

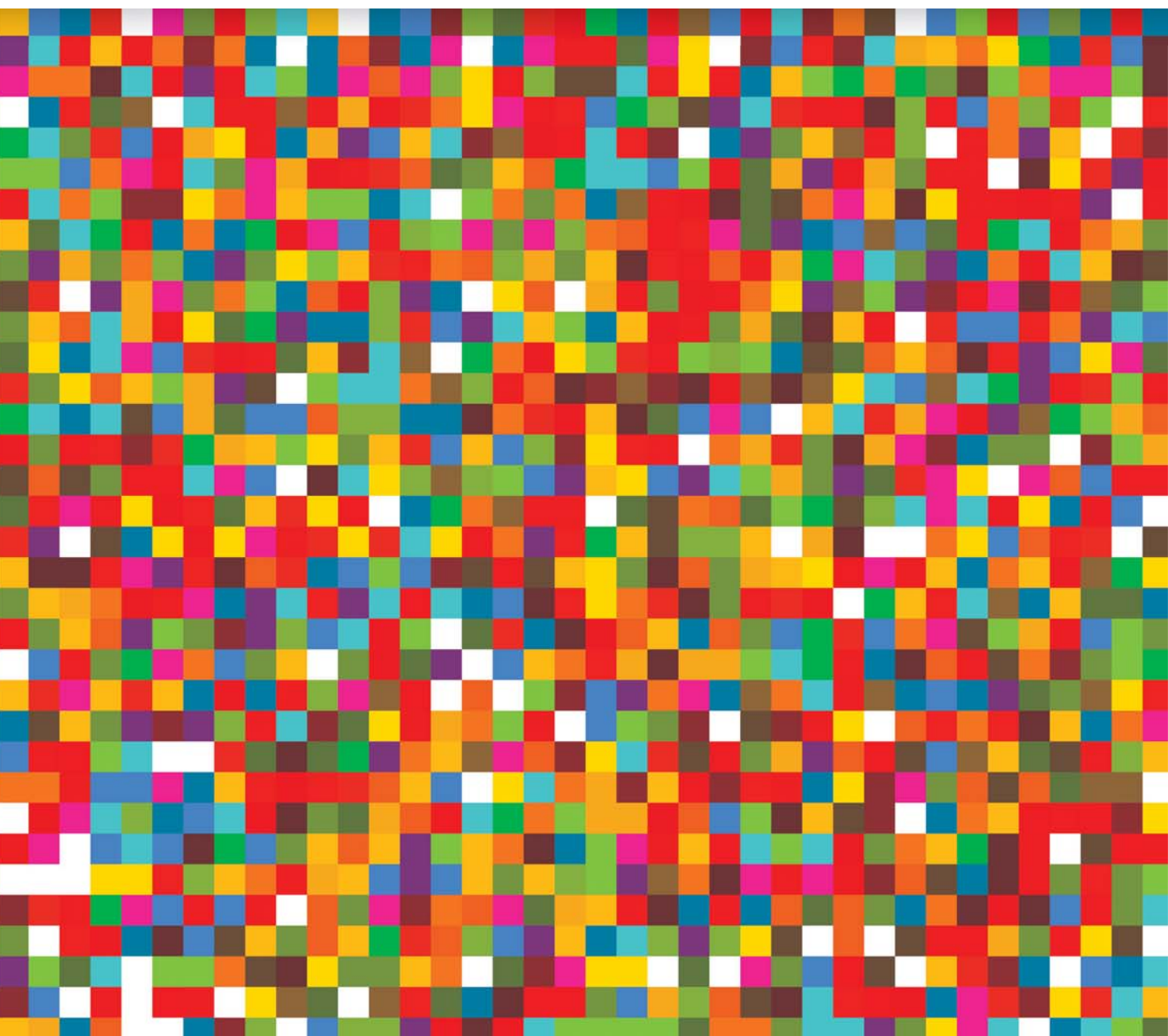


כסלו תשע"ה  
דצמבר 2014

# איגרת

גיליון 36

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים





## תמונת השער:

בכריכת החוברת אילוסטרציה על  
רנורמליזציה של ערכי המוליכות במודל  
של מאגר נפט, בהשראת מאמרו של  
פרופ' אהרוני (ראו להלן בעמ' 11)

