

לקט פעילויות עם גליון אלקטרוני ("פסיפס")

קינמטיקה – תנועה בקו ישר

רמי אריאלי, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

1. ניתוח נתוני ניסוי שבוצע במעבדה

מבוא

במעבדה לפיסיקה מבצעים ניסוי בקינמטיקה, ואת תוצאותיו מעבדים במהלך פעילות זו באמצעות הגליון האלקטרוני. דוגמא לניסוי מסוג זה מופיעה בניסוי 1 (נפילת גופים), בספר: "פיסיקה - לקט ניסויים", מאת דוד זינגר, בהוצאת המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, 1988.

רקע נדרש בפיסיקה

- ★ מהי תנועה על קו ישר.
- ★ הגדרת מהירות ריגעית ומהירות ממוצעת.
- ★ הגדרת תאוצה ריגעית ותאוצה ממוצעת.
- ★ אנרגיה פוטנציאלית, אנרגיה קינטית וחוק שימור האנרגיה.
- ★ הכרת המכשיר: "רשם זמן".

הניסוי

גוף שמסתו 100 גרם נע לאורך מסלול ישר. באמצעות רשם זמן סומנו נקודות על סרט נייר במשך תנועת הגוף. פרק הזמן בין כל שני סימונים עוקבים על סרט הנייר הוא 0.02 שניות. המרווחים בין סימוני הנקודות נמדדו בזה אחר זה, החל מנקודה שרירותית סמוך לתחילת התנועה. ניתן לבצע את פעילות ההמשך על פי נתוני הניסוי של כל תלמיד במעבדה, או לצורך התירגול - על פי הנתונים המופיעים בטבלה בהמשך. בתדריך הניסוי המקורי נדרש התלמיד למדוד רק מרחקים בין 6 נקודות, עקב הזמן הרב הדרוש לעיבוד ידני של התוצאות. באמצעות הגליון האלקטרוני ניתן לבצע את החישובים (והגרפים) עבור מספר רב של נקודות, ללא תוספת זמן או מאמץ. בטבלת הנתונים הבאה רשומים המירווחים לפי סדר, ויחידת ההעתק בטבלה היא סנטימטר.

מספר מירווח	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
מרחק בין שתי נקודות עוקבות	0.7	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6	2.9	3.3	3.7	4.0	4.5	5.0	5.2	5.6	6.0	6.5	6.8	7.2	7.5	7.8

מודל חישובי

1. הכנת הכותרות:

בשורות 1-3 הקלד את הכותרות המתאימות לעמודות בנתונים בגליון, בדומה לדוגמא המצורפת:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	מרחק	מרחק	זמן	v ממוצע	v רגעי	v ממוצע	תאוצה 1	תאוצה 2	תאוצה 3	העתק
2	x	x	t	v1	v2	v3	a1	a2	a3	x
3		[cm]	[sec]	[cm/sec]	[cm/sec]	[cm/sec]	[cm/s^2]	[cm/s^2]	[cm/s^2]	[m]

כדי לחסוך זמן בפעילות עם תלמידים, מומלץ (לאחר שהתלמידים רכשו מיומנות בגליון האלקטרוני) **להכין מראש** את התבנית (template) המתאימה עבור כל מודל ולחלק לתלמידים את הקובץ המוכן.

עיבוד הנתונים

2. הכנסת נתוני המדידה לגליון האלקטרוני:

א. בעמודה A מלא, החל משורה 4 את סדרת המירווחים (עריכה/מילוי).

ב. בעמודה B הכנס את נתוני המירווחים העוקבים הנמדדים בין נקודות סמוכות על סרט הנייר.

ג. בעמודות K ו-L הכנס את קבועי הניסוי:

פרק הזמן בין שתי נקודות עוקבות, ומסת הגוף בהתאמה.

3. בעמודה C יש ליצור עמודה של **הזמן המצטבר** מהתחלת המדידה. אפשר לבצע זאת במספר שיטות:

א. הקלדה ידנית (פעולה למזוכיסטים...);

ב. פקודת מילוי - סדרה חשבונית;

ג. שיכפול נוסחת תא. (את גודל פסיעת הזמן לוקחים מכתובת הקבועה: \$K\$4).

