



פיסיקה עם חיוך בחטה"ב: כיצד להסביר תופעות בעזרת אסטרטגיה "איכותית" לפתרון בעיות

רוני מועלם, אורט אבין, רמת גן והמחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות
בת שבע אלון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

מבוא

מורים רבים המלמדים את מקצוע הפיסיקה בחטיבה העליונה, אינם מתייחסים כמעט אל הידע הקודם של תלמידיהם הצעירים, אותו רכשו בחטיבת הביניים. חלקם מניחים כי התלמידים מגיעים לחטיבה העליונה כ"לוח חלק" ("טבולה ראסה"). במאמר זה ננסה לתאר את הנעשה מעבר להרי החושך (חט"ב), ונספר על גישה חדשה להוראת מכניקה, העושה את צעדיה הראשונים במסגרת לימודי המדעים בכיתות ח'–ט' ועל הישגי השיטה. מחקרים שונים מראים שתלמידים, בשלבים שונים של לימודיהם (גם כמתמחים בתיכון ובלימודים גבוהים), מתקשים בהבנת המושגים והעקרונות הבסיסיים בתחום. ולכן, חוקרים רבים מקרב קהיליית הוראת הפיסיקה מדגישים את החשיבות של רכישת מושגי יסוד בסיסיים בפיסיקה כבר בחטיבת הביניים וטוענים שרצוי ללמד מושגים אלה בהקשרים הלקוחים מסיטואציות יום יומיות מוכרות. מסיבה זו ניתן להציב כמטרה מרכזית של למידת מקצוע הפיסיקה בחטיבת הביניים, את ההקנייה של **הבנה איכותית של מושגים ועקרונות בסיסיים ושימוש בהם במתן הסברים ותחזיות לאירועים יום-יומיים פשוטים**.

ניתן לייחס בעיות בהוראת פיסיקה בחט"ב לכמה גורמים:

- (1) גישות ההוראה הקיימות בדרך כלל מיושנות ופורמאליות ואינן מאפשרות התנסות פעילה ומספקת של התלמיד עם תופעות.
- (2) הזמן המוקצב ללימודי הפיסיקה מצומצם ביותר ואינו מאפשר לימוד מעמיק.
- (3) תלמידים רבים אינם מכירים ברלוונטיות הפיסיקה לחיי היום יום ותופסים את המקצוע כקשה. בנוסף, כמו בכל גיל, לתלמידים תפיסות אינטואיטיביות שלא בהכרח עולות בקנה אחד עם הידע הנורמטיבי בפיסיקה.
- (4) רוב מורי המדעים בחטה"ב התמחו בבילוגיה וידעוניהם בפיסיקה מצומצמות. חלק אחר של המורים המלמדים "הושאלו" מהתיכון והם מומחים בתחום, אך שיטות ההוראה בהן הם מלמדים, לא תמיד מתאימות לחט"ב.

על מנת להשיג את המטרות שצוינו לעיל, ובפרט לפתח

יכולת למתן הסברים באמצעות הפיסיקה, יש צורך להקנות לתלמידים בראש וראשונה מסגרת מושגית מתאימה. לשם כך פיתח מרדכי בן צוק, במסגרת פרויקט מטמון¹ (מדע וטכנולוגיה מכון ויצמן) יחידת לימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה"¹ הדורשת כ-30-15 שעות הוראה, ומטרתה לבנות מסגרת מושגית ולשפר את רמת הידע וההבנה בפיסיקה של התלמיד בנושאים בסיסיים במכניקה. הייעד המרכזי של יחידת לימוד זו הוא פיתוח יכולת התלמיד לנתח סיטואציות רלוונטיות מחיי היום יום במונחים פיסיקליים, ושינוי דעתו (לחיוב) על הפיסיקה וחשיבותה. יחידת הלימוד מפתחת את מושג ה"אינטראקציה" (פעולה הדדית בין גופים) ועוסקת במושגי יסוד בסיסיים במכניקה. מושג האינטראקציה אינטואיטיבי לתלמידים ככניסה לנושא, וקל לגזור ממנו את מושג הכוח והחוק השלישי של ניוטון (ראו מאמר בתהודה המתאר את פרויקט מטמון)².