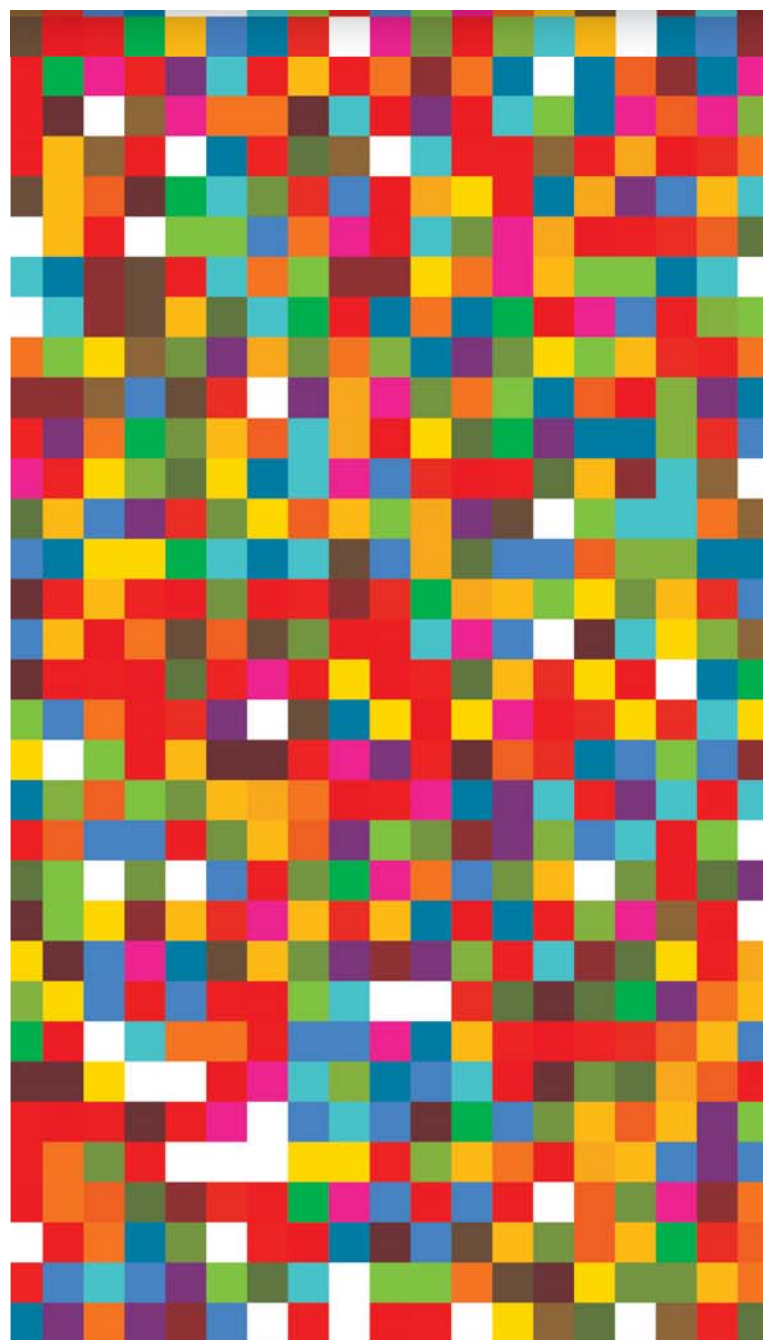
עורכת (הדוברת ומנהלת קשרי הציבור): אביטל בר  
עריכת לשון: יהודית (דיתיק) ידלין ופלי אמיר  
תצלומים: ארכיון האקדמיה, ששון תירס ומקורות אחרים  
(המצוינים בטקסט)  
עיצוב והפקה: סטודיו נאווי+שירה

## האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

רחוב ז'בוטינסקי 43  
כיכר אלברט איינשטיין, ירושלים 9104001  
טל' 02-5676222, פקס' 02-5666059  
avital@academy.ac.il, www.academy.ac.il

## מועצת האקדמיה

פרופ' רות ארנון (הנשיאה)  
פרופ' ב"ז קדר (סגן הנשיאה)  
פרופ' איתמר וילנר (יו"ר החטיבה למדעי הטבע)  
פרופ' יוסף קפלן (יו"ר החטיבה למדעי הרוח)  
פרופ' מנחם יערי (הנשיא היוצא)  
ד"ר מאיר צדוק (המנכ"ל)



