

# שילוב תנועה וידע במחול בהוראת הפיסיקה

רוני זהר

הקדמה אישית

מוסיקלית, מתמטית-לוגית, מרחבית, בין-אישית, תוך-אישית וקנינסתית-גופנית. אינטליגנציה קנינסתית-גופנית היא היכולת לפתור בעיות או ליצור תוצרים מתוך שימוש בגוף כולו או בחלקו. אינטליגנציה זו קשורה בדימוי הגוף, בהבעת רגשות באמצעות הגוף, בשליטה בגוף ובמודעות לתנועות הגוף (Gardner, 1983). גרדנר טוען שבתי הספר צריכים לאפשר לתלמידים להביא לידי ביטוי סוגי אינטליגנציה רבים ככל האפשר, ולא רק את האינטליגנציה הלשונית והאינטליגנציה המתמטית-לוגית, שבהן בעיקר מתמקדת מערכת החינוך. לדעתו, מתן אפשרויות ביטוי לסוגים שונים של אינטליגנציה יגדיל את מספר התלמידים המביעים עניין בלימוד וכך רבים יותר מהם יחוו הצלחה. חשיפה לסוג אחד של אינטליגנציה יכולה לשפר אינטליגנציה אחרת והשפעה הדדית בין סוגי האינטליגנציה תשפר את הלמידה. גרדנר מניח שלכל לומד יש נטיות והעדפות שונות בכל הנוגע לתכנים ולדרכי ההוראה. לכן, לדבריו, יש ליצור תנאי למידה המותאמים למגוון האינטליגנציות הקיים בקרב הלומדים (Gardner, 1993). יש להניח כי תלמידות מגמת מחול הן בעלות אינטליגנציה קנינסתית גופנית גבוהה ולכן זו האוכלוסייה הראשונה שנבחרה להשתתף בחלקו העיקרי של המחקר.

## Embodiment

לא קל לתרגם לעברית את המושג Embodiment. המקבילה העברית המקובלת היא "הגפנה", מלשון גוף, אבל אני מעדיפה להשתמש במושג "מעוגן גוף". את המושג cognition embodied תירגמתי ל"קוגניציה מעוגנת גוף".

ההשקפה המקופלת בביטוי קוגניציה מעוגנת גוף מתייחסת ללמידה, ליצירה ולמחשבה כאל תהליכים הכוללים גם את המוח וגם את הגוף. "אנחנו חושבים עם הגוף", כתבו Thelen ועמיתיו. "כאשר נאמר שהקוגניציה מעוגנת גוף, הכוונה היא שמקורה באינטראקציות גופניות עם העולם. מנקודת מבט זו, הקוגניציה תלויה בכל מיני חוויות שמגיעות מעצם היותנו בעלי גוף עם יכולות תפיסתיות ומוטוריות מקושרות, שביחד יוצרות את המטריצה שבתוכה חשיבה, סיבתיות, זיכרון, רגש, שפה וכל האספקטים המנטליים האחרים של החיים" (Thelen et al., 2001). השקפה זו שונה מההשקפה הגורסת שפעילות אינטלקטואלית יכולה להתקיים בנפרד מגופנו. תחושות גופניות ורגשות נתפשים כפחות חשובים לאדם לעומת הפעולה "החשובה באמת" – חשיבה באמצעות המוח. ההפרדה בין נפש לגוף ובין מחשבה לגוף מושרשת עמוק בתרבותנו ובגישה הקוגניטיבית המסורתית עוד מימי יוון העתיקה.

תחומי עניין ומחקר רבים עושים שימוש במושג embodiment. ביניהם אפשר לציין בלשנות (Lakoff & Johnson, 1999), מדעי המוח (Gallese & Lakoff, 2005) ואת תחום ההוראה, שבו פותחו מגוון שיטות המייחסות חשיבות להתנסות הגופנית ולתנועה. דוגמאות לשיטות חינוך כאלה הן

בריו של פול דניסון, "התנועה היא הדלת ללמידה" (2010), משקפים את האני מאמין שלי ומתארים את המניע למחקר שלי. התנועה היא מרכיב מכריע בחיי האישיים. בכל שנות ילדותי ונעורי נעתי, רקדתי, שאלתי שאלות ונמשכתי למדע. זה שנים שהרעיון של קישור תנועה ללמידה נמצא במחשבתי ובגופי. ההתנסות בהוראת פיסיקה במסגרות אוניברסיטאיות ובהכנת תלמידי תיכון לבחינות בגרות בפיסיקה, הנחיית קבוצות באימפרוביזציה בתנועה והחוויה האישית שלי, הובילו אותי למחקר ולחשיבה על פוטנציאל השילוב של התנסויות תנועתיות בשיעורי פיסיקה.

בשלב זה מתמקד המחקר שלי בשלוש שאלות מרכזיות: א. כיצד תנועה וידע במחול יכולים לתרום להוראת הפיסיקה? ב. כיצד חוויית התנועה יכולה לקדם את ההבנה של מושגים פיסיקליים? ג. מהי ההשפעה של שילוב תנועה וידע במחול בהוראת הפיסיקה על דעות של תלמידים בנוגע לרלוונטיות של הפיסיקה לתחומים שונים?

לקראת סיום השנה השנייה של המחקר פיתחתי כלים פדגוגיים ללימוד נושאים מסוימים במכניקה, המתבססים על התנסויות גופניות ותנועתיות. במסגרת המחקר אני מלמדת קורסים בפיסיקה, שבהם משתתפות תלמידות תיכון במגמת מחול. הלימוד נעשה בסטודיו של המגמה וכולל פעילויות חקר, תנועה ואימפרוביזציה. את הפעילויות אני חוקרת באמצעות שאלונים, תצפיות, תיעוד בווידיאו וראיונות עם התלמידות. במאמר זה אסקור בקצרה תיאוריות מרכזיות ועבודות עיקריות, שלפיהן לתנועה ולהתנסות הגופנית יש חשיבות כדרך למידה; אדגים חלקית את שיטת ההוראה שפיתחתי בשני נושאים בפיסיקה – שיווי משקל ותנועה מעגלית, אציג ציטוטים מדברי התלמידות ואתאר תוכניות להמשך המחקר.

