

כיצד ללמוד מטעויות? דפי עבודה להדרכת תלמידים באבחון טעויות של עצמם

עידית ירושלמי, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע וקורונה פולינגר, חמד"ע

"הכישלון מלמד. אדם חושב לומד מכישלונותיו באותה מידה כמו מהצלחותיו" ג'ון דיואי

מה אם כן תפקיד ההוראה בלמידת התלמידים מטעויות? אנו מגיבים כל הזמן לטעויות, ועלינו להודות, שהאופן הבולט ביותר הוא ענישה: כאשר תלמיד טועה בבחינה מורידים לו נקודות. אמנם במקורות נתפשת ענישה כמנוף ללמידה "חוסך שבתו שונא בנו" (משלי י"ג). לפי תפישה זו בעקבות ציון הטעויות במבחן יברר התלמיד לעצמו במה טעה, מה לא הבין כראוי, וכיצד היה צריך לענות. המשך המשפט במקורות היו "ואהבו שיחרו מוסר". בהקשר שלנו אולי הכוונה לפעולות נפוצות כגון הצגה של פתרון נכון אליו יכול התלמיד להשוות את עבודתו, או הצגת טעויות נפוצות שנמצאו בתשובות התלמידים במבחן. אולם, הצגת הפתרון הנכון יכולה לרפות את ידיו של התלמיד, בעיניו נראה המורה כמי שללא התלבטויות פותר את הבעיה במחי יד. ובכלל: כמה תלמידים באמת משווים את פתרונם המוטעה לפתרון נכון ומבררים במה טעו? הצגת טעויות נפוצות בכיתה על ידי המורה משמעה שהמורה יגע ולמד מטעויות התלמידים, אולם האם גם הם למדו?

במאמר זה נתאר פעילות כיתתית שמטרתה להבטיח את מעורבות התלמידים בברור טעויותיהם. התלמידים קיבלו דפי עבודה המכילים היגדים מוטעים "דף מלא טעויות", ונדרשו לאתר בכל היגד את הטענה המוטעית ולשכנע את כותב ההיגד שטעה. קיינו שהפעילות תחזק אצל התלמידים את התפישה של תהליך הפתרון כמעשה הכרוך בבדיקה עצמית, ואת הנטייה לבצע בדיקה כזו. מאגרים של היגדים כאלה ניתן למצוא ברשת באנגלית² ובעברית³. יש המתנגדים לעיסוק בהיגדים מוטעים בכיתה, בנימוק שהדבר יכול רק לבלבל את התלמידים. במאמר זה נציג כיצד התמודדו התלמידים עם "דף מלא טעויות" ואת הלקחים שהפקנו מכך לגבי אופן ביצוע הפעילות.

א. תיאור הפעילות.

הפעילות בכיתה התבססה על "דף מלא טעויות" המכיל היגדים מוטעים שנאספו במהלך השנים מתשובות מוטעות נפוצות של תלמידים. התלמידים התבקשו לעבוד על הדף במסגרת שיעורי הבית. ההנחיות לתלמידים היו:

זר הנקלע לכיתה הלומדת פיסיקה יתרשם כי עיקר עיסוקה בפתרון בעיות. הצדקה נפוצה לכך היא כי פיסיקה לא לומדים על-ידי קריאה והקשבה להרצאות על חוקי הפיסיקה, יש להתנסות ביישום המושגים כדי לרדת לעומקם. כלומר, תוך כדי פתרון בעיה נפתחת בפני התלמיד הזדמנות למידה. להבנתנו, כמו בתחומים אחרים בחיים, גם להזדמנות זו צריך להגיע מצוידים בכלים המתאימים כדי להפיק ממנה את המירב. שאלנו את עצמנו: **מה הכלים המאפשרים לתלמיד/ה המתמודד/ת עם בעיה בפיסיקה ללמוד ממנה, וכיצד יכולה ההוראה להקנות כלים אלו?**

פתרון בעיה הינו תהליך של חיפוש, בפרט עבור תלמידים טירונים הניגשים לבעיה כששליטתם במושגים הנדרשים לפתרונה היא חלקית. הפותר/ת מנסה מהלכים שונים. חלקם יהפכו לשלב בפתרון המוגמר, וחלקם ייזנחו כמהלכים מוטעים. להבנתנו, דווקא המהלכים המוטעים הופכים את העיסוק בפתרון בעיות להזדמנות למידה. בתהליך הפתרון על התלמיד/ה לבדוק את המהלכים שביצע/ה: האם קידמו את הליך הפתרון? ואם לא, במה הטעות? האם נתוני הבעיה הובנו כראוי? האם הדרך בה חושב גודל מסוים מוצדקת? בתהליך זה ניתן לחדד את הבנת המושגים והעקרונות הנדרשים בפתרון הבעיה.

