

# ראיון עם בת שבע אלון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

ראיינו: חנה ברגר וירון להבי



בין מחקר לעשייה

פרופסור בת שבע אלון מלווה את הוראת הפיסיקה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן לאורך שנים רבות ושמשה גם כראש המחלקה. בת שבע, שאת התואר השלישי שלה עשתה בהוראת המדעים באוניברסיטת ברקלי והייתה בין החלוצים בארץ בתחום זה, מלווה את הוראת הפיסיקה לא כחוקרת הצופה מהצד אלא כמובילה של יוזמות רבות. נגיעותיה הרבות בהוראת המדעים בכלל, ובהוראת הפיסיקה בפרט, תרמו, ועדיין תורמות, תרומה רבה להתפתחותם של תחומים אלו בארץ. על אלה זכתה ב-2015 בפרס א.מ.ת. פנינו אל בת שבע כדי לשמוע ממנה, דרך סיפור חייה המקצועיים ומהפרספקטיבה האישית והמיוחדת שלה, על הוראת הפיסיקה כתחום דינמי ותוסס המהווה גם שדה מחקר חשוב.



בת שבע אלון

בצומת חשוב בחייה פגשה בת שבע את פרופ' עמוס דה-שליט שהלך לעולמו זמן קצר לאחר פגישה זו, אך השאיר חותם חשוב על המשך דרכה המקצועית.

פגשנו את בת שבע בחדרה העמוס בספרי פיסיקה, ספרים ומאמרים העוסקים במחקר בהוראת הפיסיקה ותיקיות של פרויקטים הקשורים בהוראה, חדשים וגם ישנים.

## שאלה: כיצד התחילה ההתעניינות שלך בפיסיקה? כיצד נחשפת לנושא?

**בת שבע:** למדתי בתיכון הדתי "בר אילן" בנתניה במגמה של 5 יחידות פיסיקה. תמיד התעניינתי בלמידת מדעים ואהבתי פיסיקה משום שהיא נראתה לי אלגנטית ומעניינת. למדנו לפי תכנית PSSC הבנויה על חשיבה פיסיקאלית ועל הכרת תופעות פיזיקאליות ובלינו הרבה במעבדה. אני זוכרת עד היום את השעורים, הרבה שנים אחורה, זה היה פשוט מלהיב. היה לנו מורה נפלא לפיסיקה - דוד שמיר, שהיה קשור לפעילות שנעשתה במכון ויצמן על תכנית PSSC בהובלה של פרופ' דה-שליט.

חוויה מאד מעניינת שזכורה לי הייתה בחינת הבגרות במעבדה. הבוחן שלי היה רפי כהן ז"ל ואני זוכרת את בחינת הבגרות הזאת כמו היום. הוא שאל אותי על מערכת הנעה בים ומשדרת. אני כבר לא כל כך זוכרת את הבעיה, אבל התפתח אתו דו שיח מרתק במסגרת הבחינה. זה מאד חיזק את היחס החיובי שלי למקצוע. הבחינה הייתה מבחינתי אירוע חיובי מכונן. שנים אחרי זה למדתי אצלו ועבדנו יחד במכון ויצמן.

## שאלה: כיצד הגעת לעסוק בהוראת הפיסיקה?

**בת שבע:** לקראת לימודי באוניברסיטה העברית היה ברור לי שאלמד מתמטיקה, אך התלבטתי אם בנוסף לקחת פילוסופיה או פיסיקה, כי יש לי גם עניין במקצועות הומאניים וחברתיים. באשר להוראה, תמיד, כבר מילדות, ידעתי שאני רוצה לעסוק בחינוך. נושא המחקר בהוראת הפיסיקה עלה על הפרק מאוחר יותר.