מבוא

הפוטנציאל של למידה באמצעות תנועה והתנסות גופנית מעוגן בגישות קונסטרוקטיביסטיות ללמידה ולהוראה, השמות דגש על חלקו הפעיל של התלמיד בבניית ידע, בתהליך למידה המשלב אינטראקציה עם הסביבה. תיאוריות כמו תיאוריית האינטליגנציות המרובות של גרדנר ותיאוריית ה-Embodiment מתייחסות באופן מפורט לקישור שבין תנועה ללמידה. להלן תיאור קצר של תיאוריות אלו ושל כמה פרויקטים ומחקרים הרלוונטיים לעבודתי.

## תיאוריית האינטליגנציות המרובות של גרדנר

גרדנר מגדיר אינטליגנציה כיכולת לפתור בעיות או ליצור תוצרים במסגרת קהילה תרבותית כלשהי, שמעריכה תוצרים ופתרונות אלו (Gardner, 1995). הוא מבחין בין שבעה סוגים שונים של אינטליגנציה: לשונית,

## מחקר חלוץ

המחקר שאני עורכת כלל מחקר חלוץ, שבו נבחן בשנת 2012-2013 הפוטנציאל של שילוב תנועה בלמידה בתיכונים. בנוסף, בדקתי גם אם מצדם של מפקחים ומורים יש עניין ומוכנות לשלב היבטים של התנסויות בתנועה במסגרות שונות ללימוד פיסיקה. שלב זה היה מעין בדיקת היתכנות של פרויקט בתחום שיש עליו מעט מידע עיוני ופרקטי. אלה הפעילויות העיקריות שנכללו במחקר החלוץ:

תלמידים:

1. קורס "פיסיקה, תנועה ומחול": קבוצה של 20 תלמידות בכיתה ז' השתתפה בקורס זה בהיקף של 34 שעות לימוד. הקורס כלל התבוננות ביצירות מחול, תרגילי תנועה, המחזת תופעות מדעיות ופנטומימה (Ran Peleg, 2011; Scherr et al., 2010; Scherr et al., 2013) ועסק בכמה נושאים מרכזיים במדע: ציר סיבוב, יחסי כדור הארץ, שמש וירח, תנועה מעגלית, מהירות, תאוצה, שיווי משקל ותנועת חלקיקים במצבי צבירה שונים.

2. כנסים וסדנאות: קבוצות תלמידות בכיתות ט' ו' נחשפו להתנסות קצרה בפיסיקה ובתנועה במסגרות שונות. מידע ראשוני, שנאסף באמצעות דפי משוב שחולקו בסוף הפעילויות ושיחות עם התלמידות, תמך בפוטנציאל המחקר: ב-90% מהמשובים שמולאו (כ-100) דיווחו התלמידות על הנאה, התרגשות ופוטנציאל גבוה ללמידה מסוג זה.

מפקחים ומורים:

1. קבוצות מורים לפיסיקה ולמדעים השתתפו בסדנאות. תגובות המורים היו דומות לאלה של התלמידות.  
2. התקיימו דיונים עם מפקחי משרד החינוך (מפמ"רית מחול, ד"ר נורית רון, ומפמ"ר פיסיקה, ד"ר צבי אריא). במפגשים היתה היענות לשילוב פיסיקה ומחול בהוראה בחטיבות הביניים ובתיכונים. לבקשת מפמ"רית מחול השתתפתי בכמה כנסי מורים ומנהלים שאירגן אגף חינוך ואמנויות, כדי לחשוף את הפוטנציאל של שילוב בין מדעים לתנועה ומחול.

מחקר החלוץ הראה שהרעיון של למידת פיסיקה בעזרת תנועה מעורר עניין בקרב כל המעורבים - מורים, מפקחי משרד החינוך ותלמידים - ומציב להם אתגר. התבוננות שהפקתי ממחקר החלוץ היו רלוונטיות לתכנון המחקר העיקרי. פותחה גרסה ראשונה, המשלבת "פדגוגיה מעוגנת גוף" בלמידת פיסיקה והופקו חומרי הוראה והערכה להפעלה שיטתית של הגישה בכיתה.

## "פדגוגיה מעוגנת גוף"

"פדגוגיה מעוגנת גוף" היא גישה לשילוב התנסויות גופניות ובעיקר תנועתיות בלמידה, כדי לקדמה. את הביטוי "פדגוגיה מעוגנת גוף", המקשר את המושג embodiment עם הוראה גזרתי מהמושג embodied pedagogy שמופיע בספרות במגוון רחב של תפישות והקשרים (Nguyen & Larson, 2015). לדוגמה, בעבודתו של הסוציולוג שילינג (Shilling, 2010) מיוצגת תפישה הרואה בגוף אתר של התרחשות חברתית כלשהי ויש דיון על המושג "פדגוגיית גוף". שילינג עוסק בשאלות כמו מהם המנגנונים של למידת גוף, מהן חוויותיו של הגוף בחברה ואיך הוא מקבל ידע ומסור ידע. התפישה של "פדגוגיה מעוגנת גוף" במחקר המתואר במאמר זה מתייחסת להיבטים חברתיים של למידת גוף, אך מדגישה במפורש את ההקשרים של ידע מקצועי בתחום דעת מסוים. הגוף וההתנסות מהווים בסיס, גשר או תמיכה להבנה של מושגים בתחום הדעת. פדגוגיה מעוגנת גוף יכולה להתאים ללימוד של כל נושא, בתנאי שההתנסויות הגופניות והתנועתיות משרתות ומקדמות את הלמידה מעבר לחוויה ולהנאה. בהוראת פיסיקה הגישה באה לידי ביטוי בהתנסויות גופניות מושכלות, שנבחרות בתכנון ההוראה ויכולות לשמש כמשאב ייחודי ללמידה. התנסויות אלה יכולות

שיטת מונטסורי המופעלת בגילאים צעירים (Montessori, 1994, 2003) ושיטת החינוך האנתרופוסופי על שם רודולף שטיינר (Childs, 1996; Garner, 2007; Steiner, 2007). שיטת פלדנקרייז היא דוגמה נוספת לתמיכה ברעיון של למידה דרך תנועה (Feldenkrais, 1980).