# תוכן העניינים

## 3 הרצאות הבכורה של החברים החדשים תשע"ה

4..... רנורמליזציה: מיפוי מערכות אטומיות או ננומטריות למערכות מקרוסקופיות  
פרופ' אמנון אהרוני

13..... הפלא שברכישת שפת אם.....  
פרופ' רות ברמן

22..... ללמוד מן הטבע לרווחת האדם - מבטו של מהנדס.....  
פרופ' דניאל ויס

28..... על הליכה קוונטית של פוטונים.....  
פרופ' ירון זילברברג

35..... הערת שוליים.....  
פרופ' שלומית רמון-כהן

## 41 באקדמיה

42..... מדוע מוצדק לממן חוג לאשורולוגיה?.....  
פרופ' נילי כהן

46..... כינוס "משנאת הזר לקבלת האחר".....  
כתבו אסף אוני ואביטל בר

50..... דברי נשיא המדינה מר ראובן (רובי) ריבלין.....

53..... הרצאת הפתיחה בכינוס - פרופ' יהודה באואר.....

59..... השבת מוחות.....  
כתב אסף אוני

## 66 בהוצאה לאור

68..... ספרים חדשים מאת חברי האקדמיה

71..... רשימת חברי האקדמיה

# הרצאות החברים החדשים תשע"ה

# רנורמליזציה: מיפוי מערכות אטומיות או נומטריות למערכות מקרוסקופיות



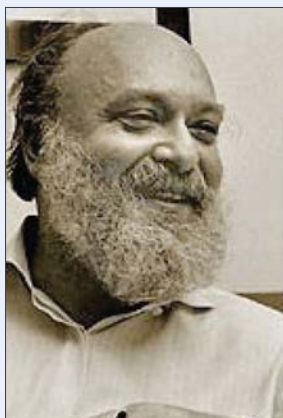
## מאת פרופ' אמנון אהרוני

### 1. מבוא

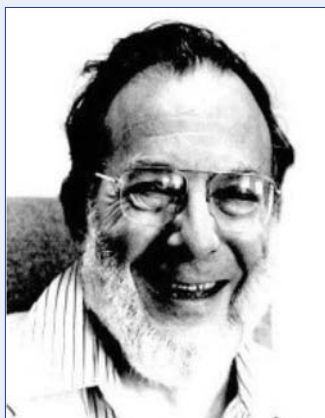
בדרך כלל התנהגותן הפיסיקלית של מערכות שונות תלויה בגודלן. כשמסתכלים על מערכות קטנות, בממדי אורך אטומיים, ובמערכות גדולות, בממדי אורך אסטרונומיים, רואים כי חוקי הפיסיקה משתנים: בכל ממד אורך שולטים כוחות פיסיקליים אחרים. עם זאת בהרבה מקרים ניתן למצוא קשרים בין ההתנהגויות הפיסיקליות בממדי אורך שונים, ובכך להעמיק את ההבנה של המערכות הנדונות. המאמר הנוכחי עוסק בקשרים הללו.

ב-2013 הלך לעולמו קנת וילסון, חתן פרס נובל בפיסיקה לשנת 1982 ופרס וולף בפיסיקה (עם מייקל פישר ולא קדנוף יחד) לשנת 1980 (איור 1). הפרסים ניתנו על התאוריה של תופעות קריטיות בקשר למעברי פאזה. במשך שנים רבות היה ידוע כי למערכות שונות, שעוברות בין מעברי צבירה שונים (למשל בין גז לנוזל או בין מצב פרומגנטי, שבו יש לחומר מומנט דיפול מגנטי, כמו למחט של מצפן, למצב שבו המומנט הזה נעלם), יש התנהגות דומה כשמתקרבים אל נקודות המעבר הללו (למשל בשינוי הטמפרטורה). התופעה הזאת נקראת "אוניברסליות של מעברי פאזה", והיא נותרה חסרת הסבר שיטתי עד שנת 1971. בשנה הזאת פורסם מאמר של וילסון

