

יצירתיות וקוגניציה בלמידה מעוגנת גוף של מושגים בפיזיקה

רוני זהר, אסתר בגנו, בת-שבע אלון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות
דור אברהמסון, המחלקה לחינוך באוניברסיטת ברקלי, ארה"ב

העשרה



תקציר

כיצד ניתן לחזק את הזיקה בין מושגים מדעיים הנלמדים בבית הספר לבין מושגים ספונטניים המתפתחים באופן טבעי? כלומר, מהו הקשר בין ידע נאיבי לבין ידע מובנה כגון מושגים במכניקה הנלמדים במסגרת לימודי הפיזיקה? מחקרים אתנוגרפיים ומחקרים בנוירופיזיולוגיה מראים שפיזיקאים פותרים בעיות מורכבות באמצעות סימולציות סנסומוטוריות דמיוניות של התופעות הנדונות, אולם לא ידוע מהן ההשלכות על אופן ההוראה בבתי הספר התיכוניים. כחוקרי למידה וחינוך המושפעים מתאוריית ה-Embodiment (מוח וגוף כיחידה אחת), חקרנו את הפוטנציאל של פדגוגיה מעוגנת גוף בלימוד מושגים פיזיקליים מורכבים.

במאמר זה אנו מתארים שני חקרי מקרה של תלמידות תיכון, שלמדו מושגים מורכבים בפיזיקה, שיווי משקל ומהירות זוויתית, על ידי פתרון בעיות סנסומוטוריות כפרט וכקבוצה. גישת ההוראה התבססה על פדגוגיה מעוגנת גוף (זהר, 2015; Zohar et al 2015) כחלק מתהליך הלמידה הציגו התלמידות עבודות סיכום שכללו את המושגים בפיזיקה וביטאו יצירתיות ועומק מדעי, פילוסופי ורגשי. אנו מנסים לאפיין את התהליכים שהובילו לתוצאות אלו בעזרת ניתוח איכותני של האופניות השונות (Multimodal analysis) בתהליך הלמידה ובעבודות הסיכום.

מבוא

כיצד ניתן לחזק את הזיקה בין מושגים מדעיים הנלמדים בבית הספר לבין המושגים הספונטניים המתפתחים באופן טבעי? כלומר, מהו הקשר בין ידע נאיבי לבין ידע מובנה כגון מושגים במכניקה הנלמדים במסגרת לימודי הפיזיקה? מחקרים רבים מראים כי סטודנטים הלומדים מכניקה בכל הרמות חווים קושי בהבנת המושגים ולעיתים קרובות ממשיגים אותם בצורה אינטואיטיבית, שאינה מתאימה למושגים המקובלים בפיזיקה (McDermott, 1999).

מחקרים מראים כי הוראה המובילה ללמידה פעילה שהיא מעבר להקניה פורנטלית, תומכת בחיבור בין הידע הנאיבי לידע המדעי (Meltzer 2012). הייך (Hake, 1998), לדוגמה, בחן את ידיעותיהם של 6,000 סטודנטים בקורסי מבוא בפיזיקה לפני הלמידה ואחריה באמצעות מבחנים הבודקים הבנת מושגים, ומצא כי אחוז התשובות המצביעות על הבנה מושגית, היה גבוה פי שניים בקורסים שבהם נעשה שימוש בלמידה פעילה, לעומת קורסים שבהם השתמשו בלמידה מסורתית.

גישה מעוגנת גוף (Embodiment) המבוססת על פרדיגמה מדעית קוגניטיבית והדוחה את ההפרדה הפילוסופית בין המוח לגוף, נועדה לחבר בין חוויה לידע מושגי. על פי גישה זו, החשיבה היא פעילות הנעשית בכל הגוף, בסביבה, בחברה ובתרבות (Abrahamson 2017). תאורטיקנים של קוגניציה מעוגנת גוף (Embodied cognition) מבקשים למקם את הפעילות הסנסומוטורית כטבועה בכל חשיבה, אך אין דעה אחידה לגבי משמעות המושג Embodied cognition.

* המאמר פורסם באדיבות כתב העת מחול עכשיו (גיליון 32).

"There is limited agreement on what the term 'embodied cognition' exactly means and to what extent 'embodiment' includes sensorimotor versus higher level cognitive function", (Koziol et al., 2012, p.513).

הפסיכולוג לב ויגוצקי הסובייטי ניסה לנסח את מקומם של ההיבטים הסנסומוטוריים בתהליך החשיבה כבר במאה הקודמת: "Every thought associated with movement induces on its own a certain preliminary straining of a corresponding muscular system that tends to be expressed in movement. If it remains only a thought, then since this movement is not brought to fruition and is not disclosed, it remains concealed in an entirely tangible and effectual form", (Vygotsky, 1997: 157, Original work published. 1926).

חוקרים חינוכיים המושפעים מתאוריית ה-Embodiment, יוצרים ובוחנים סביבות למידה המעניקות לתלמידים הזדמנויות לעסוק בפתרון בעיות סנסומוטוריות באמצעים פדגוגיים התומכים בהתפתחות רעיונות (Abrahamson & Lindgren, 2014). לדוגמה, אברהמסון וטרניניק (Abrahamson & Trninić, 2011) מדווחים על מחקר שבו תאוריית ה-Embodiment היוותה השראה לבנייה של תוכנית לימודית עבור המושג המתמטי של שוויון פרופורציות; שר ואחרים חקרו מודל ללמידה של המושג אנרגיה בפיזיקה (Scherr et al., 2013; Scherr et al., 2010). במחקרים אלה ואחרים ריבוי האופניות (modalities), כדוגמת מחוות ידיים, היו חשובות לתיווך של פעולה, הסקה ושיחה (Hall & Nemirovsky, 2012; Scherr, 2008; Stephens & Clement, 2007). מחקרים אלה מרחיבים את ההמשגה שלנו בנוגע למקום ולאופן הלימוד. לדוגמה, חוקרים מסוימים מאפיינים סביבות למידה היברידיות ככאלה שמגשרות בין לימוד מחוויית בחי" היוםיום ובין הלמידה המסורתית בבית הספר (Gutiérrez et al. 1999). במהלך תכנון של לימוד היברידי יעיל יש " לוודא כי יעשה שימוש בשיטות היברידיות בדרכים אשר מקדמות את יעדי הלמידה בתחום". (338: 2016: Ma JY, במחקר הנוכחי שימש סטודיו למחול סביבה היברידית ללמידה מעוגנת גוף.

למידה מעוגנת גוף במחקר זה

במאמר זה אנו מציגים שני חקרי מקרה (case studies) של תלמידות בכיתה י' הלומדות מושגים מורכבים בפיזיקה: שיווי משקל ומהירות זוויתית. התלמידות השתתפו בקורס פיזיקה המשלב למידה מעוגנת גוף. חקרי המקרה עוקבים אחר חוויית התלמידות במהלך הקורס ובעבודות הסיכום שהן הגישו כשסיימו ללמוד את המושגים. עבודות הסיכום שנעשו במגוון אופניות כגון מיצגי וידאו, מוזיקה ומחול, שיקפו הבנה מושגית עמוקה וזיקה לחומר הנלמד.

