

פיזיקה ותעשייה

מאת
שי סופר

המחלקה להוראת המדעים

חיבור לשם קבלת תואר "דוקטור לפילוסופיה"
מוגש למועצה המדעית של מכון ויצמן למדע

מנחה:
פרופ' בת-שבע אלון
המחלקה להוראת המדעים
מכון ויצמן למדע

2007

תקציר

עבודה זו עסקה בפיתוח של המסגרת הלימודית "פיזיקה ותעשייה" וחקרה את השפעתה על למידה, תפיסות ועמדות של תלמידים.

"פיזיקה ותעשייה"

"פיזיקה ותעשייה" הינה תוכנית המקשרת בין תלמידי החטיבה העליונה המתמחים בפיזיקה לבין עולם התעשיות עתירות הידע במטרה להרחיב את הידע והמיומנויות של התלמידים ולאפשר להם ליצור תמונה ריאליסטית יותר של העשייה הטכנולוגית כבסיס לתכנון עתידם המקצועי. התוכנית מתבצעת בשיתוף פעולה עם התעשייה האלקטרו-אופטית ומשתלבת בלימודי פיזיקה 5 יח"ל. לתוכנית המטרות הבאות:

1. הקניית ידע בתכנון, פיתוח וביצוע פרויקט (פתרון בעיות אותנטיות ומורכבות).
2. פיתוח חשיבה יצירתית-שיטתית.
3. ביסוס הידע הפיזיקאלי והרחבתו.
4. השפעה על תפיסות התלמידים על: פתרון בעיות מורכבות, יחסי הגומלין בין מדע לתעשייה ודרכי למידה ופתרון בעיות.

במסגרת התוכנית מבצעים זוגות תלמידים פרויקט של פיתוח דגם פועל המהווה מענה טכנולוגי לבעיה הנדסית אותנטית ומכינים תלקיט (פורטפוליו) המסכם את מהלך העבודה ותוצאותיה. פיתוח הדגם מבוסס על לימודי הפיזיקה בביה"ס בתוספת נושאים מתקדמים בפיזיקה ואלקטרו-אופטיקה, וכלי חשיבה של "חשיבה המצאתית שיטתית" (חה"ש) לפתרון בעיות טכנולוגיות, שנלמדים במסגרת התוכנית. התוכנית אושרה ע"י מפמ"ר הפיזיקה במשרד החינוך. בתום הפעילות, נבחנים התלמידים בע"פ על הפרויקט על ידי נציגי משה"ח ובכתב על תכני הלימוד בפיזיקה ובחה"ש והיא מזכה את התלמידים העומדים בה בהצלחה ב- 2 יח"ל (מתוך 5) בבחינת הבגרות בפיזיקה.