המחקר, כמו הניסיון המקצועי כמורים, מלמד כי ההזדמנות הזאת אינה מנוצלת על ידי תלמידים רבים! השוואה של מומחים וטירונים בפתרון בעיות¹ מלמד כי הראשונים מתמידים במאמציהם, מתכננים את מהלך הפתרון, מעריכים צעדים קודמים, נוטשים מהלכים מוטעים ומנסים דרכי פעולה חלופיות. לעומתם, תלמידים טירונים רבים מרימים ידיים לאחר שניסו דרך אחת בלבד והגיעו למבוי סתום, או פוטרם הבנה לקויה של מושגים כטעות ניסוח לא משמעותית. נראה כי אצל חלק מהתלמידים צריך לפתח תפישה של תהליך הפתרון כמעשה הכרוך בבדיקה עצמית, ונטייה לגשת לבצע בדיקה כזאת. עליהם לדעת לחדד לעצמם מה ההנחות שביסוד מהלך פתרון כלשהו, והאם הן עולות בקנה אחד עם ההגדרות המקובלות של חוקי הפיסיקה. עליהם לדעת לבחון מה משתמע מהאופן בו ניסחו טענות שונות, וללמוד להיזהר בדבריהם.

א. זהו את הטענה המוטעית.

ב. רישמו מה הייתם אומרים לתלמיד/ה כדי לשכנעו/ה שטעה/טענתה

בשיעור שלאחריו התקיים דיון על שיעורי הבית.

דוגמאות להיגד מוטעה

ארגז שמסתו 4 ק"ג מונח על משטח אופקי. ברגע מסוים מתחילים להפעיל על הארגז כוח אופקי שגודלו 20 נ'. מקדם החיכוך בין הארגז למישור הוא 0.6. בתנאים אלה הארגז יישאר במנוחה, כי כוח החיכוך הפועל עליו גדול יותר מהכוח שבו מושכים אותו.

קיוונו כי התלמידים יזהו כי **הטענה המוטעית** היא "הארגז יישאר במנוחה, כי כוח החיכוך הפועל עליו גדול יותר מהכוח שבו מושכים אותו", וכי ישכנעו את התלמיד שטעה על ידי הסבר מדוע ההיגד מוטעה ו/או על ידי החלפתו בטענה נכונה.

הסבר אפשרי מדוע הטענה מוטעית: נאמר ש"הארגז נשאר במנוחה". במצב מנוחה החוק השני של ניוטון מחייב כי הכוח השקול יתאפס, בפרט הרכיב האופקי של שני הכוחות, הכוח שמושך את הגוף וכוח החיכוך, שווים בגודלם. אולם, ההיגד מציין כי כוח החיכוך גדול מהכוח שמושך את הגוף. בתנאים אלו הארגז יאיץ, ולא יישאר במנוחה!

טענה נכונה אפשרית: הארגז יישאר במנוחה כי הכוח השקול, ולכן גם רכיבו האופקי, מתאפס. הכוח השקול בכיוון האופקי נתון על ידי חיבור וקטורי של הכוח בו מושכים את הארגז ושל כוח החיכוך הסטטי. כוח החיכוך הסטטי הוא כוח אשר מתאים את עצמו לכוחות האחרים הפועלים על הגוף, עד לערך מקסימלי - כוח החיכוך הסטטי המקסימלי ($\mu_s N$). במקרה הנדון כוח החיכוך הסטטי יתאים את עצמו לכוח המושך השווה ל-20 ניוטון, הקטן מכוח החיכוך הסטטי המקסימלי (24 ניוטון). שקול הכוחות יהיה אפס והגוף יישאר במנוחה.