בשנה השניה באוניברסיטה התחלתי ללמוד לתעודת הוראה. המנחה שלי לתעודת הוראה היה פרופ' דוד גורדון ז"ל, שעודד אותי לעסוק בחינוך והגביר את אהבתי לתחום של הוראת מדע. הוא עודד אותי לעסוק בכך באופן מקצועי. ואכן, כשסיימתי את לימודי התואר הראשון, החלטתי לנסות לעסוק במחקר בהוראת המדעים בלימודי לקראת תארים גבוהים. אבל באותה תקופה (1969) לא היתה עדיין אפשרות כזו. פרופ' אלכס פוליאקוב מהאוניברסיטה העברית הפנתה אותי למכון ויצמן, שם החלו השלבים הראשונים של הקמת מרכז להוראת המדעים ביוזמת פרופ' עמוס דה-שליט. הייתה פעילות בהוראת המדעים אך לא הייתה תכנית לתואר שני.

פרופ' דה-שליט, לאחר ראיון של חצי שעה, אמר "אין כזה דבר (תואר שני בהוראת המדעים) אבל אנחנו נעשה". הוא גרס שצריך ללמד נושאים המצויים בחזית תחום הפיסיקה (כמו תורת הקוונטים) כבר בתיכון, ואף היו לו רעיונות וחומרי למידה רלבנטיים. הוא הציע שעבודת המחקר שלי תהיה סביב נושא זה, ושנבנה יחד קורס בתורת הקוונטים לתיכון ונבצע מחקר סביבו. הוא עצמו לימד שיעורים בנושא זה במכון ויצמן.

באותו הזמן לא היה לי ניסיון פורמלי בהוראה ופרופ' דה-שליט אמר: "מי שרוצה לעסוק בחינוך ולחקור את הוראת התחום הזה, צריך שיהיה לו ניסיון בהוראה". הוא הרים טלפון מיד, וכבר בסוף אותו היום מוניתי למורה בתיכון ברחובות (היום תיכון "דה-שליט"). ואז התרחש האסון ופרופ' דה-שליט נפטר בסוף אותו הקיץ. אך החזון שלו מוביל את עשיית המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן עד היום<sup>1</sup>.

מאז הקמת המחלקה לפני חמישים שנה, הרבה מעבודות המחקר לתארים גבוהים במחלקה נערכו בגישה המשלבת מחקר ופיתוח אותה התווה עמוס. עבודות רבות עסקו ועוסקות בהנגשת נושאים מחזית הידע והמחקר בתחומי הדעת השונים למורים ולתלמידים. הנושא הספציפי שעמוס הציע לי מאופיין על ידי מהפכה מחשבתית שחלה במאה ה-20, והוא דבר על כך שחשוב שהרעיונות יכללו בתכנים שנלמדים על ידי תלמידי תיכון הבוחרים להתמחות בפיסיקה כחלק מהשכלתם הבסיסית. הוא גם ציין שלדעתו זה נושא מלהיב שיכול לפתח את החשיבה ולמשוך תלמידים לבחור בהמשך לימודים במדע והנדסה. החומר הכתוב, שנתן לי על הרצאותיו, שילב פרספקטיבה היסטורית ואף פילוסופית על הנושא ושימוש רב בייצוגים חזותיים. הנושא של תורת הקוונטים הלהיב אותי, הרבה בזכות החוויה החיובית שהיתה לי בלמידת הנושא באוניברסיטה. לאחר מותו של פרופ' עמוס דה-שליט בהצעתו של פרופ' חיים הררי, שהיה דיקאן מדרשת פיינברג, עשייתי תואר שני בפיסיקה, ולאחריו התחלתי לימודי תואר שלישי בהוראת המדעים.

### **שאלה: היכן לימדת? מהי חוויית ההוראה עבורך? מה ההכשרה שעברת?**

**בת שבע:** התחלתי ללמד בכיתות י'-יב' במקביל ללימודי התואר השני. הגשתי לבגרות, כולל לבחינת המעבדה, ובניתי ושיפצתי את מעבדות ביה"ס. כבר אז חשבתי שצריך לשלב את הלמידה במעבדה בהוראה, לכלול אותה כמרכיב פורמלי בדרישות למידת המקצוע, ולבחון לעומק כיצד תתבצע ההערכה. בין השאר, בניתי בחינת מעבדה לכיתות י' בפורמט המשלב עבודה קבוצתית ובודק גם הבנה מושגית.

