**דו"ח מעבדה – תנועה הרמונית ב'**

**מגישים:** עדו גרוס 301020012 רון נוימן 026505602

**קורס:**  מעבדה בפיזיקה לתלמידי הנדסת חשמל ואלקטרוניקה, אוניברסיטת ת"א

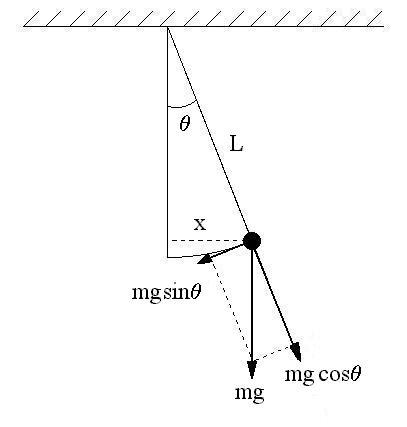
**תאריך:** 19.11.09

1. **מטרות הניסוי:**
   1. בדיקת שוויון זמני המחזור של הכוח המחזיר (F) למרחק (X).
   2. הוכחה כי זמן המחזור לא תלוי במסת המטוטלת.
   3. בדיקת תלות הכוח במיקום וחישוב כוח הכבידה.
2. **רקע תיאורטי:**

מטוטלת מתמטית הינה גוף המבצע תנועה מחזורית המכונה בשם תנועה הרמונית פשוטה. תנאי בסיס לפעולת המטוטלת הנו שהכוח המחזיר (F) יהיה פרופורציוני להעתק (x) ומנוגד לו בכיוונו.

המטוטלת מורכבת ממסה (m) התלויה על חוט שאורכו (L) ונעה באופן מחזורי על פני מישור אופקי (x). בכדי לתאר את המטוטלת באופן פשוט נניח כי החוט אינו אלסטי ומשקלו זניח, המסה מתרכזת בקצה החוט, התנועה מתבצעת במישור בעל מימד אחד ולא פועלים כוחות נוספים מלבד כוח הכבידה.

התרשים הבא מתאר את תנועת המטוטלת והכוחות הפועלים עליה:



כאשר המסה (m) מוסטת מנקודת שיווי המשקל, היא נעה במסלול קשתי שרדיוסו (L). על המסה מופעל כוח כבידה (mg כלפי האדמה) וכאשר המסה נמצאת בזוית *θ* הכוח המחזיר הנו .

ניתן לראות שכאשר מדובר בזויות קטנות קשת התנועה של המטוטלת מתקרבת ל-(x) ובהתאמה- *sinθ=x/L*. מזה ניתן לראות כי משוואת הכוח בזויות קטנות מתקרבת ל:

1. 

לפי החוק השני של ניוטון (F=ma) ניתן להציב את הכוח ע"פ נוסחה 1 ונקבל (כאשר ברור כי הנגזרת השנייה של הדרך הינה התאוצה):

1. 

מנוסחה (2) נבודד את התאוצה ונקבל:

1. 

נסמן *ω2= g / L* וכך נבטא את התאוצה בתור:

1. 

לכן, , זמן מחזור של מטוטלת (T) הנו וביחד, זמן המחזור של המטוטלת הנו:

1. 
2. **רשימת ציוד:**

* משקולות פליז, אלומיניום ופלסטיק.
* חוט.
* סונאר.
* מד כוח.
* משקל.
* סרגל גדול וסרגל קטן.

1. **תיאור מערך הניסוי:** 
   1. עבור כל משקולת, הסטנו את המשקולת מנקודת שיווי המשקל, נתנו לה לנוע בתנועה הרמונית ומדדנו בכל רגע באמצעות מד הכוח והסונאר את הכוח המחזיר (F) ואת המרחק.
   2. מתוך מדידות הכוח והמיקום חילצנו את זמני המחזור של כוח המחזיר ושל המרחק מהסונאר. למען דיוק גבוה יותר עבור כל אחד מהשניים ביצענו ממוצע על 10 זמני מחזור.
2. **תכנון עיבוד תוצאות:**

נבנה שלושה גרפים (עבור כל משקולת) של הכוח המחזיר (F )כפונקציה של המיקום (x). יש לציין כי מרחק זה הינו המרחק מהסונאר ולא המרחק מנקודת שיווי המשקל כפי שמתואר בנוסחאות הנ"ל.

