



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
Zvi Arica

מאת
צבי אריכא

**"פיזיקה ותעשייה": פיתוח ומחקר של מודל לקידום
מצוינות באוכלוסיות תת-משיגות**

**"Physics & Industry": Development and Study of a
Model for Promoting Excellence among Under-
Achieving Students**

Advisor:
Prof. Bat-Sheva Eylon

מנחה
פרופ' בת שבע אלון

July, 2013

אב, תשע"ג

תקציר

מטרת העבודה

תכנית הלימודים "פיזיקה ותעשייה", המופעלת כעשור במכון ויצמן במסגרת "כיתה אזורית", מיועדת לקדם מצוינות בקרב תלמידי מגמת הפיזיקה בחטיבה העליונה. לפני כשש שנים הוחל בהפעלתה של התכנית בקרב אוכלוסיית תלמידי "תיכון אתגר" הלומדים במסלול הטכנולוגי. "תיכון אתגר" מאופיין בריבוי תלמידים תת-משיגים ותלמידים לקויי למידה. כמו אוכלוסיות תת-משיגות אחרות, לתלמידים אלה חסכים של ידע, של דרכי עבודה, של דימוי עצמי ושל יכולת ויסות עצמי של הלמידה (SRL – Self Regulated Learning). בצד המטרות המסורתיות של "פיזיקה ותעשייה" נועדה התכנית לקדם מטרות ייחודיות לאוכלוסייה זו, כדי לאפשר לתלמידים לממש את יכולתם, למשל: פיתוח הרגלי עבודה ויכולת ויסות עצמי. לכן, יעד מרכזי של עבודה זו היה לפתח גישת הוראה שתאפשר להשיג מטרות אלה. חיבור זה מתאר את פיתוח הגישה להפעלת "פיזיקה ותעשייה" בקרב אוכלוסיית התלמידים התת-משיגים ואת המחקר שנעשה במהלך שנתיים שבהן הופעלה התכנית בקרב תלמידי "תיכון אתגר", שכלל 20 תלמידים. המחקר עקב בעיקר אחרי מחזור לימודים אחד, מספטמבר 2007 עד יולי 2009. התכנית הופעלה בקרב אוכלוסיית "תיכון אתגר" בגישה המשלבת בין הצבת אתגרים לבין הקניה שיטתית של כלים להתמודדות עם האתגרים. מטרות המחקר היו לבחון דרכים שבהן אפשר לקדם תלמידים אלה בגישה זו; להעריך את השגת מטרות התכנית "פיזיקה ותעשייה" בקרב האוכלוסייה הנבדקת; לאפיין את תהליכי הלמידה וההנחיה בתכנית ולחקור את הקשר ביניהם לבין פיתוח מיומנויות של ויסות עצמי בלמידה.

התוכנית "פיזיקה ותעשייה" וגישת ההוראה

התכנית "פיזיקה ותעשייה" נלמדת בגישת "למידה באמצעות פרויקטים" (PBL – Project Based Learning) במסגרת "כיתה אזורית" המתנהלת במכון דוידסון לחינוך מדעי במכון ויצמן למדע. התכנית מזכה את התלמידים המשתתפים בה בשתי יחידות לימוד (יח"ל), מתוך חמש יח"ל בפיזיקה. מטרת התכנית היא הרחבת הידע הפיזיקלי והמיומנויות בתחומים שבהם הוראת הפיזיקה בבית הספר אינה נותנת מענה, כגון: התנסות במחקר של בעיה אותנטית המעסיקה את התעשייה העילית; פיתוח מיומנויות פרויקטנטיות ותיכון (Design); פיתוח חשיבה יצירתית; ופתיחת אשנב לעולמה של התעשייה עתירת הידע – תעשיית ההיי-טק. במסגרת התכנית, התלמידים בונים דגם פעיל (ארטיפקט) המהווה מענה לבעיה טכנולוגית אותנטית, תוך הנחייה של מורים מומחים ומהנדסים מהתעשייה העילית. התכנית מתבצעת בשיתוף פעולה עם מורי ביה"ס, ומציעה לתלמידים בעלי מוטיבציה, הלומדים בבתי הספר הרגילים ומעוניינים להתמודד עם נושאים עכשוויים, את מה שמציעים בתי ספר ייחודיים (כמו בית הספר למדעים ואמנויות) – הרחבת טווח הכישורים והמיומנויות של התלמידים.