אהבתי את הכיתה התוססת. כשהתחלתי ללמד הייתי קרובה מאד בגיל לתלמידים שלי, ובהתחלה לא הבנתי שצריך גם ליצור דיסטנס והיה לי קשה מאד מבחינת השמירה על המשמעת. אני זוכרת שבשנה הראשונה הייתי חוזרת הביתה עייפה פיזית מהמאמץ. אבל כל זה עבר מהר למדי, כי ברגע שהתלמידים הבינו שיש ערך להוראה שלי הם התחילו להקפיד בעצמם על המשמעת שלהם ושל חבריהם. אחרי שנה-שנתיים הדברים הללו הסתדרו. למדתי אז להעריך עד כמה חשובה התמיכה במורים בראשית דרכם, ובמיוחד ממורים עמיתים בבית הספר, למניעת נשירה בשנים הראשונות להוראה, בעיה איתה אנו מתמודדים גם היום. אני זכיתי לתמיכה כזו מד"ר חנה גולדרינג ומאנשי הוראת הפיסיקה שפעלו אז במכון ולמדתי להעריך את החשיבות של תמיכה זו. אני מסתכלת בהערצה על מורים שמלמדים בהתלהבות כל-כך הרבה שנים ולא נשחקים, גם כאשר התלמידים לא תמיד מתלהבים. בשנתי האחרונה בהוראה בתיכון דה-שליט נפתחו

1 ראו בהקשר זה את נוסח ההצעה ששלח עמוס דה-שליט להנהלת מכון ויצמן ובה היתווה את [דרכה של המחלקה להוראת המדעים](#).

חטיבות הביניים. הייתי מורה נסיינית של תכנית אנרגיה בכיתה ט'. זו הייתה שנה מאד קשה. אז למדתי על בשרי מה זה לעבוד עם ילדים שאינם מתעניינים.

אהבתי מאד את ההוראה, במיוחד את הגישה של "תכנית רחובות" שבצד הוראה פרונטאלית כללה הרבה עבודת מעבדה שתרמה להתפתחות הרעיונות. היה לי קשר מאד טוב עם התלמידים, אהבתי את הדיונים ואת החלפת הדעות שהתרחשה בכיתה. בהמשך, בעת לימודי הדוקטורט בברקלי, לימדתי סטודנטים באוניברסיטה בברקלי ותלמידים בבתי ספר על-יסודיים מקומיים כחלק מעבודת הדוקטורט. לאחר מכן כשחזרתי לארץ, היו לי הרבה הזדמנויות לעבוד עם תלמידים בעיקר במסגרות שונות במכון ויצמן, כמו בתכנית "פיסיקה ותעשייה" - תכנית לתלמידים מתעניינים, בה הם פיתחו במהלך שנתיים, בהדרכה משולבת של מומחים בתחום המדע והטכנולוגיה ובהוראת מדע, דגמים יצירתיים לפתרון בעיות מורכבות. אני ממשיכה ליהנות מההוראה במכון ויצמן בקורסים האקדמיים ובקורסים למורים.

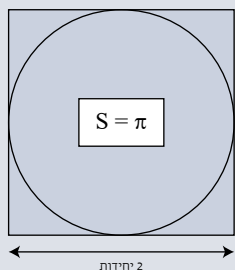
באשר להכשרה להוראה, הנושא של הכשרת המורים במרכז להוראת המדעים במכון ויצמן פותח על ידי "האבות המייסדים": צבי גל, רפי כהן וחיים קורטי. השלישייה הזו ערכה השתלמויות על "תכנית רחובות". הם העבירו לנו השתלמויות. כאן למדתי הרבה על פיסיקה בסיסית, למרות שכביכול למדתי הכול כבר בלימודי התואר הראשון.