הלמידה במחקר זה הייתה מבוססת על עיקרון עיצוב מרכזי בפדגוגיה מעוגנת גוף שאנו מציעים: לאפשר לתלמידים להתנסות בחוויה גופנית חווייתית שתקדים את ההסבר המדעי ואת הנוסחאות שיבואו לאחר מכן, "Experience first, signify later" (Abrahamson, 2009; 2014). הרציונל לעיקרון זה היה שההתנסות החווייתית מאפשרת לתלמידות להרגיש ולהבין בגופן את התופעות ואת המושגים הפיזיקליים עוד לפני שהגדירו והסבירו אותן מילולית. החוויה הגופנית יכולה לשמש בסיס טוב להבנת המושג הפיזיקלי, אשר בהמשך מוגדר ומוסבר בשילוב רפלקציה על החוויה הגופנית.

במחקר זה עבדו התלמידות באופן עצמאי, בזוגות או בקבוצה. התלמידות קיבלו מטלות תנועתיות מורכבות. אנו טוענים כי מציאת הפתרונות למטלות אלה יצרה הזדמנויות ללמידה משמעותית. הוראת המושגים שיווי משקל ומהירות זוויתית יישמה את המרכיבים הבאים של 'למידה מבוססת גוף לצורכי המשגה מדעית', אשר נוסחו במאמר הקודם של זהר (זהר, 2015):

- **תנועות מושכלות** מאפשרות ללומד להתייחס למושגים פיזיקליים מורכבים (ולעיתים מופשטים) מתוך חוויות יומיומיות. התנועות

המושכלות (שובל, 2006; Shoval, 2011) נועדו להבהיר לתלמידות רעיון חדש באופן חזותי וכן את ניתוחו, הבעתו ומימוש. דוגמה לכך היא 'פעילות המעגל הקבוצתית', המתוארת בהמשך המאמר בחקר המקרה הדין במהירות זוויתית.

- **אימפרוביזציה** בתנועה מקשרת בין הגורמים דמיון, תנועות גוף ורגשות (תמונה 1). בחקר המקרה, הדין בשיווי משקל בהמשך המאמר, מתואר כיצד נוצר הקשר בין גורמים אלה.



תמונה 1

- טכניקות המשלבות הליכה ודיבור (קישור לאתר Science choreography project). לדוגמה, בהוראת תנועה מעגלית כמבוא להוראת נושא המהירות הזוויתית, לאחר אימפרוביזציה המשלבת תנועות מעגליות של חלקים שונים בגוף, התבקשו התלמידות לצעוד בסטודיו ולחשוב בעצמן על תנועות מעגליות בעולם האמיתי ובטבע. לאחר מכן הן דיברו ביניהן והחליפו רעיונות.
- **מאפיינים נבחרים של שיטת פלדנקרייז** (Feldenkrais 1980), המיועדים להגביר את המודעות לגוף ולהדגיש את הקשר לתופעות חיצוניות. לדוגמה, בחקר המקרה הדין בשיווי משקל, נעשה שימוש בתרגילי פלדנקרייז הקשורים ליציבות.
- **הרפיה** - לדוגמה, שכיבה על הגב ושימוש בתרגילי נשימה לבטן, כפי שרואים בתמונה 2.

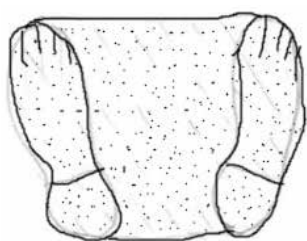


תמונה 2:

אחת מכותבי המאמר, זהר, שימשה כמנחה של השיעורים המוצגים במאמר הזה. נעשה ניתוח וידאו של הפעילויות במטרה להתחקות אחר הופעתן ויצירתן של האופנויות השונות לביטוי החשיבה של התלמידות (כמו היגדים ומחוות גוף). מטרת הניתוח הייתה להבין כיצד הן מבטאות את התוכן הפיזיקלי שנלמד. אנו טוענים שפתרון בעיות שיתופיות על ידי המשתתפות והתקשורת ביניהן במהלך הלמידה, יכולים לעגן את המשמעויות של המושגים בהתנסויות חווייתיות משותפות ובכך לתרום להיבטים הסוציו-תרבותיים של הכיתה.

שיווי משקל - חקר מקרה

מטרת חקר המקרה הייתה לחקור כיצד תלמידות במגמת מחול לומדות את המושג הפיזיקלי שיווי משקל. אחד היעדים היה שהתלמידות יבחינו בעיקר בין פוזיציות של שיווי משקל יציב לשיווי משקל לא יציב. לצורך השגת יעד זה למדו התלמידות את התנאים להשגת שיווי משקל ואת המושגים 'בסיס תמיכה' ו'מרכז כובד'. ההשראה לגישת ההוראה הייתה עבודתו של לוס (Laws, 2008) עם רקדנים.



איור 1:

התלמידות למדו כי בסיס התמיכה הוא השטח התחום בתוך נקודות המגע של הגוף עם הרצפה. איור 1 מדגים את בסיס התמיכה כאשר עומדים ושתי הרגליים נמצאות על הרצפה. נוצר קושי בהגדרת מרכז הכובד בהקשר לחקר המקרה הזה, שכן אי אפשר לתת הגדרה רשמית בגלל הצורך בחישובים מתמטיים, שאינם חלק מההוראה שננקטה במחקר הזה. התלמידות חוו את המושג של מרכז הכובד באופן אינטואיטיבי, כנקודה שבה כוח הכבידה המושך מטה פועל על הגוף כמכלול. בתחום הריקוד נקודה זו מכונה לרוב בשם "The center".

בהקשר לתנאי שיווי המשקל, אדם נמצא במצב של שיווי משקל יציב אם מרכז הכובד שלו נמצא ישירות מעל לנקודה כלשהי בבסיס התמיכה. לגבי הריקוד, התלמידות חוו שתי אפשרויות למצב שיווי המשקל: שיווי משקל יציב, קרי אדם אינו נופל במהלך הפעלת כוח; שיווי משקל לא יציב - האדם נופל במהלך הפעלת כוח, אפילו כשמופעל כוח קטן מאוד (דחיפה קלה).

תהליך הלמידה

בחקר המקרה השתתפה קבוצה של 12 תלמידות תיכון בכיתה י' בארבעה שיעורים רצופים של 90 דקות כל אחד. השיעורים נערכו בסטודיו למחול שבבית הספר בהנחיית החוקרת לפי גישת 'למידה מבוססת גוף' לצורכי המשגה מדעית, שמזמנת חוויה פיזית של כל אחד מהמושגים הנלמדים לפני הלימוד האקדמי בכיתה. בשיעור הרביעי והאחרון נדרשו התלמידות להציג רצף תנועתי הכולל שלוש פוזיציות של שיווי משקל ומעברים ביניהן. להלן תיאור קצר של השיעורים.