תלמידי "הכיתה האזורית" מגיעים מבתי ספר שונים הנמצאים בקרבת מכון ויצמן ופועלים במכון דוידסון במשך שנה וחצי, אחת לשבועיים למשך ארבע שעות, כתלמידי כיתה י"א ולאחר מכן בכיתה י"ב.

לעומת זאת, הפעלת התכנית ב"תיכון אתגר" שונה. תלמידי הכיתה המצטיינת של בית הספר משתתפים בתכנית ככיתה שלמה, במשך שנתיים, אחת לשבוע למשך שלוש שעות. מספר התלמידים הממוצע בכל שנה הוא כ-15 תלמידים. מחזור המחקר העיקרי כלל 19 תלמידים. גישת ההוראה שנקטה בקרב אוכלוסיית "תיכון אתגר" התבססה על התפיסה שלפיה הצבת אתגרים במסגרת סביבה תומכת, המספקת כלים מתאימים ורשת ביטחון, היא בעלת פוטנציאל לסייע במימוש יכולותיהם של התלמידים (Treisman, 1992, Doppelt, 2000). לכן, לדוגמה, התכנית משלבת שיטות התערבות שנקחו מתוך תכנית שפיתח צימרמן (Zimmerman 1996,) (2004) לעידוד ויסות עצמי בלמידה. זאת על בסיס ממצאים בספרות המחקרית (Perry et al, 2002) המראים כי כאשר משלבים את השיטות הללו בהוראה, אפילו תלמידים תת-משיגים מגלים מסוגלות עצמית גבוהה ולא נמנעים מאתגרים. גישת ההוראה לאוכלוסיית התלמידים התת-משיגים הושפעה גם מגישת פרנקנשטיין (1971, 1987) ל"הוראה משקמת", ומשופעת באתגרים שהוצעו לתלמידי אוכלוסייה זו, כמו אלה שמתאר דופלט (Doppelt, 2000).

המחקר

שאלות המחקר הן:

1. מהם תהליכי הלמידה וההנחיה בתוכנית "פיזיקה ותעשייה" לתלמידי "תיכון אתגר"? ובפרט:
 - 1.1 כיצד התפתח הוויסות העצמי בלמידה של התלמידים?
 - 1.2 מהם המאפיינים של תהליכי ההנחיה בתוכנית?
 - 1.3 מהם דפוסי הלמידה וההנחיה במהלך התכנית?
2. מהי השפעת התוכנית על תלמידי "תיכון אתגר", כפי שבאה לידי ביטוי בתום התוכנית, בהיבטים הבאים:
 - 2.1 יכולת וויסות עצמי בלמידה.
 - 2.2 תפיסת התלמידים את מסוגלותם העצמית.
 - 2.3 רכישת מיומנויות הבאות לידי ביטוי בפרויקטים ובהתמודדות עם בעיות פתוחות.

כדי לענות על שאלת המחקר הראשונה שעוסקת בהתפתחות התלמידים, בחרתי לעקוב לאורך כל התוכנית אחרי תלמידים ומנחים. עקבתי, כמנחה בתוכנית וכצופה, אחר פעילות התלמידים והנחייתם, לאורך למעלה מ-60 מפגשים שהתקיימו אחת לשבוע במשך כשנתיים (כל מפגש ארך שלוש שעות) וניהלתי יומן חוקר. נוסף על כך בחנתי חלק מהתלמידים, ראיינתי את רובם, ראיינתי חלק ממורי סגל בית הספר וכן חלק מהמנחים שליוו את התלמידים במכון ויצמן. בסך הכול צברתי למעלה מ-250 שעות הקלטה. מתוך נתונים אלה נבחרו מפגשי מפתח בהם נותחו חקרי מקרה מפורטים של תלמידים ומנחים. חקרי המקרה של התלמידים עקבו אחרי שני זוגות תלמידים במהלך פעילותם בתוכנית, וחקר המנחים עקב אחר סגנון הנחייתם של 4 ממנחי התוכנית (מורים מומחים, לבורנט ומדריכה) לאורך כל התוכנית. כדי לענות על שאלת המחקר השנייה שעוסקת בהשפעת התוכנית, נעזרתי בראיונות עומק חצי מובנים ובשאלונים של כלל התלמידים וכן בחנתי את תלמידי חקר המקרה במטלות מסכמות.