### שאלה: מתי החלטת שאת רוצה לעסוק במחקר בפיסיקה? באיזה תחום מחקר עסקת?

**בת שבע:** כאמור, לאחר מותו של פרופ' עמוס דה-שליט הציע לי פרופ' חיים הררי לעשות תואר שני בפיסיקה, ואולי אח"כ להמשיך לדוקטורט בהוראת המדעים. כך הגעתי למחקר בפיסיקה. התחלתי לעשות תואר שני בפיסיקה במכון ויצמן. הייתי פיזיקאית ניסיונית וחקרתי את ההתפלגות של תוצרי הביקוע של איזוטופ של היסוד קליפורניום (Cf 252) בהדרכתם של פרופ' זאב פרנקל ז"ל וד"ר אלי חפץ. תוך כדי העבודה הניסיונית התמחיתי בחישובי מונטה-קרלו על ביקוע. אז עוד השתמשו בכרטיסיות ובלילות היינו באים להריץ את התכניות על המחשב. לפעמים התערבבו הכרטיסיות, זה היה מאד מתסכל.... זו היתה תקופה מרגשת. עבדתי עם אנשים נהדרים וגילינו דברים חדשים וחשובים בפיסיקה.

### שיטת מונטה קרלו

**שיטת מונטה-קרלו** היא שיטה לפתרון בעיות חישוביות באופן נומרי לא באמצעות אלגוריתם דטרמיניסטי, המבצע עבור קלט מסוים תמיד את אותם צעדים ומפיק את אותו הפלט, אלא באמצעות מספרים אקראיים. השם שיטת מונטה-קרלו, המתייחס לאופייה האקראי, ניתן לה על ידי ממציאיה: הפיסיקאי אנריקו פרמי והמתמטיקאים סטניסלב אולם, ג'ון פון נוימן וניק מטרופוליס.



כך למשל, אפשר לחשב בשיטה זו את ערכו של  $\pi$ : חוסמים מעגל על ידי ריבוע שצלעו 2 יחידות אורך ומטילים לעבר המרובע חיצים (עושים זאת כמוכן באמצעות תוכנת מחשב הבוחרת קואורדינטות אקראיות בתוך הריבוע). עבור מספר גדול של חיצים, היחס בין מספר החיצים שפגעו בתוך המעגל לבין מספר החיצים שפגעו בריבוע כולו יהיה שווה בקירוב ליחס בין שטחיהם. מתוך כך אפשר בדרך לקבל את ערכו של  $\pi$ .

שיטת מונטה-קרלו מאפשרת לבצע אינטגרציה נומרית של פונקציות הפועלות על ווקטורים בעלי ממדים רבים (דרגות חופש רבות) על ידי בחירה אקראית של נקודות במרחב רב ממדי. לכן היא שימושית בתחומים רבים: פיסיקה, כימיה, כלכלה ואפילו ביצירה של משחקי מחשב תלת ממדיים.

השיטה מאפשרת למשל לחקור את התכונות הפיסיקליות השונות של מערכת נוזלית: הלחץ, קיבול-החום, וכדומה. פרמי השתמש בשיטה זו בשנות ה-30, עוד בטרם הומצא המחשב, כדי לחשב תכונות של נוזל.

## שאלה: באיזה תחום עשית את עבודת הדוקטורט?

**בת שבע:** עבודת הדוקטורט עסקה בהוראת הפיסיקה. אך הדרך לא היתה פשוטה:

הבעיה הייתה שלא היו אנשים כאן (במכון ויצמן) שידריכו אותי. החלטתי לקחת את הנושא של פיתוח הקורס בתורת הקוונטים שאותו, כפי שהזכרתי קודם, הציע לי לפתח פרופ' עמוס דה-שליט. פרופ' זאב פרנקל, שהיה לו ענין רב בחינוך, היה מוכן לתת לי את הגיבוי המדעי, ופרופ' יונגורט מהאוניברסיטה העברית הדריך אותי בתחום החינוכי. הקורס שפיתחתי עשה שימוש באנלוגיות ושילב היבטים היסטוריים לתלמידים. הילדים אהבו את הקורס, ואף הצליחו במשימות השונות שניתנו. גם מדעני המכון "חגגו" על הפרויקט. כאשר הייתי כבר באמצע הדרך החלטתי לעשות ראיונות עומק לילדים ואז "חטפתי שוק". גיליתי לאכזבתי שיש להם קושי עצום בהבנה הקונספטואלית של תורת הקוונטים. לא תיארתי לעצמי שכך הם פני הדברים! בהסתכלות לאחור, זה כמובן לא מפתיע, מדובר בשינוי תפיסתי מאד משמעותי....