שיעור ראשון - בסיס תמיכה

השיעור הראשון החל באימפרוביזציה של תחושת יציבות ואי יציבות. התלמידות הבינו את תרומתן של נקודות המגע עם הרצפה לשמירת היציבות. בהמשך הסבירה המנחה את המושג בסיס התמיכה, ובעבודה בזוגות הן נדרשו לסמן את בסיס התמיכה של בת זוגן בפוזיציה נתונה, כפי שמוצג בתמונה 3. נוסף לכך נתבקשו התלמידות לדחוף קלות את בנות זוגן, על מנת לבדוק אם תאבדנה את שיווי משקלן. בתום הפעילות תיגה המנחה כל פוזיציה כמצב שיווי משקל יציב או כמצב שיווי משקל לא יציב.



תמונה 3

שיעור שני - יציבות

השיעור השני החל בתרגילי פלדנקרייז (תמונה 4) העוסקים ביציבות (פלדנקרייז, 1989). בתום התרגול הצהירו כמה מהתלמידות כי "כאשר בסיס התמיכה גדול יותר, הפוזיציה יציבה יותר, ולכן קשה יותר ליפול". הדיון בסוף השיעור נסב סביב אספקטים תרבותיים ורגשיים של יציבות, כגון יציבות בחיים, יציבות כלכלית ויציבות במערכות יחסים.



תמונה 4

שיעור שלישי - מרכז הכובד והתנאים לשיווי משקל

השיעור השלישי החל באימפרוביזציה. המנחה ביקשה מהתלמידות ללכת בסטודיו ולהרגיש את הרצפה כאשר המוזיקה מושמעת. היא ביקשה מהן לדמיין שכל חלק מגופן שהמנחה מציינת, יהיה כמו מנוע המפעיל את שאר איברי הגוף. לאחר מכן, היא ביקשה מהן לדמיין שגופן הוא כדור קטן ועליהן לנסות לצמצם את משקל גופן לתוכו, כי הוא כמו מנוע לתנועת הגוף כולו. הרציונל של פעילות זו היה לעודד את התלמידות לדמיין את הכדור כאילו הוא מרכז הכובד. בסוף פעילות האימפרוביזציה, המנחה שאלה את התלמידות היכן בגופן הן חשו את הכדור הדמיוני. מרבית התלמידות חשו שהוא נמצא במרכז הבטן שלהן, וכאשר אנחנו עומדים, מרכז הכובד אכן נמצא במרכז הבטן.



A



B

תמונה 5:

התלמידות הופתעו לגלות שמרכז הכובד אינו תמיד באזור הבטן (תמונה 5), כפי שהן חוו בפוזיציות שונות, והוא תלוי בפוזיציה של הגוף. לדוגמה, כאשר מרימים את הזרועות מעל הראש, מרכז הכובד גבוה יותר מאזור הבטן; כאשר מפנים את הזרועות ימינה, מרכז הכובד מוסט ימינה. התלמידות התפלאו מאוד לגלות כי בפוזיציות מסוימות מרכז הכובד יכול להיות אף חיצוני לגוף, כאשר נשענים קדימה, לדוגמה, כפי שנראה בתמונה 5. מידע זה מפתיע לעיתים גם רקדנים מקצועיים.



A



B

תמונה 6:

בתום שלושת השיעורים הסבירה המנחה את התנאים לשימור שיווי המשקל. ראשית, היא סימנה אנך ממרכז הכובד לבסיס התמיכה בעזרת אצבעה והראתה כי ככל שבסיס התמיכה קטן יותר, כך האפשרויות לשמירה על שיווי המשקל מוגבלות יותר. לאחר מכן הדגימה המנחה עם אחת התלמידות עמידה על קצות האצבעות, כדוגמה לבסיס תמיכה קטן. כמו כן התאמנו התלמידות בזוגות על שמירה של מבנה יציב כאשר היו אחת, שתיים, שלוש או ארבע נקודות מגע עם הרצפה. אחת

התלמידות בצמד הייתה צריכה לסמן את מרכז הכובד, הנמצא בדיוק מעל בסיס התמיכה בפוזיציה ששותפתה ביצעה, כפי שנראה בתמונה 6. לאחר מכן ביקשה המנחה מהזוג לצפות בזוג תלמידות אחר, לבחון את ההסבר שסיפקו ולערוך דיון.

שיעור רביעי - יישום

בשיעור הרביעי והאחרון ביקשה המנחה מהתלמידות לפתור מטלות גופניות, הקשורות למושג שיווי משקל. לדוגמה, המנחה ביקשה מהתלמידות לעמוד כאשר רגליהן צמודות לקיר ולנסות לרכון קדימה, כמצוין בתמונה 7. התלמידות הבינו כי הדבר בלתי אפשרי ונתנו הסבר.



תמונה 7:

פרויקט מסכם בנושא שיווי משקל

עם סיום השיעור האחרון ביקשה המנחה מהתלמידות להתחלק לקבוצות וליצור רצף תנועתי של שלוש פוזיציות של שיווי משקל. לאחר הצגת הרצף התנועתי נדרשו התלמידות להחליט אם הפוזיציות מייצגות שיווי משקל יציב או שיווי משקל לא יציב. היצירה של שלוש הפוזיציות דרשה מהן יצירתיות ורפלקציה על הלמידה. כל זוג תלמידות בחר את התנועות באופן אישי והציע את רצף התנועות יחד עם מעברים בין תנועה אחת לרעותה. תמונה 8 מציגה שני זוגות של תלמידות המסבירות את אחת התנועות ברצף שיצרו. בתמונה A התלמידה מסבירה כיצד הפוזיציה ממחישה את מצב שיווי המשקל. היא הסבירה כי בסיס התמיכה הוא השטח מתחת לכף הרגל, ואז ציירה קו דמיוני היורד אנכית ממרכז הכובד לבסיס התמיכה. התלמידות הראו כיצד תנועות קדימה ואחורה אינן משפיעות על יציבות הרקדנית ואינן גורמות לה לאבד את שיווי משקלה, כיוון שמרכז הכובד עדיין נמצא ישירות מעל בסיס התמיכה שמתחת לכף הרגל. לעומת זאת, תנועות לצדדים יגרמו לה ליפול, לכן הגדירו התלמידות את הפוזיציה כמצב שיווי משקל לא יציב.



תמונה 8: מתוך הרצף התנועתי. שני זוגות של תלמידות (A, B) מציגים פוזיציה

בתמונה 8B סיווגו התלמידות את הפוזיציה כשיווי משקל לא יציב. הן הסבירו כי התלמידה השמאלית סובבה את המותן שלה כך שמרכז הכובד הוסט לקצה כף רגלה השמאלית. לטענתן, אף שבסיס התמיכה רחב יחסית וכולל את שתי כפות הרגליים, כל תזוזה נוספת של הרקדנית לצד שמאל תוציא אותה ממצב שיווי משקל.

