

פעילויות חקר בבית הספר

פאפ קרקובר, המרכז ללימודים קדם אקדמיים, האוניברסיטה העברית, ירושלים
והמחלקה להוראת המדעים, מכון וייזמן למדע

תקציר

בשנים תשנ"ג ותשנ"ד נעשו בבית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים פעילויות חקר מתמשכות על ידי תלמידי י"ב. בפעילויות אלה התנסו התלמידים בהבטים מגוונים של הפעילות המדעית, כאשר הם נדרשים ליצירתיות ולמעורבות אישית גבוהה. דוגמאות של פעילויות כאלה נסקרות בשלושה מאמרים אחרים בחוברת זו ובמאמרים נוספים שאנו מקווים לפרסם בעתיד. בפעילויות אלה נעשה שימוש חזק בטכנולוגיה מתקדמת (מחשב, תוכנות, ממשקים וכיו"ב). הפעילויות הן חלק ממאמץ גדול שנעשה בבית הספר לאפשר לתלמיד לחוות פיסיקה ולעשותה ולא רק ללמוד פעילויות. במאמר זה נסקור את מבנה הפעילות ועקרונותיה, נדווח על מסקנות, ונדון באפשרות ליישם פעילויות בעלות אופי דומה בכלל המערכת.

מילות מפתח:

פעילויות חקר, מעבדה ממוחשבת, עיבוד נתונים ממוחשב, הוראה לא פרונטלית.

ניסויית של ממש, התמצאות בניתוח נתונים, התמודדות עם שאלות "הבנה", יכולת אינטגרציה עם פרקי לימוד אחרים, רקע בהיסטוריה ובפילוסופיה של המדע, קשרים עם מדעים אחרים, קשרים עם הבטים חברתיים וכיו"ב. כל זה נעשה במהלך השיעורים השוטפים, בשיעורים שהוקצו למטרות מיוחדות ובמסגרות בין תחומיות בבית הספר.

הצד הניסוי

נעשה מאמץ לשלב את פעילות המעבדה כחלק אינטגרלי שוטף של הלימוד. חלק מפעילות המעבדה נועד להכרות עם מושגים, לגיבוש תפישה אינטואיטיבית ולניסיון למצוא חוקיות (פעילות "גילוי"). בעקבות פעילות כזאת הוצגה המשנה העיונית הסדורה, שממנה עלו חיזויים באשר להתנהגות המערכת במקרים מסויימים. מקרים כאלה נחקרו ניסויית כדי לקבוע את מידת ההתאמה בין החיזוי העיוני לבין המדידה (פעילות "אישור"). תהליך דידקטי זה מקביל לגמרי לתהליך ההתפתחות של תאוריה מדעית כפי שמנסח ניוטון בהקדמתו ל-Principia: "...לפי שכל משקלו של המדע נראה כעומד על כך - מתופעות התנועה לחקר כוחות הטבע, ומתוך כוחות אלה להסביר תופעות אחרות...".

כדי לקיים קשר כזה בין תאוריה לניסוי לאורך כל תכנית הלימודים יש צורך במעבדה מעולה (בציוד ובתחזוקה), ואכן נעשה מאמץ מתמשך לא לנוח על זרי הדפנה של הרכישה הראשונית (המצויינת), אלא להמשיך ולפתח את המעבדה.

ההתפתחות המהירה של ציוד ממוחשב שיפרה מאוד את

בית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים פועל משנת תשנ"א. בפני סגל ההוראה בפיסיקה עמד אתגר - כיצד למלא את מחויבותו של בית הספר בתחום המדעים. מה יש לעשות בבית ספר שמדגיש את המדעים? האם ללמוד **יותר**? האם ללמוד **אחרת**? בתום ארבע שנות פעילות ראשונות אפשר להתבונן אחורה ולערך סיכום ביניים. עיקר המאמר יעסוק בפעילויות החקר של תלמידים בבית הספר. פעילויות אלה הן חלק ממערך כולל של עיסוק בפיסיקה, ולכן נציג בקיצור תמונה כוללת של דרכי העבודה בבית הספר.

