

# תהליכי גיבוש ידע ושינוי בהבנה המושגית במסגרת פעילויות אבחון מתוקשבות העוסקות בתפיסות חלופיות נפוצות בפיסיקה תיכונית

חיבור לשם קבלת התואר  
דוקטור לפילוסופיה

מאת  
מנשה פיוטרקובסקי

מנחים  
פרופ' עידית ירושלמי וד"ר אסתר בגנו

מוגש למועצה המדעית  
של מכון ויצמן למדע  
רחובות, ישראל

כסלו תשע"ד

## תקציר עבודת הדוקטורט

פתרון בעיות מהווה מרכיב מרכזי בלימוד והוראת פיסיקה. למידה מפתרון בעיות מושתתת על תהליך רפלקטיבי שבו התלמיד בוחן מהלכים קודמים בפתרון ומפיק מהם לקחים (Smith et al., 1993). בתהליך זה התלמיד יכול לבחון תוצרים שלו ושל זולתו, מוטעים או נכונים, ולספק הסברים עצמיים (Chi, 2000) מסוג תיקון עצמי. בהסברים מסוג זה על התלמיד להכיר ולנסות ליישב קונפליקטים, אם קיימים, בין גישתו לפתרון ובין הגישה המקובלת מדעית. בפרט, בין הפרשנות שלו לפרשנות המקובלת למושגים ועקרונות מדעיים המשמשים בפתרון.

ניתן לראות בפתרון בעיות אמצעי המעודד תהליכי גיבוש ידע (Knowledge Integration) ומקדם שינוי תפיסתי. על פי לין ואלון (Linn & Eylon, 2006) תהליכי גיבוש ידע כוללים את התהליכים הבאים:

- א) Elicit - החצנה של תפיסות ראשוניות של הפותר;
- ב) Add - הוספת מידע, בפרט כזה המשקף את הפרשנות המדעית המקובלת למושגים ועקרונות פיסיקליים;
- ג) Develop criteria - פיתוח קריטריונים המבחינים בין תפיסות שונות ומאפשרים להעריכן;
- ד) Sort out - יישוב בין תפיסות חדשות וישנות לגיבוש מחדש של ההבנה.

אולם, המחקר מלמד שפתרון בעיות אינו ממלא את התפקיד המתואר לעיל, הן מבחינת התוצר, והן מבחינת התהליך. מבחינת התוצר, הרי שקים ופאק (Kim & Pak, 2002) הראו שגם פתרון של אלפי בעיות אינו מניב שינוי תפיסתי. מבחינת התהליך, הרי שמחקרים על גישות לפתרון בעיות בפיסיקה מלמדים שתלמידים רבים אינם מפגינים גישה רפלקטיבית בפתרון בעיות, הם נוקטים גישה של ניסוי וטעייה (Larkin, et al., 1980, Reif & Heller, 1982, Tuminaro & Redish, 2007), שעיקרה התאמה של נוסחה מוכרת למשתנים

המופיעים בבעיה והצבת ערכים ללא בירור המשמעות והמובן הפיסיקלי של הנוסחאות (recursive plug and chug). הם אינם מזהים קריטריונים המשמשים לביקורת עצמית, ובהתאם, הידע שלהם נותר פגום ומקוטע (Eylon & Reif 1984, Heller & Reif 1984, de Jong & Ferguson-Hessler, 1986).

מורים וחוקרים העוסקים בהוראת פיסיקה פיתחו מגוון אסטרטגיות הוראה המיועדות להבטיח את קיומם של ארבעת תהליכי גיבוש הידע. בפרט, פותחו אסטרטגיות הוראה שמטרתן לעודד תלמידים לדון ולבקר את גישת הפתרון של עצמם ושל עמיתיהם (Crouch & Quinn, 1988). חלק אינטגרלי מאסטרטגיות אלו הוא הדיון בכיתה, במהלכו על המורה לעודד שיח ארגומנטטיבי: להימנע ממתן תשובות, לעודד הצגה של טענות מגוונות (נכונות ומוטעות), לדרוש הצדקות לטענות, לסייע לתלמידים להבחין בפערים ולעשות שימוש בהגדרות מדעיות ובתצפיות כקריטריונים להעריך גישות ותפיסות שונות. זמן כיתה וכישרון הנחיה מפותחים של המורה הם תנאי לשיח מעין זה, וכפי שקורה לא אחת, כאשר אלו חסרים, אסטרטגיות הוראה אלו מתממשות באופן הסוטה מכוונת המפתחים (Turpen & Finkelstein, 2009).

