



הגליון האלקטרוני ככלי להוראת הפיסיקה

רמי אריאלי, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

תקציר

הגליון האלקטרוני מהווה כלי עזר מתמטי היכול לשמש להוראת הפיסיקה. המאמר מתאר את עקרונות העבודה בגליון אלקטרוני וכולל שתי דוגמאות בהן מיושם הגליון האלקטרוני "פסיפס" בפעילות להוראת הפיסיקה.

מילות מפתח

גליון אלקטרוני, ניתוח נתונים, בניית מודל פיסיקלי.

הגליון האלקטרוני מאפשר לתאר לא רק כיצד נראה המודל המתואר ע"י משוואה מסוימת, אלא גם את "התנהגותו" כתוצאה משינוי הנגרם לגדלים המתמטיים (המופשטים) המתוארים במשוואה, וזאת - ללא התעמקות בפיתוחים מתמטיים מסובכים.

עקב טבעם הסטטי של ספרי הלימוד, לכל בעיה בספר יש "הפתרון" המתאים לה: מטפלים בערכים מסויימים **מוגדרים** של הפרמטרים, ומקבלים עבורם את התוצאה. כדי לפתור **בעיה פרמטרית**, יש צורך בכלים מתמטיים מתקדמים שלא תמיד עומדים לרשות התלמיד. לעומת זאת, הגליון האלקטרוני מאפשר לחקור את **התנהגותה** של תופעה פיסיקלית, כפונקציה של שינוי הפרמטרים המשפיעים עליה.

שיטת הוראת המדעים הנהוגה ברוב בתי הספר היא של **"מדע אלגוריתמי"**:

המורה מעביר לתלמיד חוקים ונוסחאות, ומסביר לו כיצד מתייחסים הגדלים הפיסיקליים השונים אחד לשני (משוואות).

התלמיד אפילו בעבודתו במעבדה, מציב נתונים מספריים במשוואות אלו, ומאשר שאומנם החוק מתקיים.

הגליון האלקטרוני הוא אחד הכלים המאפשרים לעסוק ב"מדע אמפירי":

התלמיד יכול לבנות לעצמו את הבנתו, בדרך של התמודדות עם פתרון הבעיה המוצגת לפניו. באמצעות המחשב והגליון האלקטרוני מוצא התלמיד מתוך אוסף הנתונים את התלות בין המשתנים, יוצר נוסחאות, ומאמת

האדם בונה את תמונת העולם שלו במהלך התפתחותו, תוך פעולות גומלין (אינטראקציה) בינו לבין סביבתו. המטרה העיקרית של ההוראה, על כל צורותיה, היא **לכוון** אינטראקציה זובצורה אינטליגנטית, כך שהלומד יבנה לעצמו מושגים נכונים, וירכוש כלים להבנה וניתוח של הסובב אותו.

ניתן לחלק את לימוד המדע לשלבים:

1. **שאלת השאלות**: תחילתה של התבונה היא בתמיהה (wonder): "איך? מה הסיבה ל...?" וכו'.
2. **איסוף מידע**, כגון: נתונים, עדויות, נוסחאות.
3. **עיבוד המידע** לצורך קבלת תשובות לשאלות שנשאלו.
4. **שאלת שאלות חדשות** כתוצאה מעיבוד המידע, והתהליך חוזר על עצמו.

הגליון האלקטרוני הוא תוכנת מחשב, ההופכת את מסך המחשב לנייר עבודה מתוחכם (הכולל בתוכו את הנייר והעיפרון, המחשבון, הנייר המילימטרי, ועוד). לכן, הגליון האלקטרוני מהווה **"כלי עבודה"** לתלמיד, למורה ולחוקר. בדיוק כפי שמחשבון הכיס החליף את סרגלי החישוב ולוחות הכפל, כך גם הגליון האלקטרוני מחליף בהדרגה את שיטות החישוב והשרטוט של גרפים בחיי היום יום ובמעבדה.

עד היום הוגבל הדיון והלימוד בבית הספר למערכות הפשוטות ביותר, מכיוון שלא היו כלים מתמטיים לעיבוד ולפתרון משוואות מתמטיות מסובכות.