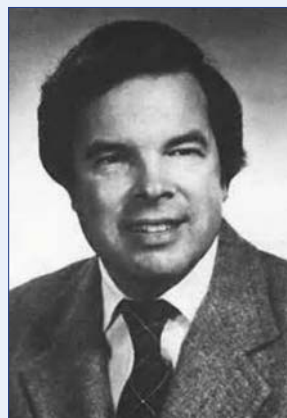
שהסביר את האוניברסליות הזאת בעזרת חבורת הרנורמליזציה, שאותה נסביר בהמשך. העבודה הזאת התבססה על רעיונות קודמים של קדנוף, שהציע קשרים בין מערכות בעלות ממדי אורך שונים. בשנת 1972 פורסם מאמר של פישר ווילסון, שהציעו חישוב שיטתי של התכונות האוניברסליות במערכות שהממד המרחבי שלהן קרוב ל-4. גם וילסון וגם פישר לימדו אז באוניברסיטת קורנל שבארצות הברית. באותה תקופה סיימתי את הדוקטורט שלי באוניברסיטת תל-אביב, בתחום של אנרגיות גבוהות, וחיפשתי תחום חדש למחקר. כשלמדתי על ההתפתחויות שהוזכרו לעיל, החלטתי לעבור השתלמות בתר-דוקטורט באוניברסיטת קורנל. אף שלא היה לי רקע קודם בתחום של מעברי פאזה, הסכים פישר לקבל אותי לקבוצת המחקר שלו שם. עבדתי בקורנל בשנים 1972-1974, וזה היה תור הזהב של הפיסיקה הסטטיסטית. הייתה שם קבוצה מצוינת של עמיתים בתר-דוקטורנטים מכל העולם, וילסון נתן סדרת הרצאות על עבודתו, וכולנו העלינו רעיונות חדשים להרחבת השיטה ולטיפול במערכות שונות. במשך ארבעים השנים שחלפו מאז עברתי לחקור נושאים רבים אחרים בפיסיקה. עם זאת לעתים קרובות חזרתי להפעיל את חבורת הרנורמליזציה על מערכות חדשות ולהסביר



לאו קדנוף



מייקל פישר



איור 1: קנת וילסון

הפרש הצפיפויות בין הנוזל לגז מתכונתי לחוק חזקה  $(T_c - T)^\beta$ , כש"המערך הקריטי"  $\beta$  איננו מספר שלם. מתברר שלכל המעברים בין נוזל לגז יש בשלושה ממדים מרחביים אותו ערך של המערך הקריטי הזה  $\beta = 0.31$  - למרות ההבדלים הגדולים בין המבנים המולקולריים שלהם, בין הכוחות הפועלים בהם ובין הטמפרטורות הקריטיות שלהם. גם גדלים פיסיקליים אחרים (הדחיסות, החום הסגולי) מציגים התנהגות סינגולרית, שמאופיינת במעריכים קריטיים שונים, והמעריכים הקריטיים זהים לכל החומרים. התופעות הללו, שנקראות "תופעות קריטיות", זהות בסוגים רבים של מעברי פאזה, ולכן הן נקראות אוניברסליות. הפיסיקה הסטטיסטית היא הענף של הפיסיקה שבו הערך הנמדד של גודל פיסיקלי (במערכת מקרוסקופית מסוימת) מתקבל אחרי מיוצע שכולל את כל הקונפיגורציות המיקרוסקופיות האפשריות של המערכת המקרוסקופית, עם משקלות סטטיסטיים שתלויים באנרגייה של כל קונפיגורציה ובטמפרטורה של המערכת. סנטימטר מעוקב של מים מכיל בערך 10 בחזקת 23 מולקולות. המולקולות הללו נעות בתוך הנפח הזה ומתנגשות זו בזו. לכן חישוב מלא של כל הקונפיגורציות איננו אפשרי. במודל תאורטי של המערכת הזאת מחלקים את הנפח שלה לתאים קטנים באופן שכל תא יכול ◀

באמצעותה את התנהגותן הפיסיקלית. המאמר הנוכחי נותן כמה דוגמאות מן המחקרים הללו.