* השגיאה בציר ה-(x):  (הטווח שבחרנו במולטי לוג הוא בין 2 ל-10 מטרים. טווח זה של 8 מטרים מיוצג ע"י 10 סיביות)
* השגיאה בציר ה-(y):  (הטווח שבחרנו במולטי לוג הוא בין 10- ל-10+ ניוטון. טווח זה של 20 ניוטון מיוצג ע"י 10 סיביות)

נחשב את (g) מתוך שיפוע כל גרף עפ"י נוסחה (1) בה . השגיאה תהיה .

גם בחלק זה, מדדנו את ערכו הכולל של החוט (שגיאה ) והוספנו לו את מחצית אורכה של המשקולת (שגיאה ). השגיאה הכוללת תהיה: .

1. **עיבוד תוצאות:**

שגיאות מדידה:



גדלים פיזיקלים:



עיבוד תוצאות זמני המחזור לפי תוצאות המדידה:

ראשית, לפי נוסחה (5) נמצא כי זמן המחזור התיאורטי המתאים לאורך החוט שבחרנו הינו  ושגיאתו היא .

עבור משקולת הפלסטיק: 

עבור משקולת האלומיניום: 

עבור משקולת הפליז: 

טבלה 1: מדידות הכוח והמיקום במשקולות השונות

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **פלסטיק** | | **אלומיניום** | | **פליז** | |
| **X(m)** | **F(N)** | **X(m)** | **F(N)** | **X(m)** | **F(N)** |
| *0.624* | *0.798* | *0.609* | *0.607* | *0.614* | *0.018* |
| *0.624* | *0.786* | *0.607* | *0.607* | *0.612* | *0.012* |
| *0.622* | *0.792* | *0.607* | *0.607* | *0.609* | *0.048* |
| *0.617* | *0.78* | *0.605* | *0.619* | *0.607* | *0.048* |
| *0.617* | *0.774* | *0.605* | *0.613* | *0.605* | *0.06* |
| *0.614* | *0.792* | *0.602* | *0.607* | *0.602* | *0.06* |
| *0.609* | *0.774* | *0.602* | *0.625* | *0.6* | *0.089* |
| *0.607* | *0.786* | *0.6* | *0.613* | *0.597* | *0.095* |
| *0.602* | *0.786* | *0.6* | *0.607* | *0.595* | *0.107* |
| *0.6* | *0.81* | *0.597* | *0.625* | *0.592* | *0.131* |
| *0.595* | *0.792* | *0.595* | *0.631* | *0.587* | *0.161* |
| *0.59* | *0.804* | *0.592* | *0.631* | *0.585* | *0.155* |
| *0.587* | *0.798* | *0.592* | *0.637* | *0.582* | *0.196* |
| *0.58* | *0.81* | *0.59* | *0.637* | *0.58* | *0.202* |
| *0.575* | *0.833* | *0.587* | *0.637* | *0.577* | *0.208* |
| *0.57* | *0.81* | *0.585* | *0.643* | *0.575* | *0.22* |
| *0.565* | *0.821* | *0.585* | *0.637* | *0.572* | *0.232* |
| *0.56* | *0.833* | *0.582* | *0.643* | *0.57* | *0.262* |
| *0.555* | *0.833* | *0.58* | *0.661* | *0.568* | *0.268* |
| *0.55* | *0.833* | *0.577* | *0.667* | *0.565* | *0.298* |
| *0.543* | *0.839* | *0.575* | *0.655* | *0.563* | *0.298* |
| *0.538* | *0.869* | *0.575* | *0.667* | *0.56* | *0.31* |
| *0.533* | *0.845* | *0.572* | *0.661* | *0.558* | *0.315* |
| *0.531* | *0.869* | *0.57* | *0.679* | *0.555* | *0.345* |
| *0.523* | *0.857* | *0.57* | *0.679* | *0.555* | *0.345* |
| *0.521* | *0.881* | *0.568* | *0.69* | *0.553* | *0.363* |
| *0.516* | *0.887* | *0.565* | *0.69* | *0.553* | *0.363* |
| *0.511* | *0.875* | *0.565* | *0.702* | *0.55* | *0.369* |
| *0.508* | *0.869* | *0.563* | *0.702* | *0.55* | *0.363* |
| *0.506* | *0.893* | *0.563* | *0.69* | *0.55* | *0.381* |
| *0.503* | *0.893* | *0.563* | *0.702* | *0.55* | *0.375* |
| *0.498* | *0.899* | *0.56* | *0.69* | *0.548* | *0.393* |
| *0.496* | *0.893* | *0.56* | *0.69* | *0.548* | *0.405* |
