

## מטה-אנליזה של שיח בין זוג תלמידים הנוטלים חלק בפעילות מתוקשבת של אבחון טעויות בפיזיקה

עידית ירושלמי

מכון ויצמן למדע

Edit.Yerushalmi@weizmann.ac.il

אסתר בגנו

מכון ויצמן למדע

Esther.bagno@weizmann.ac.il

מנשה פיוטרקובסקי

מכון ויצמן למדע

Menashe.Puterkovsky@weizmann.ac.il

### Meta-analysis of Students' Discourse in the Context of Online Diagnostic Activities in Physics

Menashe Puterkovsky

Weizmann Institute of Science

Esther Bagno

Weizmann Institute of Science

Edit Yerushalmi

Weizmann Institute of Science

#### Abstract

This paper focuses on an online activity dealing with a mistaken answer to a problem that is attributed to a student named "Danny". Students are first required to diagnose the mistake: 1) identify the mistaken part in Danny's answer; 2) explain the nature of the mistake; 3) correct. Later on, the students receive exemplary diagnosis and are asked to compare it to their own diagnosis. The mistaken statements represent common mistaken interpretations to scientific concepts and principles related to the topic of DC circuits that are known from the research literature.

In order to examine if and how the activity attains its goal – to engage students in a process of clarifying and repairing the mistaken ideas underlying the mistaken answer, we performed meta-analysis of the discourse that takes place between two high school students working on the activity. The analysis focused on two aspects: 1) The physics concepts and principles required to diagnose the mistaken statement. 2) "Acknowledging conflict" statements.

We found that students' conceptual change occurred gradually and involved several withdrawals along the way. In this paper we will describe how the interaction with the on-line activity triggered this process.

**Keywords:** Conceptual change, Intuitive conceptions, Problem solving, Physics education

#### תקציר

מאמר זה מתמקד בפעילות מתוקשבת במרכזו עומדת תשובה מוטעית לבעיה, המוצגת בפיו של התלמיד "דני". התלמידים מתבקשים בשלב ראשון לאבחן את הטעות: (1) לזהות את החלק המוטעה בתשובה (2) להסביר את מהות הטעות. (3) לתקנה. בשלב השני התלמידים מתבקשים להשוות את אבחונם לאבחון "מומחה" לתשובה המוטעית. התשובה המוטעית מייצגת תפיסה מוטעית נפוצה של תלמידים בנושא מעגלי זרם ישר. מטרת המערכת להניע את התלמידים לבחון את הרעיונות הפיסיקליים המוטעים העומדים בבסיס התשובה המוטעית.

במטרה לבחון האם וכיצד מעודדת המערכת תהליכי ליבון מושגי, ביצענו מטה-אנליזה של שיח בין שני תלמידי פיזיקה בתיכון המשוחחים ביניהם במהלך

העבודה מול המערכת. הניתוח התמקד בייצוג שני היבטים: א) רעיונות פסיקאליים המובעים ע"י התלמיד, נכונים ומוטעים ב) "רגעי ערעור" המובילים לליבון מושגי.

מצאנו כי השינוי התפיסתי בפעילות התרחש באופן הדרגתי לאורך הפעילות וכלל לא מעט נסיגות. ליבון המושגים בפעילות התרחש בשני מהלכים. המהלך הראשון, בשלב האבחון, הונע על ידי המתח בין המידע שנמסר מהמערכת, שתשובתו של דני מוטעית, לבין הזדהותם של התלמידים עם תשובתו של דני ועורר אצל התלמידים קונפליקטים פנים ובין אישיים. המהלך השני, בשלב ההשוואה לאבחון ה"מומחה, הונע ע"י מידע שהמערכת מוסיפה לתלמידים: אבחון נכון ותשובה נכונה לבעיה. מידע זה, המתווסף לאחר הצפת ההתלבטויות בשלב הראשון, הביא לשינוי מושגי ביחס למרבית הרעיונות הפסיקאליים הנידונים בפעילות.