הניסיון שנצבר בבית הספר עשוי לשמש מוסדות דומים, אך נראה לנו שברוב ההבטים יש לקחים חשובים לכלל המערכת. בית הספר משמש כשדה ניסוי פעיל ותוסס בתחום ההוראה הפסיקה. נעשים בו הניסויים החדשניים ביותר בסגנון ההוראה, בהפעלת תהליכי לימוד מגוונים, בשימוש בטכנולוגיה מתקדמת ועוד. כמה מסוגי הפעילויות שנוסו בבית הספר בשלים לניסוי גם במסגרות אחרות.

רוחב היריעה

קיימות בארץ קבוצות של תלמידים שמרחיבים בלימודי הפיסיקה מעבר לדרישות משרד החינוך. בדרך כלל מדובר בלימוד של יחידות לימוד נוספות. מן ההתחלה סבר סגל ההוראה בפיסיקה כי אין בכך די, וכי אין להסתפק **בהרחבה**, אלא גם **בהעמקה** (במידה מסויימת על חשבון ההרחבה). במילים אחרות: הרחבה אינה צריכה להתבטא רק במימד של יכולת פתרון בעיות במספר רב יותר של יחידות הלימוד, אלא גם במימדים נוספים - התנסות

האפשרויות בתחום הניסויי, ועל כך נתעכב בהמשך. כיום אפשר לכסות כמעט כל תחום (להוציא, אולי, תורת היחסות) באמצעות ניסויים משכנעים בבית הספר, ואכן נעשה בבית הספר שימוש מסיבי בציוד זה.

חשוב להעיר כי השימוש בציוד מודרני ומתוחכם אינו בא להוציא מן המחזור ניסויים קלאסיים. איש אינו בא לבטל את חשיבותן של ההדגמות המשכנעות הבלתי אמצעיות. להיפך, בבית הספר נעשה מאמץ לבנות ולהציג מערכות כאלה. הציוד הממוחשב בא לעזור במקום שבו הוא נחוץ, ואינו מחליף נכסי צאן ברזל.

עיבוד נתונים

עיבוד נתונים ממוחשב הוא חלק מחובת הלימוד כיום. חשיבתו גדלה עם כניסת המדידות הממוחשבות. עשרות או מאות מדידות נכנסות למחשב ועוברות עיבוד ממוחשב. תוכנות העיבוד מוציאות, כלאחר יד, פלט של גרסיה, מקדמי מתאם, ממוצעים, סטיות תקן, סטיות תקן של הממוצע, מובהקות ועוד ועוד. בידי התלמיד נמצאות כל תוצאות העיבוד, אך ספק אם הוא מבין את משמעותם של המספרים שבידו. טיפול סטטיסטי בתוצאות מדידה לא היה מקובל בעבר בבית הספר התיכון, ואפילו במסגרת אוניברסיטאית נעשה מעט מאוד בעניין זה במהלך לימודי התואר הראשון. בבית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים עוסקים במשמעות התוצאות, ומביאים את התלמידים למצב של הבנת הפלט הממוחשב, עד כמה שאפשר במסגרת הידע המתמטי שלהם.

המחשב בשורות התאוריה

הוראת הפיסיקה בבתי הספר בעשרות השנים האחרונות התרכזה באותם מקרים שבהם יש פתרון אנליטי נגיש לתלמיד. הדבר עיצב במידה רבה את תוכנית הלימודים. כך, לדוגמה, בלימודי הדינמיקה עוסקים הרבה בכוחות קבועים. כוחות כאלה מבטיחים תאוצה קבועה. לצורך פתרון מערכות מכניות כאלה אין צורך ביותר מאשר משוואה ריבועית. מה קורה כאשר גוף נע בתווך? בכך אין מטפלים, מפני שהפתרון המעריכי עדיין לא עומד לרשות התלמיד.

בעידן המחשב מגבלות כאלה שוב אינן קיימות. אפשר לפתור נומרית. השימוש במודלים ממוחשבים הוא כלי דידקטי רב עוצמה, שלצערנו רבים עדיין אינם מכירים בעוצמתו. המודל המתמטי הממוחשב, בצרוף אוסף

הייצוגים הגרפי המרהיב האפשרי כיום, נותן בידי המורה מגוון אמצעים חדש, לצד האמצעים המסורתיים (הלוח והגיר). יש כאן פריצת דרך היסטורית בתחום הוראת המדעים בהבטים של המחשה, היקף התופעות הנלמדות והכרת האמצעים העכשוויים במחקר.