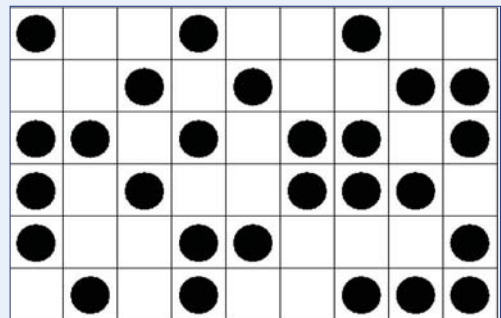
## 2. מעברי פאזה ותופעות קריטיות

הדוגמה המוכרת ביותר של מעבר פאזה היא המעבר מנוזל לגז, למשל כשמרתיחים מים. בלחץ אטמוספרי רגיל, כשמחממים את המים עד ל-100 מעלות צלזיוס, החימום נעצר, וחלקים מהנוזל (הצפוף יותר) הופכים להיות גז (שצפיפותו קטנה יותר) עד שכל החומר בכלי הופך להיות גז, ורק אז אפשר להמשיך ולחמם את האדים. מתברר כי כשמעלים את הלחץ על המים, טמפרטורת הרתיחה עולה, וההבדל בין צפיפויות הנוזל והגז בטמפרטורת הרתיחה קטן. בלחץ של 217 אטמוספרות טמפרטורת הרתיחה של מים היא בערך 374 מעלות צלזיוס, ואז הצפיפויות של הנוזל ושל הגז משתוות זו לזו. בלחצים גבוהים יותר אין הבדל בין הנוזל לבין הגז, והצפיפות של החומר קטנה ברציפות כשמעלים את הטמפרטורה. הנקודה המיוחדת שבה הצפיפויות של הנוזל ושל הגז משתוות זו לזו לראשונה, נקראת "הנקודה הקריטית". התלות המתמטית של תכונות פיסיקליות רבות בטמפרטורה  $T$  ליד הטמפרטורה הקריטית  $T_c$  היא סינגולרית (להבדיל מהתנהגות אנליטית). למשל,

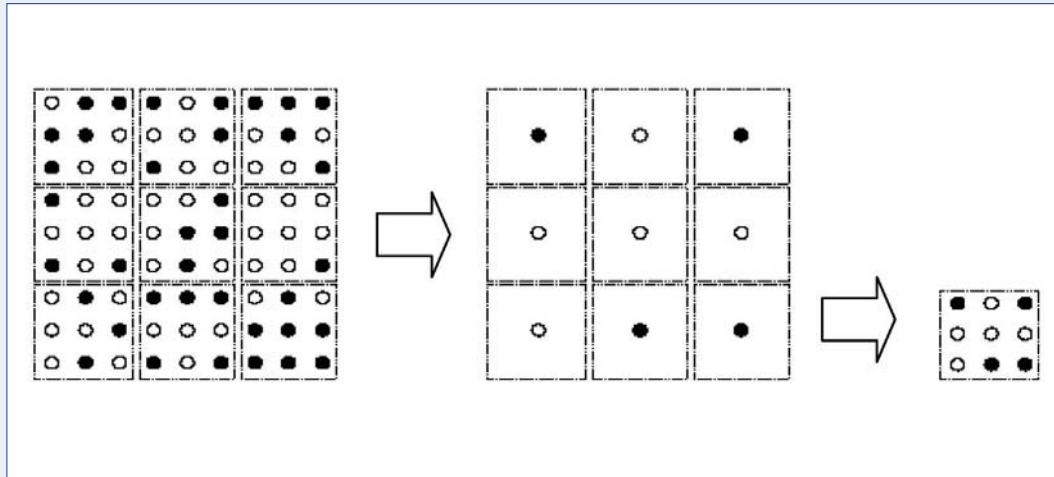


בשנות השישים של המאה שעברה הציג קנדוף את התהליך של רנורמליזציה, שמתואר באיור 4: מחלקים את הדגם לקבוצות של תאים, למשל תאים ריבועיים, שכל אחד מהם מכיל תשעה תאים מקוריים (צד שמאל של איור 4), ומחליפים כל קבוצה כזאת בתא בודד חדש, שמכיל מולקולה אם רוב התאים המקוריים היו מאוכלסים, ונשאר ריק – אם רוב התאים היו ריקים (החלק האמצעי באיור). במובן מסוים התהליך הזה משמר את התכונות המקומיות של התאים המקוריים: אזורים צפופים יישארו צפופים, ואזורים ריקים יישארו ריקים. בשלב הבא מצמצמים את אורך התמונה פי שלושה, וכך המערכת החדשה נראית כמו חלק מהתמונה המקורית (צד ימין באיור). התהליך הזה דומה ל"זום" של התמונה: אם משנים את ההגדלה הנקטת בצילום התמונה, קשה להבחין בפרטים הקטנים בתוך כל קבוצת תאים, ובפועל כל קבוצה כזאת מוחלפת באזור בהיר או כהה, כמו התאים בצד הימני של התמונה. בכל הפעלה של תהליך הרנורמליזציה ממצעים על מידע שקשור למרחקים קטנים, וממפים את המערכת למערכת חדשה שבה המרחק הבסיסי בין מולקולות שכנות גדול יותר. כיון שמרחק הקורלציה הפיסיקלי איננו משתנה בתהליך הרנורמליזציה, הוא קטן (פי שלושה בדוגמה שבאיור 4) כשמודדים אותו