4. יצירת עמודות **מהירות ממוצעת**:

א. בעמודה D חשב את ערכי המהירות הממוצעת עבור כל אחד מן ההעתקים הנתונים בפני עצמו (רמז: מירווח זמן אחד).

ב. בעמודה E חשב את ערכי **המהירות הרגעית המקורבת** עבור כל אחד מן הנקודות המסומנות (רמז: מירווח זמן כפול).

ג. בעמודה F חשב ממוצע בין כל שני ערכים עוקבים של המהירות הממוצעת שחושבו בעמודה D. (על פי הגדרת ממוצע מתמטי בין שני מספרים).

5. התייחס לתוצאות המופיעות בעמודות E ו-F, והסק מסקנות.

באילו מקרים ניתן לחשב תחילה מהירויות ממוצעות ולהשתמש בנוסחה, כפי שחישבת בעמודה F?

שים לב, שהשימוש בסוגי חישוב שונים לממוצעים, יוצר **פעולת "החלקה" (Smoothing) של הגרף** וביטול השפעתן של תוצאות חריגות.

6. בעמודות H, G ו-I, חזור על סדרת הפעולות שביצעת בסעיף 4, אך הפעם חשב את **התאוצות בהתאמה**.

7. בעמודה J בנה את **ההעתק המצטבר (X)**.

הערה:

עמודות דומות לאלו שחישבת בסעיף 4 ניתן לחשב עבור מירווחי זמן נוספים ($3\Delta t$, $4\Delta t$, $5\Delta t$ וכו'). הגרפים המתקבלים מעמודות אלו מאפשרים החלקה נוספת.

מהו החיסרון בפעולה זו?

8. **אתגר**

נתון שתנועת הגוף היתה במסלול אנכי כלפי מטה.

א. בנה עמודה לחישוב האנרגיה הקינטית.

ב. בנה עמודה לחישוב האנרגיה הפוטנציאלית.

ג. בנה עמודה לחישוב האנרגיה הכוללת.

ד. האם נשמרה האנרגיה המכנית בתנועה זו?

מודל גרפי

1. **בחלון גרפי I**, הגדר גרפים לתיאור התלות בזמן של:

א. ההעתק המצטבר $X(t)$.

ב. המהירות $v(t)$.

ג. התאוצה $a(t)$.

2. **בחלון גרפי 2**, הגדר גרף של v^2 כפונקציה של ההעתק מתחילת המדידה (X).

3. בחלון גרפי 3, הגדר גרפים לתיאור התלות בזמן של:

א. אנרגיה פוטנציאלית (E_p).

ב. אנרגיה קינטית (E_k).

ג. אנרגיה כוללת (E_{tot}).

4. אתגר

בצע קירובים לגרפים בסעיפים 1, 2 ו-3 כדי לקבל את המשוואות המתאימות.

סיכום

מודל זה שבנית מתאים לעיבוד הנתונים מכל ניסוי בו השתמשת ברשם זמן (פרט לחישוב האנרגיה הפוטנציאלית; מדוע?). כדי לעבד נתוני ניסוי חדש, מספיק לשנות את עמודת הנתונים של מירווחי ההעתק בין נקודות סמוכות, וכל שאר הגליון יתעדכן מיידית.

ii. קינמטיקה – בניית מודל מתוך נוסחאות מתמטיות

לאחר ביצוע הניסוי במעבדה ניתן לקשר את הנוסחאות לניסוי, ולבצע הדמיות למקרים שונים, כגון:

א. מה קורה כאשר מבצעים ניסוי זה על כוכבי לכת אחרים?

ב. איך משפיעה מסת הגוף הנע על התוצאות?

לשם נוחות, נגדיר:

1. בעמודה A מספרים סידוריים עוקבים.

2. בעמודה B זמן כולל (t) מהתחלת ההדמיה (ע"י פעולת מילוי).