באותו זמן, בשנת 1975, בעלי סיים דוקטורט בפיסיקה, והתקבל לבתר דוקטורט באוניברסיטת "ברקלי" שבקליפורניה. למזלי, היה זה המקום היחיד בו היה אפשר להמשיך לדוקטורט בהוראת הפיסיקה. באותה תקופה לא היו הרבה אוניברסיטאות שהיה בהן מסלול כזה. הגעתי למקום הנכון בזמן הנכון. לאור ממצאי המחקר שתיארתי קודם, החלטתי שבברקלי אעסוק בנושא אחר כדי להיפתח לאפשרויות חדשות. הנושא בו בחרתי עסק בארגון ידע בלימודי פיסיקה אשר המשיך להעסיק אותי גם בהמשך דרכי.

בדיעבד, הייתה זו החלטה נכונה עבורי. עם זאת, נושאים הקשורים בשילוב של היבטים מתורת הקוונטים בהוראה, וכיצד להנגיש נושאים מחזית המחקר בפיסיקה למורים ותלמידים, ממשיכים לעניין אותי.

אחד הדברים המשמעותיים ביותר מבחינתי בתקופת הדוקטורט היה האינטראקציה עם המנחים שלי, שהיו אנשים משכמם ומעלה הן במחקר בפיסיקה והן בעבודתם בהוראת פיסיקה. לאחד מהם, פרופ' רייף, שעל דבר מותו נודע לי בעת כתיבת שורות אלה, אני חבה חוב גדול מאוד על תרומתו להוראת הפיסיקה במחלקה ולי באופן אישי. כמו כן הנחו אותי פרופ' קרפלוס, שעסק גם בהשלכות של עבודתו של פיזיקאי להוראת מדעים, ופרופ' לרקין מי שבהמשך היתה מהמקימים והמובילים של תחום מדעי הלמידה. מאפייני ההנחיה שלהם היו מאד מיוחדים: מעורבות והשקעה בעבודה על כל פרטיה, פתיחות שנותנת לסטודנט מקום להביא לידי ביטוי את הרעיונות והיצירתיות שלו, הערכה רבה לידע הפרקטי של סטודנט בעל ניסיון בהוראה, דרישה להמשגת הידע ואף פיתוח וקישור למסגרות תאורטיות. כל אלה התבססו על תובנות מהמחקר תוך כדי ביצועו. היה להם חשוב מאד לתת לסטודנט הכשרה רחבה שתאפשר לו להשפיע ולקשר בין מחקר אקדמי לבין המעשה. מנחים אלה שימשו לי כמודלים לחיקוי. במהלך השנים, לאחר חזרתי למכון, הדרכתי יחד עם אנשי סגל במחלקה סטודנטים רבים, כמה מהם מוכרים מאד במנהיגות המובילה של הוראת הפיסיקה בארץ. מרכיבים של מחקר, פיתוח, הפעלה והערכה היו מרכזיים בעבודות של אותם סטודנטים ואפשרו לבוגרים להתמחות במגוון של כיוונים שהליבו אותם וגם אפשרו להם להשפיע על מה שקורה בשטח.