יש המוטרדים מעוצמתה של ההדמיה. ככל שההדמיה דומה יותר למציאות עשוי להיווצר בלבול וערוב תחומים בין המציאות המדומה לבין המציאות עצמה. מסיבה זו יש החוששים מן ההדמיה ככלי בבית הספר. להערכתנו זוהי שגיאה. מי שראה כיצד הדמיה נכונה משפיעה על התלמיד לא ירצה לוותר עליה בהמשך. ההדמיה היא כלי חזק מאוד בתחום המודל העיוני. המחשב משרת את התיאוריה כפי שהוא משרת את הניסוי (על כך בסעיף הבא). בבית הספר נעשה שימוש במודלים ממוחשבים של סביבת העבודה "תוכנת חקר", הכוללים מודל מתמטי, תצוגות גרפיות מגוונות, גליון אלקטרוני, תצוגת הדמיה ואופציית תסריט. תלמידים (ומורים) חובבי תוכנות עוסקים בתכנות מודלים.

המחשב בשורות הניסוי

בשנים האחרונות חלה מהפכה בתחום המדידה. מדידות ממוחשבות מאפשרות לבצע ניסויים משכנעים. שוב איננו צריכים לדאוג האם הניסוי שיכנע את התלמיד או נטע בו ספקות. מפתיע מעט הקצב האיטי של כניסת ציוד כזה לבתי הספר, בהתחשב בכך שהמערכות הממוחשבות הטובות ביותר, בתאוריה ובניסוי, מפותחות ומיוצרות בארץ. בית הספר למדעים ולאמנויות בירושלים משתדל להתעדכן בתחומים אלה. בתחום המדידה הממוחשבת מצוייד בית הספר במערכות של סביבת העבודה "תוכנת חקר", המחוברות למחשבים שבמעבדת הפיסיקה, במכשיר V-Scope ובציוד מדידה מן הדור הקודם (תוצרת חוץ).

מי שראה מה עושה ציוד מדידה כזה לתלמיד (שהתנסה קודם לכן בציוד המסורתי) מבין את משמעות הדבר. מדובר כאן לא רק בקפיצת מדרגה בצד הניסויי, אלא בשינוי גדול במוטיוציה של תלמידים. יש כבר לא מעט בתי ספר בארץ שהכניסו ציוד כזה בתחום המעקב אחרי תנועה, אך זו רק תחילת הדרך. אנו מעוניינים למדוד בו-זמנית כוח ומקום, לחץ וטמפרטורה, מתח ועוצמת אור ועוד ועוד. כל זה אפשרי היום בבתי הספר. בית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים עבר את המהפכה. תלמידים מודדים הכל כנגד הכל, מנתחים את התוצאות ומציגים אותן בשלל ייצוגים.

ממשק המחשב משמש לקלט ולפלט. התלמידים מתכנתים ניסויים מורכבים תוך שליטה ממוחשבת במערכת הניסויית. חוקי הטבע מתממשים לנגד עיניהם בצורה מרהיבה. איש אינו זכאי לשלול מתלמידיו את האפשרות הזו. האמצעים אינם בשמיים. הם נמצאים כאן, קרוב מאוד.

פעילויות חקר

על רקע הסעיפים הקודמים נציג עתה את פעילויות החקר שהתבצעו בבית הספר בשנים תשנ"ג ותשנ"ד על ידי תלמידי כיתה י"ב. הפעילויות נעשו בצוותים (3-1 תלמידים בצוות). כל צוות עסק בחקירה של תופעה פיסיקלית. לצורך החקירה הצוות היה אמור ללמוד את הצד העיוני ולערוך חישובים. מצד שני היה על הצוות לחקור ניסויית מערכת שמייצגת את התופעה. בחלק מן המקרים הצבת המערכת הניסויית הייתה אתגר לעצמה. כמעט בכל המקרים המדידה היתה ממוחשבת, תוך שימוש בכל העוצמה האפשרית כיום בבית הספר. ניתוח התוצאות היה ממוחשב (גליון אלקטרוני לדוגמה), תוך השוואה בין תאוריה לניסוי. כתיבת סיכומים נעשתה, כמובן, במחשב.

