ביסוס המתמטיקה ללומדי הפיסיקה הקשר הסינרגטי בין שני המקצועות

קורינה פולינגר, חמד"ע - מרכז לחינוך מדעי של תל - אביב - יפו
איליה מזין, בית הספר התיכון מכבים-רעות-מור, מודיעין

מבוא

היום חשוב לאתר מוקדם, ככל האפשר, אנשים שיהיו מסוגלים לפתור בעיות מורכבות בתחומי החברה והמדע. נדרשות להם תכונות כמו סקרנות, יכולות מחקריות, יוזמה ותעוזה לקבל החלטות. אנשים אלה זקוקים להכשרה מקצועית הן מבחינת הידע והן מבחינת יכולות שימוש בידע הנרכש במצבים חדשים ולצורך רכישת ידע חדש באופן עצמאי.

מחקרים רבים והניסיון שלנו בהוראת הפיסיקה מוכיחים שהבנת הפיסיקה ברמה גבוהה מותנית בשליטה טובה במתמטיקה. מושגים כמו פונקציה, קו ישר, יחס הפוך, משולש, זווית, החלפת משתנים וליניאריזציה, פרופורציה ורבים אחרים חשובים מאד בעיבוד אינפורמציה בתיאור ובהבנה של תופעות פיסיקליות.

המושג המודרני "סינרגטיקה" נטבע לראשונה ב-1977 על ידי הפיסיקאי הגרמני Herman Haken. מושג זה מבוסס על המילה הלטינית synergia שפרושה "פעולה משותפת" וכוונתו ששניים או יותר גורמים הפועלים יחד יוצרים תוצר משמעותי יותר וחזק יותר מאשר היינו מצפים מסכום התוצרים הנפרדים של כל אחד מהם.

אנו טוענים שבין פיסיקה למתמטיקה קיים באופן טבעי קשר סינרגטי. יצירת התנאים לשימוש בקשר סינרגטי זה יכולה לגרום אצל לומדי פיסיקה בחטיבה העליונה לשיפור משמעותי בהבנת המושגים, התהליכים הפיסיקליים והקשרים ביניהם.

אנו מציעים גישה שונה בהוראת הפיסיקה בחטיבה העליונה, המבוססת על העיקרון הסינרגטי בו הפיסיקה והמתמטיקה מתחברים בתהליך ההוראה בהיקף הנדרש בתכניות הלימודים, ופיתחנו תכנית חדשה המבוססת על גישה זאת[1].

רקע ורציונל

תוכניות הלימודים בפיסיקה ובמתמטיקה ברוב מדינות העולם אינן מתואמות - לא מבחינת התוכן ולא מבחינת ההצגה. ייתכן שתלמיד המתחיל ללמוד פיסיקה יפגוש מושגים אותם למד קודם, אך אינו יוכל לזהותם בגלל השוני שבהצגתם. זה יוצר קושי ותחושת תסכול אצל תלמידים ולמעשה מעכב את התקדמותם.

מתמטיקה ופיסיקה הם שני מקצועות אותם מלמדים בנפרד מורים שרכשו את השכלתם והכשרתם באופנים שונים; ברוב המקרים למורי הפיסיקה יש ידע מתמטי רחב, לעומת זאת, הידע בפיסיקה של חלק ממורי המתמטיקה הוא מועט.

יתר על כן, לפעמים נושאים הנלמדים בפיסיקה דורשים מהתלמיד ידע מתמטי בנושאים שטרם נלמדו בשיעורי המתמטיקה, מצב המחייב את מורה הפיסיקה להסביר באופן עצמאי את הנושאים המתמטיים הרלוונטיים.

A.C. Fischer-Cripps[2] מציין שתלמידי פיסיקה לומדים מתמטיקה עם מתמטיקאים, המלמדים ללא שום קשר למדעי הטבע ולפיסיקה.

בדיקות שנערכו בקרב מורי המתמטיקה מראות שרוב מורי המתמטיקה לא קיבלו הכשרה פיסיקלית ולכן אינם יוצרים קשר עם עולם הפיסיקה בעבודתם בכיתות. כתוצאה מכך מתקשים התלמידים ביישומי המתמטיקה בהקשר לתופעות הפיסיקליות.

מחקרים וניסיון בהוראת הפיסיקה מגלים קשיים רבים אצל התלמידים בהבנה ובהפנמה של החומר הנלמד בחטיבה העליונה בפיסיקה ובעיקר במכניקה, הנלמדת ראשונה. לא מעט מקשיים אלה נובעים מליקויים בשליטה בטכניקות המתמטיות ובהבנת המתמטיקה הנדרשת להסברת התופעות הפיסיקליות הנלמדות.

