

"כאוס"

נושא בחירה חדש לתלמידי פיסיקה ברמה מוגברת – פיתוח, הפעלה והערכה

חיבור לשם קבלת התואר
"דוקטור לפילוסופיה"

מאת
קלריסה ברקוביץ גלמן

מוגש למועצה המדעית של מכון ויצמן למדע

כסלו תש"ס נובמבר 1999

תקציר

עבודה זו עוסקת בפיתוח, הפעלה והערכה של יחידת לימוד חדשה בפיסיקה בנושא "כאוס", המיועדת לתלמידי בית ספר תיכון הלומדים פיסיקה ברמה מוגברת. מעבר לחשיבותו כנושא פיסיקלי מרתק, לנושא זה יש מסר חשוב מבחינה פילוסופית: דטרמיניזם אינו מבטיח יכולת ניבוי.

מטרת עבודתנו זו היתה לפתח יחידת לימוד המרחיבה את תמונת העולם הפיסיקלית הנוצרת אצל תלמידים במהלך לימוד המכניקה הקלאסית, ותורמת לביסוס הידע הקודם שלהם במכניקה.

מכיוון שלא קיימים מחקרים קודמים הבודקים את הבנת התלמידים את תחום הכאוס, ניסינו לענות על השאלות הבאות:

- א. מהם הקשיים בהבנת המושגים העיקריים של תחום ה"כאוס" לתלמידי תיכון הלומדים פיסיקה ברמה מוגברת?
- ב. איך משפיעים לימודי ה"כאוס" על ארגון תפיסת העולם המכניסטית הקיימת אצל התלמידים כתוצאה מלימודי המכניקה הרגילים?

לאחר שהכשרנו מורים באמצעות השתלמויות, נלמדה היחידה בשני מחזורים. התבצעה הערכה מעצבת של היחידה, ובעקבותיה הוכנסו שינויים מסוימים בתכנים, והוחלט לפתח יחידה אשר תילמד בצורה מתוקשבת. בהפעלה המתוקשבת התלמיד לומד בעצמו בהדרכה של מומחה בתחום, ללא השתתפות של מורו.

במחזור השלישי, כ-30 תלמידים למדו את היחידה דרך רשת המחשבים של מכון ויצמן. היחידה המתוקשבת כוללת אמצעים טכנולוגיים עכשוויים, כגון הדמיות נומריות מחד, ו"שיטוט" באתרי אינטרנט הקשורים לנושא מאידך.

להלן סיכום של תוצאות המחקר ומסקנות:

הישגים וקשיים בהבנת המושגים החשובים של התחום

א. מתוך רשימת המטרות שהגדרנו לפיתוח היחידה, מספר מטרות הושגו בהצלחה, כך שלאחר הוראת היחידה התלמידים:

1. מבינים את המושג "רגישות לתנאי ההתחלה"
2. מכירים את המאפיינים של תנועה מסודרת ושל תנועה כאוטית
3. מכירים פרקטלים מתמטיים ופרקטלים בטבע
4. יכולים ליישם את המושגים הנלמדים בתופעות חדשות

ב. השגתן של כמה מטרות הייתה חלקית בלבד, כתוצאה מבעיות שהתעוררו בהבנת מושגים מסוימים. בפרט:

1. ההבחנה בין המושגים "כאוטי" ו"אקראי" אינה טריוויאלית. ההגדרה הפורמלית של המושגים אינה מספיקה כדי ליצור אצל התלמידים הבחנה ברורה ביניהם.
2. התפיסה של "דטרמיניסטי" כ"ניתן לניבוי" מאד עמידה. כלומר, גם אחרי שהתלמידים יודעים שיש מערכות דטרמיניסטיות שהתנהגותן אינה ניתנת לניבוי כתוצאה מרגישותן המעריכית לתנאי ההתחלה, נשארת אצלם התפיסה הנאיבית שהיכולת לרשום משוואות אקוויוואלנטיות ליכולת ניבוי.
3. התלמידים מכירים את התרחיש של הכפלות מחזור במעבר מסדר לכאוס, ואפילו מצליחים לפתור תרגילים הקשורים למושג זה, אך יש קושי בהבנת המושג "סדר גלובלי".

בעיות אלו היו קשורות למידת המוכנות של התלמידים לאחר לימודי המכניקה הקלאסית.

השפעתם של לימודי ה"כאוס" על תפיסת העולם המכניסטית של התלמידים

במחזורים הראשונים של ההוראה הניסיונית, התלמידים נטו אחרי הלמידה לעשות הכללת יתר של המושגים הנלמדים. לדוגמה, הם נטו לחשוב שכל מערכת היא כאוטית. טיפול יסודי בהנחות היסוד של המכניקה הניוטונית ובשיטתה (בניית מודלים לצורך חיזוי) עזר לפתור את הבעיה הזאת במחזור האחרון. מעבר לכך תרם טיפול זה לבניית תמונה יותר כוללת של המכניקה הניוטונית.

מצאנו כי ההשפעה של לימודי הכאוס על תפיסת העולם המכניסטית הייתה מתונה, כפי שהיה צפוי מטיפול שנמשך כ-40 שעות בלבד.

הוראה מתוקשבת

כתוצר לוואי, מצאנו כי ההוראה מרחוק של היחידה דרך המחשב הייתה מוצלחת. באמצעותה הוצגה בפני תלמידי בית ספר תיכון צורת לימוד חדשה, יעילה ומושכת, העושה שימוש בטכנולוגיות עכשוויות.

מסקנות

מהנאמר לעיל אנו מסיקים כי כדי להפיק תועלת מלימודי יחידה זו, צריך לבצע טיפול מקדים שיעזור לתלמידים לארגן את הידע שלמדו עד אז במכניקה. טיפול זה צריך לכלול הוראה של שיטות פשוטות לפתרון נומרי של בעיות פיסיקליות, ודיון על המטרות (חיזוי) והשיטות (בניית מודלים מתמטיים) של המכניקה. בתנאים אלה, לימוד היחידה בנושא כאוס יוכל לתרום

להרחבת תמונת העל הפיסיקלית של התלמידים מחד, ולביסוס הידע שנרכש על ידם במשך לימודי המכניקה מאידך.