מחקר שערכנו על הפעלת היחידה הנ"ל הצביע על כך שלמרות שתלמידים רכשו הבנה בסיסית של המושגים המרכזיים, עדיין התקשו ביישום המושגים לפתרון בעיות שונות ולבניית הסברים. ממצאים אלה הצביעו על כך שאין די במסגרת המושגית וכי יש להקנות בנוסף לכך גם כלים לניתוח תופעות באמצעות מושגים אלה. ניתוח כזה מחייב שימוש בתהליכים שונים הבאים לידי ביטוי בפתרון בעיות. לדוגמא, כדי להסביר תופעה הכרוכה בהפעלת כוחות ושינויים בתנועה, יש צורך להתייחס ל"דיאגרמת כוחות". במילים אחרות, יש להקנות לתלמידים גם אסטרטגיה ופרוצדורות לפתרון בעיות בנוסף למסגרת המושגית. אך זו אינה משימה פשוטה. חוקרים בתחומי הקוגניציה וההוראה טוענים, לא פעם, שאסטרטגיות פורמליות של פתרון בעיות נידונות לכישלון אם מנסים ליישמן בקרב תלמידי חט"ב ולכן יש להקנותם רק בשלבים מאוחרים יותר של לימוד הפיסיקה כאשר נלמדות שיטות כמותיות של פתרון בעיות. אך בהרבה בתי ספר בארץ לא מקובל ללמד פיסיקה באופן כמותי בחט"ב. בנוסף לכך, הקניית המסגרת המושגית והאסטרטגיה הרלוונטית לתחום מסוים חייבת לקחת בחשבון את הידע האינטואיטיבי שמביאים איתם התלמידים ואליו חייבים להתייחס במהלך ההוראה (ראו תרשים 1).

גישה זו פותחה במסגרת עבודת הדוקטור המתבצעת במדרשת פינברג, מכון ויצמן למדע

האסטרטגיה כוללת שלושה כלי חשיבה ובהם הוראות ביצוע ושאלות מנחות מודפסות בצבע ובצורה אטרקטיבית על כרטיסיות. כלי החשיבה מעוצבים כך שמצידה האחד של הכרטיסייה מופיעות הוראות הביצוע, ומצידה האחר שאלות מנחות שתפקידן לסייע לתלמידים לעקוב בדיוקנות אחר הוראות הביצוע ולשים דגש על עקרונות ספציפיים.

כלי החשיבה באסטרטגיה מבוססים על תרגום הסיטואציה לייצוגים חזותיים (טבלה ודיאגרמות מלבנים) ומובילים בסוף התהליך לבניית דיאגרמת כוחות הפועלים על גוף נבחר מהסיטואציה (ראו דוגמאות בהמשך).

בדרך כלל בבעיות בהן עוסקים בלימוד המכניקה, מתוארות סיטואציות העוסקות בהתנהגות גופים שונים ושאלות שאלות על גופים מסוימים. דרך הניתוח המקובלת מתמקדת בדרך כלל בגוף בודד, או בכמה גופים כבר בתחילת פיתרון הבעיה ואינה מתייחסת לכל מערכת הגופים. לעומת גישה זו, ניתן לנתח בעיה בגישה מערכתית שבה מתייחסים בתחילה למערכת כולה ומזהים אינטראקציות וכוחות הפועלים בין הגופים, ורק אח"כ מתמקדים בגופים בעלי עניין בשאלה. בשלב זה יכול התלמיד ל"שלוף" את הגוף הספציפי המעניין אותו ולבנות בקלות את דיאגרמת הכוחות המלאה המתאימה לו. כיוון שניתוח האינטראקציות והכוחות נעשה באופן שיטתי ומלא (ראו למטה), יורד הסיכוי לכך שהתלמיד לא ייקח בחשבון כוחות מסוימים. לדוגמה, גישה זו מומלצת על ידי רייף (Reif, 1995)³ ועל ידי ואן יובלן (Van Heuvelen, 1991)⁴. ברצוננו לחזור ולהדגיש כי מדובר באסטרטגיה לניתוח איכותי של סיטואציות, ולכן מושם דגש על איתור כל האינטראקציות והכוחות והתייחסות לגודלם היחסי בקביעת התנהגות הגוף. להלן תיאור קצר של הכלים השונים שהפעלתם מודגמת בהמשך.

כלי החשיבה הראשון ("אפיון מערכת") כולל שני שלבים: תרגום הסיטואציה לדיאגרמת מלבנים של המערכת ועריכת טבלת אינטראקציות של כל הגופים במערכת. השאלות המנחות הנלוות לכלי החשיבה מוודאות כי התלמידים לא השמיטו אף אינטראקציה. דיאגרמת המלבנים וטבלת האינטראקציות מאפשרת לתלמידים לערוך היכרות ראשונית עם מושג המערכת מפני שבבואם לאפיין את המערכת (תחילה על ידי דיאגרמת מלבנים ואח"כ על ידי טבלת אינטראקציות) עליהם להתמודד מיידית עם פירוק לתת-מערכות רלוונטיות.