## עבודות ופרויקטים שהיוו השראה למחקר

1. הוראת הפיסיקה של הריקוד

קנת לואס (Laws) הוא פרופסור לפיסיקה, שבמשך עשר שנים היה חבר פעיל ומורה בקבוצת בלט. הוא החוקר המוביל בתחום הפיסיקה של הריקוד ומאחוריו ספרים ומאמרים רבים בתחום זה. בספריו הוא מנתח בכלים פיסיקליים תנועות מתחום הבלט, כדי לשפר וליעל את הטכניקה והביצוע של הרקדנים (Laws, 1985; Laws et al., 2002; Laws & Lott, 2013). בספרו *Physics and the art of the dance* (Laws, 2008) הוא פונה בין היתר למורים למדעים ולפיסיקה, מתוך רצון לקרב תלמידים למדע.

2. שדה מקדם פעולה וסוכנים קוגניטיביים

במחקר של דור אברהמסון, המתמקד בהוראת המתמטיקה (Abrahamson & Trninic, 2011, 2015), החוקרים יוצרים "שדה מקדם פעולה" (field of promoted action) שבו התלמידים לומדים לנוע בצורה חדשה (הפעולה) בשאיפה לסייע להם להצליח בביצוע מטלה הניתנת בהקשר של מערכת טכנולוגית הנותנת משוב חזותי על פעולות. במחקר נמצא שלמידה מוטורית (שהתרחשה בתוך שדה מקדם הפעולה) יכולה לקדם את חקר הלמידה המושגית. "סוכן קוגניטיבי" מקדם את הלומד בלי שהלה יודע מהי מטרת הלימוד. דוגמאות לסוכנים קוגניטיביים מוכרים הן למידה תוך כדי משחק, תחרות, ביקור במוזיאון ועוד. הסוכן הקוגניטיבי מוצג לרוב תוך כדי מטלה הניתנת בתחילת תהליך הלימוד ומהווה אבן יסוד להמשך תהליך הלמידה (Wilson & Golonka, 2013).

3. למידה באמצעות תנועה בגיל הרך

אלה שובל (שובל, 2006) טבעה את המושג תנועה מושכלת. הכוונה היא לתנועה המשרתת את תהליך הלימוד העיוני, שהיא חלק מפעילות הלימוד. תנועה מושכלת היא דרך להמחשת רעיון, לביטוי, להבעתו וליישומו. במחקר שערכה על הוראת נושא הזוויות בכיתה ב' ובכיתה ג' (Shoval, 2011) נמצא שהתנועה המושכלת משמעותית ללמידה. קבוצת המחקר, שלמדה באמצעות תנועה, הגיעה להישגים גבוהים יותר במובהק בהשוואה לכיתת הביקורת.

4. פרויקט Science Choreography

(<http://sciencechoreography.wesleyan.edu>)

רקדנים, מורים לביולוגיה וחוקרים בקונטיקט חברו אלה לאלה כדי לפתח שיטת לימוד בנושא הגנום לתלמידי החטיבה העליונה. השיטה מבוססת על תנועה וריקוד, מתוך כוונה לעודד את התלמידים לחשוב על מדע בצורה יצירתית. אחד ממארגני הפרויקט אמר, בתרגום חופשי: "הפרויקט שינה את כלנו בדרכים שלא חזינו: המדענים מצאו דרכים חדשות לחשוב על מדע וללמד מדע, והרקדנים הבינו טוב יותר איך המדענים רואים את העולם".

5. בשנתיים האחרונות מתקיים במכון ויצמן פרויקט "תנודע" (<http://www.tnuda.com>), שבו אני חברה. בפרויקט נפגשים מדענים ורקדנים ליצירה וללימוד משותף בדרך האימפרוביזציה. את השיעורים מעבירים שחר בנימיני ושני גרפינקל, רקדנים יוצאי להקת בת שבע, שעובדים בשיתוף עם יוזם הפרויקט, פרופ' איתן גרוס מהמחלקה לבקרה ביולוגית במכון ויצמן.

מתבקשות ללכת יחד ולומר כל מה שהן חושבות ויודעות על מושג זה – מעין אימפרוביזציה בדיבור על נושא מסוים. אפשר להשתמש בשיטה זו לחשיפת ידע של לומדים כפתיח לנושא מסוים. בסוף התרגיל או השיעור כדאי לנהל דיון משותף על מה שנאמר ועל ההרגשה של המשתתפים.

#### ד. מרכיבים נבחרים משיטת פלדנקרייז

משה פלדנקרייז היה פיסיקאי, מהנדס, מאמן ג'ודו, סופר ומורה. פלדנקרייז פיתח תרגילים רבים ומגוונים, המאפשרים חיבור בין הגוף לחוקי הטבע, ולכן השיטה שלו רלוונטית למחקר זה, בפרט בבניית תוכנית לימודים לתלמידות במגמת מחול שנושאים כמו יציבות ושיווי משקל מאוד רלוונטיים להן (פלדנקרייז, 1989). דוגמה להנחיה: הבנות שוכבות על הגב, כמו בתמונה 2, ומתבקשות להרים רגל אחת מעלה ואז להוריד אותה באטיות רבה עד שתיגע ברצפה. גם את הנחת הרגל על הרצפה הן מתבקשות לבצע באטיות. תרגיל זה מאפשר להרגיש את המגע עם הרצפה מצד אחד ואת כובד האיבר מצד שני. תרגיל זה יכול לעזור בהוראת "החוק השלישי של ניוטון". בתרגיל שתואר, ניתן לחוות את הכוח שהרצפה מפעילה על כף הרגל.



תמונה 2 - תרגיל פלדנקרייז

כך כתבה צופיה נהרין על תרגילי פלדנקרייז כפתיח לשיעורי אימפרוביזציה: "לאחר שהתלמידים התאמנו, לרוב בשכיבה, בתרגילי פלדנקרייז הם מסוגלים בחלק השני של השיעור לאלתר תוך תשומת לב לחלקי גוף רבים בו זמנית – למרות שהיוזמה לכל תנועה מגיעה ממקור אחר, יש לתלמידים יכולת לשים לב למכלול הגופני כולו במשך כל הזמן; הם תופשים את גוף כשלם ולא מתמקדים אך ורק בחלק הגוף היוזם" (נהרין, 2000).

#### ה. הרפיה

טכניקת הרפיה היא כל שיטה או תהליך המסייעים לאדם להגיע למצב של רגיעה או הפחתת הלחץ שבו הוא מצוי. לדעתי, טכניקה של הרפיה יכולה וצריכה להשתלב גם בעבודה עם תלמידים בכיתה. היכולת לנשום נשימות סדירות ולהרגיע את הגוף עשויה לסייע לכל תלמיד לפני בחינה או הרצאה, בלי קשר למקצוע שהוא לומד. דוגמה להנחיה היא שכיבה על הגב ונשימות לבטן, כמתואר בתמונה 3.

