נסיט את העגלה אחורה על גבי המסילה ובכך נעניק אנרגיה פוטנציאלית למשקולת. נשחרר את העגלה שתתחיל לנוע ותעבור דרך השער האופטי. עבור כל גובה נקבל מהירות שונה.

על מנת לאמת את חוק שימור האנרגיה למערכת עלינו ראשית לרשום את משוואת שימור האנרגיה. לשם פשטות הניחו מערכת אידיאלית חסרת חיכוך ובעלת גלגלות חסרות מסה.

את התוצאות שנקבל בסוף נשווה למערכת אידיאלית, ולמערכת שנוסיף בה חיכוך (חלק 3). עליכם יהיה להסביר מדוע המערכת שלנו אידיאלית בקירוב, בהתבסס על המדידות שביצעתם.

בנוסף תתבקשו להסביר מדוע תוצאת המערכת הניסויית סוטה מהתוצאה עבור מערכת אידיאלית בכיוון בו היא סוטה.

## 2.1. <u>שאלות הכנה</u>

- 2.1.1. האם להערכתכם חוקי שימור האנרגיה יתקיימו במדידות במעבדה באופן. מדויק? נסו לשער מה הסיבה לכך.
- כאשר מניעים עגלה על מישור ,כיצד ניתן לפצות על איבודי אנרגיה כתוצאה. מחיכוך?
- 2.1.3. כאשר שני גופים (עגלה ומשקולת במקרה שלנו) קשורים ביניהם בחוט שאינו נמתח, דרך סט של 3 גלגלות קבועות, מהו היחס בין התזוזה של גוף אחד לעומת התזוזה של הגוף השני? מהו היחס בין המהירויות של הגופים? למה? איזה גודל נשמר במערכת?

שימו לב! בניסוי זה יש מספר מדידות רב, לכן תכננו את זמנכם בחוכמה כך שתספיקו לבצע את כל המדידות.

## 2.2. ביצוע המדידות

<u>מדידת מימדי המערכת</u>

# 2.2.1. מדדו את מסת העגלה ואת מסת המשקולת עם המתלה. קרבו את המשקל העובי. מדדו את מסת העגלה ואת המשקולת (אל תנתקו את החוט מהמערכת!).

- 2.2.2. חברו את הקרונית לחוט. וודאו שהחוט מלופף בצורה חלקה על הגלגלות. שבמגדל, ומחובר בקצהו השני למנשא ועליו משקולות.
- 2.2.3. מדדו גם את מסת הנגרר. היות ובחלק 3 נשתמש באותה המערכת בתוספת נגרר חיכוך, נרצה לוודא כי המסה של הקרונית+הנגרר בחלק 3 שווה לקרונית בלבד בחלק זה. לכן, הוסיפו משקולות קטנות לקרונית, כך שידמו את מסת הנגרר. שימו לב לשגיאת המסה.

#### <u>מדידת מהירות העגלה עבור שמונה גבהים התחלתיים שונים</u>

#### 2.2.4. <u>שלב מקדים—הערכת שגיאת המהירות של התכנה ("שגיאת המכשיר"):</u>

כיוון שאנו לא יודעים איך התוכנה מבצעת את ההתאמות למהירות, נרצה בעצמנו להעריך את השגיאה ולא לקחת את זו הנתונה בתוכנה. לשם כך, נבצע 3 מדידות של מהירויות שונות—נרשום אותן ואת שגיאותיהן. נייצא את המידע הגולמי של (x(t) מתוך התכנה (כפי שמוסבר בנספח א': file->export data). בבית, נבצע התאמה ליניארית לנתונים באמצעות הFitGUI שב-Matlab ומתוכה נחלץ את השגיאות שבמהירות. שימו לב שעליכם להוסיף שגיאות לעמודת הזמן ועמודת המקום. נקבל שלושה ערכי שגיאה שונים. חשבו על דרך נבונה מתוך ערכי שגיאות אלו להעריך את "שגיאת המכשיר" למהירות (רמז: אין לחשב ממוצע פשוט).