הגליון האלקטרוני מאפשר פתרון נומרי מלא (בדרגת דיוק כרצוננו) של משוואה כלשהי, עם תנאי התחלה כרצוננו, וללא הצורך במתמטיקה מורכבת ומסובכת.

את נכונותן באמצעות בדיקת התוצאות המתקבלות מהן במקרים נוספים.
 הגליון האלקטרוני מאפשר לנו **לחקור תופעות**, ולא רק לאשר אמיתותן של עובדות ידועות.

גליון אלקטרוני הוא אחד הכלים המאפשר "לעשות פסיקה"

מקורו של הגליון האלקטרוני בטורי חישוב המספרים להנהלת חשבונות, וביישומים שכללו פעולות חשבוניות על אוסף של מספרים. בהמשך, התרבו יישומיו, וכיום הגליון האלקטרוני מתאים לכל סוגי המדעים. כל מדע כולל איסוף מידע ועיבודו, ובאמצעות הגליון האלקטרוני ניתן לבצע זאת ביתר פשטות וביתר יעילות.

דוגמאות למדעים המשתמשים בגליון האלקטרוני: מדעים מדוייקים: פסיקה, כימיה, ביולוגיה.

מדעי כדור הארץ והסביבה: גיאולוגיה, ארכיאולוגיה, איכות הסביבה, וכו'.

מדעים אחרים, כגון: כלכלה ומדעי החברה.

תכונות הגליון האלקטרוני

1. הגליון האלקטרוני בנוי ממערך דו ממדי גדול המורכב משורות ועמודות (ראה איור 1). **השורות** מסומנות במספרים שלמים עוקבים החל משורה 1.

העמודות מסומנות באותיות הא-ב-האנגלי (A, B, C...).

2. בהצטלבות בין שורה לעמודה נמצא **תא**, לתוכו מוכנסת האינפורמציה. אינפורמציה זו יכולה לכלול טקסט

	A	B	C	D
1		תא B1		
2				
3		תא A3		
4			תא C4	
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

(תוויות), ערכים מספריים, או נוסחאות. כל תא מתואר ע"י **כתובת התא**, המתוארת ע"י מספר העמודה ומספר השורה שלו, לדוגמא: B3, D8.

3. **נוסחה** המוכנסת לתא יכולה להתייחס לגדלים המופיעים בתאים אחרים. כתובת התא הנרשמת בנוסחה היא **כתובת יחסית** המתייחסת למיקום התא המסויים הנרשם בנוסחה לגבי אותו תא בו נרשמת הנוסחה. כאשר רוצים להתייחס בנוסחאות לכתובת מסויימת בגליון האלקטרוני בלי תלות באיזה תא נרשמת הנוסחה, משתמשים ב**כתובת מוחלטת** המסומנת ע"י סימן \$. סימן זה, בהתאם למיקומו, מקבע את השורה או העמודה או שתיהן יחד.

4. מסך המחשב מהווה **חלון הסתכלות** על קטע מתוך הגליון האלקטרוני.

חלון זה ניתן להזזה ימינה, שמאלה, מעלה ומטה.

5. פעולות על מערכים שלמים (שורות, עמודות, או גושים) מבוצעות ביעילות ובמהירות.

6. ניתן להשתמש בתוך הגליון האלקטרוני ברוב הכלים המתמטיים:

★ פעולות אריתמטיות: +, -, *, /.

★ פעולות לוגיות: AND, OR, NOT.

★ פעולות מתמטיות: שורש, חזקה, לוגריתם, אקספוננט, וכו'.

★ פונקציות טריגונומטריות: סינוס, קוסינוס, טנגנס, וכו'.

★ פונקציות סטטיסטיות: סכום, ממוצע, מקסימום, מינימום, וכו'.

★ פונקציות מיון, החלטה ובקרה - רק גדלים המקיימים תנאי מסויים תבוצע עליהם פעולה מסויימת (כדוגמת פונקציית התנאי ... If).