**מילות מפתח:** שינוי מושגי, תפיסות אינטואיטיביות, פתרון בעיות, הוראת פסיקה

## מבוא

המחקר בהוראת המדעים, מלמד על העמידות של תפיסות מוטעות של תלמידים המתייחסות למושגים ועקרונות מדעיים המוצגים בכיתה (McDermott, 1989). מגוון פעילויות פנים אל פנים פותחו במטרה לסייע לתלמידים להתגבר על תפיסות מוטעות. ברבות מהפעילויות, התלמידים מתבקשים לפתור בעיות המעוררות קונפליקט מושגי (Hewson & Hewson, 1984). תפקיד המורה בפעילויות אלו לאפשר לתלמידים להביע את תפיסותיהם ללא מורא, ולעודד ארגומנטציה המבוססת על עקרונות מדעיים. לדוגמה, פעילויות מסוג Predict Observe Explain. בפעילויות אלו התלמיד מתבקש לנבא את התנהגותה של מערכת פסיקלית, שהמחקר מלמד שתלמידים האוחזים בתפיסה מוטעית מסוימת, מתקשים לחזותה כראוי. לאחר מכן התלמיד צופה בהתנהגותה של המערכת בפועל. בעקבות זאת התלמידים מתבקשים לשוחח וללבן את הפער בין תפיסתם ובין התפיסה המדעית המקובלת שהוביל להבדל בין הניבוי שלהם והתצפית. הצלחת הפעילויות מותנית בקיומם של שני תנאים שלא תמיד מתממשים:

א. **על התלמיד** להציע הסברים עצמיים (Chi, 2000) שבמסגרתם הוא מזהה ומיישב את הפער בין תפיסתו הראשונית לתפיסה המדעית המקובלת. המחקר מלמד כי תלמידים רבים אינם מנסים לעשות זאת (Chi, 1989) ויש צורך לפתח אצלם נטייה לכך.

ב. **על המורה** להנחות שיח ארגומנטטיבי ורפלקטיבי בכתתו. אולם, לא אחת קורה שמורים מתקשים בהנחיה של שיח זה (Turpen & Finkelstein, 2009; Henderson & Dancy, 2007), או בגלל מחסור בזמן, או בגלל שאינם יודעים לעשות זאת. בנוסף, מורים רבים אינם תופשים את תפקידם כמי שאמורים להנחות שיח בכיתה (Yerushalmi et al., 2007).

מאמנים מתוקשבים כדוגמת Andes ו-PAL פותחו במטרה לתת מענה לתנאי ב, הווה אומר להחליף את המורה באמצעות מערכת המקיימת שיח עם התלמיד. מאמנים אלה מנחים את התלמיד (Hsu & Reif & Scott 1999; VanLehn et al., 2005; Heller, 2004) כאשר הוא מתלבט בפתרון בעיה. המאמן המתקשב נוטל אחריות על עבודת התלמיד, מעריך את הדברים שהתלמיד כותב במהלך הפתרון, נותן לתלמיד משוב לגבי נכונות התוצרים, ולעתים מצביע על הטעויות שעשה התלמיד ומציע כיצד לתקן. בשיטה זו יש אמנם משוב הדוק, אך היא נוטלת מהתלמיד את מרבית האחריות ללמידה שלו. בנוסף, העבודה עם המאמן מייגעת ומרתיעה חלק מהמשתמשים.

ה-PAL הוא מאמן מתוקשב המנסה להעביר אחריות לתלמיד (Reif & Scott, 1999). לאחר השלב בו התלמיד פותר בעיה, מתקיים שלב נוסף בו המאמן לוקח את תפקיד פותר הבעיה. המאמן מציג פתרון משלו לבעיה אחרת (Reciprocal teaching), כאשר חלק מהמהלכים בפתרון הבעיה מוטעים, ומבקש מהתלמיד לזהות את הטעויות ולתקן.

במחקר זה אנו מתארים פעילות מתוקשבת שקיבלה את השראתה מה PAL, אולם נוקטת גישה שונה. במקום לעבד את תוצרי התלמיד ולתת משוב מתאים, המערכת מציגה תשובה מוטעית של "דני" לבעיה, המבוססת על תפיסה מוטעית נפוצה ומבקשת מהתלמיד ל"אבחן" את מהות הטעות. בפרט, להתייחס לפערים בין התפיסה המוטעית לבין התפיסה המדעית המקובלת. לאחר מכן, המערכת מציגה לתלמיד את אבחוננו ואת אבחון המורה לתשובה המוטעית ומבקשת ממנו להשוות ביניהם. העיסוק בתשובות מוטעות מתבסס על (Bransford & Schwartz 1999) הטוענים שיש להציג ללומד דוגמאות נכונות ליישום של מושג וכן דוגמאות שאינן נכונות, ובמיוחד יש להאיר את התכונות הקריטיות של המושג. יתירה מזאת הצגה של תשובה מוטעית יכולה ליצור קונפליקט קוגניטיבי אצל התלמיד ולעודדו לתת הסברים עצמיים (Große & Renkel 2007).

הפעילות מומשה בפלטפורמה מתוקשבת בעקבות מחקרים המלמדים שניתן להגביר מתן הסברים עצמיים באמצעות עידוד ממוחשב באותה מידה כמו עיי עידוד אנושי מותאם אישית. מחקרים אלו נעשו הן בקונטקסט של למידת דוגמת פתרון של (Hausmann & Chi, 2002) והן בקונטקסט של פתרון בעיה בליווי מאמן ממוחשב (Aleven & Koedinger 2002).