כדי לנתח את התנהגות התלמידים והתפתחותם בתכנית נזקקתי למסגרות ניתוח. הצורך במסגרות אלה התברר כחיוני במיוחד, מאחר שעוד בשלב הגשת הצעת המחקר, כשבוצע ניתוח ראשוני של נתוני מחזור הלימוד הראשון של הפעלת התכנית ("מחזור החלוץ"), עלו קשיים רבים בתהליך. הניסיון לנתח את עושר האירועים המתרחשים בזמן עבודת התלמידים, ובמיוחד אלה המתרחשים במהלך בניית הפרויקטים, הוביל אותי לחפש מסגרת תאורטית אשר תשליט סדר בנתונים. המסגרת שנבחרה היא "מסגרת מודל פינטריץ'" (Pintrich, 2000, 2003) שנבנתה כדי לתאר היבטים של וויסות עצמי (SRL) בהם התמקד המחקר. עם ההתנסות בניתוח בעזרת מסגרת זו ובמטרה לקבל קידוד מהימן, מצאתי את עצמי מחדד את המסגרת כדי לנתח את פעילות התלמידים ומשנה מעט את המסגרת כדי לנתח ראיונות. כך יצרתי שתי מסגרות SRL שאכנה: "מודל פינטריץ'-אריכא", האחת לניתוח פעילויות והשנייה לניתוח ראיונות. מסגרות אלה סייעו להרחבת מסגרת ניתוח נוספת, KI (Knowledge Integration) – אינטגרציית ידע (Linn & Eylon, 2006, 2011) כדי לנתח את התנהגות המנחים. מסגרת זו אכנה - KI_A. בסך הכול בניתי שלוש מסגרות הקשורות זו בזו ומהוות כלים עיקריים של מתודולוגיית הניתוח של המחקר.

כדי לענות על שאלת המחקר הראשונה נעזרתי בניתוח התוכן של יומן החוקר ובשתיים ממסגרות הניתוח שעיצבתי: "מודל פינטריץ'-אריכא" לניתוח התנהגות התלמידים ומודל KI_A לניתוח האינטראקציה עם המנחים. כדי לענות על שאלת המחקר השנייה השתמשתי בניתוח התוכן של יומן החוקר, במסגרת הניתוח: "מודל פינטריץ'-אריכא" לניתוח ראיונות, בניתוח סטטיסטי של השאלונים ובניתוח קטגורי של מטלות הסיכום.

חיבור זה מתייחס אפוא לשתי מטרות: מטרה אחת, עיקרית, שהייתה לכתחילה המטרה המרכזית של המחקר ותוארה לעיל, והיא להציג ממצאים מרכזיים העולים מאופן הפעלת התכנית "פיזיקה ותעשייה" בקרב אוכלוסייה של תלמידים תת-משיגים. מטרה אחרת, משנית, שהתפתחה עם התעמקותי במחקר, היא להדגים את השימוש ב"מסגרות הניתוח", שבעזרתן ניתחתי את התנהגות התלמידים ואת דרכי ההנחיה של סגל התכנית "פיזיקה ותעשייה".

המסקנות העיקריות

כמה מסקנות עולות מניתוח הנתונים שנאספו במהלך התוכנית ובסיומה. האחת, לתחושת התלמידים, התכנית הייתה קשה ומאתגרת ובמהלכה הם חוו רגעי תסכול. מצד שני, אצל רוב התלמידים, תחושת ההצלחה בתום התוכנית האפילה על הקשיים הרבים שהם חוו במהלכה, עד כי בסיום התכנית חלקם דיווחו ש"מאז ומעולם" חשבו שיצליחו בה. המסוגלות העצמית באה לידי ביטוי לא רק בדיווחי התלמידים אלא כך גם התרשמו מורים שבאו לבחון את התלמידים בתום התכנית.