7. הגליון האלקטרוני מאפשר לבנות מודל מתמטי המתאר את התופעה. כאשר משנים נתון מספרי בגליון, אין צורך לרשום מחדש את נוסחאות המודל, אלא התוכנה משנה מייד את כל התוצאות הקשורות באותו תא בו שונה הערך המספרי.

8. **מקור הנתונים בגליון האלקטרוני:**

א. הקלדה ידנית.

ב. ייצור נתונים מספריים ע"י הצבת ערכים בנוסחאות.

ג. קליטת נתונים מהעולם החיצון באמצעות חומרה (חיישנים).

ד. קליטת נתונים מתוך תוכנה אחרת. (ראה נספח 2).

יישום בהוראת הפיסיקה

אחת הבעיות המתעוררות בהוראת הפיסיקה היא **חוסר המיומנות של התלמידים בטכניקות המתמטיות הנדרשות להבנה יסודית של הבעיה**. לדוגמא: חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי, משוואות דיפרנציאליות ופתרון וכו'. הגליון האלקטרוני הוא אחד הכלים המאפשרים, באמצעות שיטות נומריות, למצוא את הפתרון תוך שימוש בשיטות קירוב מתמטיות, כך שהתלמיד יכול להתמקד בהבנה הפיסיקלית של התנהגות הפתרון (התופעה) מבלי "ללכת לאיבוד" בפיתוחים המתמטיים. הדבר נכון במיוחד למצבים פיסיקליים שעבורם אין מודל מתמטי פשוט הניתן לפתרון אנליטי.

פעילויות בגליון האלקטרוני יכולות להיות מסוגים שונים:

1. עיבוד נתונים מספריים.
 2. גרפים ועיבודם.
 3. שיטות קירוב היוצרות נוסחאות המתארות קשרים בין גדלים נמדדים.
 4. ניתוח בעיות ופתרון.
 5. בניית מודלים מתמטיים פיסיקליים וניתוחם.
- כל הסוגים הנ"ל משמשים בהוראת הפיסיקה.

ניתן להשתמש בגליון האלקטרוני בלימוד הפיסיקה באופנים שונים:

1. **מציאת התלות המתמטית (המשוואה) בין גדלים פיסיקליים מתוך נתונים מספריים נמדדים**. זוהי שיטת מחקר מקובלת במדע ניסויי והיא מורכבת מהשלבים הבאים:
 - א. צופים בתופעה, ומחליטים מה מעניין בה.
 - ב. אוספים נתונים על התנהגותה.
 - ג. מנסים למצוא קשר בין המשתנים השונים ("מי משפיע על מה?").
 - ד. בונים מודל מתמטי המתאר את התופעה.ה. בודקים האם המודל אכן מתאים לתאור מלא של התופעה.

באופן מעשי, מתחילים מנתונים מספריים, ומהם מנסים למצוא את הקשר המתמטי בין הגדלים השונים, ואת תלותם הגרפית אחד בשני.

שיטה זו מקובלת במדידות מעבדה (לדוגמה בפיסיקה):

מודדים את הערכים של המשתנים, לדוגמה: y ו- x .

מקבלים קבוצת זוגות של ערכים (x_i, y_i) .

מסרטטים את הגרף, ומתוכו מוצאים את הנוסחה (באמצעות פעולת קירוב).

2. בניית מודל מתמטי של בעיה.

הגליון האלקטרוני מאפשר לבדוק איך המודל נראה בצורת גרפים, וניתן לחקור בעזרתו כיצד מושפעים שאר משתני המודל ע"י שינוי כל אחד מהפרמטרים הקובעים את המודל. את בניית המודל **מתחילים מנוסחה מתמטית**, ובעזרתה בונים מערך נתונים מספריים. מהנתונים המספריים יוצרים אוסף גרפים, ומהם מסיקים מסקנות. שיטה זו מקובלת במתימטיקה.

3. בגליון האלקטרוני "פסיפס" קיים מודל תיאוריה בו ניתן לרשום קשרים בין גדלים בצורתם המילולית. לדוגמא: $כח = מסה * תאוצה$. תיאור מילולי זה ניתן להפוך לנוסחאות מתימטיות המרכיבות את המודל המתמטי של הבעיה. ההמשך הוא כמו בסעיף 2.