בנוסף, לפלטפורמה המתוקשבת מספר מאפיינים רצויים בניהול עבודת התלמיד:

1. זמינות של תוצרי עבודה קודמים של התלמידים בשלבים הבאים של הפעילות (המערכת מציגה את עבודת התלמיד ודוגמת המורה זו ליד זו).
2. אילוץ רצף פעולות בסדר מוגדר מראש (לדוגמא: קודם אבחון ולאחריו תיקון).
3. הופעה של הנחיות (prompts) במהלך הצגת דוגמת האבחון המכוונות את הלומדים להתמקד בעקרונות שבבסיס הדוגמא, בהתאם לממצאיהם של (Atkinson & Renkl, 2007) לגבי הנחיה ממוחשבת בקריאת דוגמת פתרון.

אולם, עדיין נשאלת השאלה: האם המערכת אכן משיגה את מטרתה ומעודדת תלמידים לבצע תהליכים של "ליבון מושגי"? ליבון מושגי יוגדר כ- self repair (Chi, 2000) שעיקרו ניסיון התלמיד לזהות וליישב את הפער בין התפיסה המוטעית לבין התפיסה המדעית המקובלת. במאמר זה נברר זאת באמצעות מטח-אנליזה של שיח בין שני תלמידי פיזיקה בתיכון המשוחחים ביניהם במהלך העבודה מול המערכת.

### תאור הפעילות המתוקשבת

בפיתוח הפעילות עמדו לנגד עיננו מספר עקרונות עיצוב:

1. הפעילות תעסוק בתפיסות מוטעות נפוצות.
2. הפעילות תממש שלבים הנדרשים לארגון מחדש של הידע: (Linn & Eylon, 2006) : 1) Elicit – התלמיד מחצין את תפישתו 2) Add מתווסף לתלמיד מידע חדש. 3) Evaluate התלמיד משווה ומעריך את הידע שלו לאור המידע החדש. 4) Re-sort התלמיד מארגן מחדש את הבנתו ומסכם מה למד מהפעילות.
3. הפעילות תתמוך בתלמיד באמצעות הוראות מפורשות המתייחסות לפערים בין התפיסה המוטעית לבין התפיסה המדעית המקובלת.
4. הפעילות תיצור חווית למידה בה יש התייחסות אישית לעבודת התלמיד.

בתרשים 1 מוצגת הבעיה והתשובה המוטעית של "דני" לבעיה זו. התשובה המוטעית מכילה הן ניבוי והן הצדקה המאפשרת לחשוף את התפישה המוטעית.

	<p><b>בעיה</b> (Cohen, Eylon &amp; Ganiel 1983)  מקור כא"מ <math>\varepsilon</math> בעל התנגדות פנימית <math>r</math> מחובר למעגל בו יש שני נגדים <math>R_1</math> ו-<math>R_2</math> ומפסק סגור S כמתואר בתרשים. פותחים את המפסק. האם לאחר פתיחת המפסק הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-B יגדל, יקטן, או לא ישתנה?  <b>נמק!</b>  <b>דני ענה את התשובה הבאה:</b>  לאחר פתיחת המפסק לא זורם זרם בין הנקודות A ו-B. לפי חוק אום, אם הזרם שווה לאפס, גם הפרש הפוטנציאלים שווה לאפס, כלומר הפרש הפוטנציאלים יקטן.</p>
--	---

**תרשים 1: בעיה לדוגמא ופתרון מוטעה של דני**

התלמיד העונה לפעילות היה צריך לבצע 4 שלבים (טבלה 1).

**טבלה 1: שלבי הפעילות המתקשבת**

שלב	התלמיד	
<b>חוה דעתך</b>	<b>מקבל</b>	בעיה ותשובה של דני
	<b>מתבקש</b>	מה דעתך על התשובה של דני?
<b>משימת אבחון</b>	<b>מקבל</b>	משוב האם תשובתו של דני נכונה או לא.
	<b>מתבקש</b>	א. העתיקו את החלק המוטעה בתשובה ב. הסבירו מהו העיקרון הפיסיקאלי בו דני טעה ובמה הבנתו שונה מההבנה הפיסיקאלית המקובלת ג. ענה תשובה נכונה.
	<b>מקבל</b>	הסבר המורה לטעות של דני
<b>משימת שיקוף</b>	<b>מתבקש</b>	א. ע"פ המורה: מהו העיקרון או המושג בו דני טעה? ב. ע"פ המורה במה הבנתו שונה מההבנה הפיסיקאלית המקובלת
	<b>מקבל</b>	1. טבלה ובא מופיע הסבר המורה לעיקרון בו דני טעה והסבר מורה לנקודה שבה הבנתו של דני שונה מההבנה הפיסיקאלית המקובלת 2. טבלה והא מופיע פתרון המורה ופתרון התלמיד
<b>משימת השוואה</b>	<b>מתבקש</b>	א. האם הסבר המורה לטעות של דני משכנע אותך ב. השווה וסמן את השלבים המופיעים בתשובת המורה המופיעים גם בתשובתך

בתרשים 2 צילום מסך של הפעילות המתקשבת.

