# **שבוע 1 – נפילה חופשית**

**מטרת הניסוי:**

1. אימות נוסחת נפילה חופשית
2. תרגול כלים סטטיסטים

רקע תיאורטי

בניסוי אנו מבקשים למדוד את תאוצת הנפילה החופשית, המושפעת מכח הכבידה בלבד. תאוצת הנפילה החופשית של גוף הנע בשדה כובד אינה תלויה במסת הגוף אלא רק בעוצמת שדה הכבידה בו הוא נמצא. כאן מדדנו את כבידת כדור הארץ כמובן, בשדות כבידה אחרים יתקבלו תוצאות אחרות. תאוצת הנפילה החופשית מסומנת ב-g ושווה בקירוב ל-. הקירוב נובע מהבדלים במרחק נקודת המדידה ממרכז כדור הארץ ומכך שאיננו כדור מושלם מבחינה גאומטרית אלא גיאואיד. נשתמש במשוואת התנועה בתאוצה קבועה:

עבור שחרור כדור מגובה אפס ובמהירות אפס והגדרת כיוון h מטה כחיובי במשוואה (1) תתקבל המשוואה הבאה:

רשימת ציוד

1. מעמד שולחני ומדף הניתן לכיוון גובה (סרגל גובה בדיוק 1מ"מ).
2. סרגל מתכת (דיוק 1מ"מ)
3. כדור מתכת.
4. שעון עצר אוטומטי (רזולוציית תצוגה ).
5. שער אופטי לשעון עצר (לתחילת מדידה).
6. משטח מתכתי בתחתית המעמד העוצר את מדידת הזמן.

מהלך הניסוי

1. קיבוע מדף המעמד לגובה המדידה הרצוי (קיבוע ראשון ל-50.1ס"מ).
2. מדידת הפרשים בין השער האופטי לנקודת קיבוע הסרגל ע"מ להבין מהו הגובה המדויק ממנו מתחיל השעון למדוד ביחס לגובה קיבוע המדף לעמוד המעמד.
3. הטלת הכדור דרך החור במדף המתאים לשער האופטי 10 פעמים לכל גובה.
4. במעבר הכדור מול השער האופטי מדידת השעון מתחילה. ברגע שהוא פוגע במשטח המתכת שבתחתית השעון נעצר.
5. לאחר 10 מדידות בגובה שינינו את גובה המדף. גבהי המדף נבחרו לכל אורך הסרגל בניסיון מצד אחד לבטל השפעות שנובעות מההטלה עצמה ויתבטאו בנפילות הקצרות, ומצד שני לבטל השפעות גרר שעלולות להתבטא במעט בנפילות הארוכות יותר. בסך הכל נבחרו 10 גבהים בתחום שבין 35ס"מ ל-90 ס"מ.

תכנון עיבוד תוצאות הניסוי

1. בניסוי נמדד זמן הנפילה כפונקציה של גובה ההטלה. לכל גובה חושב הזמן הממוצע לפי ממוצע פשוט:
   1. חישוב ממוצע זמן נפילה (3) כאשר i הינו מספר המדידות.
2. בעבור כל גובה חישבנו את השגיאה הסטטיסטית (בטבלה מסומן כ) עפ"י נוסחאות 3.9 ו-3.10 בעמ' 19 בחוברת, מדובר בשגיאה הנובעת מגורמים סביבתיים וניסויים שונים (סבסוב הכדור בהטלה למשל).
3. בעבור מכשירי המדידה (סרגל גובה ההטלה ושעון העצר) חישבנו את שגיאת המכשיר (המתפלגת אחיד בהגדרתה) שהיא שורש שונות המדידה, המוגדרת בנוסחה 3.2 בעמ' 13 בחוברת סטטיסטיקה. בקובץ סומנו התוצאות של הסרגל והשעון ב- וב- בהתאמה.
4. חישוב שגיאת זמן כוללת עבור כל מדידה גובה בוצע עפ"י משוואה (4) ומופיעה בקובץ בכותרת :
   1. (4)
5. שגיאה יחסית חושבה עפ"י נוסחה 1.1 בעמ' 11 בחוברת, ומופיעה בקובץ בכותרת t/t∆.
6. מאחר ואנחנו מתכוונים לבחון שתי התאמות שונות, ליניארית ופרבולית, עלינו לחשב שגיאה עבור שתשתמש להתייחסות להתאמה בנוסחה (2) להתאמה ליניארית. כאן חושבה השגיאה עפ"י נוסחה (5) ומוצגת בטבלה בכותרת t\_avg^2 [sec^2]∆.
   1. (5)
7. בסופו של דבר נחשב ערך ביחס לערך g התיאורטי עפ"י נוסחה (6).
   1. (6)