יש מקום לחשוב שכלים ממוחשבים יכולים לתת מענה לקשיים אלו, שכן המחקר מלמד שניתן להגביר מתן הסברים עצמיים באמצעות עידוד ממוחשב באותה מידה כמו ע"י עידוד אנושי (Hausmann & Chi, 2002). לדוגמא, בתחום של הוראת המתמטיקה פותחו מספר פעילויות מתוקשבות המעודדות לחשיבה רפלקטיבית במהלך קריאה של דוגמת פתרון. המחקר אף הראה שישנה עדיפות לתלמידים שנחשפו לדוגמאות פתרון לא נכונות לצד דוגמאות הפתרון הנכונות (Siegler, 2002; Grobe & Renkel, 2007; Tsovaltzi et al., 2010; McLaren et al., 2012).

המחקרים הנ"ל אשר תארו כלים ממוחשבים לתמיכה בקריאה מדוגמת פתרון עסקו בעיקר בתחום החינוך המתמטי. לעומת זאת, במחקר זה פותחו סדרת פעילויות מתוקשבות באלקטרוניקה המותאמות לתכנית הלימודים למתמחים בפיסיקה שמטרתן עידוד תהליכי גיבוש ידע. בפרט, תמיכה בתלמידים בפיתוח קריטריונים המבוססים על עקרונות ומושגים פיסיקליים, באמצעותם יעריכו את תפיסותיהם ותפיסות עמיתיהם. הפעילויות מדריכות את התלמידים באבחון טעויות "מכוונות" (טעויות נפוצות מעשה ידי מורה או מפתח). ראשית, התלמיד מתנסה באבחון הטעויות בעזרת הנחיות לאבחון, ובהמשך מעבד משוב מורה, במסגרת משימת השוואה לאבחון מורה.

בהקשר של פעילויות אלו נבחנו השאלות הבאות:

#### שאלת מחקר 1

מהם עקרונות העיצוב לפעילות מתוקשבת ללמידה מטעויות המביאה את מרבית התלמידים לאבחון משמעותי? (אבחון משמעותי משמעו, אבחון המתייחס לקונפליקטים בין תפיסות שונות ומציג קריטריונים מבוססי עקרונות להבחנה בין תפיסות מקובלות ולא מקובלות (מדעית)

#### שאלת מחקר 2

מהם היבטי ההבנה המושגית בהם חל שיפור במהלך עבודה בפעילות מתוקשבות ללמידה מטעויות המממשת את עקרונות העיצוב לעיל, וכיצד השיפור תלוי בידע מקדים?

### שאלת מחקר 3

כיצד מתממשים תהליכי גיבוש הידע אצל תלמידים במסגרת פעילות מתוקשבות ללמידה מטעויות המממשת את עקרונות העיצוב לעיל, וכיצד תהליכי גיבוש הידע של התלמידים תלויים בידע מקדים?

המחקר כלל שלושה חלקים המתאימים לשלש השאלות:

#### 1. מחקר משווה בין גרסאות הפעילות השונות.

מטרתו של חלק זה במחקר הינו ניסוח עקרונות עיצוב לפעילות מתוקשבת ללמידה מטעויות המביאה את מרבית התלמידים להתייחס לקריטריונים מבוססי עקרונות במהלך האבחון ועיבוד משוב המורה.