כלי החשיבה השני ("מערכות לגופים נבחרים"): מטרתו של כלי זה להביא את התלמיד לבניית דיאגרמת כוחות של גוף נבחר. התהליך מתבצע בשני שלבים:

- סימון כל זוגות הכוחות על פני דיאגרמת המלבנים בעזרת טבלת אינטראקציות
- בחירת גוף ו"איסוף" כל הכוחות הפועלים עליו מתוך דיאגרמת המלבנים

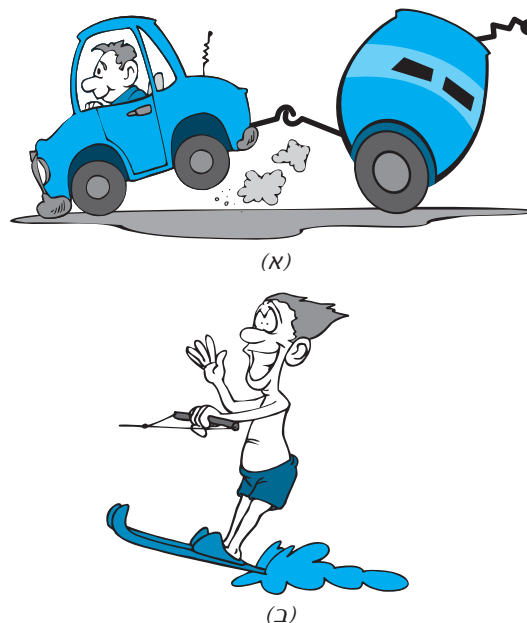


תרשים 1: שילוב בין יחידת לימוד המפתחת מסגרת מושגית לבין אסטרטגיה לפתרון בעיות

כיצד אם כן, ניתן לעשות זאת? האם נקנה לתלמידים אסטרטגיות פתרון בעיות כגון אלה הנמצאות בשימוש בחטיבה העליונה? כיצד נלמד את מושגי היסוד? כיצד ישתלבו שני מרכיבים אלה במהלך ההוראה? כיצד נתייחס לידע הקודם האינטואיטיבי של התלמידים? על שאלות אלה ננסה לתת מענה בהמשך. במאמר זה אנו מדווחים על פיתוח ומחקר מלווה, של גישת הוראה חדשה המשלבת בנייה של מסגרת מושגית עם אסטרטגיה איכותית לפתרון בעיות. הגישה עוצבה להנחות תלמידי חט"ב בחיזוי והסבר פיסיקלי של תופעות וסיטואציות מחיי היום-יום.

כלי חשיבה ושיטת ההוראה

כלי החשיבה שפותחו והנלווים ליחידת הלימוד "אינטראקציה, כוחות ותנועה" – חלק א', משמשים כמרכיבים של אסטרטגיה לניתוח פיסיקלי איכותי של סיטואציות מחיי היום יום המוצגות בצורה ציורית (ראו תרשים 2).



תרשים 2: סיטואציות הכוללות מערכות באינטראקציה

הכוחות הפועלים על הגופים שבאינטראקציה שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.

(4) אינטראקציה בין גופים תיתכן **במגע וללא מגע**. (לדוגמה, כוחות ללא מגע פועלים בין מגנטים, בין מטענים חשמליים ובין גופים כתוצאה מכבידה).

(5) **שינוי במהירותו** של גוף נקבע על ידי כל האינטראקציות בהן הוא משתתף (השקול של כל הכוחות הפועלים עליו).

(6) **חיכוך** הוא כוח המשנה את גודלו עד למקסימום התלוי בתכונות שני הגופים באינטראקציה.

(7) אינטראקציה של גוף עם **אוויר** תלויה במהירות הגוף, צורתו וצפיפות האוויר.

טבלה 1: מושגים ועקרונות יסוד

לדוגמה, נעקוב אחר מהלך ההוראה המשלב את הקניית מושגי היסוד וכלי החשיבה שתוארו, ונדגים ניתוח ספיראלי של הסיטואציה המתוארת בתרשים 3:

1. לאחר הוראת עקרונות 1 ו-2 (ראו טבלה 1), מוצגת הסיטואציה הבאה:



תרשים 3: דוגמה לסיטואציה - אדם מושך כלב, אך הכלב אינו זז

2. הפעלת כלי חשיבה ראשון ותרגום הסיטואציה, תחילה לדיאגרמת מלבנים:

אדם	רצועה	כלב
-----	-------	-----

ואחר כך לטבלת אינטראקציות:

	אדם	רצועה	כלב
אדם	0	+	-
רצועה	+	0	+
כלב	-	+	0

כאשר "+" מצוין "קיימת אינטראקציה", "-" מצוין "לא קיימת אינטראקציה" ו-"0" מצוין "לא רלוונטי" (גוף לא יכול להיות באינטראקציה עם עצמו)

השאלות המנחות מדגישות את החוק השלישי ומוודאות כי בדיאגרמה של הגוף הנבחר מופיעים כל הכוחות שפועלים על הגוף, תוך ציון הגופים המפעילים כל אחד מהכוחות. בשלב זה אין התייחסות לגודל היחסי של הכוחות המופעלים על הגוף.