ציפנו כי חלק מן התלמידים יעמיטו בערכה של **הטעות כמעידה לשונית**. הספרות⁴ מלמדת כי אכן לעתים מורים מייחסים קשיים בהבנת מושגים לקשיים לשוניים. זו אחת הטענות המרכזיות כנגד אבחון באמצעות בעיות רב ברירתיות. צורת העבודה לעיל מאפשרת לבדוק האומנם מדובר במעידה לשונית או באי הבנה. בניגוד לבעיה רב ברירתית הדורשת מהתלמיד לאתר את ההיגד הנכון, כאן עליו לנמק מדוע היגד מסוים שגוי. תהליך ההצדקה יחשוף את העומק של קשיי התלמיד. חשבנו כי צורת העבודה המתוארת כאן תבהיר לתלמידים את הצורך להיזהר בלשונם.

ב. מה קרה? ניתוח של אופן ההנמקה בעבודות התלמידים הפעילות הועברה בכיתה י"א בחדר"ע, תל אביב, ובה 13

תלמידים שלמדו מכניקה ברמה מוגברת. בדיון בכיתה על תשובות התלמידים לסעיף "מה הייתם אומרים לתלמיד כדי לשכנעו שטעה" התעורר ויכוח בין התלמידים סביב ההיגד שהוצג לעיל. בעוד שאחד התלמידים טען: "כוח החיכוך הסטטי לא יכול להיות גדול יותר מהכוח המושך", טען כנגדו תלמיד אחר: "צריך גם להסביר לתלמיד שכתב את ההיגד המוטעה שהוא לא הבין שלכוח החיכוך הסטטי יש גבול, כך שכנראה הוא התכוון להגיד שכוח החיכוך הסטטי המקסימלי גדול מהכוח המושך". ויכוח בין התלמידים נמשך סביב השאלה מהי תשובה מספקת כדי לשכנע את התלמיד שטעה.

כשהקשבנו לויכוח שמנו לבנו למספר דברים. ראשית, הויכוח התעורר באופן ספונטני על ידי התלמידים, למרות שההנחיות בעצם כלל לא הכילו הנחיה מפורשת להסביר את הכשל בטענה המוטעית. שנית, אף אחד מבין התלמידים לא שלל את הטענה המוטעית, כפי שהראינו בסעיף הקודם. התלמיד הראשון הסתפק ב"היגד נכון", בעוד שהתלמיד השני אבחן "מה התלמיד לא יודע". בעקבות כך שאלנו את עצמנו כמה מהתלמידים אכן שללו את הטענה המוטעית. בהתאם, בדקנו את רמת הטיעון ואת השימוש במושגים בתשובות התלמידים באמצעות טבלת הערכה שהכילה את הקטגוריות הבאות:

1. האם, ובאיזו רמה (מספק, מספק חלקית, לא מספק) התלמיד -

- זיהה את הטענה המוטעית?
- הציג טענה חלופית?
- הסביר מה הכשל בטענה המוטעית?

2. האם עשה התלמיד שימוש ב -

- "כוח חיכוך סטטי משתנה בין 0 לערך מקסימלי"?
- אם $a = 0$ אז $\Sigma F = 0$, ואם $a \neq 0$ אז $\Sigma F \neq 0$?

להלן דוגמאות למספר תשובות ולאופן בו הערכנו אותן.

דוגמאות לתשובות התלמידים

תלמיד A: הטעות: "בתנאים שצוינו הארגז יישאר במנוחה, כי כוח החיכוך הפועל עליו גדול יותר מהכוח שבו מושכים אותו". תיקון: "ברגע שהגוף נמצא במנוחה החיכוך הוא חיכוך סטטי ולא יכול להיווצר מצב שהחיכוך הסטטי יותר גדול מהכוח שמופעל על הגוף אלא הכוח הסטטי צריך להיות שווה". תלמיד A משתמש בטאוטולוגיה כאמצעי שכנע: לא יכול להיות X כי X. זהו הסבר לא מספק לכשל בטענה המוטעית. הניסוח של הטענה הנכונה אינו בהיר (לכן רשמנו בטבלה למטה "מספק חלקית").

תלמיד B: "כוח החיכוך הסטטי לא יכול להיות גדול יותר מהכוח הנגדי שמפעילים עליו מכיוון שבשביל שהגוף יישאר במנוחה הוא צריך ש $\Sigma F = 0$ ואז 2 הכוחות צריכים לבטל אחד

את השני, התלמיד התבלבל בין כוח סטטי מקסימלי לבין הכוח הסטטי בפועל ששווה לכוח המנוגד."