נספח 1

ייחודיות הגליון האלקטרוני "פסיפס" להוראת הפיסיקה

1. הגליון האלקטרוני "פסיפס" הוא מערכת "כחול לבן" שנבנתה מלכתחילה עבור משתמשי המיגזר החינוכי. היא נבנתה במקור עבור השפות עברית ואנגלית ובנויה בצורה נוחה וידידותית. הפעלתה היא באמצעות תפריטים נשלפים (POP UP) המציגים למשתמש את שלבי התקדמותו במערכת (עץ התפריט).

2. מערכת "פסיפס" כוללת אפשרות מעבר מהפרט (נוסחת תא) אל הכלל (נוסחה סכימטית) ולהיפך.

המערכת הגרפית של "פסיפס" מאפשרת לקרוא ערכי קואורדינטות של נקודות מהגרפים תוך שימוש בכוונת גרפית.

3. בית ספר הרוכש "הרשאה כוללת" לשימוש ב"פסיפס" מאפשר לכל מורה ולכל תלמיד להשתמש **באופן חוקי** בגליון האלקטרוני "פסיפס" ע"י רכישת דיסקט מפתח (במחיר \$10).

4. אחד היתרונות של הגליון האלקטרוני "פסיפס" הוא **יכולת הזיהוי האוטומטית של התוכן אותו רושמים לתא**:

א. כאשר רושמים **מספרים**, התוכנה תפרש אותם כערכים מספריים.

ב. כאשר מופיעה **אות** שאינה חלק מכתובת תא, התוכנה תפרש את התוכן כתווית.

ג. כאשר כותבים **נוסחאות**, התוכנה תזהה אותן באופן אוטומטי.

בגליונות אחרים, כגון: לוטוס, אקסל או קוואטר-פרו, יש סימון מוסכם של האות הראשונה כדי לדווח לגליון

ASCII = American Standard Code for Information Interchange

קובץ הנרשם בפורמט זה ניתן לקריאה ע"י תוכנה **כלשהי**, ואין הוא מכיל סימני בקרה האופייניים לתוכנה מסויימת. תוכנת "פסיפס" מייבאת קבצי נתונים הרשומים כקובץ ASCII.

יבוא קבצי נתונים מוכנים לגליון האלקטרוני "פסיפס"
א. בשלב זה, ניתן ליבא נתונים לגליון "פסיפס" רק למיקום בראש הגליון (תא A1).
לכן, מומלץ ליבא תחילה את הקובץ, ורק אחר-כך לסדר לו כותרות וכו'.
ב. מכיוון שכמות הנתונים בסימולציות ובמערכות המדידה הממוחשבות גדולה, מומלץ לבחון את הנתונים לפני שמיבאים אותם למודל החישובי של מערכת "פסיפס". בחינה זו ניתן לבצע באמצעות ייבוא הנתונים תחילה אל מודל התאוריה.
פעולה זו מאפשרת:

★ **לראות את מבנה הנתונים המיובאים;**

- ★ לנקות את הנתונים הללו מקווים וסימנים מיותרים,
- ★ להכין את הנתונים לקראת קליטתם במודל החישובי. לאחר בחינה זו, אפשר להחליט:
 - ★ מאיזה נתון לייבא;
 - ★ עד איזה נתון לייבא;
 - ★ כל כמה שורות לדגום נתונים.

ג. **לא מומלץ** לעבוד על כמות גדולה של נתונים.

סדר הפעולות הנדרש הוא:

א. **במודל התיאוריה:**

- (1) פתיחת חלון תיאוריה;
- (2) "יבוא" קובץ הנתונים הנדרש;
- (3) מחיקת השורות הראשונות בקובץ (אלו שמעל טורי הנתונים המספריים);
- (4) דפדוף בקובץ באמצעות מקש PgDn, ובדיקה שאין בהמשכו קווים מהטבלה המקורית;
- (5) שמירת הקובץ בפעולת "יצוא" ממודל התיאוריה.