בחירת התופעה הנחקרת נעשתה בהתייעצות עם המורה. לאחר מכן התלמידים נדרשו להכין הצעה של המערכת הניסויית הנחקרת. ההצעה הובאה בפני הטכנאי של מעבדת בית הספר לצורך התייעצות, ולאחר מכן, בעצה עם המורה לבדיקת היתכנות. הדבר שונה מאוד מן המקובל במעבדות תלמידים. התלמידים לא קיבלו דף הנחיות שבו רשומים מטרת הניסוי, הציוד הנדרש, אופן בניית המערכת ושלבי החקירה. כל אלה נקבעו על ידי התלמידים - הם הגדירו את מטרת החקירה, החליטו על רכיבי המערכת, שיטת המדידה, ציוד המדידה ושלבי החקירה. התלמידים יכלו להיוועץ בצוות בית הספר, אך החקירה היתה עצמאית בכל שלביה.

מערכת החינוך עוסקת, בדרך כלל, בפעילות מן הסוג המתוכנן והמובנה. רוב הזמן התלמיד הוא קולט פסיבי של חומר לימודי. בפעילויות המעבדה הוא עוסק במעבדה בדוקה היטב, ללא הפתעות, ללא יצירתיות, עם מעט חדות גילוי וכמעט בלי שיקול דעת בקביעת מהלך העבודה. פעילויות החקר בבית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים הפוכות באופיין. מצאנו לנכון לאפשר לתלמידינו גם את החוויה הזאת.

פעילות חקר כזאת צורכת זמן. בנייה עצמאית של מערכת, תכנון ניסויים וביצועם הם תהליכים מתמשכים. במהלך

תהליכים אלה יש אכזבות והצלחות. אלה הן חוויות חשובות וערכן החינוכי רב. לצורך פעילות החקר הוקצו במערכת השעות שעתיים שבועיות (בנוכחות מורה) לאורך מספר חודשים. מלבד זה עמדה המעבדה לרשות התלמידים גם בהזדמנויות נוספות במהלך השבוע.

כל פעילויות החקר בשנת תשנ"ג עסקו בתנודות. דיווח חלקי עלהן יינתן בחוברות "תהודה". בחוברת זו יש שני מאמרים כאלה: "תהודה - מדידת עקומות היענות" ו"תנודות דיפול בשדה מגנטי". אנו מקווים לדווח על חלקים מן העבודות שעסקו בתהודה במערכות מכניות באחת החוברות הבאות. בשנת תשנ"ד נעשו חקירות בתחומים שונים (מכניקה, צמיגות, גזים אידאליים וריאליים, אופטיקה פיסיקלית, תהליכי קירור ועוד), תוך שימוש במגוון חיישנים (מרחק, כוח, לחץ, מתח, זרם, עוצמת אור, טמפרטורה, שדה מגנטי, שער אופטי). בדרך כלל היה שימוש בו-זמני ביותר מחישן אחד. בחוברת זו יש דיווח על חלק מעבודה אחת שנעשתה בתשנ"ד ("תנודות חופשיות של מיתר גיטרה").

עם סיום החקירות נערך "יום תצוגה" שבו הציגו התלמידים את עבודותיהם בפני חבריהם, מוריהם ואורחים מן החוץ. ביום זה גובשה ההערכה הסופית של העבודה, כך שהיה בו מרכיב של התרגשות. האורחים שהיו בימים אלה (בתשנ"ג ובתשנ"ד) יעידו כי היתה זו חוויה ייחודית שאין דומה לה במערכת החינוך. "יום תצוגה" כזה אמור להתקיים גם לקראת סוף שנת הלימודים תשנ"ה. נא רשמו בפניכם. חבל להחמיץ.