E.F. Redish, J.M. Saul and R.N. Steinberg[3] מדגישים שלתלמידים רבים אין ניסיון בהוכחות ופיתוחים מתמטיים; הם לא מיחסים חשיבות ואינם מקדישים מחשבה לתהליך ההוכחות המתמטיות של הנוסחאות השונות בפיסיקה, אלא מסתפקים בשימוש בתוצר הסופי. פעמים רבות נכשלים התלמידים בזיהוי הקשר הפיסיקלי הטמון במשוואה ובמקום זה הם משתמשים במשוואה רק במשמעות האריתמטית - כדרך לחישוב מספרי ולא כביטוי למשמעות הפיסיקלית.

ידוע שתלמידים רבים הלומדים פיסיקה בכיתות הגבוהות, מגיעים עם מטען ידע במתמטיקה, אבל אינם מסוגלים להשתמש בו ברמה המתאימה ליישום בלימודי הפיסיקה.

חשיבות התוכנית

כל מורה פיסיקה נתקל בכיתותיו באי-הבנה של מושגים מתמטיים. המורה נאלץ להפסיק את הלימוד השוטף ולעבור למושג המתמטי הבעייתי, אבל ללא הכנה מוקדמת וללא אמצעי עזר מתאימים. בסיטואציה כזאת מתייחסים התלמידים לקושי המתמטי כאל קושי בלימודי פיסיקה, מתייאשים וכתוצאה מכך חלק מהם מחליטים לעזוב את המגמה.

לפי הנתונים שפורסמו בחוזרי מפמ"ר הפיסיקה, יש בשנים האחרונות ירידה במספר הנבחנים ובציון הממוצע הסופי ועלייה באחוז הנכשלים. לדוגמה בתשס"ז (לעומת תשס"ו - בסוגריים):

שם השאלון	מס' הנבחנים	ציון סופי ממוצע	אחוז הנכשלים
3 יח"ל	(1170) 880	(71.4) 69.1	(18) 23
מכניקה	(10725) 10427	(82.2) 79.0	(5) 8
חשמל	(8873) 8705	(80.7) 78.3	(7) 11
קרינה וחומר	(8519) 8352	(78.5) 77.6	(8) 10

ברמה כלל ארצית קיימת נשירה של כ-10% מהתלמידים במהלך כל אחת משלוש שנות לימוד הפיסיקה בחטיבה העליונה.

עובדות אלה נובעות, לדעתנו, במידה רבה מבסיס בלתי מספיק במתמטיקה ומאי-יכולת ליישמו בלימודי הפיסיקה.

התכנית שלנו[1] הוצגה בכנס מורים לפיסיקה בירושלים ב-2005, ובכנס הבינלאומי בחסות UNESCO "פיסיקה במערכת ההשכלה העכשווית" שהתקיים בקיץ 2007 בעיר סנט- פטרבורג. היא זכתה בהתעניינות רבה וזכתה לתמיכה ואהדה מנציגי מדינות שונות שהשתתפו בכנס.

מטרות ופיתוח התכנית

התשובה שלנו לצורך כל כך חיוני בחיזוק הבסיס המתמטי ללימודי פיסיקה בחטיבה העליונה היא בניית תוכנית ייחודית המאפשרת, לפי דעתנו, להתמודד עם הבעיה המתוארת. זאת בעצם שיטה אחרת להוראת הפיסיקה. שיטה זאת מתאימה לרוח דבריו של D. Hammer[4] הדוגל בצורך לגרום לקהילת מורי הפיסיקה לבדוק ולהעריך מחדש את שיטות ההוראה הקונוונציונליות.

מטרות תוכניתנו הן:

1. לשפר את יכולת ההתמודדות של התלמידים עם הרמה הנדרשת לפי תכנית הלימודים ועל ידי כך למנוע את הרתיעה שלהם מפיסיקה .
2. למשוך ללימודי הפיסיקה תלמידים בעלי פוטנציאל גבוה אבל ביטחון עצמי נמוך (בגלל אי שליטה מספקת במתמטיקה) ולמנוע נשירתם העתידית.
3. להעמיק את הבנת התופעות הפיסיקליות ולקרב את התלמידים לפיסיקה על ידי הפנמה אמיתית של החומר הנלמד.

השגת מטרות אלו אמורה להוביל להגדלת מספר הבוחרים בפיסיקה בקרב התלמידים בכלל והתלמידות בפרט, להקטנת מספר הנושרים בדרך לסיום וגם לשיפור התוצאות בבחינות הבגרות.