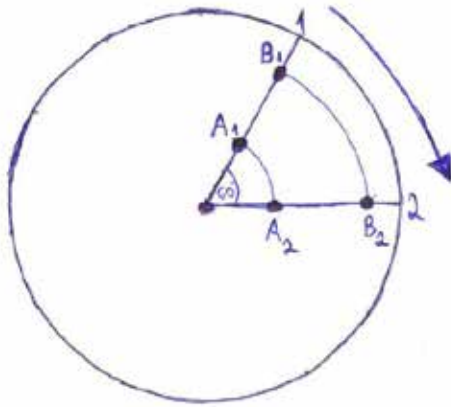
טבלה 1 מתארת את רצף התנועות של זוג תלמידות והסברן. התמונות נלקחו מסרטון וידאו שלהן. התלמידות בחרו לפרט שלוש פוזיציות (תמונות A, D ו-F שבטבלה 1, אשר מסומנות באפור בטבלה). התלמידות השתמשו בפרויקט הסיכום בטרמינולוגיה מקצועית פיזיקלית, ביכולת מוטורית וכן במחוות גוף שונות. הן גם השתמשו כראוי במושגים שיווי משקל יציב ושיווי משקל לא יציב, ועל מנת להסביר אותם השתמשו במחוות גופניות, כגון הצבעה על מרכז הכובד, בסיס התמיכה והאנך הדמיוני ממרכז הכובד אל בסיס התמיכה. ממצא מעניין הוא האבחנה שיצרו בין שיווי משקל מאוד לא יציב, כפי שנראה בתמונה F שבטבלה 1 לבין שיווי משקל לא יציב, כדוגמת תמונות A ו-C שבטבלה 1.

תמונה	סיווג	הסבר התלמידה
	שיווי משקל לא יציב	למרות בסיס התמיכה הרחב הכולל את שתי כפות הידיים וכף רגל, מרכז הכובד ממוקם בקצה גבול של בסיס התמיכה וכל תזוזה תוביל לאובדן שיווי משקל של הרקדנית. למרות שהפוזיציה היא יחסית יציבה, כל תנועה לכיוון הזרועות ישמור את מרכז הכובד מעל לבסיס התמיכה, אולם כל תזוזה לכיוון אחר יגרום לאובדן של שיווי משקלה של הרקדנית.
	שיווי משקל לא יציב	פוזיציות מעבר. פוזיציה זו אינה חלק משלוש הפוזיציות שאותן התבקשו התלמידות לבצע אך היא הייתה הכרחית לשם מעבר בין פוזיציה המוצגת בתמונה A לפוזיציה המוצגת בתמונה D. התלמידה איבדה את שיווי משקלה כאשר הורידה את רגלה במעבר לפוזיציה הבאה (תמונה C).
	שיווי משקל לא יציב	פוזיציות מעבר כפי בדרך לפוזיציה המוצגת בתמונה D.
	שיווי משקל יציב	בסיס התמיכה הוא סביב שתי כפות הרגליים כאשר עומדים בפישוק רחב ומרכז הכובד עדיין נמצא בקצה גבול בסיס התמיכה גם במקרה של תזוזות הרקדנית לכיוונים שונים. רק אם הרקדנית תידחף חזק קדימה היא לאבד את שיווי משקלה.
	שיווי משקל מאוד לא יציב	מרכז הכובד נמצא בקצה גבול בסיס התמיכה.
	שיווי משקל מאוד לא יציב	על מנת לשמור אל פוזיציה זו, נדרשת הרקדנית לפשוט את זרועותיה לפנים וכך להסיט מעט את מרכז הכובד. פעולה זו מסייעת על שמירה של מרכז הכובד מעל לבסיס התמיכה.

טבלה 1 - רצף תנועותי של זוג תלמידות והסברן

מהירות זוויתית - חקר מקרה

המטרה הפדגוגית בחקר מקרה זה הייתה ללמד תלמידות הלומדות פיזיקה את ההבדל בין מהירות קווית למהירות זוויתית, אשר נלמדה כחלק מהנושא תנועה מעגלית.



איור 2:

באיור 2 נקודות A ו-B מתקדמות לאורך המסלול המעגלי בכיוון השעון מנקודת זמן 1 לנקודת זמן 2. נקודה A מתקדמת מ-A1 ל-A2, ונקודה B מ-B1 ל-B2. המהירות הזוויתית של נקודות A ו-B זהה, כיוון שהמקטעים המקשרים בין הנקודות למרכז המעגל נעים באותו מרווח זמן באותה זווית (איור 2, זווית של 60°). לעומת זאת, המהירות של הנקודות על הקשתות הולכת וגדלה ככל שהקשת רחוקה יותר מהמרכז. כלומר ב-B המהירות גדולה יותר מאשר ב-A. לעומת נקודה A, על נקודה B לעבור באותו פרק זמן מרחק רב יותר (ראו את אורך הקשת כמסומן בתמונה). בשלב זה נעשה שימוש במונח "מהירות קווית" לצינוי מהירות הנקודות לאורך הקשת.

תהליך הלמידה

המושג מהירות קווית נלמד במהלך שיעורי הפיזיקה בכיתה רגילה בדרך פורמאלית וע"י מורה מבית הספר. המושג מהירות זוויתית נלמד כחלק משיעורי הפדגוגיה מעוגנת גוף בסטודיו למחול ע"י מנחת מחקר זה. התלמידות למדו במגמת פיזיקה ובמגמת אמנות כלשהי (ציור, קולנוע, מוזיקה או מחול). המחקר נערך במשך ארבעה חודשים, שבמהלכם נפגשה כל תלמידה עם המנחה שבע שעות בסך הכול. חלק מהמפגשים נערכו בקבוצה, וחלק באופן אישי. בסוף התהליך נדרשו התלמידות להגיש פרויקט גמר בקבוצות בנושא מהירות זוויתית, כל קבוצה על פי ההתמחות היצירתית שלה. ניתן להן חודש להכנת פרויקט הסיום, אשר מתואר ומנותח בהמשך המאמר. להלן תיאור קצר על תהליך הלמידה.

תהליך הלמידה בסטודיו החל באימפרוביזציה של תנועות מעגליות בחלקי הגוף השונים. ההנחיות היו "הניעו את הידיים בצורה מעגלית... הניעו את הראש במעגלים... כפות הרגליים במעגלים או חלקי מעגל... הניעו את האגן בצורה מעגלית...". התלמידות יכלו להניע את איבריהן בתנועות מעגליות כרצונן, בתנועות גדולות או קטנות. לאחר האימפרוביזציה התבקשו התלמידות לעמוד זו ליד זו בשורה. בקצה השורה, משמאלה של התלמידה עם החולצה הלבנה, הוצב בקבוק המסומן בתמונה A9 כמלבן אדום.



תמונה 9:

התלמידות ממגמת פיזיקה. צילום: גזור מוידאו שצולם ע"י תלמידה ממגמת קולנוע. 2016.