החגיגה האמיתית אינה מתרחשת רק ביום התצוגה, אלא לכל אורך תקופת החקירה. בזמן העיסוק בפעילות החקר (בעיקר לקראת "קוו הגמר") שוררת אווירה מיוחדת. כדאי לבוא כדי לראות כי אפשר גם "אחרת" במערכת החינוך. תלמידים מתכננים, לומדים, יוצרים, בונים, מפיקים לקחים, משפרים, מתאכזבים ומתלהבים חליפות. הם עושים את החקירה שלהם תוך שהם מודדים את המערכת שלהם בציוד החדש ביותר, בטכניקה שטרם נוסתה כמותה בשום בית ספר.

שבוע המדע

כאמור, הפעילות התמשכה על פני מספר חודשים, כאשר במערכת השעות מוקצות לה שעתיים שבועיות בנוכחות

בפרוייקטים אחרים, לפי בחירתם. המעבדה תהיה פתוחה גם בשעות הערב.

כאמור, המטרה היא לאפשר חקירה בלתי מופרעת, אך גם מחקירה כזו רוצים לפעמים להינפש לשעה קלה. לשם כך יוצעו לתלמידים פעילויות נוספות: הרצאות אורחים, דיונים משותפים בין קבוצות פרויקטים, פעילויות בין תחומיות וכיו"ב. אפשר יהיה גם להיכנס לכיתה שבה יוקרנו סרטי מדע ברצף. המטרה היא ליצור אווירה של התרחשות מדעית לאורך שבוע אחד. מעניין לבקר בבית הספר בשבוע כזה.

מה יקרה בתשנ"ה?

פרט לשבוע המדע שהוזכר בסעיף הקודם מתכננות פעילויות החקר הבאות. תלמידי י"ב יתחילו לאחר סוכות בבחירת החקירות שלהם. הפעילויות אמורות להעשות במתכונת של השנתיים הקודמות. השנה מתוכננות גם לתלמידי י"א פעילויות מתמשכות בתחום התנדדות. גם לתלמידי כיתה י', העושים את השנה הראשונה בבית הספר, מתוכננות פעילויות עצמאיות מתמשכות (מספר פגישות) לקראת סוף השנה. הם אמורים לחקור את החוק השני של ניוטון במערכות שונות - כל קבוצה אמורה לחקור מערכת אחרת.

האם הדברים ישימים גם במקומות אחרים?

האם מה שהוצג עד כה ניתן ליישם גם במסגרות אחרות? לכאורה מה שנעשה בבית הספר התיכון למדעים ולאמנויות בירושלים "נתפר" בהתחשב במאפיינים המיוחדים של בית הספר. אך אין הכרח לקחת את כל "החבילה". אפשר ליישם חלקים מן העקרונות ושיטות העבודה.

לפעילויות המיוחדות לבית הספר יש כמה הבטים: פעילויות עצמאיות של צוותים, חקירות מתמשכות, שימוש חזק בכלים ממוחשבים, עיבוד נתונים סטטיסטיים, פעילות רצופה בתחום עיקרי ועוד. לדוגמה: אפשר לאמץ את השימוש בכלים ממוחשבים כשלעצמו במסגרת פעילויות מובנות שימשכו פגישה אחת או שתיים (ויפה שעה אחת קודם). אין הכרח לעשות פעילויות בדרגת "פתיחות" גבוהה - כל בית ספר יכול לבחור לו את דרגת הפתיחות הרצויה לתלמידיו.

מניין ימצא הזמן לפעילות חקר, הרי כל הזמן הפנוי בכיתה י"ב "הופקע" למען בחינות הברגרות? כאן עלינו להודות למר

מורה. שעתיים אינן זמן רב כאשר מדובר בחקירה מעמיקה לא מובנית, או בניית מערכת ניסויית. כדי לעשות פעילויות כאלה יש צורך בפעילות רצופה. אם בניית המערכת דורשת 3 ימי עבודה (24 שעות), לא נוח לבצעה לשיעורין במנות של שעתיים לאורך תקופה ממושכת. זה אחד הלקחים שלמדנו מן הפעילויות בתשנ"ג.