תלמיד B אמנם לא כתב במפורש את הטענה המוטעית, אולם סיפק הסבר מלא לכשל בטענה המוטעית, ואף הגדיל לעשות ושיער מה בלבד את התלמיד שטעה.

תלמיד C: "אני לא יודע תפילה תגלה אסם שהאלרכת סאצב הפאזיפה זכך $N = \mu F$. לא פי חזק שלמי של ניטון, כוד פדיוכך אינו אגוז יותר, פוא אספאז ופאזיפה לא עגל אסום שפכוד פאופלכ פוא פאודוד פכוד פסטטי פאקסיאלי".

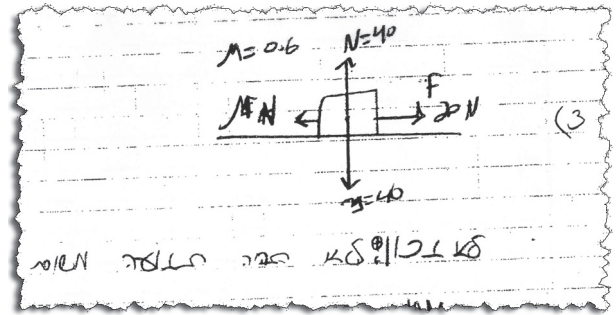
תלמיד C מנסה לבסס את תשובתו על חוקים פיסיקליים, אולם באופן מפוזר, מבלבל ושטחי.

בטבלת ההערכה שלמטה ניתן לראות בשורה 1, תשובה לדוגמא. בשורות 4-2: ניתוח התשובות של שלושת התלמידים הנ"ל A, B, C. בשורה 5: סיכום תשובות של כל תלמידי הכיתה.

מניתוח התשובות למדנו כי אכן התלמידים התקשו במיוחד בהסבר הכשל בטענה המוטעית. תמיכה נוספת לכך נמצאה בניתוח השימוש שעשו התלמידים במושגים. מצאנו כי מרבית התלמידים (11 מתוך 13) השתמשו ב"כוח חיכוך סטטי משתנה בין 0 לערך מקסימלי". לעומת זאת ההבנה כי $\Sigma F = 0$ משמעו $a = 0$ ואם $\Sigma F \neq 0$ אז הנדרשת לשלילת ההיגד המוטעה מופיעה בפחות תשובות (8 מתוך 13).

ג. לקחים

במהלך העיסוק בכיתה ב"דף מלא טעויות" מצאנו כי העיסוק בטעויות איפשר לחשוף את עומק אי ההבנה של תלמידים מסוימים, דוגמת תלמיד C שעשה שימוש מיותר בחוק השלישי של ניוטון. החשיפה איפשרה להתייחס לקשיים שהתגלו. בנוסף ראינו שחלק מהתלמידים מסתפקים בהחלפת ההיגד השגוי בהיגד נכון. בויכוח שהתעורר ביניהם בנושא הסתבר כי חלקם כלל לא מבחינים בין מתן היגד נכון לשלילת הטענה המוטעית. לשמחתנו התלמידים נהנו מאוד מהפעילות וביקשו לחזור עליה.



התאור וההסבר של תלמיד C

מורה	זיהוי הטענה המוטעית	הסבר הכשל בטענה המוטעית	טענה נכונה
מורה	הארגז יישאר במנוחה, כי כוח החיכוך הפועל עליו גדול יותר מהכוח שבו מושכים אותו	נאמר ש"הארגז נשאר במנוחה". במצב מנוחה החוק השני של ניוטון מחייב כי הכוח השקול יהיה אפס בשני הכיוונים - האופקי והאנכי. כלומר, שני הכוחות, הכוח שמושך את הגוף וכוח החיכוך, שווים בגודלם. אולם, ההיגד מציין כי כוח החיכוך גדול מהכוח שמושך את הגוף. בתנאים אלו הארגז יאיץ, ולא יישאר במנוחה!	הארגז יישאר במנוחה כי הכוח השקול בכלל, ובכיוון האופקי בפרט, מתאפס. הכוח השקול בכיוון האופקי נתון ע"י חיבור הכוח בו מושכים את הארגז וכוח החיכוך הסטטי הפועל בכיוון ההפוך. כוח החיכוך הסטטי ישווה בגודלו לכוח בו מושכים את הארגז, 20 ניוטון, כל עוד ערך זה קטן מכוח החיכוך הסטטי המקסימלי, שערכו במקרה זה 24 ניוטון.
A תלמיד	מספק	לא מספק	מספק חלקית
B תלמיד	חסר	מספק	מספק
C תלמיד	חסר	לא מספק	מספק חלקית
סיכום	חסר: 0 לא מספק: 0	חסר: 3 לא מספק: 0	חסר: 1 לא מספק: 1
עבור 13 תלמידים	מספק חלקית: 6 מספק: 7	מספק חלקית: 7 מספק: 3	מספק חלקית: 5 מספק: 6