התלמידות התבקשו ללכת סביב הבקבוק ביחד, כגוף אחד, ולשמור על מבנה של שורה ישרה. לאחר מספר ניסיונות פיתחו התלמידות שיטה קבוצתית כדי להסתובב סביב הבקבוק, כאשר אלה שהיו רחוקות ביותר ממנו הלכו מהר יותר מאלה שהיו קרובות אליו.



תמונה 10

במהלך הדיון על פעילות המעגל הקבוצתית המתוארת לעיל, קיבעה המנחה את מרפקה על הרצפה כציר וסובבה את האמה. למעשה, היא סימנה את התנועה הקבוצתית של כל התלמידות הנעות סביב רדיוס משותף, כפי שנראה בתמונה 9. היא הצביעה על הניגוד בין המהירות הזוויתית המשותפת לכל התלמידות לעומת המהירות הקווית המשתנה על פי מיקומה של כל אחת מהתלמידות. המנחה, שהיא בעצמה מורה למחול ולאומפרוביזציה, השתמשה ב'סימון' (גרסה מוקטנת של התנועה המלאה), כפי שנראה בתמונה 10. לרוב הסימון משמש רקדנים כעוגן מחשבתי, עמוד 2864 (2010), Kirsh), לצורך רפלקציה אישית וקולקטיבית, הנחיה ותכנון התנועה.

לאחר מתן הסבר התיישבו המנחה והתלמידות על הרצפה על מנת לעשות רפלקציה על הפעילות. לבסוף ביקשה המנחה מהתלמידות לצייר את פעילות המעגל הקבוצתית בעזרת נייר ועיפרון.

חודש לאחר השיעורים השתתפו התלמידות בראיונות שנמשכו בין 20-50 דקות לכל אחת מהן. הראיונות כללו (א) בקשה לצייר את פעילות המעגל הקבוצתית ולהסביר את הציור שציירו (ב) בקשה להשיב בכתב ובעל פה על שאלון בפיזיקה, שהשאלות בו התמקדו בהבדל בין מהירות קווית למהירות זוויתית. תשע מתוך 11 תלמידות הצליחו לענות נכון על השאלון במהלך הראיון. חמש מהן הסבירו את תשובותיהן באמצעות מחוות ידיים (אמה, כף יד או אצבעות) באופן זהה או אנלוגי לסימון שהמנחה השתמשה בו כשהסבירה על פעילות המעגל הקבוצתית (כפי שנראה בתמונה 11).



תמונה 11:

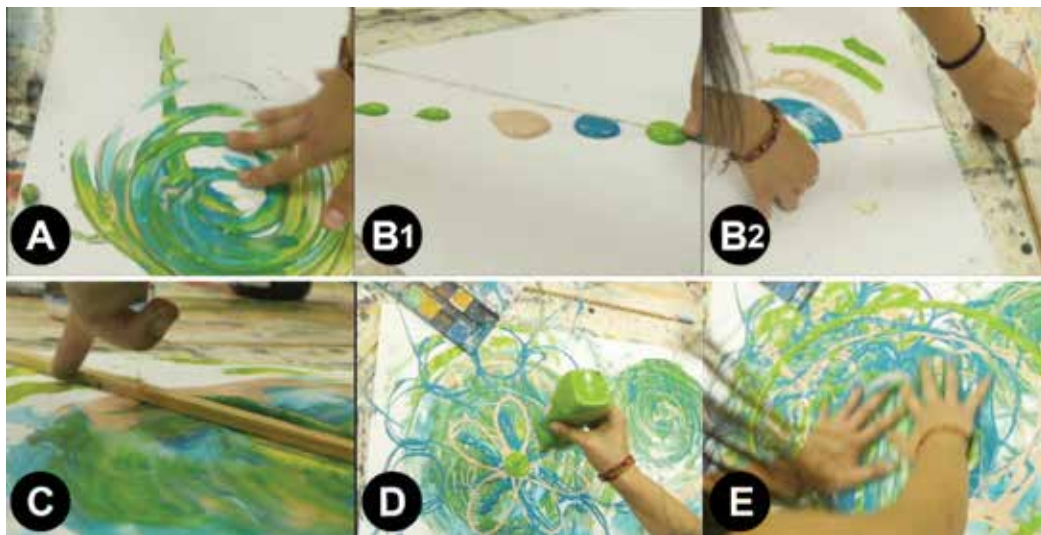
תפקידו של הסימון בחקר המקרה של מהירות זוויתית בהקשר לפדגוגיה מעוגנת גוף מתואר בהרחבה ב Zohar et al 2016. חודש לאחר הראיונות השתתפו התלמידות בשיעור מסכם, שבו כל אחת מהן התבקשה להסביר את המושג מהירות זוויתית לשלוש תלמידות מדעים מכיתות נמוכות יותר בכל דרך שיבחרו. שבע מתוך שמונה התלמידות שהתבקשו להסביר את המושג לתלמידות הצעירות יותר, בחרו להמחיש בפניהן את המושג. התלמידות הבוגרות ביקשו מהתלמידות הצעירות לעמוד ולחוות את המושג באופן דומה לפעילות המעגל הקבוצתית שנעשתה בכיתה. כל תהליך הלמידה צולם במצלמת וידאו כהכנה לניתוח המיקרו אנליטי בשיטת ריבוי האופניויות (Multimodal analysis - Goodwin 2000), שבה מתייחסים גם למלל וגם לאופניויות שונות, כמו ציור ומחוות גוף.

פרויקט סיכום בנושא מהירות זוויתית

בסוף תהליך הלמידה ביקשה המנחה מהתלמידות להכין פרויקט מסכם: "תכינו פרויקט סיכום יצירתי הקשור למושג מהירות זוויתית עם עוד בת זוג או שתיים". לתלמידות ניתן חודש כדי לעבוד על פרויקט הסיכום, והן גם נדרשו להציגו בכיתה. להלן תיאור של ארבעת הפרויקטים המסכמים.

פרויקט מס' 1

שתי תלמידות הלומדות פיזיקה, שאחת מהן לומדת גם במגמת אמנות והשנייה גם במגמת קולנוע, הכינו וידאו קליפ באמצעות וידאו ארט. תמונה 12 מציגה תמונות שנגזרו מהווידאו קליפ. ניתן לצפות בווידאו קליפ ב-goo.gl/rFVEmk. התלמידות בחרו להשתמש בקליפ בשיר של בוני טיילור "Total Eclipse of the Heart". עם שמיעת המילים "turn around" בפזמון, התיזה אחת התלמידות טיפות של צבע מבקבוק למשטח נייר ומרחה באצבעה עיגולים על הנייר.



תמונה 12:

לאחר מכן השתנתה המוזיקה לשירם של להקת נערי החוף "I Get Around". כאשר המוזיקה הושמעה התיזה התלמידה עיגולי צבע על משטח נייר נוסף מבקבוקי צבע במרחקים שווים זה מזה. לאחר מכן לקחה חוט (תמונה 12B1) והיזה אותו בתנועה מעגלית (תמונה 12B2). היא חזרה על הפעולה, והפעם עם מקל במקום החוט (תמונה 12C). התלמידה שופכת צבעי מים ומציירת פרחים (תמונה 12D) ולבסוף מערבבת את הצבעים בעזרת כפות הידיים על גבי הנייר בתנועות מעגליות (תמונה 12E).