כלי החשיבה השלישי ("כוחות ותנועה"): כלי זה אמור לאפשר לתלמידים להתייחס לסיטואציה ולנתח אותה באמצעות דיאגרמת הכוחות. הכלי מנחה את התלמידים לבנות דיאגרמה מלאה. אורכם היחסי של החיצים המייצגים כוחות אלה בדיאגרמה, יכול להיקבע על סמך מידע הנתון בבעיה (הכוח המופעל על גוף ימינה על ידי X גדול מזה המופעל שמאלה על ידי Y) או על פי מאפייני התנועה של הגוף. השאלות המנחות בגב כרטיס כלי החשיבה "מוודאות" כי הסיטואציה הובנה היטב. כלי זה מאפשר לתלמידים לקשור בין כוחות לבין תנועה (החוק השני של ניוטון).

מהלך ההוראה ודוגמה לשימוש בכלי החשיבה

מהלך ההוראה כולל שילוב של הקניית המושגים באמצעות היחידה "אינטראקציה, כוחות ותנועה" (חלק א'), והקניית האסטרטגיה בניתוח ספיראלי של סיטואציות מחיי היום-יום, כאשר בכל שלב משתמשים במושגים שהוקנו עד אותו שלב. במקרים מסוימים נוצרת מוטיבציה להיכרות עם מושגים נוספים הנחוצים לצורך ניתוח הסיטואציות. הוראת האסטרטגיה מתבצעת תוך שימוש במספר כרטיסיות תרגול שפותחו במיוחד לצורך כך, המתארות קריקטורות הלקוחות מחיי היומיום (ראו תרשים 2). האסטרטגיה, כאמור, מנחה את התלמידים בניתוח הסיטואציה, זיהוי כוחות הדדיים (כוחות "פעולה ותגובה") ובניית דיאגרמת כוחות של גוף בודד ושל המערכת כולה. בתהליך ההקנייה, מנותחת כל סיטואציה מספר פעמים, כאמור, כאשר בכל פעם מתבצע ניתוח התואם את הרמה המושגית אליה הגיע התלמיד, שחוזר אל הסיטואציה שוב ושוב עם המשך הלימוד, עד שהוא מסוגל לבצע את הניתוח הסופי של הסיטואציה באמצעות כל המושגים הכלולים בתוכנית. תהליך זה מאפשר לתלמיד להשיג למידה משמעותית גם אם לא הצליח להתמיד וללמוד את כל העקרונות ומושגי היסוד. טבלה 1 כוללת פרוט של המושגים ועקרונות היסוד הכלולים במסגרת המושגית של עבודה זו.

תכנים - מושגים ועקרונות יסוד:

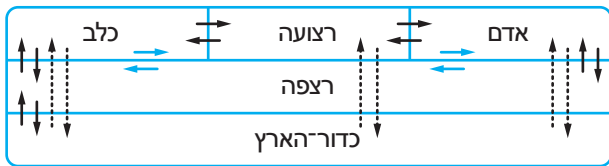
- (1) **באינטראקציה משתתפים תמיד שני גופים.**
- (2) גוף יכול להשתתף ביותר מאינטראקציה אחת עם גופים אחרים.
- (3) **עוצמת האינטראקציה נמדדת על ידי גודל הכוח.**



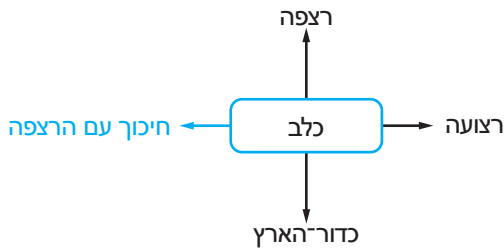
תרשים 4: בסיטואציה הבאה המשקולת הנופלת תגדיל מהירותה כלפי מטה

6. התלמיד חוזר אל שלב 4 בו קיבל סקיצה של דיאגרמת הכוחות הפועלים על הכלב. על פי הדיאגרמה ובהתאם למה שלמד בשלב 5, הכלב אמור להגדיל את מהירותו ימינה (לא מופיע חץ כלשהו שמאלה). על פי מאפייני התנועה של הגוף בסיטואציה המקורית (תרשים 2) זה אינו קורה (ידוע שהכלב אינו זז), כלומר חסר בדיאגרמה כוח נוסף שמונע תנועה אפשרית זו של הכלב. המורה מציג את כוח החיכוך ועוסק בהשלכותיו (נושא 6 בטבלה 1).