| *0.491* | *0.893* | *0.558* | *0.69* | *0.548* | *0.393* |
| *0.486* | *0.905* | *0.56* | *0.726* | *0.548* | *0.405* |
| *0.486* | *0.911* | *0.558* | *0.708* | *0.548* | *0.405* |
| *0.486* | *0.911* | *0.56* | *0.714* | *0.548* | *0.399* |
| *0.484* | *0.905* | *0.558* | *0.726* | *0.55* | *0.399* |
| *0.481* | *0.917* | *0.558* | *0.708* | *0.55* | *0.387* |
| *0.481* | *0.911* | *0.558* | *0.714* | *0.55* | *0.381* |
| *0.481* | *0.911* | *0.56* | *0.702* | *0.553* | *0.387* |
| *0.481* | *0.905* | *0.56* | *0.702* | *0.553* | *0.363* |
| *0.481* | *0.911* | *0.56* | *0.69* | *0.553* | *0.363* |
| *0.481* | *0.899* | *0.56* | *0.708* | *0.555* | *0.345* |
| *0.484* | *0.905* | *0.56* | *0.702* | *0.558* | *0.351* |
| *0.486* | *0.911* | *0.56* | *0.726* | *0.558* | *0.327* |
| *0.486* | *0.929* | *0.563* | *0.69* | *0.56* | *0.304* |
| *0.486* | *0.917* | *0.563* | *0.69* | *0.563* | *0.31* |
| *0.491* | *0.905* | *0.565* | *0.69* | *0.565* | *0.31* |
| *0.496* | *0.905* | *0.565* | *0.685* | *0.568* | *0.256* |
| *0.498* | *0.905* | *0.568* | *0.69* | *0.57* | *0.262* |
| *0.503* | *0.869* | *0.568* | *0.708* | *0.572* | *0.238* |
| *0.506* | *0.899* | *0.57* | *0.685* | *0.575* | *0.238* |
| *0.508* | *0.887* | *0.572* | *0.667* | *0.577* | *0.214* |
| *0.513* | *0.893* | *0.575* | *0.679* | *0.58* | *0.19* |
| *0.516* | *0.887* | *0.575* | *0.655* | *0.582* | *0.19* |
| *0.521* | *0.881* | *0.577* | *0.679* | *0.585* | *0.167* |
| *0.523* | *0.869* | *0.58* | *0.655* | *0.587* | *0.155* |
| *0.528* | *0.869* | *0.582* | *0.655* | *0.592* | *0.137* |
| *0.533* | *0.857* | *0.582* | *0.655* | *0.595* | *0.119* |
| *0.538* | *0.869* | *0.585* | *0.655* | *0.597* | *0.101* |
| *0.543* | *0.827* | *0.587* | *0.637* | *0.6* | *0.095* |
| *0.55* | *0.851* | *0.59* | *0.655* | *0.602* | *0.083* |
| *0.555* | *0.833* | *0.592* | *0.637* | *0.605* | *0.06* |
| *0.56* | *0.833* | *0.592* | *0.655* | *0.605* | *0.042* |
| *0.565* | *0.833* | *0.595* | *0.643* | *0.609* | *0.036* |
| *0.57* | *0.833* | *0.597* | *0.631* | *0.609* | *0.036* |
| *0.575* | *0.833* | *0.597* | *0.631* | *0.614* | *0.018* |
| *0.58* | *0.798* | *0.6* | *0.637* | *0.614* | *0.006* |
| *0.585* | *0.81* | *0.602* | *0.607* | *0.617* | *0.006* |
| *0.592* | *0.792* | *0.602* | *0.619* | *0.617* | *0.006* |
| *0.595* | *0.798* | *0.605* | *0.613* | *0.619* | *0.018* |
| *0.6* | *0.798* | *0.605* | *0.601* |  |  |
| *0.605* | *0.786* | *0.607* | *0.613* |  |  |
| *0.607* | *0.798* | *0.607* | *0.601* |  |  |
| *0.609* | *0.786* | *0.607* | *0.601* |  |  |
| *0.614* | *0.792* | *0.609* | *0.607* |  |  |
| *0.614* | *0.78* | *0.609* | *0.601* |  |  |
| *0.619* | *0.774* | *0.609* | *0.601* |  |  |
| *0.622* | *0.786* | *0.609* | *0.607* |  |  |
| *0.622* | *0.768* | *0.609* | *0.601* |  |  |
| *0.624* | *0.786* | *0.609* | *0.607* |  |  |
| *0.624* | *0.798* | *0.609* | *0.613* |  |  |
|  |  | *0.609* | *0.619* |  |  |