הפעילות שהתלמידה עשתה באמצעות צבעי מים, חוט ומקל מקבילה לפעילות המעגל הקבוצתית שנעשתה בסטודיו. הצבעים השונים מקבילים לתלמידות שנעו במעגל. כמו פעילות קבוצתית, כל צבע בפרויקט הגמר מסמל מעגל אחר ומהירות קווית שונה. החוט והמקל אפשרו הדגמה של המושג מהירות זוויתית, אשר נשמרת דומה בכל המעגלים. בניגוד לסימון עם האמה, שמייצגת את כל הקבוצה ללא הבדל בין התלמידות היחידות, תנועת כפות הידיים מאפשרת להתייחס לתלמידות היחידות באמצעות האצבעות ולחדד את ההבחנה בין מהירות קווית לזוויתית.

במהלך הצגת הקליפ התלמידות הסבירו כי השתמשו באותה כמות של צבעים ליצירת כל המעגלים. הן טענו כי "הצבע במעגל החיצוני אשר נמצא הכי הרחוק מציר הסיבוב שאליו החוט והמקל שקובעו (ע"י התלמידה) נגמר מהר יותר, כיוון שהוא במעגל הגדול ביותר, ולכן יוצר את הקשת הגדולה ביותר". הן המשיכו להסביר כי "הצבע שנמצא רחוק ביותר מציר המעגל הוא בעל מהירות קווית גדולה יותר בהשוואה לצבעים האחרים שקרובים יותר לציר המעגל, אך למעשה לכל הצבעים ולכל כתמי הצבע שעל החוט או המקל יש את אותה מהירות זוויתית". הפעילות וההסבר המילולי של התלמידות מצביעים על הבנה של ההבדל בין מהירות קווית למהירות זוויתית, כפי שמוצג באיור 2.



תמונה 13: קטעים מתוך ריקוד "מעגל החיים" שנעשה ע"י שתי תלמידות.

בפרויקט זה ביטאו התלמידות את זווית ראייתן ואת תחומי התעניינותן. תלמידת האמנות בחרה להשתמש בצבע, בעוד שתלמידת הקולנוע בחרה להשתמש בכישרונה בתחום הצילום והעריכה בתיאור של פרויקט הסיכום. תלמידות ניתן החופש לבחור כיצד להציג את הפרויקט. תלמידות אלה בחרו להשתמש בצבע, חוט, מקל ומוזיקה. התלמידות דיווחו כי נהנו מאוד לעבוד על הפרויקט.

פרויקט מס' 2

שתי תלמידות פיזיקה, האחת לומדת גם מוזיקה והאחרת לומדת גם במגמת מחול, הציגו את פרויקט הסיכום במחול, שאותו כינו "מעגל החיים". תמונות נבחרות מהריקוד מובאות בתמונה 13. הכוראוגרפיה לריקוד נעשתה לצילי השיר "מעגלים" מאת עידן רייכל. קודם כל הציגו הבנות את הריקוד ולאחר מכן את ההסבר. התלמידות הסבירו שפוזיציות הפתיחה (תמונה 13A) מייצגת עובר, ואילו פוזיציות הסיום מייצגת מוות (תמונה 13G). בפוזיציה השנייה הבנות זוחלות והולכות במעגל המסומן על רצפת הסטודיו (תמונה 13B) ולאחר מכן עומדות ומתחילות לרוץ (תמונה 13D). תחילה כל תלמידה רצה בנפרד, ובהמשך הן התחבקו (תמונה 13E) ורצו, כשהחזיקו ידיים (תמונה 13F). התלמידות הסבירו שהריצה בנפרד מבטאת את התקופה שבה האדם בודד לפני שמוצא בן/בת זוג. הריצה בזוגות נעשתה לאורך שני מעגלים משיקים בעלי מרכז משותף, המציג את האינדיווידואליות של האדם במסגרת הזוגית, בעוד שאחידות הידיים מייצגת את האיחוד ביניהם. התלמידה שרקדה במעגל החיצוני הסבירה שכדי לעמוד בקצב של התלמידה השנייה נאלצה לרוץ מהר ובצעדים גדולים, וציינה "שזה מייצג את הדו קיום של החיים עם בן הזוג".

בריקוד 'מעגל החיים' נעו הבנות במעגל המצויר על רצפת הסטודיו, כשברקע המוזיקה של השיר 'מעגלים מעגלים' של עידן רייכל. בסיום הריקוד נקטעה התנועה במעגלים בפתאומיות, והתלמידות נשכבו על הרצפה בפוזיציות סיום המסמלת מוות. בפרויקט זה הסבירו התלמידות בבירור את המושגים מהירות זוויתית באמצעות הריצה המשותפת, כאשר זרועותיהן פתוחות. התלמידות ציינו במהלך הריצה ש"לכל אחת יש מהירות קווית משלה, אך יש להן מהירות זוויתית משותפת".

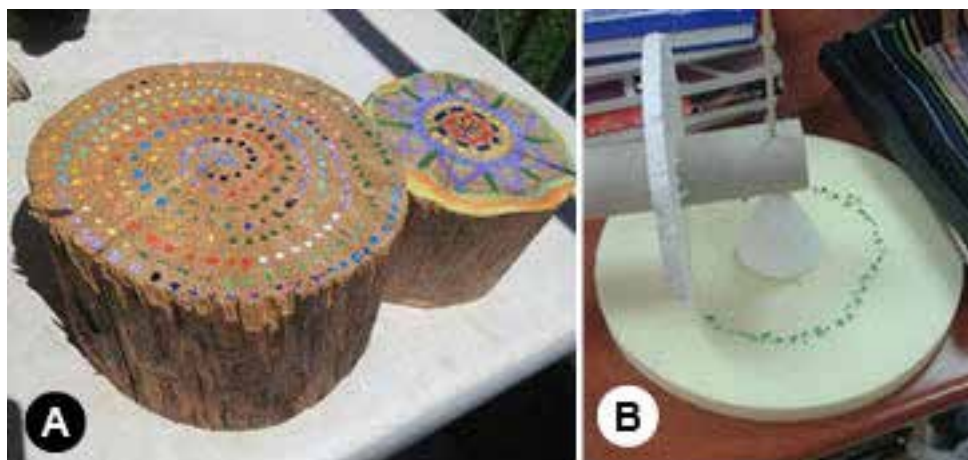
בנוסף להבנת המושגים לא זו בלבד שהתלמידות הבינו את מושגים, הן גם קישרו אותם לחיים עצמם, כאשר החיים בזוגיות אנלוגיים למהירות זוויתית, ואילו החיים של כל אחד מבני הזוג

בנפרד מקבילים למהירות קווית. התלמידות קישרו בין המושגים הפיזיקליים הנוגעים לתנועה מעגלית, ובין הרעיון של מעגל החיים מלידה ועד מוות דרך חיי משפחה. הפוזיציות שנבחרו לריקוד, המוזיקה שנבחרה ללוות את הריקוד וכן הסיפור, שסביבו נסב הריקוד, קשורים לפדגוגיה מעוגנת גוף ולמושגים שנלמדו. ניתן לזהות בריקוד את ההשפעה של פעילות המעגל הקבוצתית, שבה השתתפו התלמידות בשיעור הראשון.