### משימה ד: משימת השוואה

**חלק א: השוואה לאבחון הטעות של המורה**

להלן עיקרי הסבר המורה והסברך לעיקרון בו דני טעה, ולסתיירה עם המודל הפיסיקאלי המקובל.

ההסבר שלך	עיקרי הסבר המורה לטעות של דני
<p style="text-align: center;"><i>כאן אויטוסיפ קסומתו של פתלאויס מאשימת פאחולן</i></p>	<p><b>המושג או העקרון בו דני טעה</b> חוק אום</p> <p><b>במה הבנתו שונה מההבנה הפיסיקאלית המקובלת</b></p> <p>דני טעה בזה שהשתמש בחוק אום במצב בו הוא אינו תקף. חוק אום, על פיו יש יחס ישר בין הפרש הפוטנציאלים לבין עוצמת הזרם, תקף רק עבור מוליך מתכתי. אומנם עם פתיחת המפסק הזרם בין הנקודות B ו A - מתאפס, אבל הקביעה שאם הזרם מתאפס, גם הפרש הפוטנציאלים מתאפס, אינה תמיד נכונה. כאשר יש נתק בין שתי נקודות, כלומר אין ביניהן קשר מוליך, יתכן שיש ביניהן הפרש פוטנציאלים, אף שלא זורם ביניהן זרם.</p>

האם ההסבר של המורה לטעות של דני משכנע אותך?	פרט:
<input type="radio"/> כן, ההסבר משכנע, כך הסברתי בעצמי	
<input type="radio"/> כן, ההסבר המורה משכנע, <b>ההסבר שלי פחות בחר</b>	<p>מה לא היה ברור: <input type="checkbox"/></p> <p>לא ציינתי במפורש באיזה מושג או עיקרון דני טעה <input type="checkbox"/></p> <p>לא הבהרתי את מהות הסתיירה עם המודל הפיסיקאלי המקובל <input type="checkbox"/></p>
<input type="radio"/> כן, ההסבר המורה משכנע, <b>ההסבר שלי היה מוטעה</b>	מה הייתה הטעות שלי: <input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="radio"/> לא, ההסבר המורה לא משכנע, <b>ההסבר שלי נכון</b>	הסיבה שהמורה טעה לדעת: <input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="radio"/> אני עדין מוטד	מה מטריד אותי: <input style="width: 100%;" type="text"/>

**חלק ב: השוואה לפתרון הבעיה של המורה**

אם ההסבר המורה משכנע אותך, עבור למשימה הבאה. (לחץ על כפתור שלח והמשך בתחתית הדף).

אם אלה עדיין מוטד, לפניך התשובה של המורה ותשובתך. לאור תשובת המורה: האם חסר משהו בתשובתך? השווה וסמן ב-✓ את השלבים בתשובת המורה המופיעים גם בתשובתך:

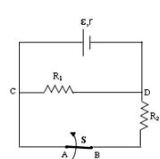
תשובת המורה	התשובה שלך
<p><input type="checkbox"/> כתוצאה מפתיחת המפסק, הפרש הפוטנציאלים בין B ל A גדל.</p> <p><b>נימוק:</b></p> <p><input type="checkbox"/> לפני פתיחת המפסק, הפרש הפוטנציאלים בין הדקו A ו B היה אפסי על פי חוק אום, כי זרם דרכו זרם אך התנגדותו הייתה זניחה.</p> <p><input type="checkbox"/> פתיחת המפסק גורמת לתק במסלול CABD, כך שבמסלול זה כבר לא זורם זרם; לכן הפוטנציאל בנקודה B משתווה לזה שבנקודה C (לפי פיתוח אום עבור המד R<sub>2</sub>, כי עתה דרך נגד זה לא זורם זרם). בנוסף, הפוטנציאל בנקודה A שווה תמיד לזה שבנקודה C, לכן, כאשר המפסק פתוח, הפרש הפוטנציאלים בין A ל B שווה לזה שבין C ל D.</p> <p><input type="checkbox"/> בין הנקודות C ו D זורם זרם גם אחרי פתיחת המפסק, לכן הפרש הפוטנציאלים בין נקודות אלו שונה מאפס ומוווה גם הפרש הפוטנציאלים בין A ל B אחרי פתיחת המפסק.</p>	<p style="text-align: center;"><i>כאן אויטוסיפ קסומתו של פתלאויס מאשימת פאחולן</i></p>