3. בעמודה C נחשב את ההעתק על פי הנוסחה:

$$y = 0.5gt^2$$

4. בעמודה D יוצרים עמודה עבור t^2 .

(הערה: מכיוון שתצוגת ערכי עמודה D נקבעת על פי תצוגת עמודה B, שממנה חישבנו את הערכים, נראה בעמודה זו תוצאות "מוזרות". ניתן לפתור בעיה זו על ידי שינוי לתצוגה עשרונית קבועה של 5 ספרות לאחר הנקודה העשרונית).

"פיברוק" תוצאות ניסוי (הכנסת "שגיאת מדידה" אקראית להדמיה):

ניתן להכניס גורם אקראיות, היוצר פיזור של התוצאות סביב הערכים המתקבלים מהנוסחה המדוייקת, על ידי שימוש בפונקציית המערכת RANDOM (היוצרת מספרים אקראיים בין 0 ל-1):

$$y = 0.5g \cdot (t^2) \cdot (1 + \$B\$26 \cdot (RANDOM - 0.5))$$

את ערך g לוקחים מתוך כתובת התא בה הוא נמצא;

את ערך t , שהוא הזמן המצטבר, לוקחים מן העמודה המתאימה;

בכתובת: $\$B\26 רשום ערך P , שהוא אחוז ה"שגיאה" שבחרנו להדמיה. זוהי כתובת קבועה, ונוח לקחת ערך מסדר גודל של 0.001.

שינוי ערכו המספרי של הפרמטר P בכתובת B26 גורמת מיידית לשינוי בתוצאות המספריות בהתאם.

iii. יישום המודל לחקר התופעה של נפילה חופשית בגרמי שמיים שונים

כאשר רוצים לבצע חישובי נפילה חופשית בכוכבי לכת אחרים, הפרמטר היחיד במודל, אותו יש לשנות הוא תאוצת הגרביטציה (g).

להלן תאוצות גרביטציה (ביחידות $[m/s^2]$) עבור מספר כוכבי לכת:

ארץ: 9.8 צדק (יופיטר): 2.5

ירח: 1.6 שמש: 270

מאדים: 3.8

דיון כיתתי:

כיצד ייראה הגרף של... על כוכב הלכת...?

כסיכום, מומלץ לבנות במודל גרפי אחד את הגרפים של כל כוכבי הלכת עבור אותו משתנה: $x(t)$, $v(t)$, וכו'.

iv. פעילות נוספת בקינמטיקה – אתגר

לאחר ביצוע הפעילות של נפילה חופשית בה אין מהירות התחלתית, ניתן לבנות מודל המתאר את התנועה הכללית ביותר בה התאוצה קבועה:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

על פי הנוסחה ניתן לבנות מודל תיאורטי כללי לניתוח והבנה של תנועה כללית בקו ישר עם תאוצה קבועה.

מודל חישובי

בעמודת הקבועים מגדירים את ערכי התאוצה (a), המהירות ההתחלתית (v_0) והמיקום ההתחלתי (x_0);

בעמודה A - עמודת מספרים סידוריים;

בעמודה B - עמודת זמן מצטבר (t);

בעמודה C - עמודת העתק מצטבר (x);

בעמודה D - עמודת מהירות רגעית (v):

$$v_{i-\frac{1}{2}} = (x_i - x_{i-1}) / \Delta t$$

בעמודה E - עמודת תאוצה רגעית (a):

$$a_i = (v_{i+\frac{1}{2}} - v_{i-\frac{1}{2}}) / \Delta t$$

בעמודה F - עמודת מהירות ממוצעת:

$$\bar{v} = (v_{i+\frac{1}{2}} + v_{i-\frac{1}{2}}) / 2$$

מודל גרפי

תיאור הגרפים הבאים:

$x(t)$, $v(t)$, $a(t)$, $v(x)$, $a(x)$, $a(v)$

למעשה, המודל הקינמטי שבנינו הוא כללי ביותר, וניתן להשתמש בו לחישובים עבור תנועה כלשהי.

a