לעומת זאת, תמונת הסיכום בעיני מנחי התכנית הראתה מסקנה הפוכה: המנחים חשבו שלתלמידים לא הייתה מספיק מוטיבציה וכי מסוגלותם נמוכה. לגבי היכולות הביצועיות של התלמידים בסיום השתתפותם בתכנית, המנחים ציינו שהן גבוהות לאין ערוך מאלה שהיו להם מלכתחילה. ואכן, התפתחות זו מודגמת בניתוח המפורט בעזרת מסגרות SRL. הניתוח מראה באילו תחומים של הוויסות העצמי ההתפתחות באה לידי ביטוי: בתחום הבקרה על פעולותיהם ועל פעולות המנחים; בקביעת המטרות שלהם; ובשליטתם על נושאי הדיון במהלך פגישות ההנחיה.

נראה, כי הפער, בין תחושות התלמידים והתרשמות הבודחים אותם לבין המנחים, נובע מכך שבסיום התכנית התלמידים דוברים את "שפת התכנית" ויודעים לומר את "המילים הנכונות", דבר שיוצר רושם שהם שולטים בתחומי הידע הנדרשים. לעומתם, מנחי התכנית סבורים שהם היודעים מהי רמת השליטה ה"אמתית" של התלמידים בתכנים. חקירת תהליכי הלמידה וההנחיה שבתכנית יכולים להסביר כיצד נוצרה סתירה זו. לאורך כל התכנית, התלמידים נדרשו למאמץ, והביצועים שלהם, שנותחו בכלים "אובייקטיביים", היו "נמוכים" ביחס למצופה מהם. יחד עם זאת, ניתן לראות שיפור גדול אצל התלמידים בתפיסת המסוגלות העצמית ובמספר היבטים של הכוונה עצמית ולכן תחושת ההצלחה של התלמידים היא גדולה.

מסקנות חשובות נוספות העולות מהמחקר מתייחסות למודל ההנחיה שבתוכנית. האחת, מתבססת על הניתוח המפורט של תהליכי ההנחיה שהראה כיצד המנחים המומחים מקדמים את התלמידים. מתברר שהמנחים מרבים לדרוש מהתלמידים לייצג את הידע שלהם ומשקפים להם אותו עד שלתלמידים מתחוורים הקשיים שבפניהם הם עומדים. זאת, בשונה מהמהנדסים שלעיתים נחפזים להציע לתלמידים פתרונות לקשיים שהם מתמודדים איתם.

מסקנה נוספת היא שהצלחת התכנית מבוססת על התמיכה הרבה הניתנת במהלכה, אשר מותאמת לקשיים האופייניים לאוכלוסיית התלמידים. עוד עולה שלאורך כל התכנית המנחים שומרים, במודע, על פער בין האתגר שהם מציבים לתלמידים לבין התמיכה שהם מעניקים להם. מתברר שדווקא פער זה הוא שמדרבן את התלמידים, שכן בתוך כך הם מקבלים מצוות התכנית את התחושה שהם מסוגלים ושהצוות אינו מתכוון לוותר להם. ואכן יש בהם אלה המצליחים לבנות פרויקטים שאינם נופלים ברמתם מאלה של תלמידי ה"כיתה האזורית".