אם כן' נסעי נעסכ.נ טע עמחוע  
עאס האנס הלענוע האטענע כענאוכעל. כעוולו טומחע נ

### משימה א: חווה דעתך

**זהירות ממשול לפיך - מעגלי זרם ישר**

מקור כח"מ  $\mathcal{E}$  בעל התנגדות פנימית ז מחובר למעגל בו יש שני נגדים  $R_1$  ו  $R_2$  ומפסק סגור S כמתואר בתרשים. פותחים את המפסק. האם לאחר פתיחת המפסק הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו B יגדל, יקטן, או לא ישתנה? **נמק!**



**דני ענה את התשובה הבאה:**

לאחר פתיחת המפסק לא זורם זרם בין הנקודות A ו B. לפי חוק אום, אם הזרם שווה לאפס, גם הפרש הפוטנציאלים שווה לאפס, כלומר הפרש הפוטנציאלים יקטן.

**מה דעתך על התשובה של דני?**

התשובה נכונה

התשובה נשמעת סבירה, אך איני בטוח

אני מתלבט

התשובה נשמעת לא סבירה, אך איני בטוח

התשובה לא נכונה

### משימה ב: משימת אבחון

**תשובתו של דני מכילה טעות נפוצה. נסה לברר מהי:**

א. העתק את החלק שנראה לך מוטעה בתשובה.

ב. הסבר באיזה עקרון פיסיקלי דני טעה, ובמה הבנתו שונה מההבנה הפיסיקאלית המקובלת?

ג. ענה תשובה נכונה במקום תשובתו של דני

### משימה ג: משימת שיקוף

**לפניך הסבר המורה לטעות של דני:**

דני טעה בזה שהשתמש בחוק אום במצב בו הוא אינו תקף. חוק אום, על פיו יש יחס ישר בין הפרש הפוטנציאלים לבין עוצמת הזרם, תקף רק עבור מוליך מתכתי. אומנם עם פתיחת המפסק הזרם בין הנקודות B ו A - מתאפס, אבל הקביעה שאם הזרם מתאפס, גם הפרש הפוטנציאלים מתאפס, אינה תמיד נכונה. כאשר יש נתק בין שתי נקודות, כלומר אין ביניהן קשר מוליך, יתכן שיש ביניהן הפרש פוטנציאלים, אף שלא זורם ביניהן זרם.

**שקף לעצמך את עיקרי הסבר המורה:**

**על פי המורה: מהו המושג או העיקרון בו דני טעה?**

**על פי המורה: במה הטעות שלו סותרת את ההבנה הפיסיקאלית המקובלת?**

**תרשים 2: צילום מסך של הפעילות המתוקשבת**

**מתודולוגיה**

כנאמר לעיל ברצוננו לבחון האם המערכת מעודדת תלמידים לבצע תהליכים של ליבון מושגי. לשם כך הקלטנו ושקלטנו עבודה של זוג תלמידים (באודיו). בנוסף, נשמרו תשובות התלמידים במסד נתונים. התמליל נותח באמצעות קטגוריות שנבנו במטרה לייצג שני היבטים בשיח:

**א.** רעיונות פיסיקאליים המובעים ע"י התלמיד, נכונים ומוטעים **ב.** ניסיונות לליבון מושגי.

**קטגוריות המייצגות רעיונות פיסיקאליים**

בבעיה בה עסקנו, הפותר מתבקש לחזות את התנהגותם של גדלים מבוקשים במערכת פיסיקלית לגביה נתון מידע בבעיה ולנמק. לכן, התשובה לבעיה מכילה "ניבוי" והסבר העושה שימוש במושגים

וברעיונות פסיקליים. בטבלה 2 מופיעים הרעיונות הפסיקליים שנדרשים למומחה כדי לספק תשובה לבעיה. רעיונות אלה, שימשו קטגוריות בניתוח השיח.