בניית התכנית התחילה במיפוי כל הנושאים המתמטיים הנדרשים ללימודי הפיסיקה בבית הספר התיכון, בהתאם לתכניות הלימודים ברמות של 3 ו- 5 י"ל. עבור כל נושא מתמטי ציינו מהם הנושאים בלימודי הפיסיקה הנדרשים.

הפעלת התכנית

להשגת המטרות פיתחנו תכנית המאפשרת מעבר מהידע המתמטי ליישומו בלימודי הפיסיקה באמצעות תהליך הדרגתי, מבוקר, ממוקד ושיטתי.
הניסיון שלנו בהוראת הפיסיקה, כמו גם שיחות עם עמיתינו בעבודה זאת, הובילו לאמונה שחיזוק הנושאים המתמטיים צריך להתבצע תוך כדי הוראת הפיסיקה באופן שיטתי ורק כך ישתפרו במידה ניכרת התוצאות בלימודי הפיסיקה.

אסטרטגיית העבודה המומלצת על ידינו למורי הפיסיקה, כדי להשיג את המטרות, כוללת מספר פעולות:

1. לרענן מושגים ונושאים שנלמדו בשנים קודמות בשיעורי המתמטיקה והם רלוונטיים ללימודי הפיסיקה.
2. להסביר מושגים ונושאים מתמטיים, שטרם נלמדו בשיעורי המתמטיקה.
3. "לתרגם" את משמעויות המושגים מ"שפת המתמטיקה" ל"שפת הפיסיקה", על מנת ליצור אצל תלמידי הפיסיקה את התובנה, שלמעשה מדובר בשתי ה"שפות" על אותם מושגים.

הפעלת התוכנית מתבצעת בשני שלבים:

- השלב הראשון הינו תיאורטי ובו מתבצע רענון של נושאים מתמטיים שנלמדו בעבר בשיעורי מתמטיקה והכרה של נושאים מתמטיים שטרם נלמדו.
- השלב השני בהפעלת התכנית הינו יישומי ומטרתו להבטיח שהמעבר ממתמטיקה לפיסיקה יופנם ויאפשר בהמשך הבנה מעמיקה של התופעות הפיסיקליות.

להפעלת התוכנית בשני שלביה זקוק מורה הפיסיקה לחומרי עזר זמינים.

עד עכשיו יישמנו את התפיסה הזאת בפיתוח והוצאה לאור של חוברת[1] המכסה את תוכנית הלימודים במכניקה הקלאסית, המרכזית בלימודי הפיסיקה. בכוונתנו להמשיך בפיתוח חומרי עזר הנדרשים לשאר הנושאים.

על פי הקונספציה שלנו צריכים חומרי העזר להיות מסודרים לפי הפרקים בתכנית הלימודים הרשמית, כאשר בכל פרק יש לכלול שלושה חלקים:

1. **תקציר הנושאים המתמטיים הנדרשים**. בנספח 1 מופיעה דוגמה בנושא אינטגרל מסוים של פונקציה, הנלקח מפרק א' של החוברת. בדוגמה זאת מוצגת גישה שונה מהגישה המוכרת לתלמידים משיעורי המתמטיקה. חשוב להדגיש, לצורך לימודי פיסיקה, מדוע מוצאים את ערך השטח שמתחת לגרף על ידי חישוב אינטגרל מסוים.
2. **הבהרות והדגשים להתאמת מושגים מ"עולם המתמטיקה" ל"עולם הפיסיקה"**. בנספח 2 מופיע חלק זה עבור הנושא "קינמטיקה של תנועה לאורך קו ישר".
3. **אוסף תרגילים ובעיות** רלוונטיים לפרק מסודרים לפי דרגת קושי. בנספח 3 יש מספר תרגילים בנושאי לימוד שונים בתחום הפיסיקה. תרגילים אלה מטפלים בהיבטים לא שגרתיים שאינם מטופלים בלימודי המתמטיקה, כמו ליניאריזציה ואנלוגיה מתמטית.

טבלה 1 מבליטה את הדמיון הפורמלי (אנלוגיה מתמטית) בין ביטויים מתמטיים המתייחסים לגדלים פיסיקליים שונים.
התכנית ניתנת להפעלה בכל כיתה בה מלמדים פיסיקה ללא תלות בספר הלימוד.

במציאות הקיימת בבתי הספר, אפילו באותה קבוצת לימוד, יכולים להימצא תלמידים ברמות ידע מתמטי שונות; תכניתנו משתדלת לתת מענה לכולם. כל מורה המפעיל את התכנית יכול להחליט כיצד תילמד: בצורה פרונטלית, קבוצתית, זוגית או אישית, בזמן השיעורים או במסגרת שיעורי הבית.
התכנית מיועדת לתלמידים ולתלמידות הלומדים פיסיקה כמקצוע בחירה לקראת בחינת בגרות בבתי ספר על-יסודיים ברמה של 3 או 5 יח"ל.
מומלץ להתחיל בהפעלת התוכנית יחד עם התחלת לימודי הפיסיקה וזאת בהתאם לתוכנית הלימודים בכל בית ספר: בכיתה ט', בכיתה י' או בכיתה י"א.