חלקי החיבור

בחיבור זה ארבעה פרקים נוספים. הפרק הבא, הפרק השני, עוסק בחלק העיוני של המחקר ובשדה המחקר. בפרק זה מתוארים המאפיינים של אוכלוסיות תלמידים ב"כיתה הטרוגנית"; מרכיבי הלמידה באמצעות פרויקטים (PBL); מאפייני ויסות עצמי בלמידה (SRL) וחוללות עצמית (SE); גישות לתיאור אינטגרציה של ידע (KI); התכנית "פיזיקה ותעשייה" כשדה המחקר ואופן התאמתה לאוכלוסיית המחקר; מטרות המחקר ושאלות המחקר. הפרק השלישי מתאר את מערך המחקר, כלי המחקר, והנתונים שנאספו. הפרק הרביעי מתאר את התכנית בפעולה ואת ממצאיה, בשני חלקים. בחלק הראשון מתוארים ארבעה סוגי ממצאים: הממצאים העולים מניתוח פעילות התלמידים בתכנית במונחים של SRL ושל KI; הממצאים העולים מניתוח פעילות המנחים בתכנית במונחים של KI; הממצאים העולים מההתערבות הייחודית שנעשתה בהוראת תלמידי "תיכון אתגר" ושונה מהותית מזו של ה"כיתה האזורית"; ממצאי יומן החוקר. החלק השני של הפרק הרביעי מתאר את הממצאים שעולים בתום התכנית: ממצאים מראיונות התלמידים, ממטלת הסיכום שניתנה לתלמידים וממצאי השאלון שהם מילאו בסיום התכנית. הפרק החמישי, פרק הדיון, מסכם את התמונה העולה מהממצאים וכן את ההשלכות למחקר ולפיתוח עתידי של תכניות התערבות דומות.

Abstract

The Purpose of the Work

The "Physics & Industry" program implemented at the Weizmann Institute of Science for the last decade aims to promote excellence among high-school students specializing in Physics. Six years ago the program was introduced to the "Etgar high school" students who study in the technological track. "Etgar high school" includes a large number of under-achievers and students with learning disabilities. Like other culturally disadvantaged populations, these students have deficits in knowledge, practices, self-image and Self-Regulating Learning (SRL) skills. Beside the traditional goals of "Physics and Industry" program we aimed to promote unique goals for this population, for example: developing work habits and self-regulation in learning. Therefore, a central objective of this work was to develop a teaching approach to achieve these goals in addition to the traditional goals of the program.

This report describes the design of implementing "Physics and Industry" among under-achieving students and the associated research carried out during one two-year cycle (September 2007- July 2009). The study aimed to examine ways in which one can promote these students by using methods that challenge them and provide at the same time systematic tools for dealing with these challenges. The study examined the achievement of the program's goals in this population; characterized the processes of learning and guidance in the program and how they relate to developing self-efficacy and self-regulation of learning skills.

The "Physics & Industry" Program and the Instructional Approach

"Physics & Industry" is a two-year Project Based Learning program (PBL) which takes place in the Davidson Institute of Science Education at the Weizmann Institute of Science. The program, carried out in "regional classes", provides the students 40% of their matriculation credit in physics. The purpose of the program is expanding physics knowledge and developing skills in areas that are not offered in regular high-school physics classes such as; experiencing research of an authentic problem relevant to High-Tech industry; developing project and design skills; developing creative thinking and introduction to the world of the high-tech industry. Pairs of students design a functional artifact (e.g. an electro-optics'-based cane for the blind) which relates to an authentic

technological challenging problem. The students are tutored by expert physics teachers and High-Tech engineers.

The program is extra-curricular and is offered to high achieving and interested students who attend regular schools and are interested in dealing with contemporary issues an opportunity offered by unique schools – broadening the scale of the students skills and talents.

The students in the "regional classes" arrive from several school in the vicinity of the Weizmann Institute and attend the class for a period of 18 months, once every two weeks for four hours, beginning in the 11th grade and finish in the 12 grade. This differs from the program for "Etgar High School". The students from this school arrive as a whole class, focusing on the class which excels academically, and attend the program for two years, once a week for three hours.

The teaching approach adopted for this population was based on the notion that challenging learners in a supportive environment, which provides a "safety net", has the potential to assist them in demonstrating their abilities (Treisman, 1992, Doppelt, 2000). Therefore, for example, the program incorporates intervention methods developed by Zimmerman (Zimmerman, 1996, 2004) to encourage self-regulation in learning. That based on the findings in the literature (Perry et al, 2002) showing that when one incorporates these methods in teaching, disadvantaged students become self-efficient and do not avoid dealing with challenges. The teaching approach for these students was also influenced by the "rehabilitate teaching" approach of Frankenstein (1971, 1987) and offered challenges, such as those described by Doppelt (2000).