התלמידות רצו זו לצד זו כמו בהליכה במעגל שנעשתה בשיעור הפעילות הקבוצתית בסטודיו. התלמידות הפגינו יצירתיות והבנה עמוקה של המושגים הנלמדים וידעו לקשר את המושגים לעולמן האישי ולתחומי העניין שלהן.

שני פרויקטי סיכום נוספים

תמונה 14 מראה את המוצגים בשני פרויקטים נוספים של תלמידות הפיזיקה, שחלקן לומדות גם במגמת אמנות, וחלקן לומדות גם במגמת מוזיקה. בניגוד לפרויקטים הקודמים, בחרו תלמידות אלה להציג מודל כפי שמודגם בתמונה 14.

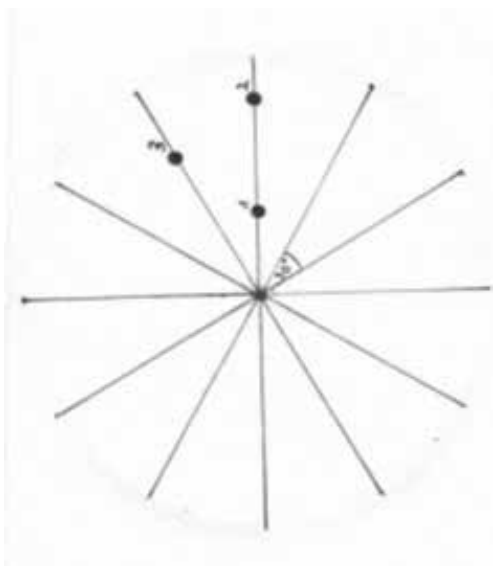


תמונה 14: A - גזע עץ צבוע ע"י שתי תלמידות B -

התלמידות שהציגו גזע עץ גבוה בתמונה 14A, הסבירו: "אנו בחרנו בגזע עץ כיוון שניתן לראות בו את גיל העץ. ניתן לראות זאת רק לאחר שהוא נגדע. העיגולים הנוצרים במהלך חיי העץ מעידים על סיפור חייו. החלטנו להוסיף צבע, המעניק יופי לסיפור חייו של העץ, כך בחרנו "להודות" לעץ על תרומתו לאנושות. על גזע העץ הקטן ציירנו מנדלה בעזרת העיגולים שבגזע בעוד שבגזע העץ הגדול יותר יצרנו ספירלה העשויה ממספר רב של נקודות צבעוניות המסמלים את צמיחתו."

התלמידות אשר הכינו את מסיק הזיתים בתמונה 14B, הסבירו: "אנו דמיינו אנשים מסביב לגליל הנייר, אשר מועכים את הזיתים".

כל הפרויקטים מצביעים על תהליך למידה בעל ערך בקרב התלמידות. התלמידות שאבו ידע והשראה מתוך המושגים הפיזיקליים וגם מראיתן התרבותית והרגשית. כל התלמידות יצרו פרויקטים מעניינים שביטאו את יכולתן האישית, את תחומי העניין שלהן ומחשבה אבסטרקטית על החיים, כדי קישורם לידע המושגי של חומר הלימוד. אנו טוענים שממצאי המחקר יכולים לתרום משמעותית לפרט ולקבוצה במערך הסוציו-תרבותי של הכיתה, כאשר משמעויות של מושגים אבסטרקטיים מעוגנות בצורה קבוצתית באמצעות אופניות רבות וחוויות משותפות. אנו מאמינים שפדגוגיה מעוגנת גוף אפשרה יצירת עבודות סיכום יצירתיות ומורכבות שהוצגו ע"י התלמידות.



באיור שלפניך 12 גזרות שוות, כל אחת של 30 מעלות. באיור מסומנות שלוש נקודות (1,2,3). כל אחת מהנקודות נעה במעגל משלה בקצב קבוע, אך כולן חוזרות למקום שממנו החלו לנוע כעבור 24 שניות.

- א. ציירי את מסלול התנועה של כל אחת מהנקודות. הסבירי.
 - ב. סמני היכן נמצאת נקודה 1 לאחר שעברה 3 גזרות. סמני את מקומן של הנקודות 2 ו-3 בזמן זה. הסבירי.
 - ג. סמני היכן נמצאות שלוש הנקודות לאחר שעברו 6 גזרות ולאחר שעברו 9 גזרות (ממיקומן ההתחלתי). הסבירי.
- את זוכרת שלמדת עם המורה שלך רחל את המושג מהירות קווית? את יכולה להסביר לי מה זה במילים שלך? תוכלי לתת דוגמה?
- את זוכרת שלאחר המטלה שביצענו ביחד הסברתי את המושג מהירות זוויתית? האם את זוכרת מה זו מהירות זוויתית? את יכולה לתת דוגמה?

עכשיו נחזור לשאלה של הגזרות:

- ד. האם יש נקודות באיור שיש להן מהירות קווית זהה? הסבירי.
 - ה. האם יש נקודות באיור שיש להן מהירות זוויתית זהה? הסבירי.
- (אם יאמרו שרק 1 ו-2 יש מהירות זוויתית זהה, אבקש שינמקו למה הנקודה 3 יוצאת דופן.)
- ו. אני מזכירה לך שהנקודות חדלות לנוע כעבור 42 שניות וחוזרות למיקום ההתחלתי. האם ניתן לדעת מה מיקום הנקודות כעבור 6 שניות?

דיון וסיכום

מהן הפרקטיקות הטובות ביותר למינוף פעילות גופנית כאמצעי ללימודי פיזיקה? שני חקרי המקרה שהוצגו במאמר הזה, הצביעו על הדרך שבה ניתן לעשות זאת באמצעות יחסי הגומלין בין ידע סנסורי-מוטורי-אינטואיטיבי לבין ידע דיסציפלינרי, הנלמד באמצעות פדגוגיה מעוגנת גוף. פדגוגיה קונסטרוקטיביסטית זו מערבת פעילות פיזית-דינמית הכוללת: חוויות גופניות ישירות ע"י תנועות מושכלות; אימפרוביזציה בתנועה המתווכת בין דמיון לחשיבה, תנועות גוף ותחושות; טכניקות המשלבות הליכה ודיבור; היבטים נבחרים משיטת פלדנקרייז והרפיה. הפעילויות התנועתיות בוצעו בסטודיו למחול שהיווה סביבת לימוד היברידית שאפשרה לתלמידות להתחבר לנטיותיהן האמנותיות ולכשרונותיהן, מחד, וללמידה, מאידך. המימוש של חיבורים כאלה הוא תכונה רצויה בסביבות היברידיות. במחקר זה פדגוגיה מעוגנת הגוף הותאמה לסטודיו למחול, אך ניתן להתאימה בקלות גם לאולמות ספורט ואפילו לכיתות לימוד ריקות.