לקשר רעיונות מורכבים בתחום הפיסיקה להתנסות היומיומית של גוף האדם בסביבה. כל מרכיבי הגישה יכולים להוות מעין סוכנים קוגניטיביים, יקדמו פעולה תנועתית כלשהי שבסופו של דבר תקדם את למידת המושגים. בשלב זה של פיתוח הגישה, המרכיבים הבאים משולבים בהוראה:

#### א. תנועות מושכלות

התנועה המושכלת יכולה להמחיש רעיון ולחקור אותו. תנועה מושכלת, לדוגמה, היא התנועה המעגלית שמתוארת בהמשך (תמונה 8 ואיורים 4, 5). דוגמה נוספת היא תחילת הלימוד על הגרביטציה: התלמידות מתחלקות לזוגות. בכל זוג, תלמידה אחת שוכבת על הרצפה והשנייה מרימה בזה אחר זה איברים שונים בגופה – יד, רגל, ראש – ומניחה על הרצפה. התלמידה ששוכבת על הרצפה לא עוזרת לחברתה, שמרגישה בכובד האיברים. אחר כך הן מחליפות תפקידים. תהליך כזה יכול להיות מאוד משמעותי. התלמידות מרגישות בגופן את ה"משיכה" של כדור הארץ, לפני שהן נחשפות למושג הפיסיקלי "כוח משיכה".

#### ב. אימפרוביזציה (אלתור) בתנועה

כשיטת עבודה, האימפרוביזציה בתנועה מאפשרת קישור של פעילות גופנית עם מושגים פיסיקליים שנלמדים בכיתה. האימפרוביזציה יכולה להשתלב בכל אחד משלבי הלמידה וליצור חוויות ותובנות התומכות בלמידה. האתגר באימפרוביזציה בתנועה הוא בחירת הנחיה מתאימה, שתיצור חיבור בין ההתנסות למושאי הלמידה (מושגים, רעיונות). לדוגמה, בתמונה 1. בלימוד נושא הגרביטציה, אפשר להשתמש באימפרוביזציה כפתיח לפני הצגת הנושא. לאחר ההנחיה שתוארה בסעיף א' ניתנת הנחיה באימפרוביזציה, שמבקשת מהתלמידות לנוע ממצב עמידה למצב שכיבה ולהפך, לעלות מהרצפה או לרדת אליה ולהרגיש את ההבדלים בין עלייה לירידה. לאחר שתי ההתנסויות שתוארו בסעיף א' ובסעיף ב' אפשר להציג לתלמידות את המושג הפיסיקלי הנלמד. אימפרוביזציה מאפשרת להרגיש, לחוות רעיונות, לעודד יצירתיות ולהשתחרר. באימפרוביזציה בתנועה התלמיד חוקר את גופו המתנועע והקשר שלו לסביבה ולחוקי הטבע.



תמונה 1 - אימפרוביזציה - תלמידות מאלתרות מצב עמידה למצב שכיבה ולהפך

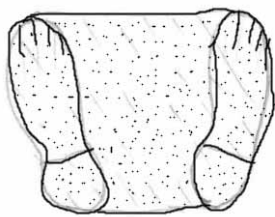
#### ג. טכניקות המשלבות הליכה

חייבים לנוע כדי ללמוד. זהו המסר העיקרי בספרה של הניורופיסיולוגית והמחנכת קרלה הנפורד, *חוכמה בתנועה*. אנו זקוקים לפעולות שיעגנו את מחשבותינו ויאפשרו לנו לזכור (הנפורד, 2000). למשל, לאחר תרגיל האימפרוביזציה שתואר בסעיף ב' מציינת המורה את המושג "גרביטציה" בפעם הראשונה ומבקשת מהתלמידות ללכת יחד ולחשוב על המושג הזה תוך כדי האזנה למוסיקה. כאשר מופסקת המוסיקה כל אחת מהן מוצאת בת זוג והן משוחחות על המושג. טכניקה זו מאפשרת גיוון, רפלקציה הדדית ודו שיח. בסוף התרגיל או השיעור מתנהל דיון על מה שנאמר בזוגות ועל ההרגשה הכללית של התלמידות. יש טכניקה נוספת שמערבת הליכה ודיבור, והיא נועדה ליצור עניין, גיוון והתעוררות. לדוגמה, המורה משמיעה שם של מושג (חיכוך, מהירות, כוח וכיו') והתלמידות

## דוגמה למערכי שיעור להוראת הנושא "שיווי משקל סטטי"

שיעור ראשון - תרגיל תנועתי ( מעין סוכן קוגניטיבי, פתיח לנושא שהתלמידות עדיין לא יודעות).

התלמידות נעות. כשהמוסיקה נעצרת הן צריכות ליצור פוזיציה לפי הנחיה המציינת את מספר נקודות המגע ברצפה: 1, 2, 3, 4... דוגמה לשלוש נקודות מגע: שתי כפות רגליים וכף יד הנוגעות ברצפה, או שתי כפות ידיים וכף רגל אחת הנוגעות ברצפה, או שתי ברכיים וראש וכו'. בזמן שהן שוהות בפוזיציה שנבחרה הן מתבקשות להזיז יד ימין לגב ואז לחזור לפוזיציה המקורית, להזיז יד שמאל לראש ואז לחזור לפוזיציה המקורית. התלמידות מבצעות את ההוראות כתלות בפוזיציה שבחרו. המטרה היא להוציא אותן משיווי משקל ולאפשר להן להרגיש את התרומה של כל אחת מנקודות המגע עם הרצפה ליציבות שלהן. התלמידות מתנסות וצופות גם בתלמידות האחרות.



איור 1 - בסיס תמיכה - כל האזור המסומן בנקודות

הגדרת בסיס תמיכה - נצייר בדמיון או בעזרת גיר את ההיקף סביב כל נקודות המגע ברצפה. השטח בתוך כל מה שציינו הוא בסיס התמיכה. למשל: בתנוחה שבה שתי כפות הרגליים עומדות, בסיס התמיכה יהיה כפי שמסומן באיור 1.

