



מכון ויצמן למדע

WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

Thesis for the degree  
Doctor of Philosophy

עבודת גמר (תזה) לתואר  
דוקטור לפילוסופיה

Submitted to the Scientific Council of the  
Weizmann Institute of Science  
Rehovot, Israel

מוגשת למועצה המדעית של  
מכון ויצמן למדע  
רחובות, ישראל

By  
**Ariel Steiner**

מאת  
אריאל שטיינר

עיצוב מבוסס מחקר של יחידת לימוד בנושא  
מודל מכנו-סטטיסטי של תופעת הדיפוזיה

Research based design of an  
instructural unit  
Statistical mechanics - model of the  
diffusion phenomenon

Advisors:  
Prof. Edit Yerushalmi  
Prof. Samuel Safran

מנחים:  
פרופ' עידית ירושלמי  
פרופ' שמואל שפרן

September 2018

אלול תשע"ח

## תקציר

תכנית לימודים ברמת קורס מבוא פותחה כדי לבנות מסגרת מושגית פיזיקלית המסבירה תופעות מורכבות מרכזיות במדעי החומר והחיים. תכנית הלימודים יושמה, הוערה ועודנה בקורס 5 יחידות בגרות לתלמידי תיכון (י-יב') בעלי עניין ויכולת. המחקר המבוסס על פיתוח תכנית הלימודים, עקב אחר המסגרת המחקרית (Duit, 2007) Model of Educational Reconstruction (MER) הלוקחת בחשבון שלושה רכיבים הקשורים זה לזה: (1) ניתוח עיוני של מבנה הדעת – בחירה של רעיונות מרכזיים וארגונם למבנה ידע קוהרנטי המותאם ליידע הקודם של התלמידים ולרציונל התכנית; (2) עיצוב סביבת הלמידה – יישום עקרונות פדגוגיים לעיצוב סביבת הלמידה ובהתייחסות לאילוצי הסביבה בה התכנית מופעלת; (3) מחקר אמפירי - מחקר במהלך ההפעלה על השגי וקשיי התלמידים, המאפשר לזהות מטרות למידה ברורות השגה לתכנית.

בכדי לפגוש את הידע הקודם איתו התלמידים מגיעים לתכנית, כיתה י' מתמקדת בגישור בין היבט מקרוסקופי ומיקרוסקופי של מערכת מרובת חלקיקים באמצעות מודלים חישוביים דינמיים המתארים את ההתפתחות בזמן של מערכת חלקיקים מתנגשים (באינטראקציות דחיה קצרות טווח). בניית וניתוח מודלים דינמיים חישוביים מאפשרת להצדיק ולהמחיש את המעבר מדינמיקה ניוטונית למהלך אקראי. הטיפול המכנו-סטטיסטי המופשט של מערכות ללא-אינטראקציה בין החלקיקים בש"מ הוצג לראשונה בכיתה יא' במבנית המתמקדת בקונפיגורציות מרחביות. המבנית "מכניקה סטטיסטית של קונפיגורציות מרחביות" בנתה את הנחת ההסתברות השווה לכל מצבי-המיקרו בהתבסס על ההכרות הקודמת של התלמידים עם דינמיקת החלקיקים – מהלך אקראי. המבנית ממשיכה עם ניתוח של התפלגות, אנטרופיה וחוק שני בהקשר של קונפיגורציות מרחביות. מבנית זו מהווה בסיס לניתוח מאוחר יותר של מגע תרמי (קונפיגורציות במרחב האנרגיה) ומערכות עם אינטראקציות הרלוונטיות למדעי החיים.

התיזה מתמקדת במבנית "מכניקה סטטיסטית של קונפיגורציות מרחביות". שאלות דיאגנוסטיות וראיונות שמשו הן לניתוח הבנת התלמידים מושגים ועקרונות מרכזיים לאחר סיום המבנית, והן לזיהוי השינוי בתפיסות של התלמידים ובהעדפות שלהם לגבי המודלים השונים (דינמיקת החלקיקים לעומת מכניקה סטטיסטית) עבור דיפוזיית חלקיקים מספר חודשים לאחר סיום המבנית. הניתוח מראה כי התלמידים הצליחו במידה רבה ביישום ראוי של המושגים והעקרונות שהם למדו, כך שיחידת ההוראה במתכונתה הנוכחית משיגה את רוב מטרותיה. השינוי בתפיסות התלמידים מתבטא במודל-דינמיקת חלקיקים או/ו מכנו-סטטיסטי - בו הם משתמשים לחזות את תופעת הדיפוזיה, אך נקודת המבט בה הם מתארים את התופעה: מיקרו-תנועתם האקראית של החלקיקים, מקרו-צפיפות מקומית ממוצעת במרחב או/ו בזמן, הסתברותית - ההסתברות לקבלת ערכי הצפיפות המקומית, אינה משתנה.