The Research

The research questions:

1. What were the learning and guidance processes in the "Physics & Industry" program for the "Etgar high school" students? In particular:
 - 1.1 How did self-regulation develop in students' learning?
 - 1.2 What are the characteristics of the guidance processes in the program?
 - 1.3 What are the learning and guidance patterns in the program?
2. What were the outcomes of students' learning in the program? In:
 - 2.1 Self-regulation in learning.

2.2 Students' perception of their self-efficacy.

2.3 Attainment of competencies required for carrying our projects and solving ill-defined problems.

To gather data on the aforementioned issues I have followed the program as one of its facilitators, and observed the activities of students and facilitators, for more than 60 meetings, once a week for two years (each encounter lasted three hours). In addition, I examined some of the students, interviewed most of them and interviewed some teachers and facilitators who accompanied them at the Weizmann Institute. I have accumulated over 250 hours of recording. The present study exploited some of this data. The analysis focused on key meetings along the program and what happened between them. Case studies of two pairs of students and four guides were carried out. The guides consisted of two expert teachers, a laboratory technician and a teaching assistant. Additional research instruments included a researcher diary, questionnaires (to all students) and a summary activity to the case study students.

To analyze the behavior of the students and their progress during their participation in the program, analysis frameworks were needed. It turned vital especially after I performed preliminary analysis of the data gathered from running the first pilot cycle of the program during one year before the main research started.

The attempt to analyze the wealth of events that occurred during students' work, especially those that occurred during construction projects, led me to seek relevant theoretical frameworks. The "Pintrich model framework" (Pintrich, 2000, 2003), designed for analyzing aspects of Self-Regulated Learning, was selected. In attempting to use it and develop reliable coding for analyzing students' work I found myself sharpening this framework as well using it to enrich and adapt the Knowledge Integration (KI) framework (Linn & Eylon, 2006, 2011) for analyzing the facilitators' guidance. I also introduced some changes in the SRL framework for analyzing the interviews. Overall I developed three interrelated analysis frameworks that constitute the major tools of the analysis methodology. In addition I carried out content analysis of the researcher diary and the final task, and a statistical analysis of the student questionnaires.

Therefore, the research has two purposes: First, the original main goal of the research as described above, to present key findings that arise when the program "Physics and Industry" is implemented among under-achieving students. Second, developed with the research, is to demonstrate the use of frameworks for which I analyzed the behavior of the students and tutors methods of guidance in the program.

The Main Conclusions

Several main conclusions emerge from the analysis of the data gathered during the program. The students found the program challenging and claimed that their self-efficacy was high and that they have the ability to control their achievements. This correlates with the impression of the external examiners who have tested the students. However, the program facilitators had a different view: they claimed that the students did not have enough motivation and that their competence was low. Nevertheless, they admitted that the skills of the students at the end of the program were much higher than those in the beginning.

The detailed analysis of the processes taking place during the program refers to the gap between students' perceptions and those of the facilitators. The following are two interpretations of this gap: 1. this gap is expected a-priori: at the end of the program students speak the "program language" and know how to say the "right words". Consequently, the self-reports and the impressions of external viewers (such as the examiners) are not consistent with the perceptions of their instructors who know the "real level" of the students. 2. The gap between perceptions can be explained when examining the processes that occur in the program. Throughout the program students are required to put in effort and their performance, analyzed with objective tools, is low. However, in comparison with their abilities at the beginning – or in the words of one of the facilitators: "The Delta" – the improvement is great. This is agreed upon by both the facilitators and the students, and thus the sense of success by the students is great, even if the facilitators expect a greater delta.

Additional central conclusions derived from the research refer to the instructional method in the program. Based on the detailed analysis of the instruction methods, the expert teachers promote students skills to a larger extent than the engineers. Apparently, the expert teachers often demand from the students to express their knowledge and then

reflect it back to them until the students understand by themselves the challenge they are facing, whereas the engineers are too hasty to offer the students easy solutions to the challenges they deal with.

Another important conclusion emerging from the study is that the success of the program is dependent upon the support provided during the program which is tailored to the specific needs of the population. Moreover, throughout the program, the facilitators consciously keep a gap between the challenge they present to the students and the support given. It appears that this gap actually encourages the students since they feel that the staff believes in their abilities. Consequently, some of them construct projects that are as sophisticated as the projects built by "regional class" students.