מתחלקות לזוגות, שבהם תלמידה אחת פעילה והאחרת צופה. ניתנת הנחיה ליצור פוזיציה לפי מספר נקודות המגע ברצפה המצוינות על ידי המורה: 1, 2, 3, 4... בכל פוזיציה התלמידה שצופה מסמנת ביד את ההיקף שמסביב לנקודות המגע ומגדירה את בסיס התמיכה של אותה פוזיציה (ראו תמונה 4). אחר כך היא מנסה לדחוף מעט את התלמידה המציגה ובודקת אם אפשר להוציא אותה מהפוזיציה בקלות או שבתנוחה שבה היא נמצאת דחיפה קלה לא משפיעה עליה. בדיון בסוף התרגיל נבדקות התחושות בתנוחות שבהן שיווי המשקל היה יציב (היה קשה להפיל את התלמידה המציגה) לעומת מצבים של שיווי משקל רופף (התלמידה המציגה נפלה בקלות).



תמונה 4 - בסיס תמיכה. תלמידות מסמנות את בסיס התמיכה בפוזיציה של בת זוגן. צילום: רויה מידן

שיעור שני: תרגיל פלדנקרייז

התלמידות עומדות על רגל אחת, עוצמות עיניים ומרגישות לאיזה צד הן נוטות ליפול. אחר כך הן עומדות על רגל שנייה, עוצמות שוב עיניים ושוב מרגישות אם הנטייה בשני המצבים היא ליפול לאותו צד או לא. לאחר מכן הן מתבקשות לייצב את תנוחתן כדי למנוע נפילה.

ההנחיה הבאה היא עמידה ותזוזה מצד לצד, בעוד שכפות הרגליים מונחות על הרצפה ואינן מתנתקות ממנה (דימוי של "עץ") התנועה אטית



תמונה 3 - הרפיה, צילום: רויה מידן

## המחקר העיקרי

אוכלוסיית המחקר העיקרי בשלב זה כוללת תלמידות מגמת מחול בכיתה 'י'. הרצון ללמוד לעומק את הנושא הביא להתמקדות בקבוצה ייחודית זו, שמחוברת לגוף ולתנועה, לפני בחינתו בעבודה עם אוכלוסיות אחרות. התלמידות רגילות לעבוד עם הגוף, כך שאין צורך לבזבז זמן ומשאבים כדי לגייס אותן לנוע. שיטת ההוראה משתלבת בצורה טבעית בשיעורי המחול שלהן, הלמידה מתרחשת בסטודיו למחול המוכר להן היטב. בסביבת למידה זו הן מתנועעות, חוקרות את תנועתן, צופות בתנועה שסביבן ומבצעות רפלקציה מיידית על עצמן ועל הלומדות האחרות בדרך התנועה. סביבת למידה זו מאפשרת למידה פעילה, הן מהיבט החברתי-הסביבתי והן מהיבט הפנימי-הקוגניטיבי.

הקורס הראשון של פיסיקה באמצעות תנועה נערך עם תלמידות מגמת מחול בכיתה 'י' שלמדו פיסיקה עם כיתתן כמקצוע חובה. הקורס כלל 22 שעות לימוד. השיעורים התקיימו פעמיים בשבוע. בכל פעם נערך שיעור כפול, של שעה וחצי, בסטודיו הבית ספרי. בקורס זה השתמשתי בכל הכלים הפדגוגיים שהוזכרו קודם ונלמדו מושגים פיסיקליים כמו החוק הראשון של ניוטון, החוק השני של ניוטון, כוח המשיכה, הכוח הנורמלי, חיכוך, מרכז מסה ושיווי משקל סטטי/דינמי. התלמידות עבדו בקבוצות קטנות וקיבלו מטלות ביצוע תנועתיות כדי לבדוק את הבנתן. למשל, בסוף הקורס הן נדרשו לבנות קטע ריקוד שמתאר פעולות הקשורות למושגים הפיסיקליים שנלמדו בקורס ולהסביר את בחירתן. בסוף כל שיעור היו דיונים בסטודיו. כלי המחקר לניתוח פעילות זו כוללים שאלונים לבדיקת עמדות בתחילת הקורס ובסופו, ראיונות אישיים עם תלמידות והקלטות אודיו ווידאו של מהלכי השיעורים.

## מבנה השיעורים

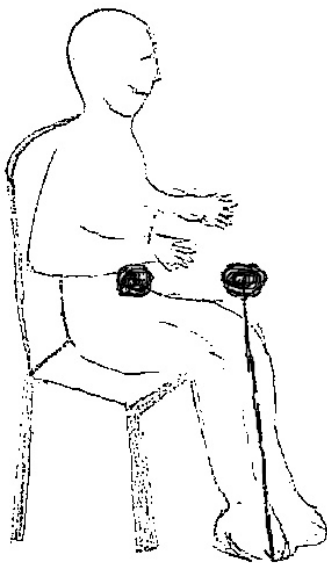
- לפני שהוצג הנושא הנלמד, התלמידות התנסו בחוויה תנועתית שנבנתה והתאמה לנושא הספציפי בעזרת אחד ממרכיבי הגישה של "פדגוגיה מעוגנת גוף" להוראת הפיסיקה. ברוב המקרים החוויה התנועתית היוותה מעין סוכן קוגניטיבי, פתיח למושג או רעיון שהוצג אחריו.
- הוקדש זמן לשיחה על החוויה התנועתית, על מנת לחשוף את הידע המקדים של התלמידות על הנושא.
- נערכה הצגה של הנושא, הרעיון או התופעה במלים.
- הדגמה תנועתית או תרגיל תנועתי שקושרו באופן מפורש להסבר במלים.
- התנסות תנועתית נוספת.
- סיום השיעור - המורה והתלמידות ישבו במעגל וקיימו סיכום ומשוב על השיעור.

שנקודת מרכז המסה שלו נמצאה מחוץ לגופו ואף מתחת לרף (כך הצליח לעבור גובה רב יותר במידה משמעותית מקופצים אחרים).