גרף 1: תלות הכוח המחזיר במיקום משקולת הפלסטיק

שגיאת השיפוע הינה השגיאה הגדולה יותר  מנוסחה (1) נקבל כי ומכאן כאשר . ערכה של השגיאה היחסית . ערכו התיאורטי . ערך () של גודל זה הינו .

גרף 2: תלות הכוח המחזיר במיקום משקולת האלומיניום

שגיאת השיפוע הינה השגיאה הגדולה יותר  מנוסחה (1) נקבל כי ומכאן כאשר . ערכה של השגיאה היחסית . ערכו התיאורטי . ערך () של גודל זה הינו .

גרף 3: תלות הכוח המחזיר במיקום משקולת הפליז

שגיאת השיפוע הינה השגיאה הגדולה יותר מנוסחה (1) נקבל כי ומכאן כאשר . ערכה של השגיאה היחסית . ערכו התיאורטי . ערך () של גודל זה הינו .

1. **סיכום ומסקנות:**

**רון נוימן**

באופן כללי ניתן לומר כי הצלחנו לאשר את ההנחות שעמדו בבסיס הניסוי ואף להגיע לערכי g בעלי סטייה סבירה מהערך התיאורטי למרות בעיות משמעותיות בדרכי המדידה בניסוי.

מתוצאות הניסוי ניתן לראות באופן ברור כי מסת המשקולת לא רלוונטית בכלל לזמן מחזור המטוטלת. יחד עם תוצאות הניסוי הקודם ניתן לראות בבירור כי המשתנה היחיד אשר משפיע על זמן המחזור הינו אורך חוט המטוטלת.

מתוצאות הניסוי ניתן לראות גם כי זמני המחזור של הכוח המחזיר ושל המיקום מקבילים אחד לשני, כצפוי על פי התיאוריה.

מבחינת חישוב כוח הכבידה, ניתן לראות כי התוצאות שהתקבלו בניסוי זה הנן סבירות וקרובות באופן יחסי לערך התאורטי. שיטות המדידה בניסוי הקודם הניבו תוצאות עקביות יותר ומדויקות יותר ועל כן הינן עדיפות בחישוב כוח הכבידה. ככל הנראה שיטת קירוב הזוויות הקטנות פוגעת בדיוק חישוב כוח הכבידה (כצפוי, ועל כן גם בדקנו במהלך הניסוי את אחוז השגיאה בשימוש בשיטה זו).