**טבלה 2: רעיונות פסיקליים המשמשים כקטגוריות בניתוח השיח**

1	הכיוון הסיבתי של חוק אוהם: אם יש הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במעגל חשמלי סגור יהיה ביניהן זרם, אך לא להיפך, אם יש זרם בין שתי נקודות במעגל סגור לא בהכרח יש ביניהן הפרש פוטנציאלים. יכול להיות מצב שבין שתי נקודות שאין ביניהן חיבור מוליך רצוף, יהיה הפרש פוטנציאלים אבל לא זרם.
2	יחס בין משתנים המבוטא בחוק אוהם: במוליך מתכתי יש יחס ישר בין הזרם למתח
3	גבולות התקפות של חוק אוהם: חוק אום תקף על מוליכים מתכתיים בלבד
4	ההתנגדות של מפסק סגור: ניתן להתייחס למפסק סגור כאל חוט מוליך שהתנגדותו אפס
5	תנאי לזרימת זרם חשמלי: זרימת מטענים/זרם בין שתי נקודות מותנית בקיומו של מסלול מוליך רצוף בין שתי הנקודות
6	הגדרת המושג הפרש פוטנציאלים
7	הגדרת חיבור טורי וחיבור מקבילי. חיבור טורי: בנגדים זרם אותו זרם. חיבור מקבילי: קצות הנגדים מחוברים לאותם פוטנציאלים
8	ניבוי: התשובה אינה נכונה, הפרש הפוטנציאלים יגדל

**קטגוריות המייצגות ליבון מושגי**

התמקדנו בסוגים שונים של "רגעי ערעור" בהם יש אי התאמה בין רעיון של התלמיד לבין: רעיון שמציגה המערכת, רעיון של זולתו ורעיון חדש שמעלה התלמיד עצמו.

הערעור יכול להתייחס להבנת הרעיונות הפסיקליים או להבנת דרישות הפעילות.

**ייצוג השיח**

שיח הזוג במהלך הפעילות יוצג ויזואלית הן בהיבט של התפתחות הרעיונות הפסיקאליים והן בהיבט של רגעי הערעור אותם חווה התלמיד במהלך העבודה. להלן נציג ניתוח שיח של זוג יחיד (ראובן ושמעון) (תרשים 3). יחידת ניתוח ששימשה אותנו היא משפט שאמר התלמיד. עצירה של התלמיד בשטף הדיבור החלה יחידת ניתוח חדשה. יש לציין שרק יחידות שניתן לשייכם לאחת הקטגוריות מוספרו. מספור זה מופיע בשורה התחתונה של התרשים. בטור הימני מיוצגים הרעיונות הפסיקליים השונים. לכל רעיון מוקצות שתי שורות: בעליונה סימנו את "רגע הערעור". בתחתונה סימנו באפור- כאשר אחד מבני הזוג הביע רעיון פסיקלי באופן נכון ובשחור – כאשר הביע פרשנות שגויה לאותו רעיון. כאשר תלמיד הביע ערעור ביחס לרעיון פסיקלי מסוים יסומן משולש שחור הפוך בשורה העליונה של הרעיון המתאים. כאשר הערעור מבטא חוסר הבנה כללי שלא ניתן לשיוך לאחד מהרעיונות יסומן משולש שחור בשורה שמעל שורת המספרים התחתונה (כללי). בשלבים שונים, המערכת מוסרת לתלמידים מידע הניתן לשיוך לרעיונות הפסיקליים. אלו סומנו ע"י חיצים ריקים- עבור רעיון נכון וחיצים שחורים – עבור רעיון מוטעה. כדי לצמצם את מורכבות הייצוג הוויזואלי לא הפרדנו בייצוג בין שני בני הזוג.

מספט	1	2	3	4	5	6	7	8	כללי	מספט
1										1
2										5
3										10
4										15
5										20
6										25
7										30
8										35
כללי										40
מספט										45

מספט	1	2	3	4	5	6	7	8	כללי	מספט
1										50
2										55
3										60
4										65
5										70
6										75
7										80
8										85
כללי										90
מספט										95
										100

חרישים 3: ייצוג השיח

## ממצאים העולים מניתוח השיח

מבט על על השיח מראה שלמרבית הרעיונות הפיסיקליים מופעים מוטעים (ריבועים שחורים) ונכונים (ריבועים אפורים) לסירוגין במחצית הראשונה של הפעילות, כאשר המופעים הנכונים הולכים ומתרבים במחצית השנייה (ריבוי ריבועים אפורים). מכאן שהשינוי התפיסתי מתרחש באופן הדרגתי הכולל התקדמויות ונסיגות וחוזר חלילה עד למצב בו התלמיד מבטא את הרעיונות כשורה.

ההבנה המוטעית של רעיונות פיסיקליים 1-3 הם בלב טעותו של דני, ומלכתחילה גם בלב תפיסתם של התלמידים המזדהים עם דני:

”...ראובן (מ31): ענה תשובה נכונה, מה התשובה הנכונה? הכל נכון חוץ מההוא אחרי פתיחת המפסק לא זורם זרם בין הנקודות A ו B לפי חוק אום.. זה לא נכון מה הקשר רגע מה זה חוק אום? V שווה IR נכון? אז אם I שווה אפס גם V שווה אפס הוא צודק לא? (ההדגשה של החוקרים) מה מה במה הוא טעה? לפי הכלל הזה הוא צריך להיות צודק....”

