

מהירות ממוצעת של עגלה במישור משופע

העריכה האחרונה: 1.9.2016

על ידי: גיל בן-ארי, יוליה פריזאנט

לפני קריאת התדריך יש לוודא הבנה של המונחים הבאים

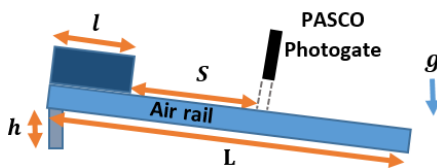
התפלגות, התפלגות נורמלית (גאוסיאנית), סטיית תקן, שגיאה נגררת, שגיאה יחסית, מדידה ישירה ומדידה עקיפה, שגיאה אקראית ושגיאה שיטתית, קריטריון שוונה (Chauvenet's Criterion).

מבוא

בניסוי זה נבחן את היתרונות והחסרונות של מדידה ישירה לעומת מדידה עקיפה מבחינת הדיוק שהן מאפשרות. במדידה הישירה נבדוק ונכמת את מידת ההשפעה של השגיאה האקראית על תוצאות הניסוי, על ידי חזרה על המדידה מספר רב של פעמים.

נרצה למדוד את המהירות הממוצעת של עגלה במישור משופע. מדידה זו יכולה להיעשות רק באופן עקיף: יש למדוד את המרחק שהעגלה עוברת ולחלק במשך הזמן של התנועה. משך הזמן יכול להימדד בצורה ישירה באמצעות גלאי ובצורה עקיפה מתוך הפתרון של משוואת הכוחות ומדידת הפרמטרים הגיאומטריים של המערכת.

מערכת הניסוי



איור 1: מערכת הניסוי. עגלה על מסילת אוויר משופעת ושער פוטואלקטרי של חברת PASCO המודד את משך הזמן שהעגלה עוברת דרכו.

מערכת הניסוי מופיעה באיור 1 ומורכבת מעגלה הנעה על מסילת אוויר ושער פוטואלקטרי המודד את משך הזמן ($\Delta t [sec]$) שהעגלה עוברת דרכו. מסילת האוויר ממזערת את החיכוך במערכת כך שהשפעתו תהיה זניחה. הפרמטרים שאינם ניתנים לשינוי הם $l [m]$ – אורך העגלה ו- $L [m]$ – אורך מסילת האוויר. את מרחק הגלאי ממקום שחרור העגלה ($S [m]$) ואת הגובה המסילה ($h [m]$) היוצרת את השיפוע ניתן לשנות לפי הצורך.

שער פוטואלקטרי (Photogate) של חברת PASCO

בהתקן זה, המופיע באיור 2, אלומת אור אינפרה-אדומה נשלחת מזרוע אחת של השער ונקלטת בתא פוטואלקטרי בזרוע השנייה. על ידי כך נוצר אות חשמלי המועבר למחשב. כאשר בין הזרועות עובר גוף שחוסם את אלומת האור מלהגיע לתא הפוטואלקטרי האות החשמלי מופסק. משך הזמן בו האלומה חסומה נמדד על ידי התוכנה. על השער ממוקמת גם נורית אדומה הנדלקת כאשר השער חסום.



איור 2: שער פוטואלקטרי של חברת PASCO. מקור התמונה [1]

שאלות הכנה

- מהי הנוסחה (המודל התאורטי) למשך הזמן $\Delta t [sec]$ בו העגלה חוסמת את השער לפי חוקי ניוטון עם הזנחת החיכוך?
- מהי משוואת הכוחות אם החיכוך עם המסילה אינו זניח? מהי הנוסחה למהירות הממוצעת במקרה זה?
- מהי הנוסחה לשגיאה הנגררת של Δt לפי המודל התאורטי?
- כתבו את הביטויים לשגיאה הנגררת של הזמן של כניסת העגלה לגלאי והזמן של היציאה ממנו באמצעות שגיאות יחסיות.
- עבור נתוני המערכת הבאים:

$$g = 9.7949 \pm 0.0001 \frac{m}{sec^2}; l = 0.200 \pm 0.001m; L = 1.000 \pm 0.001m; s = 0.400 \pm 0.001m$$

סדרו את הנתונים בסדר עולה לפי גודל השגיאה היחסית שלהם. איזה פרמטר תורם את השגיאה המשמעותית ביותר ואיזו שגיאה (או שגיאות) אפשר להזניח?

- שרטטו בתוכנה על גרף את ההתפלגויות הנורמאליות הבאות עבור 85 נקודות מדודות: $N(1,1), N(1,4), N(3,4)$.
- *עבור התפלגות נורמלית של Δt ואורך עגלה קבוע, שרטטו את ההתפלגות של המהירות הממוצעת. האם היא נורמלית? מה התכונות המאפיינות אותה?

מהלך הניסוי

הכנת המערכת



איור 3: בורג
הגבהה עם
אום כנף.