## שאלה: כיצד את רואה את סוגיית הובלת פרויקטים חינוכיים על ידי גוף מחקרי-אקדמי בשיתוף מדענים ומורים

לאחר פטירתו של עמוס, החזון שהוא התווה המשיך להשפיע על דרכה של המחלקה להוראת המדעים. המחלקה שמה לה כמטרה קידום של חינוך במתמטיקה ובמדעים כדיסציפלינה אקדמית, והשפעה על השטח לקידום האיכות והאפקטיביות של תחומים אלה. שני היבטים אלה שני היבטים אלה הם באינטראקציה מתמדת ומזינים זה את זה. בתי הספר, הכיתות, והמסגרות השונות לפיתוח מקצועי של מורים (כגון המרכזים הארציים במתמטיקה ומדעים) משמשות כעין "מעבדות" למחקר ופיתוח בדרך להפעלה רחבת היקף. בהתאם, חלק נכבד מחברי המחלקה הם מורים מנוסים, המשולבים בפרויקטים השונים ומעורבים באופן מתמיד בבחינה חוזרת ונשנית את תוצרי הפעילות.

תפיסתו של עמוס על החשיבות של הובלת פרויקטים חינוכיים על ידי גוף מחקרי-אקדמי בשיתוף מדענים ומורים באה לידי ביטוי בפעילויות השונות שהתבצעו במחלקה כגון פיתוח חומרי למידה, פיתוח מסגרות ומודלים לפיתוח מקצועי של

מורים והכשרת מנהיגות מורים. כך לדוגמא, ד"ר אסתר בגנו הובילה ביד אמונה את המרכז הארצי למורי הפסיקה ואת הפעילות של קהילת המורים המובילים, להם היתה השפעה רבה על הנעשה בשטח. בפעולות השונות באו לידי ביטוי ידע עכשווי במדע והוראת מדע והידע הייחודי של מורים מנוסים. כל הפעולות האקדמיות האלה התבצעו על ידי המחלקה כפעילויות מתמשכות ארוכות טווח אשר הופעלו ונבחנו בסטנדרטים אקדמיים גבוהים ובמתודולוגיות מתאימות, תוך שימוש ועידון מסגרות תאורטיות קיימות. הקישור בין מחקר לפרקטיקה הוא אתגר מרכזי בפעילויות אלה.

התמזל מזלי, והתפיסה והחזון של המנחים שלי בלימודי התואר השלישי בברקלי השתלבו היטב בגישה זו והעמיקו את ההשפעה של עמוס על דרכי המקצועית. כך, כשחזרתי לארץ מצאתי את עצמי בסביבה מאד ייחודית שאפשרה להמשיך ולפתח את התפיסה שהתווה עמוס יחד עם הצוות אתו פעל. בקבוצת הפסיקה התבצעו ומתבצעות ברוח זו פעילויות מבורכות רבות שותפים.<sup>2</sup> בפרט יש תרומה רבה של תלמידי המחקה של מורים מובילים ושל הפיקוח על הוראת הפסיקה תוך שותפות נאמנה בהתוויית דרך העבודה ומימושה.

אני חבה תודה לכולם כפי שנאמר במקורות: "דאמר ר' חנינא: הרבה למדתי מרבתי ומחברי יותר מרבתי ומתלמידי יותר מכולן" (מסכת תענית, דף ז', עמוד א').

בקריאה חוזרת ונשנית של דברים שכתב עמוס, ממש מרגש לראות עד כמה הדברים עליהם דיבר, ואותם חזה, חדשניים וכל כך רלבנטיים לזמננו. הייתי בת מזל לפגוש דמות כזו בתחילת דרכי המקצועית.



הוצאתו לאור של גיליון זה היתה שונה מאוד מההוצאה לאור של רבים מהגיליונות הקודמים של עיתון "תהודה". חנה ברגר, שהיתה בין עורכי ראיון זה, פרשה לגימלאות. במשך עשור ערכנו יחדיו את עיתון "תהודה", וחזתמה של חנה היה ניכר בכל אחד מגיליונות העיתון. אני מנצל הזדמנות זו כדי להודות לחנה על כל השנים בהן ערכנו יחדיו את העיתון, על שיתוף הפעולה הפורה, על הנכונות לסייע לכותבים השונים בעריכת מאמריהם ועל ההקפדה על כל פרט ופרט בכל הכרוך בהוצאה לאור של כל אחד מהגיליונות. נראה לי שכולנו, כל קהילת מורי הפסיקה, חבים לחנה חוב גדול.

**תודה רבה!**