פותחו ארבע גרסאות הפעלה עוקבות בהן התפתחה התוכנית מבחינה ארגונית ופדגוגית. התפתחות ארגונית: התוצר המרכזי של הגרסה הראשונה היה פיתוח תוכנית לימודים ראשונית עבור לימודי חשיבה המצאתית שיטתית ונושא האלקטרו-אופטיקה הכוללים את כל החומר הדרוש לביצוע הפרויקטים. הפיתוח נעשה תוך כדי הוראת הנושא בכיתה י"א בליווי מורת הפיזיקה ומהנדסים מהתעשייה. לקחי ההפעלה הצביעו על הצורך להקצות תקציב ושעות עבודה עבור המנחים, לבחור מנחים בעלי יכולת דידקטית היכולים לקיים דיאלוג פורה עם התלמידים ולהקנות למורי התלמידים את הידע האלקטרו-אופטי הדרוש, על מנת שיוכלו להבין את החומר ולהגיע לרמת העמקה מתאימה. במחזור השני גדל מספר התלמידים באופן ניכר דבר שגרם לעומס רב הן על ביה"ס והן על התעשייה. הסקנו כי עלינו להעביר את זירת הפעילות ומרכז הכובד למרכז מדעי, תוך שמירת זיקה במינון סביר עם התעשייה ולפתח כלים לניתוב וארגון העבודה בפרויקט. היתרונות המרכזיים של מרכז מדעי כוללים סגל הוראה בעלי רקע מתאים, כיתות לימוד, ומעבדות וציוד מדעי הנחוץ להפעלת מסגרת כזו. הגרסה השלישית הופעלה בבי"ס מדעי, שנותן מענה לחלק מהבעיות שצינו לעיל, אך בעקבות ההפעלה נוכחנו בחשיבות של גיבוש קבוצת תלמידים מספיק גדולה כדי שההשקעה של אנשי הצוות תהיה כדאית ובהכרח להפעיל את המסגרת במקום הקרוב ככל האפשר אל התעשייה כדי לחסוך במשאב הזמן של המהנדסים. החל מהגרסה הרביעית ההוראה וההדרכה מתבצעות במסגרת כיתה אזורית במכון דוידסון לחינוך מדעי על ידי צוות הכולל מורי פיזיקה, מומחים לאלקטרו אופטיקה ולחשיבה המצאתית שיטתית, מהנדסי תעשייה ודוקטורנטים לפיזיקה. המפגשים מתקיימים אחת לשבועיים בשעות אחה"צ וכן מתקיימים בחופשות כמה מפגשים מרוכזים. סה"כ כ- 90 שעות. התקשורת הרציפה בין צוות ההדרכה לתלמידים מתבצעת באמצעות פורום מתוקשב למסירת מידע ומשלוח הודעות.

התפתחות פדגוגית: במהלך העבודה חלה התפתחות בשיטה בהיבטים הבאים: 1. בחירת נושאי הפרויקטים והתאמתם לרמת התלמידים ולמשך הזמן שיכולים התלמידים להשקיע בפרויקט. 2. שילוב חשיבה המצאתית שיטתית בפרויקטים: במחזורים 1+2 התלמידים למדו חשיבה המצאתית שיטתית באופן המנותק מהתכנים ומהפרויקט. הועברו סדנאות לצוות ההוראה ולתלמידים, אך לא הייתה הדרכה מפורשת כיצד לשלב את השיטה בתוך תהליך העבודה. במחזורים 3+4 חשיבה המצאתית שיטתית שולבה בתכני הלימוד באופן שיטתי וההנחיה לשימוש בשיטה היתה מובנית יותר. התקיים כנס כרזות שהוקדש לפתרונות התיאורטיים שכלל משוב מובנה של עמיתים ומומחים. 3. גישות להבניית עבודת התלמידים בפרויקט: במחזורים 1+2 התהליך היה קצר יותר מאשר במחזורים 3+4 ונדרשו פחות שלבי עבודה, המעבר למודלים הפיזיקאליים היה חד יותר וללא שלב ביניים מעמיק של מידול תיאורטי כפי שהתבצע במחזורים 3+4. במחזורים 3+4 התלמידים ביצעו איתור תפקודים והתאמתם לרכיבים והיו מספר שלבי ביניים בהם תלמידים הציגו את עבודתם וקבלו משוב ממומחים ועמיתים. 4. בתחום ההדרכה התגבש סגנון הדרכה המתאים לשלבים שונים של הפרויקט, וניתנה עזרה רבה יותר בחשיבה המצאתית שיטתית בעיקר בשלבי החשיבה המתבדרת.

מסגרת "פיזיקה ותעשייה" הופעלה בגרסאות שונות במהלך שש השנים האחרונות והשתתפו בה עד כה בהצלחה כ- 150 תלמידים ותלמידות וכ- 50 תלמידים התחילו את המסגרת בשנה זו.

המחקר

במהלך פיתוח הגרסאות של "פיזיקה ותעשייה" והפעלתן התבצע מחקר שמטרותיו:

1. להפיק לקחים ארגוניים ופדגוגיים על מנת לפתח את מודל ההפעלה. בפרט לאפיין את עבודת צוות ההוראה (מורה, מומחה לחה"ש ומהנדס מהתעשייה).
2. לבחון את תהליך הלמידה באמצעות כמה חקרי מקרה (case studies).
3. לבדוק את השפעת המסגרת על השגת המטרות של "פיזיקה ותעשייה" שתוארו לעיל, ולהשוות את ההישגים בגרסאות הראשונות (1+2) ובגרסאות המתקדמות (3+4).
4. לבחון את דעות תלמידים על המסגרת.