אינטגרל	נגזרת	הקשר הדיפרנציאלי	גדלים
$\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\,dt$	$v(t) = \frac{dx}{dt}$	$dx = v(t)dt$	x - מקום Δx - העתק v - מהירות
$W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\,dx$	$F(x) = \frac{dW}{dx}$	$dW = F(x)dx$	W - עבודה F - כוח
$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t)\,dt$	$P(t) = \frac{dW}{dt}$	$dW = P(t)dt$	P - הספק t - זמן
$m = \int_{x_1}^{x_2} \rho(x)\,dx$	$\rho(x) = \frac{dm}{dx}$	$dm = \rho(x)dx$	m - מסה של מוט דק ρ - צפיפות אורכית
$q = \int_{t_1}^{t_2} I(t)\,dt$	$I(t) = \frac{dq}{dt}$	$dq = I(t)dt$	q - מטען חשמלי I - עוצמת זרם
$Q = \int_{T_1}^{T_2} mc(T)\,dT$	$c(T) = \frac{dQ}{dT}$	$dQ = c(T)dT$	Q - כמות חום T - טמפרטורה c - קיבול חום סגולי

טבלה 1: התאמה בין מושגים מתימטיים ופיסיקליים מתאימים

מסקנות

בעקבות הפרסומים החוזרים ונשנים על הירידה המתמדת והמשמעותית בהישגיהם של תלמידי ישראל במתמטיקה, אנחנו משוכנעים שמחובת מורי הפיסיקה לחזק את הידע המתמטי הדרוש ללימודי הפיסיקה בחטיבה העליונה.

דעתנו היא חד משמעית: חיזוק הידע המתמטי צריך להתבצע על ידי מורי הפיסיקה דרך עבודה רציפה של תמיכה וחיזוק מתמטי לכל אורך השנים בהן נלמדת הפיסיקה. רק כך יכולים תלמידי הפיסיקה להפנים ולהפיק תועלת מהעזרה שהם מקבלים במתמטיקה במסגרת שיעורי הפיסיקה. בשנים בהן הופעלה התכנית בכיתותינו התקבלו תגובות חיוביות מאד לא רק מהתלמידים אלא גם מהוריהם. ההורים הרגישו עד כמה חיונית התכנית להצלחת ילדיהם בלימודי הפיסיקה.

התכנית שלנו מיועדת לעזור לתלמיד להתגבר על המחסומים המלאכותיים שבין המתמטיקה לפיסיקה, לחסוך זמן ואנרגיה וכתוצאה מכך לייעל את תהליך הלמידה והפעילות המעשית.

אנחנו חושבים, שהתכנית שפיתחנו מביאה להתאמה בין מושגים פיסיקליים ומתמטיים מקבילים, מקילה על מעבר אופרטיבי אל נושאים מתמטיים החיוניים ללמודי הפיסיקה ברגע נתון ועל היווצרות מערכת סינרגטית ביניהם. זה מאפשר יצירת ידע אינטגרטיבי חדש ואיכותי.

אצל התלמיד נוצרת תמונה מלאה של עולם "פיסיקלי-מתמטי" המקשרת בין שני העולמות בדרך הטבעית ביותר.

שיחות עם עמיתים ועם הורי התלמידים העובדים לפי

התוכנית מחזקות את הטענה שהשילוב הסינרגטי בין מתמטיקה לפיסיקה יוצר ישות חדשה המעלה את המוטיבציה, את הביטחון העצמי ואת ההצלחה של התלמידים.

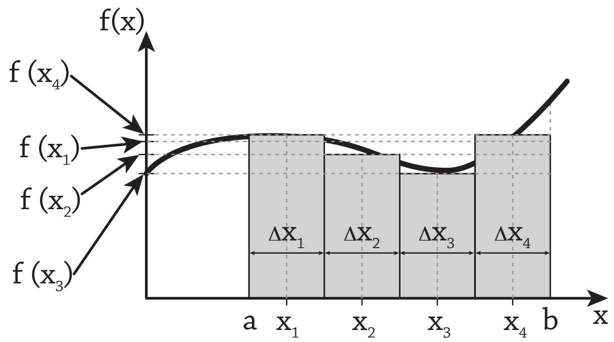
משוב מתלמידים מראה שנוצרת אצלם תחושה שהמערכת תומכת בהם על ידי טיפול בבעיה מאוד אקוטית עבורם. הם מקבלים ידע ואמצעים כדי להבין ברמה טובה את תופעות הטבע עליהן הם לומדים בשיעורי הפיסיקה.