עבודות הסיכום של התלמידות בסיום הלמידה בוצעו באופניות שונות, כגון במיצג וידאו, במוזיקה וריקוד, וכללו רישום והמחשה של אלמנטים נבחרים מפעילויות התנועה. העבודות נותחו ולו בפרשנות. לדוגמה, פרשנות כזו של פרויקט הסיום בחקר המקרה בנושא מהירות זוויתית הצביעה על האופן שבו חוו התלמידות את ההשפעה המשמעותית של המעגל הקבוצתי בשיעור של פדגוגיה מעוגנת גוף על הלמידה ותוצריה.

בשני חקרי המקרה שתוארו הפגינו התלמידות יצירתיות והבנה עמוקה של המושגים המופשטים שנלמדו. מעבר לכך הצליחו

לקשר את הרעיונות שנלמדו להצגה קונקרטית, לעולמן הפרטי ולתחומי העניין שלהן וכן קישור פילוסופיית חיים רגשית לחומר הנלמד (מעגל החיים ומוות). המורכבות של למידת המושגים שיווי משקל ומהירות זוויתית ניכרת מתהליך הלמידה שתואר בשני חקרי המקרה. העומק והתובנות שהתלמידות הפגינו בהבנת הרעיונות הפיזיקליים, הבאים לידי ביטוי בשלבים השונים של הלמידה ובעבודות הסיום, הם הרבה מעבר למה שניתן להשיג בהוראה בגישות מקובלות. חלק מהרעיונות שהועלו ע"י התלמידות הפתיעו אפילו את החוקרים.

ממצאי המחקר שהוצגו במאמר הזה תומכים בהיתכנות של עיצוב תוכנית הלימודים במדעים, המבוססת על עקרונות של פדגוגיה מעוגנת גוף ותומכת בבניית תובנות מדעיות. עיצוב התוכנית מעגן למידת מושגים מופשטים של קבוצת לומדים בתוך פתרון בעיה סנסורית-מוטורית כלשהי וברפלקציה רבת אופניות (מולטימדיאלית) של חוויות שיתופיות משמעותיות.

ביבליוגרפיה

- זהר רוני, 2015. "שילוב תנועה וידע מחול בהוראת הפיזיקה", מחול עכשיו, גיליון 28, עמ' 17-23.
- פלדנקרייז משה, 1989. שכלול היכולת - הלכה ומעשה, הוצאת אל"ף.
- שובל אלה, 2006. נעים ולומדים: תנועת הגוף ותרומתה ללמידה, הוצאת ספרים אח בע"מ והמכללה האקדמית לחינוך גבעת וושינגטון.
- Abrahamson, D. 2017. "Embodiment and Mathematical Learning," in K. Peppler (Ed.), The SAGE encyclopedia of out-of-school learning (pp. 247-252). New York: SAGE.
- Abrahamson, D., & Lindgren, R. 2014. Embodiment and Embodied Design1.
- Abrahamson, D., & Trninic, D. 2011. Toward an embodied-interaction design framework for mathematical concepts. Paper presented at the Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children.
- Abrahamson D. 2009. "Embodied design: constructing means for constructing meaning," Educational Studies in Mathematics, 70(1), pp. 27-47.
- Feldenkrais M., & Eshkol N. 1980. Ha-tenu'ah UT-AMI-hk. Society MN, in. 50 Lessons by Dr. Moshe Feldenkrais: Movement Notation Society.
- Goodwin C. 2000. "Action and embodiment within situated human interaction," Journal of Pragmatics, 32(10), pp. 1489-1522.
- Gutiérrez KD, Baquedano-López P., & Tejeda C. 1999. "Rethinking diversity: Hybridity and hybrid language practices in the third space." Mind, Culture, and Activity, 6(4), pp. 286-303.
- Hake R. R. 1998. "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses." American Journal of Physics, 66(1), pp. 64-74.
- Hall R., & Nemirovsky R. 2012. "Introduction to the special issue: Modalities of body engagement in mathematical activity and learning", Journal of the Learning Sciences, 21(2), pp. 207-215.
- Kirsh D. 2010. Thinking with the Body (Kirsh, 2010). Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Cognitive Science Society (T):176-194.
- Koziol LF, Budding DE, & Chidekel D. 2012. "From movement to thought: executive function, embodied

cognition, and the cerebellum,” *The Cerebellum*, 11(2), pp. 505-525.

Laws K. 2008. *Physiatics and the Art of the Dance* (second edition), ed: Oxford University Press.

Ma JY. 2016. “Designing Disruptions for Productive Hybridity: The Case of Walking Scale Geometry,” *Journal of the Learning Sciences*, 1-37.

McDermott, LC, & Redish EF. 1999. “Resource letter: PER-1: Physics education Research,” *American Journal of Physics*, 1999; 67(9), pp. 755-767.

Meltzer DE, & Thornton RK. 2012. “Resource letter ALIP-1: active-learning instruction in physics,” *American Journal of Physics*, 80(6), pp. 478-496.

Scherr RE, Close HG, Close EW, Flood VJ, McKagan SB, & Robertson AD et al. 2013. Negotiating Energyd Dynamics through Embodied Action in a Materially Structured,” *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(2), 020105.

Scherr RE, Close HG, McKagan SB, Close EW, Singh C, Sabella M, et al., (eds.) 2010. ‘Energy Theater, Using The Body Symbolically To Understand Energy.’ *Aip Conference Proceedings*.

Scherr RE. 2008. “Gesture Analysis for Physics Education Researchers,” *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 4(1):010101.

Sciencechoreographyproject Wu. Toolbox: Activities for the Classroom. Available from: <http://sciencechoreography.wesleyan.edu/toolbox/>

Shoval E. 2011. “Using Mindful Movement in Cooperative Learning while Learning about Angles, *Instructional Science*, 2011, 39(4), pp. 453-466.

Stephens A. L., & Clement J. J. 2007. Depictive gestures as evidence for dynamic mental imagery in four types of student reasoning. Paper presented at the 2006 Physics Education Research Conference. 2012; 11(2), pp. 505-525.

Vygotsky LS. 1997. *Educational psychology* (R H Silverman, Trans) Boca Raton, FL: CRC Press LLC. Original work published 1926.

Zohar R., Bagno E., & Eylon B. 2016. Abrahamson, D. “From Collective Choreography to Angular Velocity by Leveraging Marking and Discourse”. Paper presented at JURE 2016, Finland.

Zohar R, Bagno, E., & Eylon, B. (2015). “Dance and Movement as Means to Promote Physics Learning,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Education and New Learning Technologies* (pp. 6881-6885). Barcelona: EDULEARN15.