



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 Abrashkin**

מאת  
**אריאל אברשקין**

תרמודינמיקה סטטיסטית:

פיתוח מבוסס מחקר של יחידה קוריקולרית בתוכנית מדע חישובי בינתחומי

Statistical thermodynamics - Research-Based Development of a  
Curricular Unit in an Interdisciplinary Computational Science Program

Advisors:  
Prof. Edit Yerushalmi  
Prof. Samuel Safran

מנחים:  
פרופ' עידית ירושלמי  
פרופ' שמואל שפרן

November 2020

כסלו תשפ"א

## תקציר:

חיבור זה מציג פיתוח מבוסס מחקר של יחידה קוריקולרית 'תרמודינמיקה סטטיסטית' המהווה חלק מתוכנית הלימודים "מדע חישובי בינתחומי: פיזיקה כימית וביולוגית" (מ"ח בינתחומי), המיועדת לתלמידי תיכון מתעניינים ובעלי יכולת. תוכנית זו מתמקדת במידול פיזיקלי, אנליטי וחישובי, של תופעות התארגנות עצמית במערכות רבות חלקיקים, בהן לחלקיקים אינטראקציה בעלת טווח סופי זה עם זה, להן יישומים גם בכימיה וביולוגיה. התוכנית נענית לדרישה ההולכת וגוברת לבינתחומיות בהוראת המדעים, כמו גם לשילוב מיומנויות מדעיות אותנטיות בהן.

פיתוח היחידה כולל ארגון חדשני של רצף ההוראה ומפריד את המבנה המסורתי של הוראת אנרגיה קינטית ופוטנציאלית, הנלמדות ומומשגות בדרך כלל יחדיו. במקום מבנה זה, אנרגיה קינטית מוצגת בהקשר של מגע תרמי ואנרגיה פוטנציאלית בהקשרים של אינטראקציות בין חלקיקים – קשרים כימיים וספחה. ארגון זה של רצף ההוראה מונע אי רציפויות במסגרת המושגית (טרמיניסטית / סטוכסטית) המופיעים בתוכניות הלימוד המסורתיות, ומאפשר רצף הוראה עקבי הנערך כולו במסגרת של מערכות רבות חלקיקים. פרויקט סוף השנה שביצעו התלמידים כללו פיתוח מודלים אנליטיים וחישוביים לספחה במסגרת מידול פיזיקלי ממושט של מערכות ביולוגיות, תוך שימוש במינימיזציה של אנרגיה חופשית ובהסתברות בולצמן בהתאמה.

המחקר האמפירי בוצע בשני הקשרים: שליפה ושימוש, שביצעו התלמידים, במושגים תרמו-סטטיסטיים בפתרון בעיות במגע תרמי, במסגרת מבחן אמצע שנה, ושני מקרי בוחן הכוללים ראיונות עומק עם תלמידים בהקשר פרויקט הסיום שלהם. הממצאים ממבחן אמצע השנה הדגימו כי, במידה רבה, תלמידים שולפים ומשתמשים במושגים תרמו-סטטיסטיים שונים באופן הולם, אך עם זאת חשפו נטייה של תלמידים לטעון כי אנטרופיה עולה תמיד, גם במערכת לא מבודדת. הממצאים מראיונות סוף השנה הציגו כי תלמידה מצטיינת אחת אכן ביססה לעצמה את התרמודינמיקה הסטטיסטית כמסגרת עבודה, בעלת ארגון ידע קשיח; תלמידה זו גם הציגה בעלות ניכרת על המודלים שפיתחה בפרויקט הסיום שלה. התלמידה במקרה הבוחן השני הציגה ידע מוגבל יותר ומגוון של תפיסות אלטרנטיביות, המאותתים על חוסר התקדמות ממודלים דינמיים וחשיבה סיבתית למודלים סטטיסטיים. ממצאים אלה מצביעים על יכולת התוכנית לפתח הבנה מושגית של תרמודינמיקה סטטיסטית, תוך העדר כמעט מוחלט של תפיסות שגויות, בקרב תלמידים מסוימים. הממצאים מצביעים גם על הצורך במספר התאמות בתוכנית, בפרט בהחצנת המעבר ממודלים דינמיים לסטטיסטיים, בכדי לשפר את נגישותה לתלמידים שונים.