בהמשך ניתן לתלמידות הסבר המקושר להתנסויות שתוארו. התנאי לשיווי משקל הוא שמרכז המסה יהיה במיקום שאפשר להוריד ממנו אנך לבסיס התמיכה. ככל שבסיס התמיכה קטן יותר, כמו בעמידת פוינט, שיווי המשקל יציב פחות. ההסבר הוא שבמצב כזה יש פחות אפשרויות להניע את נקודת מרכז המסה כך שהיא תהיה בתחום שמעל בסיס התמיכה. לאחר ההסבר, אחת התלמידות מדגימה עמידה ראשונה (ראו תמונה 6) עם תנודות לצדדים. התלמידות האחרות בודקות מה קורה לאנך נקודת מרכז המסה שלה - מתי היא תיפול, מתי נקודת מרכז המסה תצא מעבר לבסיס התמיכה ומתי היא תצא משיווי משקל. אותה פעילות מתבצעת תוך כדי תנודות לפנים ולאחור בעמידה ראשונה. במצב זה בסיס התמיכה קטן יותר ולכן תנודות אלו קשות יותר. עוברים לעמידה רביעית ובודקים מה קורה בתנודות לצדדים ובתנודות לפנים ולאחור. אחרי ההדגמה התלמידות חוזרות לתרגל בזוגות: המורה מגדירה מספר נקודות מגע ברצפה (1, 2, 3, 4), אחת התלמידות בכל זוג מתבקשת ליצור מבנה יציב, בת הזוג מסמנת בסיס תמיכה ומנסה להפריע ולראות מתי נקודת מרכז המסה יוצאת מעל בסיס התמיכה. אחר כך אפשר לצרף שני זוגות - זוג אחד פעיל וזוג שני צופה. מקשיבים להסבר ומקיימים דיון משותף. בסוף השיעור התלמידות מתבקשות להתארגן בקבוצות, שכל אחת מהן בונה מבנה משותף. הן בודקות איפה ממוקם מרכז המסה המשותף ומה גורם ליציבות של כל גוף וגוף. במקרה של יותר מגוף אחד החישוב מסובך יותר ולא מתעמקים בו, אבל מתרשמים ונהנים מהניסיונות ומההסתכלות.



תמונה 6 - בדיקת תנאי שיווי משקל סטטי, עמידה ראשונה. צילום: ריהה מידן



איור 3 - שאלת האדם היושב

### בשיעורים או במסגרת השאלונים נשאלות התלמידות שאלות

דוגמה: שאלת האדם היושב: האם אדם היושב בתנוחה המתוארת באיור 3 יכול לקום בלי להתכופף ובלי לשנות את תנוחת הרגליים (90 מעלות). האם יצליח לקום? מדוע? מה ההסבר. לאחר קבלת התשובות, התלמידות יכולות להתנסות בעצמן.

אדם שיושב בכיסא בתנוחה המצוירת אינו יכול לקום מהכיסא, בלי שיתכופף קדימה ויסיט את מרכז המסה שלו (העיגול השחור), כך שיהיה בדיוק מעל לבסיס התמיכה (כפות הרגליים). בהפעלת התרגיל, התלמידות הציגו דרכים נוספות לקום מתנוחה זאת, מתוך הבנה של התנאי ההכרחי. למשל, פיסוק של רגליים משני צדי הכיסא, אשר יאפשר עמידה.

### מטלת ביצוע תנועתית לסיכום הנושא של מצב שיווי משקל

סטטי: זוג תלמידות (ראו תמונה 7) מתבקשות ליצור רצף בין שלוש פוזיציות של שיווי משקל, לנוע בהן עד יציאה משיווי משקל לקראת הפוזיציה הבאה

ומבוצעת 15 פעמים, מתוך שימת לב לנשימות (ראו תמונה 5). אחר כך התלמידות מתבקשות לזוז לפנים ולאחור 15 פעמים, שוב בלי להרים את כפות הרגליים מהרצפה, ולשים לב מה קל יותר - תנועה לפנים או לאחור. הן גם מתבקשות "לצייר" מעגל עם הראש ולשים לב איך התנועה מתמקדת בשרירי השוקיים ובאיזה אופן היא מורגשת בקרסוליים. חוזרים על שלושת התרגילים, אך הפעם בישיבה מזרחית על הרצפה.



תמונה 5 - תרגיל פלדנקרטיז דמוי עץ. צילום: ריהה מידן

בישיבה על הרצפה מתקיים דיון קצר בשאלות הבאות: מה הן מרגישות? מה ההבדל

בין התנועה לצדדים לתנועה לפנים ולאחור? מה ההבדל בין התנועות בישיבה לתנועות בעמידה? התלמידות בקורס המתואר אמרו שבישיבה בסיס התמיכה רחב יותר מאשר בעמידה על רגל אחת. לכן בישיבה הן חשו (ציטוטים): "נוח יותר", "יותר טווח תנועה", "אם בסיס התמיכה גדול יותר אז התנוחה יציבה יותר - קשה יותר להפיל". הן הגיעו להכרה שבעמידה קשה יותר לנוע לפנים ולאחור מאשר ימינה ושמאלה, אבל עדיין לא הבינו מה הסיבה לכך. הדיון הגיע לעיסוק במושג היציבות באופן כללי, ולא רק בתנועה. עסקנו, למשל, ביציבות בחיים, בקשרים (האם הפרעה קטנה משפיעה או לא?).

### אימפרוביזציה

הפעילות נועדה להתנסות במושג "נקודת מרכז המסה", בלי להגדירו. ההנחיה היא ללכת בליווי מוסיקה, להרגיש את הרצפה ואז לנסות להפעיל מנועים בידיים, בראש, ברגליים, באגן, בגב ולפתח את המודעות לכך שכל איבר הוא מנוע שזז ומניע את שאר הגוף. בפעילות זו הדגש זז בכל פעם לאיבר אחר. אחרי שעוברים על האיברים, התלמידות מתבקשות לנסות לדמיין את הגוף ככדור קטן - לכווץ את הגוף כולו לנקודה אחת, שבה מרוכזת כל המסה (הקילוגרמים) ורק הנקודה הזאת זזה. כמובן, גם האיברים יכולים לנוע, אבל המנוע ממוקם באותה נקודה דמיונית. בפסיקה תיכונית נהוג לנסות לדמות גוף לנקודה אחת: כשיניגשים לפתור בעיה העוסקת בגוף תלת ממדי או דו ממדי, פעמים רבות הופכים אותו לנקודה חד ממדית.

בסיום התרגיל, כאשר התלמידות נשאלו איך הן מרגישות ואיפה מיקמו את הנקודה, רובן הצביעו על הבטן או קצת גבוה מכך. זהו המיקום של נקודת מרכז המסה בתנוחת עמידה וזו היתה מטרת השיעור.