7. התלמיד חוזר אל דיאגרמת המלבנים (שלב 4) ומוסיף את כוחות החיכוך (בצבע).



אחר כך הוא "שולף" את הגוף הנבחר עם כל הכוחות הפועלים עליו:



8. הפעלת כלי חשיבה שלישי - התלמיד מעדכן את אורכי החיצים בשני הצירים האופקי והאנכי, על פי מאפייני התנועה של הכלב, לקבלת דיאגרמת כוחות מושלמת. במקרה זה הכלב אינו זז (נתון) ולכן שקול הכוחות בכל ציר חייב להיות שווה ל-0, כלומר החיצים בכל ציר שווים באורכם והפוכים בכיוונם.

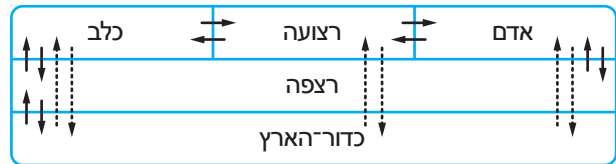
3. לאחר הוראה של נושאים 3 ו-4 (כוחות וכבידה, ראו טבלה 1), חוזר התלמיד לסיטואציה ומעדכן את איור המלבנים ואת טבלת האינטראקציות:

אדם	רצועה	כלב
רצפה		
כדור הארץ		

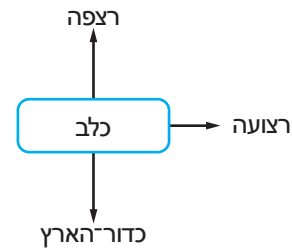
אדם	רצועה	כלב	רצפה	כד"א
0	+	-	+	+
+	0	+	-	+
-	+	0	+	+
+	+	-	0	+
+	+	+	+	0

4. הפעלת כלי חשיבה שני:

א. הוספת כוחות לדיאגרמת המלבנים



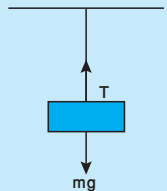
ב. בידוד הגוף הנבחר, הכלב במקרה זה, עם שמות הגופים המפעילים את הכוחות (ללא התייחסות לגודל הכוחות):



5. הוראת הרעיון ששינוי במהירותו של גוף ייקבע ע"י שקול הכוחות, ותרגול רעיון זה (נושא 5 בטבלה), ראו תרשים 4.

תיאור המחקר

בבחינת הברגרות בפיסיקה 5 יח"ל (תשס"ג) הוצגה שאלה (תרשים 5) הבאה לבדוק את הבנתם האיכותית של התלמידים בנוגע לחוק השלישי של ניוטון. השאלה הוכנסה לשאלון שהועבר בקרב תלמידי חט"ב (כיתות ט') שלמדו על פי הגישה במסגרות שונות והתוצאות היו טובות בהשוואה לאלה של התלמידים המתמחים.



משקולת תלויה על חוט המחובר לתקרה. התלמיד טוען ש T ו mg הם זוג כוחות של פעולה ותגובה. האם טענתו נכונה? נמקו

קבוצה	N	ענו נכון (באחוזים)	נמקו נכון (באחוזים)
כיתות ט' הטרונגית	260	45	40
כיתות לברגרות	1115	42	31

תרשים 5: הישגי תלמידים בבעיה מבחינת הברגרות בפיסיקה בשנת תשס"ג. תלמידי ט' למדו בגישה המתוארת במאמר זה.

בדיקה של הישגי התלמידים באמצעות פריטים מתוך מבחן ה- FCI הפופולארי (מבחן הבנה איכותי של מושגים פשוטים במכניקה) מראה שתלמידים הלומדים בגישה זו, בכיתה הטרונגית בחט"ב, מגיעים להישגים העולים על אלה של תלמידי מכללות ואוניברסיטאות בארה"ב^{5,6}.

משאית גדולה מתנגשת חזיתית במכונית קטנה. במהלך ההתנגשות:

- המשאית מפעילה על המכונית כוח גדול יותר מהכוח שהמכונית מפעילה על המשאית.
- המכונית מפעילה על המשאית כוח גדול יותר מהכוח שהמשאית מפעילה על המכונית.
- אף אחת מהן לא מפעילה כוח על השנייה. המכונית נמעת פשוט בגלל שהיא נמצאת במסלול המשאית.
- המשאית מפעילה כוח על המכונית אך המכונית לא מפעילה כוח על המשאית.
- המשאית מפעילה על המכונית כוח הזהה בגודלו לכוח שהמכונית מפעילה על המשאית.