תכנון עיבוד תוצאות הניסוי

בחנו את תוצאות הניסוי לשתי התאמות, ליניארית עבור פונקציה של במשוואה (2) ופרבולית עבור פונקציה של t במשוואה (1) בהנחה שגובה ומהירות ההטלה הם אפס.

1. עיבוד תוצאות הניסוי
2. **התאמה לינארית**



גרף 1 – התאמה לינארית של ההעתק [cm] כפונקציה של הזמן בריבוע [sec^2]

1061.9 ± 2.6 [cm/sec^2]

הערך של ה g חולץ מהמקדם של t^2 בגרף הלינארי, ע"פ הקשר בנוסחא 2, נדרש להכפיל ב2 את המקדם שהתקבל.

5.28 ± 0.27 [cm]

chi^2\_reduced = 1.5681

p probability = 0.15186

Nσ = 7.9

הp-value נמצא בטווח תקין, אך מדד טיב ההתאמה גדול מ-3, ועל כן לא מוצלח. ניתן להסיק מכך שההתאמה הלינארית לא טובה מספיק בניסוי זה מכיוון שהיא לא מביאה מביאה בחשבון את המהירות ההתחלית שבזריקת הכדור, כלומר, אין משתנה שיכול לבטא את מהירות זו

.

**2.התאמה פרבולית**



גרף 2 – התאמה פרבולית של ההעתק [cm] כפונקציה של הזמן [sec]

1000 ± 40 [cm/sec^2]

הערך של ה g חולץ מהמקדם של t^2 בגרף הפרבולי, ע"פ הקשר בנוסחא 2, נדרש להכפיל ב2 את המקדם שהתקבל.

1.1 ± 1.8 [cm]

22 ± 11 [cm/sec]

chi^2\_reduced = 4.9503

p probability = 0.00015561 – להבין איך המספר הזה מסתדר

Nσ = 0.48

הנתונים מראים התאמה גבוהה בין תוצאות הניסוי לערך התאורטי.

ניתן לראות מהירות התחלתית שכנראה נובעת ממהירות זריקת הכדור מידו של הנסיין.

**דיון ומסקנות**

1. **מסקנות**
   1. משוואה 2 אינה מתארת באופן טוב מספיק את תוצאות הניסוי
   2. משוואה 1 מתארת באופן טוב את תוצאות הניסוי.
   3. המהירות ההתחלית(v0) של זריקת הכדור משפיעה על תוצאות הניסוי.
   4. המודל התאורטי משקפים היטב את תוצאות הניסוי
2. **דיון**

הניתוח הלינארי של תוצאות הניסוי ע"פ משוואה 2 לא מדוייקים מכיוון שניתוח זה מתעלם מהמהירות ההתחלית שמקבל הכדור ברגע השחרור. מכיוון שהתאמה לינארית יכולה להכיל רק שני פרמטרים, במקרה שלנו גובה התחלתי ותאוצה, המהירות לא באה לידי ביטוי בהתאמה הלינארית.

מנגד, ההתאמה הפרבולית מייצגת בצורה מדוייקת יותר את תוצאות הניסוי, מכיוון שניתן להתייחס לv0 כפרמטר נוסף.

בתנאי מעבדה מוצלחים יותר, שבהם ניתן להוריד את מהירות ההתחלית של הכדור, כנראה שההתאמה הלינארית הייתה מדוייקת יותר.