ספרות ולקריאה נוספת

1. פולינגר ק', מזין, א', כלים מתמטיים לפיסיקאים, מרכז מורים ע"ש פמלה וסטנלי צ'ייס, חמד"ע 2007 .
2. Fischer-Cripps, A.C., The Mathematics Companion. Essential and Advanced Mathematics for Scientists and Engineers, IOP Publishing Ltd. 2005
3. Redish, E.F., Saul, J.M., Steinberg, R.N., Student expectations in introductory physics, Am. J. Phys. 66(3), 1998, 212-224.
4. Hammer, D., Student resources for learning introductory physics, Phys. Educ. Res., Am. J. Phys.Suppl. 68(7), 2000, S52-S59.
5. רוזן, ע', מכניקה ניוטונית, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, 2005.
6. תכניות הלימודים ברמה של 3 יח"ל ו- 5 יח"ל, משרד החינוך תשס"ו.

נספח 1
אינטגרל מסוים של פונקציה

- **האינטגרל המסוים** הוא דרך לחישוב השטח שבין גרף הפונקציה לבין ציר המשתנה הבלתי תלוי.
- החישוב המקורב של השטח יכול להיעשות על ידי חלוקתו למלבנים (כי חישוב שטח מלבן הוא פשוט) וחיבור שטחי כל המלבנים - תרשים 1.



תרשים 1 - קירוב שטח כסכום שטחי מלבנים

- השטח המקורב הוא סכום שטחי המלבנים שנבנו:

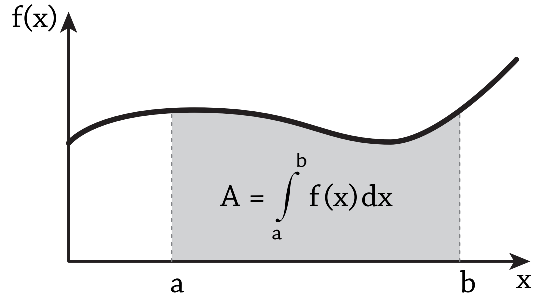
$$A \approx f(x_1)\cdot\Delta x_1 + f(x_2)\cdot\Delta x_2 + f(x_3)\cdot\Delta x_3 + f(x_4)\cdot\Delta x_4 = \sum_{i=1}^{4} f(x_i)\cdot\Delta x_i$$

- הקירוב הולך ומשתפר ככל שהרוחב Δx של המלבנים שנבנו הולך וקטן, וכך מספר המלבנים הולך וגדל. "הקירוב" האופטימאלי (כלומר הקירוב שייתן ערך מדויק של השטח - תרשים 2) מתקבל כאשר רוחב המלבנים שואף לאפס וכתוצאה מכך מספר המלבנים שואף לאינסוף:

$$A \approx f(x_1)\cdot\Delta x_1 + f(x_2)\cdot\Delta x_2 + f(x_3)\cdot\Delta x_3 + f(x_4)\cdot\Delta x_4 + \dots f(x_i)\cdot\Delta x_i = \sum_{i=1}^{n} f(x_i)\cdot\Delta x_i$$

$$A = \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n} f(x_i)\cdot\Delta x_i = \int_a^b f(x)\,dx$$

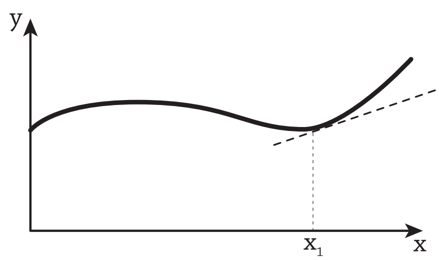
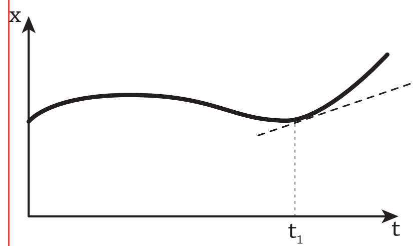
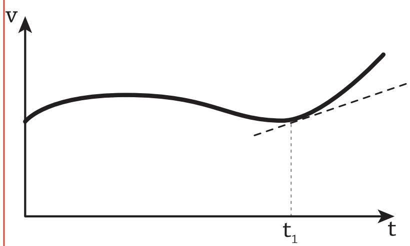
בכתיב זה dx מסמן את הרוחב הקטן מאד של כל אחד מהמלבנים, $f(x)$ הוא הגובה של המלבן הנבנה בסביבתו הקרובה מאד של x והסימן $\int_a^b$ מסמן את האינטגרל המסוים של הפונקציה $f(x)$ בין הגבולות $x=a$ עד ל- $x=b$.