ב. **במודל החישובי:**

- (1) פתיחת חלון המודל החישובי;
- (2) פעולת "יבוא" של הקובץ אותו ייצאנו ממודל התיאוריה.
אין חובה לייבא את **כל** קובץ הנתונים:
 - ★ ניתן להתחיל לייבא החל משורה כלשהי שבחורים,
 - ★ ניתן לסיים את פעולת היבוא בכל שורה כרצוננו.

מה התוכן שבכוונתנו לרשום בתא המיועד. (סימנים אלו מוכרים גם ע"י "פסיפס").

5. קיימים מודלים אשר בהם נוח לעבוד עם גליון במתכונת עברית (העמודה הראשונה A נמצאת מצד ימין), ולעומתם מודלים בהם נוח לעבוד עם גליון במתכונת אנגלית. מערכת "פסיפס" מאפשרת לעבור ממצב למצב ע"י לחיצה על צירוף המקשים: (Alt+F8).

6. כדי להשתמש בגליון האלקטרוני, אין צורך להיות מומחה למחשבים ומערכות הפעלה. רוב הפעולות מתבצעות תוך שימוש בלוח המקשים כבמכונת כתיבה, ובנוסף על כך קיימות פעולות **ניווט בגליון**:

ניתן "לטייל" בגליון אלקטרוני (לעבור מתא לתא) ע"י מקשי החיצים (למעלה, למטה ולצדדים) ע"י העכבר, וע"י מקשים מיוחדים, כגון:

Shift+TAB, TAB, END, Home, PgDn, PgUp

התא שבו אנו נמצאים מואר, וכתובתו מופיעה בשורה שמתחת לחלון הגליון.

המלצות לעבודה עם גליון אלקטרוני:

1. בעבודה עם גליון אלקטרוני **מומלץ לפרק נוסחאות מורכבות לשלבים ולחשב כל שלב בנפרד**. פעולה זו מקלה על הבנת ההשפעה הנפרדת של כל אחד מהגורמים (המשתנים הפיסיקליים של הבעיה) על התוצאה, ומאפשרת לאתר שגיאות אפשריות.
2. כדי לבנות מודל פיסיקלי כלשהו, עלינו להגדיר תחילה את המשתנים בעזרתם נבנה במודל. לכל משתנה יש **שם, אות אופיינית, יחידות מדידה**.
מומלץ להשאיר את שלוש השורות הראשונות במודל החישובי של הגליון האלקטרוני עבור גדלים אלו. את הערכים המספריים מתחילים למלא בשורה 4.

נספח 2

יבוא קבצי נתונים מוכנים לגליון האלקטרוני "פסיפס"

לכל תוכנת מחשב צורה מסויימת של שמירת נתונים. כאשר שומרים נתונים מספריים מסודרים בעמודות, מוסיפה התוכנה בין המספרים סימני בקרה מוגדרים האופייניים לאותה התוכנה. כאשר רוצים לקרוא (להעביר) קובץ נתונים מספריים מתוכנה אחת לאחרת, נתקלים בבעיות תקשורת: תוכנה אחת אינה "מבינה" את הנתונים שנרשמו באמצעות התוכנה השנייה.

כדי להתגבר על בעיית תקשורת זו, נקבע בעולם תקן בינלאומי הנקרא:

★ ניתן לדגום שורות בדילוגים, לדוגמא: לייבא רק כל שורה שלישית.