1. אָזנו את מסילת האוויר. הניחו את העגלה **בקרבת הגלאי** (מדוע?). אם העגלה אינה נעה, אז המסילה היא אופקית. אם העגלה נעה, אזנו את מסילת האוויר בעזרת בורג ההגבהה. שימו לב שמסילת האוויר עומדת על שלוש רגליות, רגלית אחת בקצה הראשון, ושתי רגליות בקצה השני. בורג ההגבהה נמצא בקצה המסילה בו נמצאת רגלית אחת בלבד ומאובטח על ידי אום כנף (ראו איור 3). יש לשחרר את האום כדי לכוון את בורג ההגבהה ולאחר מכן להדקו בחזרה.
2. הגבירו את המסילה ליצירת שיפוע. בחרו הגבהה המתאימה לניסוי ומאפשרת מדידה מבוקרת ומדויקת. ההגבהה תיעשה באמצעות הכנסת מספר דסקות או פלטות (לא יותר משתיים) מתחת לרגלית הבודדת של המסילה.
3. בחרו מרחק למיקום השער. וודאו שהשער יציב.
4. וודאו שהשער מחובר לממשק ומתג הממשק מצביע על "PASCO". פתחו את התוכנה של PASCO שעל ה-Desktop. העבירו את העגלה בשער הפוטואלקטרי, וצפו בנתונים המוצגים על המסך. וודאו שאתם מבינים מה כל חלק בתוכנה מציג ואיך לאפס את המדידות.
5. מדדו את אורך המסילה בסרגל ועובי ההגבהה בקליבר. מדדו את אורך העגלה בשתי שיטות: באמצעות סרגל ועל ידי מדידת המרחק בו השער חסום כאשר העגלה עוברת בו. הנורית האדומה על השער תידלק כאשר הוא חסום. מדדו את מרחק הגלאי מנקודת שחרור העגלה לפי המקום בו הנורית נדלקת. **העריכו את השגיאה בכל מדידה וציינו את היחידות של כל ערך.**
6. שחררו את העגלה ממנוחה מספר פעמים מקצה המסילה (כאשר העגלה צמודה לקצה). שימו לב מה משפיע על יציבות הנתונה והתאמנו על שחרור העגלה בתנאים אחידים. בדקו את התוצאות כפי שהן מתועדות במחשב.
7. חישבו על מקורות לשגיאה אקראית במדידה ונסו למזער אותם.

ביצוע המדידות

1. נקו את הנתונים על המסך.
2. שחררו את העגלה 100 פעמים בתנאים אחידים. אם שגיתם במדידה מסוימת (שחררתם מתנאים אחרים, מישו הרעיד את השולחן וכו'), ציינו את מספר המדידה כדי שתוכלו לחקוק אותה בעת עיבוד הנתונים.
3. שימרו את תוצאות המדידות. כדי לשמור את הנתונים לקובץ, בחרו ב-Save שבתפריט File, ותנו לקובץ שם בעל משמעות. לאחר מכן לחצו על Save. קובץ ה-data ישמר עם סיומת prn.
4. פיתחו גיליון אלקטרוני ותעדו את ערכי הפרמטרים שמדדתם ואת התוצאות (Experiment Log).

משימות לציון נוסף

*שימו לב! לקבלת הציון הנוסף יש לבצע אנליזה מלאה על המדידות הנוספות, להוסיף אותה לדו"ח ולנסח מסקנה משמעותית הרלוונטית לדיון המופיע בדו"ח.

- שנו את אחד הפרמטרים וחזרו על המדידה עבור שלושה ערכים סה"כ.
- חישבו על דרך למדוד ולכמת את מידת החיכוך במערכת. בצעו את המדידה ובדקו את מידת השפעת החיכוך על תוצאות הניסוי.
- חישבו על דרך למדוד את ההשפעה של זרימת האוויר על השגיאה האקראית במדידה. בצעו את המדידה.

עיבוד הנתונים:

1. חשבו את ממוצע המדידות $\mu = \langle \Delta t \rangle$ ואת סטיית התקן שלה σ .
2. בנו היסטוגרמה של המדידות של Δt . בחרו את מספר הקטעים (bins) להיסטוגרמה. מהם השיקולים?
3. חשבו את הגודל של כל קטע (bin) בהיסטוגרמה.
4. הוסיפו להיסטוגרמה עקום המתאר התפלגות נורמלית לפי הנוסחה

$$\frac{N \cdot dx}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

5. דונו בתכונות שמאפיינות את ההתפלגות שמדדתם והשוו לתכונות של ההתפלגות הנורמלית.
6. חשבו את השגיאה של מדידה בודדת בגלאי ואת השגיאה של ממוצע המדידות.
7. חשבו את הערך של Δt לפי המודל התיאורטי ואת השגיאה שלו. ציינו אותם בגרף ההיסטוגרמה.

8. השוו בין שתי השיטות למדידת Δt .

9. חשבו את המהירות הממוצעת של העגלה לפי שתי השיטות ודונו בהבדלים ביניהן ובחוזק המסקנות הנובעות מכל שיטה.

מושגים, שיטות ומכשירים שסטודנט יכיר וידע להשתמש אחרי הגשת הדו"ח בנושא:

התפלגות, התפלגות נורמלית (גאוסיאנית), סטיית תקן, שגיאה נגררת, שגיאה יחסית, מדידה ישירה ומדידה עקיפה, שגיאה אקראית ושגיאה שיטתית, קריטריון שוונה (Chauvenet's Criterion), Outlier, סטיית תקן של הממוצע, שער פוטואלקטרי, היסטוגרמה, bins.

רשימת מקורות:

[1] מקור התמונה של השער הפוטואלקטרי

[/https://www.pasco.com/prodCompare/photogates](https://www.pasco.com/prodCompare/photogates)