תרשים 6: שאלה מתוך מבחן ה-FCI הבוחנת הבנה של החוק השלישי של ניוטון

המחקר בדק את תרומת שיטת ההוראה להשגה של הבנה פיסיקלית משמעותית לגבי סיטואציות מחיי היום יום ואת השינויים בשפה בה משתמש התלמיד לניתוח הסיטואציות. בנוסף, ניסה המחקר להעריך את השינוי בעמדות כלפי מקצוע הפיסיקה בקרב התלמידים והמורים שנחשפו לשיטה. במחקר נעשה שימוש בכלי מחקר איכותיים (ראיונות ותצפיות) וכמותיים (שאלוני ידע ועמדות) שבדקו תלמידים ומורים.

באופן כללי, תוצאות המחקר מצביעות על כך שלתלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת הסבירו וחזו טוב יותר סיטואציות מחיי היומיום מאשר תלמידים אחרים בארץ ובעולם, שלמדו בגישות המסורתיות, וכן חל שינוי חיובי בעמדות המורים והתלמידים כלפי מקצוע הפיסיקה. את קבוצות המחקר (n=460) לימדו מורים שונים שהשתתפו בהשתלמויות (ראו בסעיף הבא). קבוצות אלה התקדמו בצורה משמעותית מהמבחן המקדים למבחן המסכם ואצל האחרים לא חל שינוי. אם נתחשב רק בשליש העליון מהכיתות הטרונגיות שלמדו על פי הגישה (כיתות ט'), שהם התלמידים המועמדים באופן טבעי לאכלס את כסאות התלמידים המתמחים בפיסיקה בתיכון, נמצא הבדלים גדולים אף יותר לטובת התלמידים שלמדו על פי הגישה המוצעת.

כאמור, נערכו ראיונות עם תלמידים מקבוצת המחקר בהם התבקשו לנתח סיטואציות מסובכות תוך שימוש בחוק השלישי של ניוטון. בראשית הראיון הוצגה סיטואציה מרכזית חדשה (רקטה המסוגלת לנוע על חוט אופקי, ומונעת על ידי התרוקנות בלון מלא אוויר), ובמידת הצורך, סיטואציה קלה יותר המשמשת כאנלוגיה מגשרת (Bridging Analogy). התלמידים התבקשו לנתח את תנועת הבלון תוך שימוש במונחים מתוך המסגרת המושגית שלמדו. רוב התלמידים בנו לרקטה דיאגרמת כוחות מדויקת כבר בשלב הראשון. ניתוח הראיון התבצע בעזרת מחוון שהוכן לצורך כך. בראיונות השונים ניכר כי המונח "אינטראקציה" אינו שגור בפי התלמידים "באופן טבעי". לעומת זאת, המונחים "כוח" ו"כוח חיכוך" שגורים בשיח העצמי של התלמידים. מעניין לזהות האנשה של המושגים הפיסיקליים שהופיעו בראיונות, לדוגמא: "כוח החיכוך מחזיר כוח...", "הוא שבר את הכוח שהחיכוך יכול להחזיר לו...". תצפיות מצביעות כי יתכן והאנשה זו נובעת מאופן הוראת הנושא על ידי המורה. ממצא נוסף שעלה מראיונות אלה היה שתלמידים רבים אשר למדו ותרגלו את הפרוצדורה לפתרון בעיות בגישה המתוארת לעיל, העדיפו בשעת ניתוח הסיטואציה, לוותר על רוב השלבים בפרוצדורה ולערוך את דיאגרמת הכוחות באופן ישיר, גישה המאפיינת מומחים. לעומת זאת, בסיטואציות מסובכות יותר בהן נתקלו התלמידים בקשיים לערוך את דיאגרמת הכוחות באופן ישיר, הם לא נואשו וחזרו "לאחור" וביצעו את כל שלבי הפרוצדורה בה היו מיומנים.

הפיסיקה בחטה"ב. זאת, בניגוד לתפיסה המקובלת הגורסת, שתשובה איכותית "שולפים" – או ש"יש לך, אם אתה מבין, או שאין לך".

גם כלי החשיבה שפותחו בעבודה הזו ייחודיים בכך שהם עושים שימוש בייצוגים חזותיים.