המחקר כלל:

1. מחקר על כלל התלמידים (N=76), המורים, והמדריכים (מהנדסים) שהשתתפו בארבע הגרסאות השונות. נאספו הנתונים הבאים: א. שאלון מקדים לתלמידים. ב. שאלוני משוּב – תלמידים ומורים. ג. ראיונות עם מנחים, מורים ותלמידים. ד. התלקיטים והדגמים שהוגשו ע"י התלמידים. ה. צילום ההגשות (בחינות) בוידאו. במהלך העבודה נותחו כל התלקיטים של התלמידים (סה"כ 30 תלקיטים) בוצע ניתוח איכותי וכמותי של השאלונים והראיונות. לצורך ניתוח תוצרי התלמידים בנינו שלושה מחוונים שונים: מחוון לניתוח התלקיט, מחוון לניתוח הדגם ומחוון לניתוח הצגת העבודה ע"י התלמידים. נערכה השוואה בין מחוזרים שהשתתפו בגרסאות 1+2 לבין המחוזרים בגרסאות 3+4.
2. מחקר הממוקד ב- 3 חקרי מקרה. נאספו הנתונים הבאים: א. רשימות שדה המתארות את תיעוד בניית המודלים ואבי הטיפוס ואת התצפיות על ההוראה ועל ההנחיה. ב. צילום מפורט של כל מפגשי מנחה-תלמידים.
3. מחקר הממוקד בשני מדריכים.

תוצאות:

מניתוח הנתונים בשש השנים האחרונות עולה כי: שיעור הנושרים מקרב התלמידים שהתחילו לעבוד על הפרויקט קטן. מעבר להישגים הפורמאליים בבחינות הבגרות (ציונים בין 90 ל 100), דיווחו התלמידים בתלקיטים ובראיונות על חוויה משמעותית של העמקת ההבנה בתחומי הפיזיקה והטכנולוגיה, עניין רב בתחומים אלה ואף הגברת העניין בבחירה בעתיד מקצועי בתחום הטכנולוגיה עתירת הידע. הם הביעו שביעות רצון רבה מדרך העבודה בתוכנית וכי לדעתם תרם להם רבות בעיקר בתחום פיתוח יצירתיות ומיומנויות פתרון בעיות מורכבות וכן בתחום הידע (אלקטרואופטיקה) אותו לא הכירו לפני כן.

במהלך הפרויקט, השתמשו התלמידים בחשיבה המצאתית שיטתית בשלבים שונים והיא הובילה לחשיבה יצירתית שהתבטאה בהיבטים הבאים: 1. הפעלת חשיבה מסתעפת המניבה מודלים תיאורטיים כפתרונות לבעיה ומיון המודלים לקבוצות של פתרונות שונים. שלב זה התבסס בעיקר על שימוש ב"גמדים המופלאים" (שיטה בה ניתן באופן דמיוני לגייס לצורך הפיתרון "גמדים" כל יכולים). 2. הפעלה של גישה מערכתית בה התבצע זיהוי רכיבי המערכת, ניתוח תפקודי והפעלה של עקרונות ותכסיסים של חשיבה המצאתית שיטתית. בכל המחוזרים, תארו רוב הפרויקטים (60%-70%) 6-10 מודלים לפתרון הבעיה. ממצאים

אלה מצביעים על יצירתיות המתבטאת בשטף מרשים של פתרונות אלטרנטיביים לבעיות. השוואה בין המחזורים העלתה כי רמת השימוש בחשיבה המצאתית שיטתית היתה גבוהה יותר בקרב בוגרי מחזורים 3+4. אנו מייחסים תוצאות אלה להבדלים בגישת ההוראה בין המחזורים שתוארה לעיל.