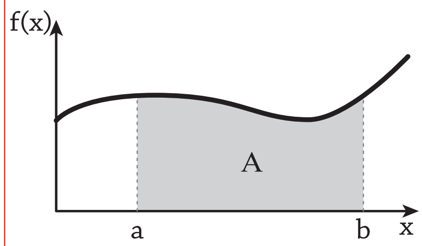
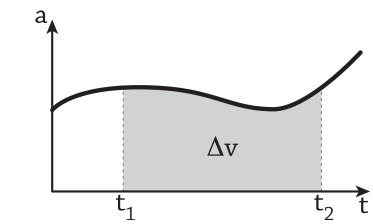
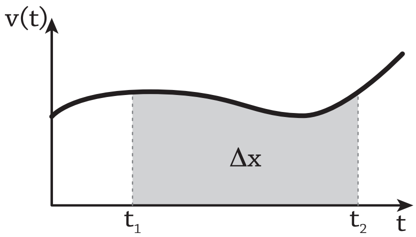
תרשים 2 - השטח המחושב באמצעות אינטגרל מסוים

נספח 2

התאמת מושגים מעולם המתמטיקה לעולם הפיסיקה - דוגמה

מתמטיקה	פיסיקה	
	מקום כפונקציה של זמן	**מהירות כפונקציה של זמן**
נגזרת פונקציה $$y' = f'(x) = \frac{dy}{dx} = \lim_{x_1 \to x_2} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$	מהירות היא קצב שינוי המקום $$v = x'(t) = \frac{dx}{dt} = \dot{x}^{*}$$	תאוצה היא קצב שינוי המהירות $$a = v'(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$$
 שיפוע המשיק לגרף בנקודה x_1 הוא נגזרת הפונקציה $y(x)$ באותה נקודה	גרף מקום - זמן  שיפוע המשיק לגרף ברגע t_1 הוא המהירות הרגעית בזמן t_1	גרף מהירות - זמן  שיפוע המשיק לגרף ברגע t_1 הוא התאוצה הרגעית ברגע t_1
בנקודות הקיצון (מכסימום או מינימום) שיפוע המשיק מתאפס (נגזרת הפונקציה מתאפסת)	בנקודות הקיצון של הפונקציה מקום-זמן המהירות הרגעית מתאפסת	בנקודות הקיצון של הפונקציה מהירות-זמן התאוצה הרגעית מתאפסת
נגזרת הפונקציה היא שיפוע המשיק לגרף הפונקציה	נגזרת המקום היא הקצב הרגעי של שינוי המקום והיא המהירות הרגעית	נגזרת המהירות היא הקצב הרגעי של שינוי המהירות והיא התאוצה הרגעית

בפיסיקה נהוג לפעמים לסמן נגזרת לפי הזמן על ידי נקודה מעל למשתנה שנגזר.

מתמטיקה	פיסיקה	
	תאוצה כפונקציה של זמן	מהירות כפונקציה של זמן
שטח נמדד ביחידות אורך בחזקה 2, כמו למשל m^2 (מ"ר) או cm^2 (סמ"ר)	השטח הכלוא בין הגרף לבין הציר האופקי מייצג גודל פיסיקלי שיחידת המדידה שלו היא מכפלה של יחידות המדידה המתאימות לשני הצירים	
השטח שמתחת לגרף שווה לאינטגרל של הפונקציה בין הגבולות הנתונים	השטח שמתחת לגרף תאוצה-זמן שווה לשינוי במהירות בפרק זמן נתון	השטח שמתחת לגרף מהירות-זמן שווה להעתק (שינוי במקום) הגוף בפרק זמן נתון
 	 	
$A = \int_a^b f(x)\,dx = \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n} f(x_i)\,\Delta x_i$	$\Delta v = \int_{t_1}^{t_2} a(t)\,dt$	$\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\,dt$

נספח 3
תרגילים

תרגיל במתמטיקה

נתונות שתי פונקציות (I) $7 = y + x$ ו- (II) $x = 2y + 1$

א. מצא את שיעורי נקודות החיתוך עם הצירים של כל אחד משני הגרפים.

ב. סרטט את שני הגרפים במערכת צירים אחת.

ג. מצא את שיעורי נקודת החיתוך בין שני הגרפים.

ד. חשב את השטח הכלוא בין שני הגרפים לבין ציר x ברביע הראשון.

ה. כיצד ישתנו, אם בכלל, תשובותיך לסעיפים א'-ד' אם מחליפים את האותיות x ו-y באותיות t ו-v בהתאמה?