מערכת החינוך אינה רגילה לסוג כזה של פעילויות. אנו רגילים למערכת שעות שבה התלמיד "קופץ" ממקצוע לימוד אחד למשנהו בכל 50 דקות. אין התמקדות ממושכת בנושא אחד לאורך זמן. הדבר נובע מן האופי הפרונטלי של רוב השיעורים. פעילויות החקר שונות באופן מהותי. כאן יש דווקא עדיפות להתמקדות ממושכת בעניין הנחקר, מבלי "לנתר" בין מקצועות לימוד. אם אכן אנו סבורים שסוג כזה של פעילויות צריך להתחיל לתפוש חלק כלשהו מתוכנית הלימודים יש צורך לתכנן הקצאת רצף זמן מתאים. קשה מאוד להגיע להשגים בתחום של חקירה עצמאית כאשר התלמיד מועסק בעוד 6-7 מקצועות ובכל שבוע הוא צפוי למספר מבחנים במקצועות שונים.

על רקע זה עלתה ההצעה "להפקיע" חלק משנת הלימודים בתקופה המופקעת לא תופעל מערכת השעות הרגילה, ותינתן הזדמנות לפעילות רצופה ולחשיבה עצמאית מעמיקה ומתמשכת. בתשנ"ד נעשה ניסוי כזה לראשונה כאשר הוקצבה לו תקופה צנועה של שבוע (בפועל היו 4 ימים רצופים). בעקבות הלקחים מתוכנן "שבוע המדע" לתשנ"ה.

בית הספר יקיים באמצע השנה "שבוע מגמות". תלמידי מגמת המוסיקה יעסקו בעיקר במוסיקה. תלמידי מגמת האמנויות הפלסטיות יעסקו בעיקר בתחומם. תלמידי מגמת המדעים יפעלו במסגרת קבוצות "פרוייקטים" במדעים השונים (כולל פרויקטים בין-תחומיים ורב-תחומיים). מיד לאחר חג הסוכות יתחיל תהליך של בחירת פרויקטים, שבעקבותיו יתכוננו התלמידים לקראת "שבוע המדע". ההכנות יכללו קריאת חומר רקע ותכנון ראשוני של הפרוייקט. מטרת התכנון היא לחזות מראש את אופי הפעילות ואת הציוד הנדרש, ולהתכונן כך שהשבוע ינוצל היטב. זהו אתגר לוגיסטי רציני. יותר מ-100 תלמידים "ייעתרו" על הציוד ויהיה צורך לווסת את חלוקת האמצעים. במהלך השבוע יתוגבר צוות המורים על ידי סטודנטים לתואר שני ושלישי שימשו כחונכים לקבוצות השונות. תלמידי כיתות י"א וי"ב יוכלו לנצל את השבוע להעמקה בפעילויות החקר המתמשכות שלהם, או לעסוק

דוד סלע, המפמ"ר לפיסיקה, שאישר כי הציון על פעילויות החקר ישמש כציון הבגרות של המעבדה בפיסיקה. רוב העקרונות הדידקטיים שהוצגו כאן ישימים, במידה זו או אחרת, בכלל המערכת. מה שנראה כרגע כפעילות חריגה אינו אלא ניסיון לראות את מבנה מערכת החינוך בעוד שנים מעטות. מהפכת המידע והמחשוב מביאה איתה שינויים עמוקים בסגנון ההוראה. היקף ההוראה הפרונטלית עתיד לקטון. יש להיערך לכך כבר עכשיו, ולבנות את סגנון

ההוראה החלופי (יותר פעולה בקבוצות, יותר עבודה מול מחשב, יותר חשיבה עצמאית, יותר חשיבה ביקורתית, פחות הוראה פרונטלית). אין לדחות את הכנסת השינויים, למרות אבני הנגף הרבות ולחצי היום-יום. לדחייה יש מחיר כבד. בעולם שבו דברים משתנים במהירות יש צורך להכשיר בוגרים בעלי יכולת חשיבה, לימוד והשתנות עצמאיים. רק אלה יוכלו לשרוד, ליצור ולהצעיד את עצמם ואת החברה שאליה הם משתייכים במסלול ההישרדות בעולם תחרותי.