ממצאים אלו הובילו אותנו למספר מסקנות לגבי הדרך הראויה לביצוע הפעילות:

1. **ביצוע הפעילות סביב היגדים אותנטיים של התלמידים במבחן:** עוצמת הקושי של התלמידים חיזקה את מודעותנו לכך שהבעיה שאליה התייחס היגד דרשה מהתלמיד תהליך חיפוש מורכב: מספר סבבים בהם עליו לשנות את הבנתו את הבעיה והעקרונות הנדרשים לפתרונה. מסקנתנו: עדיף היה מלכתחילה להציג את הבעיה לתלמידים, למשל במבחן, ולאסוף את ההיגדים המוטעים מפתרונות המבחן. בדרך כזו ההתייחסות לטעויות הייתה מתבצעת בהקשר מפורש של פתרון הבעיה.
2. **ראשית הנחיה סמויה, ובהמשך מפורשת, לשלילת ההיגד המוטעה:** היכוח על השאלה "מהי תשובה מספקת כדי לשכנע את התלמיד שטעה?" הוא ויכוח חשוב לטעמנו, וכדאי לאפשר לויכוח מעין זה להתפתח, על ידי הצגה ראשונית של דרישות פתוחות בנוסח "מה היית אומר כדי לשכנע את התלמיד בטעותו" ודיון בכיתה על תשובות התלמידים. בפעילות נוספת על היגדים מוטעים כדאי לתת הנחיות מפורשות כלומר:

- רשום מה החלק השגוי בהיגד,
- הסבר מדוע ההיגד שגוי,
- נסח היגד נכון.

3. **ביצוע פעילויות עוקבות הנשענות על מושגים קודמים:** ראוי לבדוק האם הטיפול היסודי בקשיי התלמידים הניב את התוצאות הרצויות: שיפור בהבנת נושא החיכוך הסטטי. ניתן לבצע פעילות דומה של ניתוח היגדים מוטעים בנושא הנשען על המושגים שנדונו, לדוגמא, חיכוך סטטי במצב מנוחה יחסית בתנועה קווית, ולאחר מכן אף מעגלית.

בפעילות זו הצגנו דרך הוראה המתייחסת לטעויות כרע הכרחי שניתן ורצוי ללמוד ממנו. מטרתנו לעודד תלמידים לשים את טעויותיהם "על השולחן" וללמוד מהן, בניגוד למצב בו תלמידים משתדלים להסתיר את טעויותיהם כדי לא להיענש. ראינו כי אפילו ביקורת על היגדים פשוטים ביותר חושפת אצל תלמידינו לא רק קשיי הבנה, אלא גם חוסר ידע כיצד לבקר טענות. אנו מקוות כי פעילויות מהסוג לעיל תפתחנה ידע זה אצל התלמידים.

מקורות

1. Schoenfeld, A.H. (1992). Learning to think mathematically: problem solving, metacognition, and sense making in Mathematics. In D.A. Grouws, (Ed.) Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning. New York: Macmillan Publishing Company.
2. TIPERs - Tasks Inspired by Physics Education Research, What, if anything, is Wrong? Tasks, Troubleshooting Tasks, Tasks in Magnetism: <http://tycphysics.org/tipers.htm>.
3. באתר המרכז הארצי למורה הפיסיקה (<http://stwww.weizmann.ac.il/ptc>) במדור "הערכה" תחת "אבחון טעויות".
4. Clerk, D. and Rutherford, M. (2000) Language as a Variable confounding in the diagnosis of misconceptions, IntJ. Sci. Educ, 22, pp. 703-717.