### דיון והסבר המושג - מרכז מסה

נקודת מרכז המסה או נקודת מרכז הכובד (מושגים זהים כל עוד אנחנו על פני כדור הארץ) היא הנקודה שיכולה לאפיין את ממוצע המסות של האיברים בגוף, כאשר המרחקים מכל האיברים אליה מינימליים. בשיעור אין ניסיון למצוא את הנקודה בצורה מדויקת, אלא להבין פחות או יותר היכן היא נמצאת בכל תנוחה ותנוחה. התלמידות מגלות שנקודת מרכז המסה אינה תמיד בבטן כמו בפוזיציות עמידה רגילה. נקודת מרכז המסה נעה ומשנה את מיקומה כתלות בתנוחה. כשמרימים את הידיים נקודת מרכז המסה תהיה גבוהה יותר מהבטן, כשמפנים ידיים לצד ימין היא זזה ימינה וכו'. התלמידות מופתעות לגלות שבתנוחות מסוימות נקודת מרכז המסה יכול להיות מחוץ לגוף. למשל, בכיפוף קדימה (ראו איור 2).



במשחקים האולימפיים במקסיקו 1968 ניתן הקופץ לגובה דיק פוסברי כשהוא מקמר את גבו מעל הרף, כך

איור 2 - אדם מתכופף קדימה ונקודת מרכז המסה שלו נמצאת מחוץ לגופו

התלמידות הרחוקות יותר ממרכז העיגול היו צריכות לנוע מהר יותר מאלה שמקומו ברדיוסים הפנימיים. התלמידה ציירה נגזרת של מעגל וסימנה זווית. הציור מדגים שהתרגיל שבוצע יכול לעזור לה בהמשך להבין את המושג "מהירות זוויתית", הנהל את כל הרדיוסים.

התרגיל בתנועה המעגלית הועבר גם בכיתות של מורים לפיסיקה ותגובותיהם היו מאוד חיוביות. הם ציינו שתרגיל כזה יכול לעזור מאוד בהצגת הנושא המורכב של תנועה מעגלית. בסדנה שבה השתתפו סטודנטים לקראת תעודת הוראה השתתף דוקטור למדעי כדור הארץ, שאמר, "אחרי שנים נפל לי האסימון מה זו מהירות זוויתית". התנסות בתרגיל זה, ניתוח הציורים, הסברי התלמידות ותגובות המורים חיזקו את דעתי שהתנסות תנועתית מושכלת, מכוונת פיסיקה, יכולה לתרום רבות ללימוד פיסיקה.

### ציטוטים מפי התלמידות בקורס הראשון

על דרך ההוראה:  
 "כשהחומר אינו רק על הלוח זה עוזר להבין שהחוקים לא הומצאו סתם, אלא שהם באמת קיימים בחלל, ולהרגיש אותם עוזר להבין אותם ופחות לפחד מהם."  
 "אפשר ממש לראות ולהרגיש את חוקי הפיסיקה."

הבנת מושגים בפיסיקה:  
 "סוף סוף אני מבינה למה התכוון המורה עם החץ של ה-mg כלפי מטה."  
 "המורה לפיסיקה לימד על 'כוח נורמלי' ורק אנחנו הבנו. הוא שאל מה יש למגמת מחול שאנו יודעות את זה."

מוטיבציה ותדמית המקצוע פיסיקה:  
 "הפיסיקה לא כל כך קשה ויש דרכים ללמוד אותה, כך שגם תלמידים פחות מבריקים יבינו. חבל שהקורס לא היה בתחילת השנה. יכולתי לעבור את הבחינות בפיסיקה, ועכשיו עם הציונים הגרועים שלי אני לא יכולה להמשיך בפיסיקה."

השלכות הלימודים על תחומים אחרים ועל ביצועי מחול:  
 "אני חושבת על החומר שלמדנו בפיסיקה גם בשיעורי הטכניקה המעשיים במחול וככה אני מבינה יותר מה שאני מבצעת."  
 "אני לוקחת את מה שלמדנו על היציבות ושיווי המשקל לשיעורי המחול שלי."

### סיכום

שאלה מרכזית שמעסיקה אותי היא כיצד ניתן לקדם את הרעיונות שתוארו במאמר זה. הייתי רוצה לשלב בבחינות הבגרות של מגמות המחול ושל הפיסיקה (למשל, למי שלומד בשתי המגמות) חלקים שבהם יש הערכה על בניית קטעי מחול המתבססים על הנלמד בשיעורי פיסיקה. בנוסף, אני רוצה לפתח את השיטה ולהפעילה בקבוצות אוכלוסייה נוספות. בתחום המחקר אני רוצה לנתח בצורה מעמיקה נתונים מהפעלת השיטה, כולל ניתוח וידיאו של מהלך השיעורים. החלום הגדול שלי הוא, שלימוד מדעים דרך תנועה ואימפרוביזציה ישתלב במערכת החינוך בכל שנות הלימוד, כבר מגיל צעיר, ויכר כדרך חשובה ואף הכרחית ללמידה.

### ביבליוגרפיה

דניסון, פול (2010). *תרגילי מוח התענוג שלבלמידה*, הוצאת אדוואנס. הנפורד, קרלה (2000). *חוכמה בתנועה*, הוצאת נורד. נהרין, צופיה (2000). *הזמנה למחול תהליכי יצירה בתנועה*, הוצאת ספרים אח בע"מ.



תמונה 7 - מטלות ביצוע בנושא שיווי משקל. צילום: ריה מידן

ואחר כך להסביר כל פוזיציה, בעזרת המושגים "בסיס תמיכה" ו"נקודת מרכז מסה", אם מדובר על 'שיווי משקל יציב או רופף'.