הצלחת השיטה נובעת לדעתנו ממספר גורמים:

1. **המסגרת המושגית:** בחירת המושגים והעקרונות הבסיסיים ודרך הצגתם. בפרט הדגש על מושג האינטראקציה כמרכיב חיובי בהבנת פעולתם של כוחות, והחוק השלישי של ניוטון.
2. **הגישה האיכותית:** גישה איכותית שאינה עושה שימוש בכלים מתמטיים כלשהם, ומובילה לתיאורים פסיקליים מקובלים (כמו דיאגרמת כוחות). הגישה האיכותית משמשת כשלב ראשון וכבסיס לטיפול הכמותי. בכיתות רבות מתבצע טיפול כמותי כבר בחטה"ב.
3. **מאפייני האסטרטגיה והפרוצדורות:**
 - ייצוגים חזותיים: דיאגרמות מלבנים, טבלאות אינטראקציה, דיאגרמות כוחות.
 - חלוקת המשימה לשלבים פשוטים הקשורים לכלי החשיבה.
4. **המשימות** עוסקות בסיטואציות מח"י-יום המוכרות ורלבנטיות לתלמידים.
5. **"פיסיקה עם חירך":** כרטיסיות תרגול העושות שימוש בקריטרות ידידותיות למשתמש (ראו תרשים 2), הופכות את מקצוע הפיסיקה לפחות מאיים.
6. **התאמה לתרבות בני הנעורים:** הכרה, העדפה ותרגול של השפה היוזואלית "על חשבון" המילה הכתובה.

ולגבי החלק המחקרי (מורים ותלמידים):

1. הראיונות והשאלונים מצביעים על כך כי רוב התלמידים השיגו הבנה טובה בכל הנוגע למושגים שנלמדו ביניהם מושגים קשים ביותר כגון המושג "חיכוך" על כל היבטיו. מעבר לכך, התלמידים רכשו יכולת להסביר ולחזות תופעות מורכבות בח"י-יום באמצעות שפה פסיקלית.
2. קבוצות המחקר התקדמו באופן משמעותי מהמבחן המקדים למבחן בסוף תהליך ההוראה.
3. קבוצות המחקר השיגו תוצאות גבוהות בפריטים ממבחן ה-FCI (Force Concept Inventory) וממבחני בגרות בישראל.
4. מורים ותלמידים טוענים כי הגישה החדשה מאפשרת להם להבין טוב יותר את העולם מסביבם, כי השיטה העמידה לרשותם כלי חשיבה בעלי עוצמה, וכי חל שיפור בעמדתם כלפי מקצוע הפיסיקה.

מעניין לציין שלעומת המתמחים בפיסיקה בתיכון, אשר לעיתים קרובות אינם משתמשים באסטרטגיות לפתרון בעיות וניגשים מייד לשימוש בנוסחאות, תלמידי חט"ב שלמדו על פי הגישה נוטים להשתמש באסטרטגיה שנלמדה. אנו סבורים שזאת משום שלא עומד לרשותם ידע המאפשר פתרון על ידי הצבה בנוסחה, ולכן הם חייבים להסתמך על גישה איכותית המונחית על ידי האסטרטגיה המוצעת.

כלי החשיבה שפותחו יושמו גם בחטיבה העליונה עם תלמידים הלומדים בגישה כמותית והתוצאות מצביעות על שיפור רב במשימות המצביעות על הבנה, במיוחד על ידי התלמידים החלשים יותר.

השתלמויות מורים

שיטת ההוראה הועברה למורי מדעים בחט"ב, במסגרת השתלמויות בקורסים שכוננו "מי מפחד מפיסיקה?" במהלך השנים תשס"ד ותשס"ה. בהשתלמויות השתתפו כ-150 מורים מכל הארץ. המורים התבקשו, כחלק מדרישות הקורס, לבחור בין 3 מסגרות הוראה (5, 10, 15 שעות הוראה) ולהעביר את הנושאים בכיתתם במהלך תשס"ד ותשס"ה.

ניתוח של שאלוני העמדות והראיונות מצביע כי מורים רבים שהשתלמו בתוכנית חוו שינוי קונספטואלי בכל הקשור לידיעותיהם ועמדותיהם בתחום הפיסיקה. המורים העידו על שיפור ידיעותיהם וביטחונם העצמי ללמד את המקצוע בכיתה.