#### 2.2.5. <u>קיבוע הגובה ומדידת הגובה</u>

נמשוך את הקרונית אחורה עד לנקודה בה החוט מתוח אך המשקולת אינה מתרוממת מעל השולחן: זוהי נקודת האפס לגובה בחלק זה של הניסוי. כעת נמשוך את העגלה אחורה (נניח למשקולת להתרומם מעל השולחן) עד לנקודה מסוימת, ונרשום את מיקומה. מהו למעשה הגובה שהתרוממה המשקולת מעל השולחן? מה השגיאה של גובה זה?

נוח יהיה לקחת את הגובה כמרחק ההזזה בין נקודת האפס לנקודת אליה מסיטים את העגלה. היו עקביים בקריאת הסרגל. בקירוב טוב, זה הגובה אותו עולה המשקולת. חשבו כיצד יש להעריך את השגיאה בגובה h? מהם הגורמים המשפיעים עליה?

וודאו שאינכם מושכים את הקרונית יותר מדי, מפני שבקצה המסילה יש מגנט שיכול למשוך או לדחות אותה ולקלקל את המדידות. שמרו על מרחק סביר מהמגנט.

#### 2.2.6. מדידת המהירות

נלחץ על כפתור Start בתוכנה ונשחרר את העגלה (כך שהמשקולת תיפול לשולחן והעגלה תקבל מהירות ותעבור בשער האופטי). אחרי שהקרונית עברה בשער, נתפוס אותה, נחזירה למיקומה המקורי לפני השער. חשוב לוודא שכשאתם מחזירים את הקרונית, ולא מעבירים אותה שוב דרך השער האופטי, על מנת שלא לקבל מדידה נוספת, שגויה. **מבלי** לעצור את המדידה, נחבר שוב את החוט לקרונית ונוודא שהמשקולות עדיין יושבות על המנשא בצורה יציבה ושהן נמצאות מתחת לגלגלות (ולא זזו הצידה). נמשוך את הקרונית אחורה לאותה הנקודה שמשכנו אותה במדידה הראשונה בדיוק, ונשחרר אותה שוב. נחזור על המדידה כך שבסה"כ הקרונית תעבור בשער האופטי שש פעמים.

## 2.2.7. אחרי שהקרונית עברה בשער שש פעמים, נלחץ על כפתור Stop. נעשה התאמה ליניארית בתוכנה ונעתיק את שש המהירויות שהתקבלו.

נחזור על שלבים אלו עבור 8 גבהים שונים.



צילום 1: מערכת המדידה של חלק 2 (מעבר אנרגיה פוטנציאלית לקינטית).

#### הנחיות לעיבוד תוצאות ושאלות להתייחסות בדו"ח .2.3

#### 2.3.1. שגיאת התוכנה:

העריכו את שגיאת המהירות:

- בצעו שלוש התאמות לינאריות למקום כתלות בזמן שקיבלתם עבור כל מדידת מהירות.
- השוו את התוצאה (המהירות) שהתקבלה מתוך ההתאמה שלכם למהירות שהתקבלה מה-Studio Data.
  - כעת העריכו את השגיאה של המהירות שמדדה התוכנה.
  - 2.3.2. מתוך מדידות המהירות בגבהים השונים חשבו את המהירות הממוצעת עבור כל גובה ואת שגיאתה (שימו לב לשגיאת המכשיר אותה חשיבתם בחלק א' בכיול המערכת + שגיאה סטטיסטית).קבלו טבלה המכילה שמונה גבהים, שמונה מהירויות ממוצעות ושגיאותיהם.
    - 2.3.3. בצעו שתי התאמות עבור מדידות המרחקים והמהירויות שקיבלנו:
      - ס ליניארית ○
      - פרבולית 0

ההתאמה הליניארית תהווה אינדיקציה למידת ההתאמה המינימלית (כלומר ל-

) אליה עליכם לשאוף. מאחר וההתאמה הפרבולית מאפשרת חופש בפרמטר (  $\chi^2_{red}$ נוסף והיא ההתאמה הטבעית עבור משוואת שימור האנרגיה, אם קיבלתם התאמה פחות טובה מזו שהתקבלה בהתאמה הליניארית, עליכם לנסות פרמטרי התחלה .FitGUI-אחרים ב