ניתן לראות שבפעילות התקיימו שני מהלכים של ליבון מושגים: **המהלך הראשון** מתבטא בשתי המשימות הראשונות של הפעילות (חווה דעתך, משימת האבחון). במשימות אלו הפעילות אינה מוסיפה מידע לתלמיד מעבר לכך שהתשובה של דני מוטעית. אולם הפעילות מעודדת את התלמידים לחשוף את תפיסותיהם באמצעות הדרישה לניסוח מהות הטעות של דני וניסוח תשובה נכונה לבעיה.

הפער בין המידע שנמסר מהמערכת, שדני טועה, והזדהותם הקודמת של התלמידים עם תפיסתו של דני, עוררו אצל התלמידים קונפליקטים רבים, הן פנים אישיים והן בין אישיים, שניתן לראותם בתשבץ של ריבועים אפורים ושחורים בין משפטים 1-50, ברגעי הערעור הרבים המתייחסים בעיקר לשלשת הרעיונות הפיסיקליים הראשונים, או לחלופין, בציטוטי השיח הבאים:

### קונפליקטים בין אישיים

שמעון (מ27): אז הפרש הפוטנציאל יהיה שווה אפס מה כי אין שום הפרש?  
ראובן (מ28): יש הפרש  
שמעון (מ29): אין הפרש כשזה סגור? (ההדגשה של החוקרים)

### קונפליקט פנים אישי

ראובן (מ33): אז אם I שווה אפס כמו כאן אז גם V צריך להיות שווה לאפס?  
ראובן (מ34): אה כי חוק אום זה רק על מעגלים? לא? אין מצב כזה? נראה לי שחוק אום זה רק על מעגל חשמלי ולא על פוטנציאל באוויר. יש מצב? (ההדגשה של החוקרים)

אמנם התלמידים דבקים ברעיון השגוי שחוק אום מכתוב "אם I שווה אפס... אז גם V... אפס" (ש33), אך הקונפליקט מביא אותם לנסח את מהות הטעות של דני (יישום חוק אום על "פוטנציאל באוויר" אף שהוא תקף "רק על מעגלים") כלומר הם משחזרים פריט מידע שידוע להם, אך מלכתחילה לא עשו בו שימוש בהקשר לבעיה, והוא: שחוק אום תקף רק על רכיבים מתכתיים. ועדיין, הכרה שחוק אום תקף רק על רכיבים מתכתיים לא מונעת משמעון ליישם את חוק אום למעגל הפתוח

שמעון (מ47): קודם זה היה משהו ועכשיו זה אפס אחרי פתיחת המפסק לא זורם זרם בין הנקודות A ו B איפה זה A ו B. הנה מצוין. לכן לא עובר זרם ב- R2 ולכן לא יהיה פוטנציאל, לא יגיעו מטענים והפרש הפוטנציאל.. שווה אפס. (ההדגשה של החוקרים)

לשיטתו של שמעון, לאחר פתיחת המפסק אם אין זרם לא יהיה הפרש פוטנציאלים, בהתאם לקשר הליניארי בין זרם למתח המובע בחוק אום. זאת אומרת הוא חוזר בתום השלב לבטא את הטעות הנפוצה.



**המהלך השני** מתבטא בשתי המשימות האחרונות בפעילות: משימת השיקוף ומשימת ההשוואה. בשתי משימות הפעילות מוסיפה לתלמידים מידע רב: אבחון נכון ותשובה נכונה לבעיה. מידע זה, לאחר כל ההתלבטויות שליוו את שני השלבים הראשונים הצליח להביא לשינוי מושגי ביחס לרעיונות הפיסיקליים הנותרים (למעט רעיון 6). לדוגמה רעיון מס' 1 מגיע לתיקונו באופן הבא:

שמעון (מ90) מה הייתה הטעות?...

ראובן (מ91): אני אומר לך לא הבנתי

שמעון (מ92): ... היתה עוד טעות אם אין זרם עדיין יש פוטנציאל אפילו במקום שלא עובר בו זרם. (ההדגשה של החוקרים)

תשובה זו מתקבלת לאחר שהתלמידים רואים את תשובת המורה בה הדבר נאמר בפירוש.

על אף הדיון העשיר והמידע הרב שהוסיפה המערכת, לא כל הרעיונות באו על תיקונם. לגבי שני רעיונות פריפריאליים לפעילות (6 – הגדרת חיבור טורי ומקבילי, 7 – הגדרת המושג הפרש פוטנציאליים) התקיימו דיון והתלבטות אך תהליך זה הסתיים באופן לא מספק, שכן בסיומה של הפעילות התלמידים החזיקו בתפיסה מוטעית ביחס לרעיונות אלו.