במהלך המחקר המשווה פותחו שלוש גרסאות לפעילות, a,b,g, אשר הכילו מרכיבי עיצוב המתבססים על מחקרים וניסיון של מפתחי הפעילות. מרכיבי העיצוב השונים ממשו את עקרונות העיצוב הבאים:

- א. מימוש ארבעה תהליכי גיבוש הידע (KI): Elicit, Add, Develop Criteria, Sort .out
- ב. התמקדות בתפיסות חלופיות נפוצות המדווחות בספרות המחקרית.
- ג. הימנעות משיפוטיות.
- ד. עיסוק בטעויות מעשי ידי המורה המציגות טענות והצדקות.
- ה. מינוף התקשוב לניהול יעיל ותמיכה בתהליך למידה כאשר האחריות על התהליך נשארת בידי התלמיד.

נתוני המחקר המשווה הינם תשובות התלמידים להסבר הטעות כפי שנשמרו במסד הנתונים של המערכת המתוקשבת. בכל אחת מהגרסאות נבדק הן במשימת האבחון, והן במשימת השוואה לאבחון מומחה, באיזו מידה זיהו התלמידים קונפליקטים בין תפיסות שונות, וניסחו קריטריונים מבוססי עקרונות להבחנה בין תפיסות מקובלות ולא מקובלות מדעית. ניתוח זה יוצג כמותית. בגרסה השלישית, גרסת g נמצא שיפור מובהק ביחס לגרסאות קודמות בהיבט של פיתוח קריטריונים להבחנה בין תפיסות ( $\chi^2 = 6.5455, Pr = 0.005$ ). בהתאם לממצאים בתום כל גרסה בחנתי את מרכיבי העיצוב שמומשו באותה גרסה והצדקתי את השינויים שנעשו במרכיבי העיצוב בגרסה הבאה וחזר חלילה. השוואה בדיעבד של מרכיבי העיצוב בגרסאות השונות הניבה עיקרון עיצוב נוסף:

1. איזון עדין בפיגומי ההבניה והאיתגור Structuring and Problematizing scaffoldings (Reiser, 2004) כדי להבטיח את שלב ה- Develop criteria בו התלמידים מפתחים קריטריון המבחין בין תפיסה מקובלת מדעית לתפיסה שאינה מקובלת מדעית.

#### 2. מחקר על תוצרי הלמידה בפעילות בגרסת g מהופכת.

מטרתו של חלק זה במחקר לברר מהם היבטי ההבנה המושגית בהם חל שיפור במהלך עבודה בפעילות מתוקשבות ללמידה מטעויות המממשת את עקרונות העיצוב לעיל,

וכיצד השיפור תלוי בידע מקדים כפי שמתבטא בבעיות טרנספר קרוב? כדי לבדוק זאת היה צורך להקדים לפעילות שלב של פתרון בעיית Pre, ולהשוות את הישגי התלמידים בבעיית ה- Pre להישגיהם בבעיית טרנספר קרוב ב- Post. לשם כך

פותרו בעיות Post איזומורפית לבעיות ה-Pre ביחס לתפיסה החלופית, שניתנו כחלק מבחן בשיעור עוקב וגרסת הפעילות שהתקבלה נקראת גרסת g מהופכת. יש להדגיש שמרכיבי העיצוב בגרסה זו תואמים לאלו של גרסת g, למעט שינוי במיקום שלב פתרון הבעיה, שבגרסת g מתבצע אחרי האבחון, ובגרסה g מהופכת לפני האבחון. התלמידים ענו על בעיית ה-Pre וה-Post ביחידות, בכיתה. התשובות ב-Pre נאספו במסד הנתונים במערכת המתוקשבת, וב-Post בכתב.

תשובות התלמידים מוינו לקטגוריות של טעויות מסוגים שונים (כאלו המתייחסות לתפיסות החלופיות המטופלות בפעילות, וכאלו שלא), והשיפור מ-Pre ל-Post נבדק כמותית.