- ע"י שימוש במסה g מתוך ההתאמה הפרבולית, חלצו את הערך של g ע"י שימוש במסה שמדדתם.
  - 2.3.5. השוו את ה-g שקיבלתם לערך התיאורטי:

$$g_{theory} = 9.81 \pm 0.10 \frac{m}{\sec^2}$$

- הסבירו מאין נובעים הפרמטרים האחרים בהתאמה, ומה הם מייצגים? מהי . הדרך שבה נוכל להעריך את טיבם?
  - ואת הביטוי , g את מחלצים את g , ואת הביטוי. 2.3.7 הפרמטרי (אחרי הגזירה) ממנו אתם מחלצים את שגיאת g . בנוסחאת שגיאת גודל עקיף).

## 3. הוספת חיכוך במעבר מאנרגית גובה לאנרגיה קינטית

בחלק זה:

- נצפה באיבוד אנרגיה במערכת הנובע מעבודת כוח החיכוך
- נדון בהשפעת ההגברה של אי-אידיאליות, על ידי הוספת חיכוך, בהתאמות, בהן מניחים כי המערכת אידיאלית.

נוסיף למערכת של חלק 2 **נגרר חיכוך**, כאשר מסת הקרונית+הנגרר שווה ככל הניתן למסת הקרונית בלבד מחלק 2. נגרר החיכוך ישמש אותנו להגברת ההשפעה של כוח החיכוך על מערכת הניסוי.

### 3.1. <u>ביצוע המדידות:</u>

נבצע מדידה של מהירות **אחת**, לכל אחד מ-8 הגבהים בהם מדדתם מהירויות בחלק 2. המדידות יתבצעו באותו האופן של החלק הקודם (מלבד המדידה הסטטיסטית של המהירויות).

## 3.2. <u>הנחיות לעיבוד תוצאות ושאלות להתייחסות בדו"ח</u>

- .3.2.1 בצעו התאמה פרבולית וליניארית עבור המרחק כפונקציה של המהירות.
- 3.2.2. ערכו השוואה בין ההתאמות שהתקבלו בחלק זה להתאמות מחלק ב'1. דונו

בהבדלים בין נראות הגרפים, טיב ההתאמות ( Xred) וכו'. הסבירו מה לא לקחנו בחשבון כאשר ביצענו את ההתאמה.

## נספח א' – תוכנת Data Studio

סביבת העבודה בה אנו עובדים בניסוי זה הינה התוכנה Data Studio שהינה התוכנה הייעודית להפעלת החישנים של חברת PASCO בהם נשתמש. ע"מ לפתוח את התוכנה יש להקיש על האייקון "Data Studio" הנמצא על שולחן העבודה.

כעת יופיע חלון עם 4 אפשרויות ואנו נבחר באפשרות העליונה מצד ימין Create Experiment.

נלחץ על Cancel בחלון בחירת ההתקנים שנפתח אוטומטית וכעת אנו נמצאים בסביבת העבודה שלכם המכילה שלושה אזורים, Data בו אנו רואים איזה חישנים מחוברים ואיזה נתונים אנו אוספים מהם, Display בו מוצגות האפשרויות לכלים ותצוגה ואזור רק בו יופיעו הגרפים והטבלאות:



תמונה 1: מראה כללי של האזורים השונים בתוכנה.