תרגילי מעבר ממתמטיקה לפיסיקה

1. במעבדת הפיסיקה של מרכז מדעי ביצע תלמיד ניסוי באמצעות מערכת ממוחשבת כדי לקבוע את מיקומו של גוף הנע בקו ישר. תוצאות המדידות מופיעות בטבלה הבאה:

מקום x(cm)	0ד	1.20	2.88	5.04	7.68	10.80	14.40	18.48	23.04	28.08	33.60	39.60
זמן t(s)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22

א. לפי התוצאות שהתקבלו סרטט את הגרף של מקום הגוף x (משתנה תלוי) כפונקציה של הזמן t (משתנה בלתי תלוי).

ב. בהנחה שהפונקציה $x(t)$ היא ריבועית, רשום משוואה מתאימה לגרף שבנית בסעיף א'. (זכור - הביטוי הכללי של פונקציה ריבועית במתמטיקה הוא: $y = ax^2 + bx + c$, כלומר עליך לחשב את שלושת המקדמים a, b, c).

ג. כידוע, שיפוע המשיק לגרף $x(t)$ מהווה בכל נקודת זמן את המהירות הרגעית של הגוף. האם מהירות הגוף תוך כדי תנועתו גדֵלה, קטֵנה או אינה משתנה? הסבר.

ד. כידוע, פונקציה מקום-זמן ריבועית מתארת תנועה שוות תאוצה. הביטוי הכללי של הפונקציה מקום-זמן במקרה זה הוא: $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$. מתוך השוואה בין הביטוי שקיבלת בסעיף ב' לבין ביטוי כללי זה, מצא את הערכים של קבועי התנועה x_0 , v_0 , a .

ה. על סמך תשובתך לסעיף ד', רשום ביטוי המתאר את מהירות הגוף כפונקציה של הזמן $v(t)$ וסרטט את גרף הפונקציה הזאת.

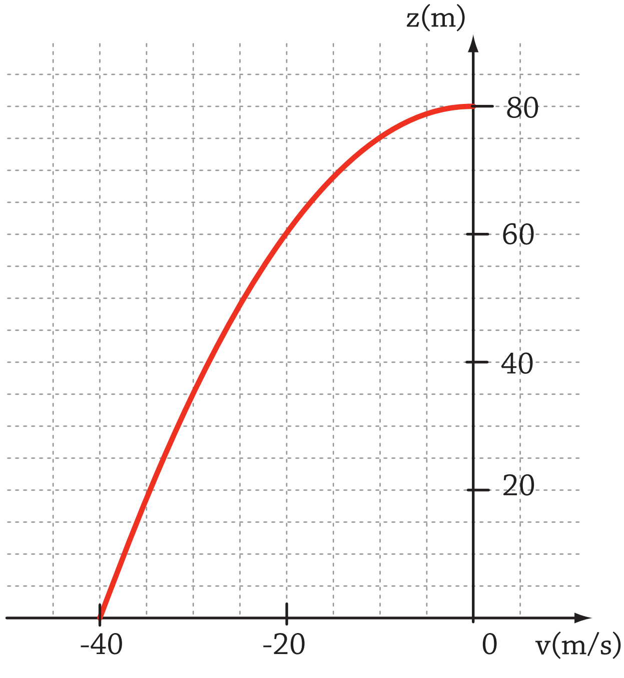
ו. האם יש לשיפוע גרף הפונקציה $v(t)$ יחידות פיסיקליות? אם כן מהן?

2. לפניך מופיע חלק מהגרף "מקום כפונקציה של מהירות" לגבי גוף הנזרק אנכית מעלה, כפי שהתקבל במעבדת הפיסיקה באמצעות מערכת ממוחשבת.

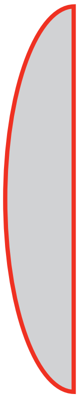
א. ידוע שבהנחה שהתנגדות האוויר זניחה, הגרף הוא פרבולה, כלומר הוא מתואר על ידי הפונקציה הריבועית $y = ax^2 + bx + c$. בעזרת הגרף הנתון (בחר שלוש נקודות ששיעוריהן ברורים), חשב את המקדמים a, b, c.

ב. ידוע שגוף הנזרק אנכית מעלה, בהזנחת התנגדות האוויר, נע בתנועה שוות-תאוצה. מהו הביטוי האנלוגי לתבנית שקיבלת בסעיף א' המקשר בין מקום הגוף לבין מהירותו הרגעית?

ג. השווה בין הפונקציה הריבועית שקיבלת בסעיף א' לבין הביטוי שבחרת בסעיף ב', התאם בין המקדמים ומצא את הגודל של תאוצת הנפילה החופשית.