הצעה אפשרית היא לשיפור תנאי הניסוי היא יצירת "דלת" על מגש הזריקה, שעליה מונח הכדור, ושחרור הכדור יבוצע ע"י פתיחת הדלת.

נספח א' – גרף השארים



גרף 3 – ניתוח שערים להתאמה הלינארית.



גרף 4 – ניתוח שערים להתאמה הפרבולית.

נספח ב' – תוצאות מפורטות

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | h[cm] | Δh[cm] | t1[sec] | t2[sec] | t3[sec] | t4[sec] | t5[sec] | t6[sec] | t7[sec] | t8[sec] | t9[sec] | t10[sec] |
| 1 | 50.1 | 0.1 | 0.29185 | 0.2921 | 0.29567 | 0.2959 | 0.28988 | 0.29245 | 0.29193 | 0.29405 | 0.29557 | 0.29149 |
| 2 | 60.1 | 0.1 | 0.32318 | 0.3223 | 0.32469 | 0.32262 | 0.32251 | 0.31928 | 0.32128 | 0.32526 | 0.32012 | 0.32381 |
| 3 | 70 | 0.1 | 0.35088 | 0.3487 | 0.34887 | 0.34841 | 0.35037 | 0.34869 | 0.35096 | 0.35062 | 0.34734 | 0.35068 |
| 4 | 80 | 0.1 | 0.37652 | 0.37579 | 0.3758 | 0.37372 | 0.37372 | 0.37539 | 0.37553 | 0.37765 | 0.37558 | 0.37741 |
| 5 | 90 | 0.1 | 0.40181 | 0.40188 | 0.39754 | 0.39658 | 0.4003 | 0.39685 | 0.40005 | 0.39908 | 0.39915 | 0.39887 |
| 6 | 45 | 0.1 | 0.27548 | 0.27237 | 0.27614 | 0.27221 | 0.27276 | 0.27372 | 0.27274 | 0.27339 | 0.27517 | 0.27374 |
| 7 | 40.1 | 0.1 | 0.25717 | 0.25628 | 0.25768 | 0.25617 | 0.25467 | 0.25467 | 0.25616 | 0.25711 | 0.25282 | 0.25696 |
| 8 | 35.1 | 0.1 | 0.23637 | 0.2372 | 0.23779 | 0.23634 | 0.23707 | 0.2375 | 0.2356 | 0.23581 | 0.23522 | 0.23627 |

**טבלה 1:** תוצאות המדידות מהניסוי.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | t\_avg[sec] | Δt\_stat[sec] | Δt\_inst[sec] | Δt\_fin[sec] | Δt/t % | t\_avg^2[sec^2] | Δt\_avg^2[sec^2] |
| 1 | 0.293089 | 0.000656 | 2.89E-06 | 0.000656 | 0.002239 | 0.085901 | 0.000385 |
| 2 | 0.322505 | 0.000598 | 2.89E-06 | 0.000598 | 0.001854 | 0.104009 | 0.000386 |
| 3 | 0.349552 | 0.000408 | 2.89E-06 | 0.000408 | 0.001166 | 0.122187 | 0.000285 |
| 4 | 0.375711 | 0.000414 | 2.89E-06 | 0.000414 | 0.001101 | 0.141159 | 0.000311 |
| 5 | 0.399211 | 0.000589 | 2.89E-06 | 0.000589 | 0.001475 | 0.159369 | 0.00047 |
| 6 | 0.273772 | 0.000436 | 2.89E-06 | 0.000436 | 0.001593 | 0.074951 | 0.000239 |
| 7 | 0.255969 | 0.000473 | 2.89E-06 | 0.000473 | 0.001847 | 0.06552 | 0.000242 |
| 8 | 0.236517 | 0.000269 | 2.89E-06 | 0.000269 | 0.001136 | 0.05594 | 0.000127 |

**טבלה 2:** ריכוז הנתונים להצגה גרפית.