### סיכום ומסקנות

המאמר מדגים כיצד פעילות מתוקשבת הממוקדת באבחון טעות מאפשרת לתלמידים ללבוש מושגים. הראינו שהמערכת מעודדת את התלמידים לקונפליקטים פנים אישיים ובין אישיים בנוגע להבנתם את סיטואציית הבעיה והעקרונות הפיסיקאליים המסבירים אותה. הקונפליקטים מובילים לתהליך של שינוי תפיסתי. בני הזוג מארגנים את הידע שלהם מחדש תוך כדי דיון ער העוסק במושגים ועקרונות מדעיים, משמעותם ותכולתם, במהלכו מתבצע עידון וגיבוש של המושגים והעקרונות העומדים בבסיס הבעיה שבה הם עוסקים. הראינו שני מהלכים המובילים לשינוי מושגי בפעילות. עיקרו של הראשון, חשיפת רעיונות מוטעים ודרישה לבחינתם מחדש במסגרת שני השלבים הראשונים של הפעילות. מהלך זה עורר קונפליקטים רבים. עיקרו של השני בהוספת מידע עיי המערכת לגבי האבחון והפתרון הנכונים. בנוסף הראנו שההתפתחות בתפיסה המושגית לא הייתה ליניארית אלא כללה נסיגות רבות. ממצא זה מלמד על כוחה של המערכת שאינה מאפשרת לתלמיד רמת הבנה המסתכמת ברמה הדקלרטיבית אלא דורשת ממנו בכל פעם לעמת את הבנתו עם מידע חדש העולה מתוך העבודה על הפעילות. שני המהלכים שתוארו לעיל מצביעים על מרכזיותה של המערכת המתוקשבת בדיון המתרחש בין התלמידים שכן המערכת המתוקשבת קובעת רצף פעילויות מסוים הגורם לתלמיד לערער מושגי בשלב הראשון ולאחר מכן לארגון מחדש של הידע באמצעות המידע שהוסיפה לו המערכת.

### מקורות

- Aleven, V. & Koedinger, K.R. (2002) An effective meta-cognitive strategy: Learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, 26. 147-179.
- Atkinson & Renkl, (2007). Interactive example-based learning environments: Using interactive elements to encourage effective processing of worked examples, *Educational Psychology Review*, 19. 375-386.
- Bransford, J. D., & Schwartz, D. L. (1999). Rethinking transfer: A simple proposal with multiple implications. In A. Iran-Nejad & P. D. Pearson (Eds.), *Review of research in education*, 24. 61-101. Washington, DC: American Educational Research Association
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science* 13, 145-182.
- Chi M.T.H. (2000). Self-explaining expository texts: The dual process of generating inferences and repairing mental models. In Glaser, R. (Ed.). In *Advances in Instructional Psychology*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 161-238.

- Cohen, R. Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts, *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.
- Große, C., & Renkl, A. (2007). Finding and fixing errors in worked examples: can this foster learning outcomes? *Learning and Instruction*, 17, 612-634.
- Hausmann, R.G.M. & Chi, M.T.H. (2002). Can a computer interface support self-explaining?, *Cognitive Technology*, 7, 4-14.
- Henderson C. & Dancy M.(2007). Barriers to the use of research-based in-structional strategies: The influence of both individual and situational characteristics, *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 3(2).
- Hewson, P. W. & Hewson, M. G. (1984). The role of the conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Hsu, L. & Heller, K.,(2004). Computer Problem-Solving Coaches,2004 Phys. Ed. Res. Conference, Sacramento, CA, (Marx, J., Heron, P. & Franklin, S. eds.), AIP Conf. Proc. 790, 197-200.
- Linn, M.C. & Eylon, B.S. (2006). Science Education: Integrating Views of Learning and Instruction. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (2nd Ed., pp. 511-544). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McDermott, L. C. (1989). A view from physics. In M. Gardner, J. Greeno, F. Reif, & A. Schoenfeld (Eds.), *Toward a Scientific Practice of Science Education*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, Inc., p. 3-30.
- Reif, F. & Scott, L.A. (1999). Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. *American Journal of Physics*, 67, 819–831.
- Turpen, C.& Finkelstein, N. (2009). Not all interactive engagement is the same: Variation in physics professors' implementation of peer instruction. *Physical Review Special Topics,– Physics Education Research*, 5(2).
- VanLehn, K., Lynch, C., Schulze, K., Shapiro, J. A., Shelby, R., Taylor, L., et al.(2005). The Andes physics tutoring system: Lessons learned, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 15(3).
- Yerushalmi, E., Henderson, C., Heller, K., Heller, P. & Kuo,V. (2007). Physics faculty beliefs and values about the teaching and learning of problem solving part I: Mapping the common core, *Physical Review Speical Topics – Physics Education Research* 3, Physics Education Research.