יישור גרף של פונקציה לא ליניארית



1. עדשה העשויה מזכוכית (n=1.5), אשר צורת החתך שלה מופיעה בתרשים, משמשת לניסוי מעבדה. בניסוי מעמידים עצם במרחקים u שונים מהעדשה ומודדים את המרחקים v מהעדשה לדמות הנוצרת בכל פעם. התקבלו התוצאות הבאות:

u (cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
v (cm)	-17	-100	150	68	50	44	38	36

א. סרטט גרף של v כפונקציה של u. מהי צורת הגרף שהתקבל ?

ב. מהם שני המשתנים החדשים שאפשר להגדיר, כך שבינהם יהיה קשר ליניארי? נמק את בחירתך.

ג. הוסף לטבלה שתי שורות חדשות עם הכותרות והיחידות הרלוונטיות, בהן רשום את ערכיהם של שני המשתנים החדשים שהגדרת בסעיף ב'. סרטט גרף ליניארי המתאר את הקשר בין המשתנים החדשים.

ד. חשב את רוחק המוקד של העדשה בעזרת הגרף שסרטטת.

2. תלמידות ביצעו סדרת ניסויים שבהם הקרינו אור באורכי גל שונים על הקתודה של תא פוטואלקטרי. התוצאות שהתקבלו באחד הניסויים מובאות בטבלה שלפניכם:

אורך הגל λ (nm)	253.5	312.5	365.0	404.7	433.9
מתח עצירה V_0(V)	2.57	1.67	1.09	0.73	0.55

א. סרטט גרף של מתח העצירה כפונקציה של אורך הגל. מהי צורת הגרף ?

ב. סרטט גרף חדש **ליניארי**. בחר לשם כך משתנים מתאימים.

ג. מצא מתוך הגרף החדש את קבוע פלנק ואת פונקצית העבודה של הקתודה.

ד. מהו אורך הגל המכסימלי עבורו נפלטים אלקטרונים מן הקתודה של התא הנתון?

ה. האם אור לייזר בעל $\lambda = 632.8$ nm ישחרר אלקטרונים מן הקתודה של התא?

ו. בניסוי אחר חקרו התלמידים את זרם הרוויה עבור מקורות אור שונים. חשב את ההספק של מקור האור במקרה שזרם הרוויה $2 \cdot 10^{-7}$A ואורך הגל של האור הוא 500nm. הנח כי רק 0.5% מן הפוטונים הנפלטים ממקור האור גורמים לפליטת אלקטרונים מן הקתודה.

אנלוגיה מתמטית בין תופעות פיסיקליות.

לפניך שתי טבלאות המכילות תוצאות של שני ניסויים. הטבלה הראשונה מתייחסת להתפרקות של חומר רדיואקטיבי והטבלה השנייה מתארת תהליך פריקה של קבל.

30	36	43	51	60	71	85	101	120	143	170	202	240	286	340	M(g)
84	78	72	66	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	t(min)

טבלה 1

q(μC)	340	286	240	202	170	143	120	101	85	71	60	51	43	36	30
t(ms)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84

טבלה 2

א. הסבר כיצד יתכן שבשתי הטבלאות המתארות שני תהליכים פיסיקליים שונים רשומים אותם ערכים מספריים.

ב. בעזרת הערכים הרשומים בשתי הטבלאות סרטט שני גרפים של "המשתנה התלוי" כפונקציה של הזמן - האחד ידנית על נייר מילימטרי והשני באמצעות גיליון אלקטרוני.

ג. בעזרת הגרפים שסרטטת מצא אחרי כמה זמן:

(1) התפרקה מחצית ממסת החומר הרדיואקטיבי המקורי.

(2) התפרק הקבל מ-63% ממטענו ההתחלתי.

ד. (1) מה תוכל לומר על מסת החומר הרדיואקטיבי המקורי ברגע שמצאת בסעיף ג (1) ?

(2) מה תוכל לומר על כמות המטען שנשארה בקבל ברגע שמצאת בסעיף ג (2)?

ה. הוסף לטבלה הראשונה שורה ומלא אותה בערכים של $\ln\frac{M}{M_0}$. סרטט גרף חדש של $\ln\frac{M}{M_0}$ כפונקציה של הזמן. הוסף יחידות מדידה כדרוש.

ו. הסבר מדוע, לפי דעתך, התבקשת לסרטט את הגרף החדש וחשב בעזרתו את קבוע הדעיכה של החומר הרדיואקטיבי המקורי.

ז. על סמך האנלוגיה המתמטית בין שני התהליכים הפיסיקליים חשב את קבוע הזמן של מעגל הפריקה של הקבל. פרט את צעדיך.

תהודה