הממצאים מצביעים על רכישת ידע פרקטי מדעי/טכנולוגי שהתבטא בקטגוריות הבאות: איתור תפקודים והתאמתם לרכיבים, ביצוע ניסויים וניתוח ממצאים, בניית דגם ראשוני והערכתו, הצגת הדגם וקבלת משוב, שכלול הדגם והכנת הדגם הסופי, סיכום איפיון המערכת, הגנה על התוצר כמספק פתרונות לבעיה, הצדקת הבחירות שנעשו במהלך העבודה, הדרישות לקידום הדגם לקראת מוצר יישומי תעשייתי, סקירת מוצרים אחרים המיועדים לפתרון הבעיה והשוואתם לתוצר הפרויקט, תחומי המדע והטכנולוגיה שבאו לידי ביטוי בעת ביצוע הדגם, דרכים לשיפור הדגם והתייחסות לאופי האיטרטיבי של הפתרון. ברוב הקטגוריות היו לבוגרי מחזורים 3+4 ביצועים גבוהים יותר מאשר לאלה במחזורים 1+2. ההבדל התבטא בדרכי העבודה בפרויקט שכלל בין השאר איתור תפקודים והתאמתם לרכיבים, ביצוע מספר רב יותר של ניסויים, ניתוח מעמיק יותר של תוצאותיהם ושימוש בהם לשיפור הדגם, הערכה מעמיקה של הדגם הראשוני שנבנה, שכלול הדגם הסופי לאור הניסויים שבוצעו, וכן התייחסות משמעותית לאופי האיטרטיבי של הפתרון על ידי קישור בין שלבים – כל אלה הובילו לפתרונות טובים יותר במחזורים 3+4.

בהיבט הידע הפיזיקלי הממצאים מראים שהתלמידים העמיקו את הידע הבסיסי (לדוגמה אלקטרומגנטיות, קרינה וחומר), והרחיבו את הידע בנושאים כמו: לייזרים, הדמיה תרמית, דיודות פולטות אור ועקרונות מבנה ופעולה של גלאים שונים. ממוצע הציונים בבחינה בכתב שנערכה בסמוך לבחינה בעל פה והתייחסה לידיע הפיזיקלי שנלמד במהלך הפרויקט עמד במחזורים 1+2 על 96.1 ובמחזורים 3+4 על 98.3, ציונים גבוהים המשקפים רמת ידע פיזיקלי גבוהה. במציאות המדעית-טכנולוגית הנוכחית הפרויקטים הם עתירי מדע, ורקע מדעי איתן יחד עם ביצוע ניסויים במעבדה מהווים חלק נכבד מהפעילות הפרויקטנטית.

בארבעת המחזורים המדווחים בעבודה זו השתתפו כ- 47% בנות וכ- 53% בנים. השוואת התלמידים באמצעות המחשונים מראה שהבנות הבינו ברמה גבוהה יותר את השיטה "חשיבה המצאתית שיטתית", קישרו אותה לעבודה בצורה מושכלת והשתמשו בה יותר. מספר רב יותר של בנות התייחסו לאופי האיטרטיבי של הפתרון והן הציעו מספר שלבים רב יותר מאשר הבנים. בהיבט הידע הפיזיקלי לא היו הבדלים. מכל האמור לעיל איננו מתפללים כי דעות התלמידים על חשיבה המצאתית שיטתית והשפעתה הן חיוביות יותר בקרב הבנות.

בחקרי המקרה עקבנו אחר תהליך התפתחות התלמידים בפרויקט. מצאנו כי בתחילת הפעילות חסרו לתלמידים רבות מהמיומנויות הנדרשות בחקר בעיה מורכבת לאורך זמן, החל מיכולת להגדיר בעיה ולאפינה וכלה במיומנויות תכנון וביצוע. מצאנו התפתחות בשלושת ההיבטים שצוינו למעלה (ההיבט היצירתי שיטתי, ההיבט הפרויקטלי והידע הפיזיקלי) שבאו לידי ביטוי בתלמידים.