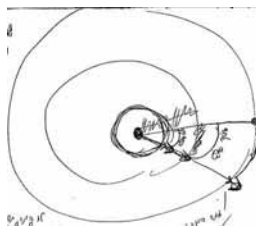
### דוגמה לאחד התרגילים בלימוד הנושא "תנועה מעגלית"

בתמונה 8 אפשר לראות תרגיל תנועתית מושכל בנושא תנועה מעגלית. תרגיל זה הוא מעין סוכן קונג'יטיבי, הוא מקדם את פעולת הלומדות לקראת לימוד מושגים כמו "רדיוס", "מהירות קווית" ו"מהירות זוויתית". מכיוון שאין ברשותי תמונה מהקורס שנעשה במחקר החלוץ, מובאת פה תמונה מסדנה שבה השתתפו סטודנטים ורקדנים במסגרת פרויקט "תנדוע" במכון ויצמן. בסדנה זו המשתתפים נחשפו לגישת ההוראה שאני מציעה. המשתתפים התבקשו ללכת סביב בקבוק שעמד במרכז הכיתה. בהתחלה כל משתתף הולך בקצב שלו, בלי לשים לב לאחרים. אחר כך המשתתפים התבקשו ללכת סביב הבקבוק כשהם צמודים זו לזה.



תמונה 8 - תנועה מעגלית. מדענים ורקדנים מפרויקט "תנדוע" במכון ויצמן נחשפים לאחד מתרגילי התנועה המושכלת עבור הוראת נושא התנועה המעגלית. הליכה סביב בקבוק. צילום: ריה מידן

תלמידות כיתה ז' שהשתתפו, במסגרת מחקר החלוץ, בקורס "פיסיקה מחול ותנועה" התבקשו לצייר על דף ולהסביר את מה שחוו בתרגיל התנועתית, לפני שנחשפו למושגים המדעיים הרלוונטיים הקשורים לתרגיל. התרגיל נעשה בשתי קבוצות, כך שהתלמידות גם התנסו בו וגם צפו בו. להלן כמה ציורים:



איור 4 ב' - ציורי תלמידות כיתה ז'



איור 4 א' - ציורי תלמידות כיתה ז' לאחר ההתנסות התנועתית בנושא התנועה המעגלית

איור 4 מראה שהלומדות יכולות להבין מושגים כמו "מהירות קווית" ו"מהירות זוויתית" באמצעות תרגיל תנועתית, לפני ההוראה הפורמלית של המושגים. איור 4.4 מייצג את החלק הראשון של התרגיל העוסק במהירות קווית, שבו לכל משתתפת בכל רדיוס יש מהירות משלה. איור 4.4 ב מייצג את החלק השני של התרגיל, שבו התבקשו התלמידות שנעו יחדיו אך היו במרחקים שונים ממרכז העיגול, לנוע כך שייצרו קו ישר. כדי לעשות זאת

- Nguyen, D. J., & Larson, J. B. (2015). "Don't Forget About the Body: Exploring the Curricular Possibilities of Embodied Pedagogy." *Innovative Higher Education*, 1-14.
- Ran Peleg, A. B.-T. (2011). "Atom Surprise: Using Theatre in Primary Science Education." *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 508-524.
- Scherr, R. E., Close, H. G., Close, E. W., Flood, V. J., McKagan, S. B., Robertson, A. D., . . . Vokos, S. (2013). "Negotiating energy dynamics through embodied action in a materially structured environment." *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9 (2), 020105.
- Scherr, R. E., Close, H. G., McKagan, S. B., Close, E. W., Singh, C., Sabella, M., & Rebello, S. (2010). "Energy Theater: Using The Body Symbolically To Understand Energy." Paper presented at the Aip Conference Proceedings.
- Shilling, C. (2010). "Exploring the society-body-school nexus: Theoretical and methodology issues in the study of body pedagogics." *Sport, education and society*, 15(2), 151-167.
- Shoval, E. (2011). "Using mindful movement in cooperative learning while learning about angles." *Instructional Science*, 39(4), 453-466.
- Steiner, R. (2007). *Balance in teaching*, SteinerBooks.
- Wilson, A. D., & Golonka, S. (2013). "Embodied cognition is not what you think it is." *Frontiers in psychology*, 4.
- Thelen, E., Schöner, G., Scheier, C., & Smith, L. B. (2001). "The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching." *Behavioral and brain sciences*, 24(01), 1-34.
- פלדנקרייז, משה (1989). *שכלול היכולת - הלכה ומעשה*, הוצאת אל"ף.
- שובר, אלה (2006). *נעים ולומדים: תנועת הגוף ותרומתה ללמידה*. הוצאת ספרים אח בע"מ והמכללה האקדמית לחינוך גבעת ושינגטון.
- Abrahamson, D., & Trninic, D. (2011). *Toward an embodied-interaction design framework for mathematical concepts*. In P. Blikstein & P. Marshall (Eds.), (Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children) (Vol. "Full papers", pp. 1-10): ACM.
- Abrahamson, D., & Trninic, D. (2015). "Bringing forth mathematical concepts: signifying sensorimotor enactment in fields of promoted action." In D. Reid, L. Brown, A. Coles & M.D. Lozano (Eds.), *Enactivist methodology in mathematics education research special issue*. ZDM Mathematics Education 47 (pp. 306-295).
- Childs, G. (1996). *Rudolf Steiner: his life and work*. SteinerBooks.
- Feldenkrais, M. (1980). *Body and mature behavior*. Routledge & Kegan Paul.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). ("The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge." *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic books.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice*. Basic books.
- Gardner, H. (1995). *Reflections on multiple intelligences: Myths and messages*. Phi Delta Kappan, 77, 200-200.
- Garner, R. (2007). "The Big Question: Who was Rudolf Steiner and what were his revolutionary teaching ideas?" *The Independent*.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought*. Basic books.
- Laws, K. (2008). *Physics and the art of the dance* (second edition ed.). Oxford university press.
- Montessori, M. (1994). *From Childhood to Adolescence: Including Erdkinder and the Function of the University*. Clio Press.
- Montessori, M. (2003). *The human tendencies and Montessori education*. AMI.

רוני זהר, ילידת 1974, אמה לעומרי ויהונתן. דוקטורנטית במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן בהנחיית פרופ' בת שבע אלון וד"ר אסתר בגנו. מפתחת וחוקרת גישה לשילוב לימודי פיסיקה בתיכונים עם תנועה ואימפרוביזציה. בעלת תואר שני במדעי המוח וההתנהגות מטעם האוניברסיטה העברית בירושלים ותואר ראשון בפיסיקה מטעם האוניברסיטה העברית, בשיתוף לימודי תנועה באקדמיה למוסיקה ולמחול על שם רובין בירושלים. חוקרת, יוצרת, מורה לפיסיקה ומורה למחול ואימפרוביזציה.