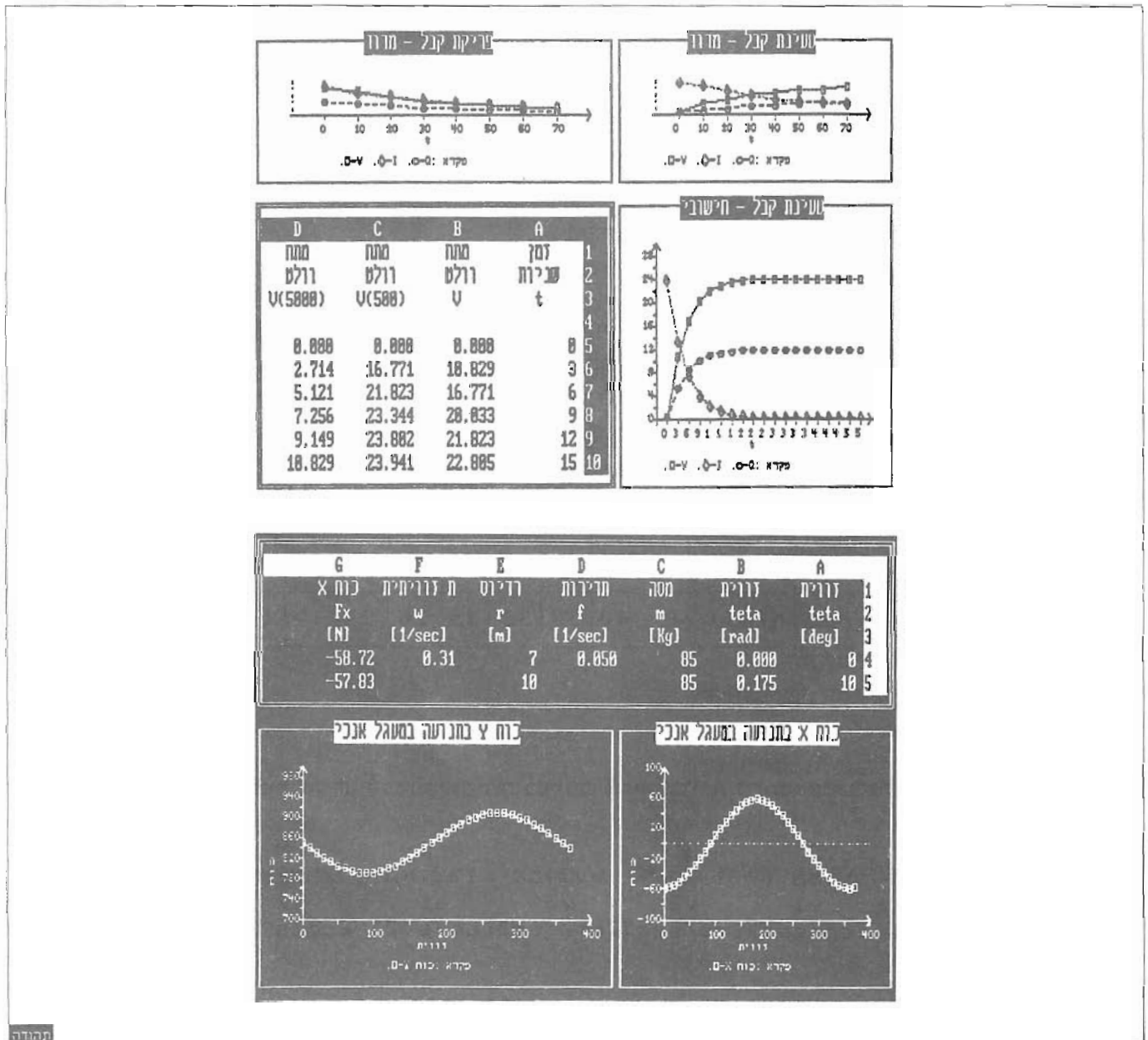
III. יישום המודל לחקר התופעה לנפילה חופשית על גרמי שמיים שונים.
 IV. הכללת המודל לבניית מודל כללי לבעיות בקינמטיקה.

בהמשך מופיעים דפי פעילות המדגימים כיצד ליישם את הגליון האלקטרוני לפעילות בנושא "קינמטיקה".

הפעילויות מתחלקות לסוגים:
 I. ניתוח נתוני ניסוי שבוצע במעבדה.
 II. בניית מודל מתוך נוסחאות מתימטיות.

II. בניית מודל מתוך נוסחאות מתימטיות.

צורות התצוגה של המודלים הגרפיים ושל המודל החישובי מגוונות, ולהלן דוגמאות מצולמות (בהקטנה) של מסכי עבודה שהתקבלו ממודלים פיסיקליים שונים. ניתן להגדיל ולהקטין כל אחד מהחלוניות על המסך כרצוננו.



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]	[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 שבינינו הוא כללי ביותר, וניתן להשתמש בו לחישובים עבור תנועה כלשהי.

a