השלכות חינוכיות

הראנו כי ניתן לבצע פרויקט לימודי רב שנתי בשילוב משמעותי של התעשייה לתלמידים הבוחרים בכך ועל תרומתו הרבה ללימודי הפיזיקה ומעבר לכך. ראינו שניתן לפתח יצירתיות באופן שיטתי והגישה מובילה לפתרונות מעשיים. עובדה זו מאפשרת לתלמידים להיווכח

בתרומת הגישה ולנסות להפעילה בתחומים שונים בחייהם בפתרון בעיות. ניתן לשלב גישה זו בהוראה בית-ספרית, למשל בביצוע מיני פרויקטים. אתגר חשוב בהפעלת מסגרת כזו הוא ליצור את התנאים בהם כל הגורמים המשתתפים יבצעו את הפרויקט בשיתוף פעולה המנצל באופן מיטבי את היכולות והמשאבים של כל אחד מהם. הפתרונות יכולים להיות ברמה הארגונית (כיתה אזורית/מרכז אזורי) וברמה הפדגוגית (למשל מתן הכשרה מתאימה הן למורים והן למנחים בהיבטים השונים שחסרים להם). למבנה הארגוני יש חשיבות רבה בהיבט זה ועבודה זו הצביעה על יתרונותיה של המסגרת האזורית. היבט נוסף בעל חשיבות הוא ההיבט הכלכלי: הפעלת מסגרת כזו דורשת משאבים מתאימים. במסגרת התוכנית מתקיים מפגש של תרבויות בין הצוות הפורמלי בתוך בית הספר (מורה, מנהל ואיש מעבדה) לבין הצוות שמחוץ לבית הספר (מורי הכיתה האזורית, המהנדסים מהתעשייה והמומחה לחשיבה המצאתית שיטתית) יש לקחת בחשבון עובדה זו בניהול הפדגוגי של הפרויקט.

השלכות מחקריות

ראינו את חשיבות ההנחיה ואת הקושי של התלמידים בביצוע פרויקט. גם בשימוש בחשיבה המצאתית שיטתית היו היבטים בהם התלמידים היו חזקים יותר וכאלה שפחות. לכן אנו ממליצים להמשיך ולמפות נקודות בהן חווים התלמידים קשיים באמצעות מחקר מעמיק העוקב אחר ביצוע הפרויקטים, לפתח כלי הנחייה מתאימים ולחקור את תהליך ההתפתחות של התלמידים בעזרת הכלים הללו. בנוסף, קיים קושי רב בהערכת פרויקטים. אנו התמודדנו עם קושי זה ע"י בניית שלושה מחוונים לבדיקת פרויקטים והראינו שהם מבחינים בין הקבוצות השונות. יש צורך להמשיך ולחקור את יחסי הגומלין בין כלים אלה ולבחון האם הם נותנים תמונה מקיפה על הישגי התלמידים וכיצד ניתן לשלבם בצורה מתאימה בתהליך הלמידה (הערכה לשם למידה).

כיוונים עתידיים

- הרחבת ההפעלה וקהלי היעד: עבודה בפרויקטים ניתנת להפצה במרכזים נוספים בארץ. בעקבות התוכנית, מספר התלמידים בארץ שמבצעים פרויקטים עלה באופן ניכר. היום מופעלת התוכנית במכללת "אורנים" בצפון הארץ ובדעתנו להפעיל תוכנית במתכונת זו גם בשדרות. כדי לגמלן (up-scaling) את הפעילות יש צורך באיתור ושיתוף חברות טכנולוגיות נוספות. ניתן להרחיב את קהלי היעד (ולא רק למצטיינים). לדוגמה: שילוב תכנית זו בלימודים טכנולוגיים בתחום האלקטרו אופטיקה (במסגרת החינוך הטכנולוגי).
- פיתוח מצוינות: כיוון שתוכנית זו הופעלה בעיקר עם תלמידים מצטיינים, ניתן לשלבה במסגרת התוכניות של האגף למחוננים ומצטיינים.
- תגמול תלמידים, מורים ומדריכים: כדאי לבחון כיצד ניתן לשלב את התוכנית במסגרת מגמות במשרד החינוך להוסיף יחידות לימוד בבגרות מעבר ל-5 יח"ל פיזיקה, וכיצד לתגמל את הגורמים השונים השותפים בהפעלת התוכנית.