נמצא, שפעילות המביאה את מרבית התלמידים להתייחס לקריטריונים מבוססי עקרונות במהלך האבחון ועיבוד משוב המורה, מצליחה להביא לשיפור בהבנה המושגית בהתייחס לתפיסות החלופיות המטופלות בפעילות, כל עוד אלו משויכות לקטגוריות של אמונה מוטעית (False belief) או מודל מנטאלי פגום (Flawed mental model), אך לא ביחס לתפיסות חלופיות הנובעות מקטגוריה מוטעית (Category mistake). כמו כן נמצא שעולות טעויות נוספות בשלב ה-Post אותן ניתן לייחס לחוסר איזומורפיות מספקת ביחס להליך הפתרון המלא, ולקשיים נוספים של התלמידים בהם הפעילות לא עסקה.

### 3. מחקר על תהליך הלמידה בפעילות בגרסת g.

כבר בשלבים הראשונים של המחקר ראיתי שכאשר הפעילות מופעלת בבית ישנה נשירה גדולה של תלמידים הנובעת כנראה מאורכה של הפעילות. בנוסף, בליבה של הפעילות נמצאת משימת אבחון והשוואה של אבחון המורה לאבחון התלמיד. בהתאם, עלתה השאלה האם ניתן לקצר את הפעילות ולוותר על השלב של פתרון הבעיה וההשוואה לפתרון המורה לבעיה. בהתאם עבדו התלמידים בשלב זה של המחקר על שתי גרסאות שונות: פעילות בגרסת g ופעילות בגרסת g מקוצרת (גרסה הממוקדת באבחון).

נתוני חלק זה של המחקר הינם תמלילי שיחות של זוגות תלמידים בעלי רקע מקדים גבוה ונמוך (כפי שבא לידי ביטוי בשיפוטם את הטעות המכוונת), אשר עבדו על הפעילות בשתי הגרסאות המממשות שניהן את עקרונות העיצוב א'-ו', אך נבדלות זו מזו בדרישה מהתלמיד להציג פתרון לבעיה ולהשוות אותו לפתרון מורה, שהופיעה רק בגרסת g. המחקר כלל מיקרואנליזה של התמלילים במטרה לענות על שאלות המחקר הבאות:

כיצד מתממשים תהליכי גיבוש הידע (KI) בקרב תלמידים בעלי ידע מקדים שונה במהלך פעילות בגרסת g מקוצרת?

א. ניתוח של שני מקרי בוחן העלה שהן זוג תלמידים בעלי ידע מקדים גבוה והן זוג בעלי ידע מקדים נמוך עסקו רבות בפיתוח קריטריון לאבחנה בין התפיסה המדעית הנכונה והמוטעית, והצליחו בכך. אולם, תלמידים בעלי ידע מקדים גבוה פיתחו מספר קריטריונים, יותר ויותר מעמיקים. הם גם יישבו את הבנתם הראשונית עם התובנות שפיתחו בהמשך הפעילות (תהליך Sort out). בניגוד לכך, תלמידים בעלי ידע מקדים נמוך נצמדו לקריטריון הצהרתי ולא הצליחו לגבש תובנה קוהרנטית דומה. בנוסף תלמידים בעלי ידע מקדים גבוה הכירו במשמעות ההבדל בין אבחונם לאבחון המורה, בעוד שתלמידים בעלי ידע מקדים נמוך לא זיהו הבדל כלשהו.

ב. כיצד מתממשים תהליכי גיבוש הידע (KI) בקרב תלמידים בעלי ידע מקדים נמוך במהלך פעילות בגרסת g ובמהלך פעילות בגרסת g מקוצרת?

ניתוח של שלושה מקרי בוחן, שנים העובדים בפעילות בגרסת g הכוללת גם משימת אבחון וגם משימת פתרון בעיה, ואחד בפעילות בגרסת g מקוצרת הראה שרק אצל התלמידים העובדים בפעילות בגרסת g התממש שלב ה-Sort out בתהליך גיבוש הידע. פתרון הבעיה ובעיקר עיבוד פתרון המורה לבעיה דרבנו את התלמידים בעלי הידע המקדים הנמוך לעבור את תהליך ה-Sort out. בהתאם, אנו משערים כי מימוש כל שלבי גיבוש הידע אצל תלמידים בעלי ידע מקדים נמוך דורש שילוב של פעילות אבחון טעויות עם פעילות פתרון בעיה.