מרבית המשתלמים הפעילו את התוכנית בכיתותיהם באחת ממסגרות ההוראה שהוצעו, ולהלן ציטוטים נבחרים שנאמרו על ידם בסיום ההשתלמות:

"הצבר הווצח זהשלאמו היה אצט"י הדרך הקטטה והזרורה זהצנת הקיסיקה אצט"י וזהוראתה אלאמיזי. השיטה הווצט אהסזר צזריס אורכזיס אאוז ווצלמת צזיני"

"המיומניות השונת שהוזלמו אהצזרת החואר היו חשוזות אאוז"

"הצבר הווצח זלישה היה ההסזריס הזרוריס והקטטויס אהצזרה"

"עז עכשיו חטזגי טקיסיקה מטשטמת, ונכחתי שאין לה כך"

סיכום

המטרה שמציגה לעצמה עבודה זו (פיתוח שיטת ההוראה והערכתה) היא בעלת חשיבות רבה, במיוחד לאור המצב הקיים היום בהוראת הפיסיקה בחט"ב בארץ ובעולם. העבודה חדשנית בכך שהיא מצביעה על הצורך בשימוש באסטרטגיה גם בפתרון בעיות איכותיות וגם בשלבים מוקדמים של לימוד



ז'ול ורן - בין מדע לדמיון

חזי יצחק, ב"ס תיכון לחינוך סביבתי
מדרשת שדה בוקר, המכון לחקר המדבר, אוניברסיטת בן גוריון

מבוא

ב-24 במרץ 2005 מלאו מאה שנה למותו של הסופר הצרפתי הדגול ז'ול ורן. ז'ול ורן (1828-1905) נחשב לאחד מאבותיו של המדע הבדיוני. הוא היה ספן ומדען חובב שברבות

מיצירותיו שילב פרטים מדעיים וטכנולוגיים מדויקים, שאותם למד משיחות עם מומחים וכן מקריאה מעמיקה של כתבי עת מדעיים. סדרת ספריו "מסעות מופלאים בעולמות ידועים ובלתי ידועים" הפכה לקלאסיקה ותורגמה לעשרות שפות. ספריו היוו השראה לחוקרים ומהנדסים מפורסמים כמו האדמירל ריצ'ארד בירד שהיה אחד מחלוצי המחקר באנטרקטיקה, יורי גאגרין האסטרונאוט הראשון וניל ארמסטרונג האדם הראשון שצעד על הירח. ורן היה מודע גם אל הכוח ההרסני של המדע כאשר זה נופל בידי אנשים מושחתים והוא התחבט רבות בהשלכות של



תרשים 1: ז'ול ורן

2. אלון, ב., חומרי הלמידה בפיסיקה בסידרת מטמון, תהודה 23(2), עמ' 24, (2003).
3. Reif, F., *Understanding Basic Mechanics*. NY: John Wiley and Sons Inc, (1995).
4. Van Heuvelen, A., Overview, Case Study Physics, *American Journal of Physics*, 59 (10), pp. 898-907, (1991).
5. Halloun, I.A., & Hestenes, D., The Initial Knowledge of College Physics Students. *American Journal of Physics*, 53 (11), pp. 1043-1055, (1985).
6. Hake, R. R., Interactive-Engagement versus traditional methods: A six thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, pp. 64-74, (1998).

5. מורי מדעים בחטה"ב הבאים עם רקע במדעי החיים וממעיטים ללמד פיסיקה בכיתתם, מוכנים יותר להתנסות בהוראת הפיסיקה, ופוחדים פחות ללמד את התחום. התחלות צנועות מראות שלימוד בשיטה זו בחטה"ב מגדיל את מספר בוחרי הפיסיקה בחטה"ע ותורם ללימודי המכניקה המתקדמים. גם מורים בחטה"ע יכולים לנצל גישה זו תוך ביצוע התאמות נדרשות. הגישה יכולה לפתח את יכולת תלמידיהם לנתח ולהסביר תופעות מורכבות מחיי היום-יום באמצעות הפיסיקה וגם לשפר את יכולת פתרון הבעיות הסטנדרטיות.

מראי מקום ולקריאה נוספת:

1. בן צוק, מ., אינטראקציה, כוחות ותנועה. המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן למדע, (2001).

תהודה

הטכנולוגיה על החברה האנושית. בכתבה זו אביא דוגמאות לתופעות פיסיקאליות המופיעות בספרו: המסע אל הירח". בחלק מהדוגמאות ניתן ילהשתמש במהלך שעורי פיסיקה בבתי הספר

כבר משחר ילדותי קראתי בצמאון רב את ספריו של ז'ול ורן, ועם הזמן כשהתבגרתי, לא דעכה אהבתי זו אלא, נהפוך הוא, היא רק התחזקה. השילוב המדהים בין מדע למסעות הילך עלי קסמים. עם הזמן, כאשר שקעתי לתוך לימודי הפיסיקה באוניברסיטה וכן במהלך עבודתי כמורה לפיסיקה בבית הספר לתיכון סביבתי במדרשת שדה בוקר, ניסיתי לדלות מתוך הספרים קטעים ואנקדוטות שיכולים להעשיר את שעורי הפיסיקה ולהלהיב את התלמידים ללמוד את המקצוע שנתפס כקשה ולעיתים אף כמשעמם. לדוגמה, במהלך חיפושי אחר