חשוב להדגיש כי מעיון רב בתוצאות הגולמיות ניתן לומר כי ישנה בעיה בשיטת המדידה בניסוי (למרות קבלת ערכים קרובים יחסית לערך התיאורטי). ע"פ התיאוריה וההיגיון כאשר ערכי המיקום (x) הנם הגדולים והקטנים ביותר, הכוח המחזיר אמור להיות הגדול ביותר (ערכי הקיצון של המיקום מתקבלים בשיא מרחקה של המטוטלת מנקודת שיווי המשקל ועל כן הכוח האופקי הנמדד אמור להיות מירבי). למרות זאת, בתוצאותינו ראינו כי בשיא המרחק מן הסונאר, הכוח המחזיר התקרב מאוד לאפס. לאחר דיון ארוך בבעיה זו ניתן לומר כי אופן הרכבת המערכת היה להערכתנו תקין (אם מד הכוח היה מורכב הפוך, הכוח בשתי נקודות הקיצון של המיקום היה שואף לאפס, במקום רק אחת) ועל כן יתכן כי אופן המדידה במד הכוח שגוי.

**עדו גרוס**

בניסוי השני מדדנו את הכוח והמיקום של כל אחת מן המשקולות בתנועה הרמונית. זמני המחזור, שאינם אמורים להיות תלויים במסה אלא רק באורכו של החוט L, יצאו אכן שווים בגודלם בין המסות השונות. בנוסף, כל ששת זמני המחזור תאמו לערך התיאורטי והחזירו ערך  מתאים הנמוך מ0.05 (!!).

בחלקו השני של ניסוי זה, בדקנו את תלות הכוח המחזיר במיקום המשקולת. משיפוע הגרף חילצו את ערכו של  שיצא יחסית קרוב לתיאוריה, בעל ערך  הקטן מ1.56. הסיבות לסטייה בערכו של  בניסוי זה נעוצות בגורמים הבאים:

* קירוב זוויות. קירבנו את המרחק X שהגוף עבר על היקף המעגל, לX הקווי. הסתמכנו על העובדה שאנו עוסקים בניסוי זה בזוויות קטנות כך שגודל הקשת שווה בקירוב לגודל הקווי.
* חיישן הכוח אינו מדויק משני צדדיו. בתוצאות התברר כי הכוח שהחיישן מודד בצד ימין אינו שווה לכוח הנמדד בצד שמאל, עובדה שבוודאות השפיעה על הגרף וכתוצאה מכך על חישובו של .
* דעיכות בזמן המחזור. ככל שנמשכה התנועה ההרמונית, זמן המחזור של המטוטלת התקצר, וכתוצאה מכך המרחק שהיא עברה והכוח המחזיר קטנו. עובדה זו נעוצה בהפרעות חיצונית כגון זרמי אוויר.
* המסה אינה נקודתית. כתוצאה מכך היא אינה נעה אך ורק במישור אחד ויש לה תנודות בזמן התנועה. את תנודות אלה ניסינו להפחית ו דאגנו גם שהמסה תנוע, ככל האפשר, במישור אחד.

לסיכום, בניסוי זה היו הרבה גורמים שהשפיעו על תוצאות המדידה והסיטו את הערכים הנמדדים מערכם התיאורטי המדויק. למרות כל זאת, התוצאות בניסוי יצאו משביעות רצון ותואמות את התיאוריה. ישנן מספר דרכים שעולות לי בראש בעזרתן היינו יכולים לקבל תוצאות טובות יותר כגון שימוש במד-כוח מדויק יותר, הצבת המערכת בתוך מבנה שיחסום את זרמי האוויר והצבת מסילה חסרת חיכוך שתדאג כי המשקולת תנוע אך ורק במישור אחד.