#### <u>הוספת חיישנים</u>

הוספת שני השערים האופטים יעשה ע"י לחיצה על כפתור ה- Setup בשורת הכפתורים העליונה. בחלון שיפתח אנו רואים את כלל הרכיבים המחוברים למחשב, כך שמופיעים שני Setup המתאמים המחוברים למחשב (בכחול). נוסיף את השערים ע"י לחיצה על כפתור photo Gate and Picket בשורת הכפתורים העליונה בחלון ונבחר את החישן foce and Picket Timers מהתפריט שמופיע, נחזור על זה שוב לקבל גם את החישן השני מאותו הסוג. זוהי התצורה הרצויה של החלון לאחר הבחירות (ללא האדם ההולך): סמסטר ב תשע"ג

\delta DataStudio		PX
Elle Edit Experiment Window Help		
🗄 Summary 📼 Setup 🕨 S	Start 00:00.0 E Calculate	
Displays Jif Displays Graph Graph Histogram Meter Scope Scope Sound Analyzer Sound Creator Table Workbook	Motion Sensor       PS-2103         Measurements       Motion Sensor         Visibility, Name       Unit of Measure         Position       m         Velocity       m/s         Acceleration       m/s/s         Effective Sample Rate       Hz         Effective Sample rate by averaging       Effective Sample Rate         Effective Sample rate by averaging       Effective Sample rate by averaging         Effective Sample rate       Hz         Reverse sign of all samples.       Reverse sign of all samples.	
🛃 start 🛛 🤌 🕲 🌘	Gmail - אר נכנס (4 🗟 Document 1 - Microsof 🔇 DataStudio EN 📢 DataStudio EN 📢 12	:42 PM

תמונה 2: חלון ה-Setup לאחר הוספת החיישנים.

כדי לשנות את ערכי החישנים נבחר כל אחד מהם ע"י לחיצה על האיקון שלו בתוך החלון, וחלקו התחתון של החלון ישתנה לאפשרויות של החישן הנבחר. כך ע"י לחיצה על האייקון של השער האופטי ובחירה של לשונית Constants נוכל להגדיר את המרווח בין השנתות בו תשתמש התוכנה (המרווח בין תחילת פס שחור לתחילת הפס השחור הבא בהתאם לשנתות שבחרנו להשתמש בהן בהתאם לגובה קרן הלייזר).

בברירת מחדל, המדידות של כל החישנים יוצגו ע"י גרף, בזמן ריצה יובדלו הנתונים מהחישנים השונים ע"י סימנים וצבעים שונים בגרף.



תמונה 3: התוכנה לאחר סיום הגדרת המכשירים.

#### <u>מדידה</u>

כדי להתחיל את המדידה יש ללחוץ על כפתור Start ולהפסיקה על ידי לחיצה על Stop. כדי למחוק את הנתונים הקודמים, יש לבחור את הלשונית Experiment, ולמחוק את כל הנתונים הקודמים או את נתוני הניסוי האחרון בהתאם לרצוננו. התכנה לא יכולה לשמור יותר מ10 מדידות רצופות, לכן יש למחוק הכל מידי פעם. כל הנתונים המופיעים בחלונית Data נרשמו ובמקרה שהם לא מוצגים יש לגרור אותם לתוך אחד מחלונות התצוגה (טבלה או גרף)

## <u>ביצוע התאמה לגרפים המתקבלים :</u>

על מנת להתאים את הנקודות שמתקבלות לפונקציות מתמטיות נסמן בתוך שטח הגרף בעזרת העכבר, את הנקודות שלהם אנו רוצים לבצע את ההתאמה. לאחר שהנקודות סומנו בצהוב נלחץ על כפתור Fit שנמצא בחלון הגרפים, ומהרשימה שנפתחת נבחר את הפונקציה שברצוננו להתאים לנתונים. כעת תופיע מסגרת בתוך חלונית הגרפים עם שם הפונקציה הפרמטרים ונתוני ההתאמה המחושבים, כמו כן תופיע בלשונית Data בצידו הימני של המסך שורה נוספת עם שם הפונקציה.

### 10 חיכוך ואנרגיה –תדריך עבודה

סמסטר ב תשע"ג



תמונה 4: גרף (בירוק) בו נבחרו רק חלק מהנקודות ולהם בוצעה התאמה ליניארית.

#### <u>יצוא הנתונים</u>

כדאי לשמור את הנתונים מחוץ לתוכנה ניגש לתפריט File ונבחר את האופציה Export Data. רק הנתון שנבחר ישמר בקובץ TXT.



תמונה 5: יצוא הנתונים לקובץ.