◀ להכיל לכל היותר מולקולה אחת, ומחשבים את האנרגייה של המערכת כאשר בכל תא יש, או אין, מולקולה. המודל הזה מודגם באיור 2 בסריג דו-ממדי של תאים כאלה. לבד ממקרים מיוחדים, גם למודל הפשוט הזה אין פתרון כללי. סימולציות נומריות של הקונפיגורציות האפשריות, עם ההסתברות המתאימה לכל אחת, מראות הבדלים איכותיים בין הקונפיגורציות שמתקבלות בטמפרטורות שונות. בטמפרטורות גבוהות מאוד הכוחות בין המולקולות אינם חשובים, ולכן הן מפוזרות פיזור אקראי בין התאים, כמו באיור 3א. זהו הגבול הקיצוני של גז. בטמפרטורות נמוכות מאוד המשיכה בין המולקולות חשובה, המולקולות "שואפות" להיות קרובות זו לזו ככל האפשר, ומתקבלות קונפיגורציות צפופות כמו באיור 3ג. זהו הגבול הקיצוני של נוזל. בטמפרטורות ביניים מתחת לטמפרטורה הקריטית מופיעות בתוך הנוזל בועות של גז (אזורים שמכילים הרבה תאים ריקים), ומעל לטמפרטורה הקריטית מופיעות בתוך הגז טיפות של נוזל (אזורים שמכילים הרבה תאים מאוכלסים). בטמפרטורה מסוימת הבועות (או הטיפות) מופיעות בגדלים שונים, שמוגבלים על ידי אורך אופייני שתלוי בטמפרטורה וגדל כשמתקרבים אל הטמפרטורה הקריטית. אורך זה נקרא "מרחק הקורלציה", והוא מתבדר לאינסוף בטמפרטורה הקריטית, שבה מופיעות בועות וטיפות בכל סקאלות האורך עד לגודל הדגם, כפי שנראה באיור 3ב.

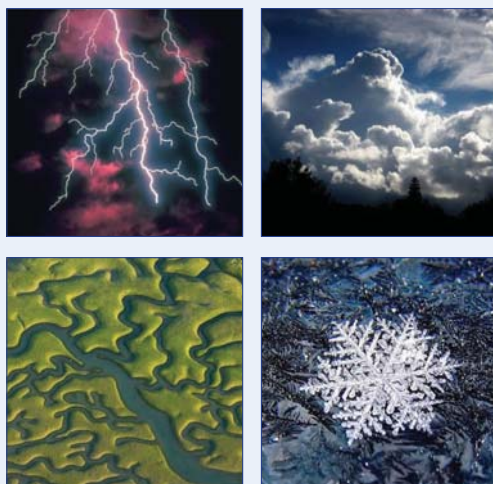


איור 2: מודל של המערכת נוזל-גז: כל תא מכיל מולקולה אחת או נשאר ריק



איור 4: הרנורמליזציה של קדנוף

סקאלת האורך שלה. מערכות שדומות לעצמן (לפחות על פני טווח מסוים של סקאלות אורך) נפוצות מאוד בטבע, והגאומטרייה שלהן נקראת "גאומטרייה פרקטלית". דוגמאות שמדברות בעד עצמן מוצגות באיור 5. גם את התכונות הפיסיקליות של מערכות כאלה אפשר לחקור בעזרת חבורת הרנורמליזציה. עד עבודתו של וילסון לא הייתה דרך שיטתית לקבל את החוקים הפיסיקליים החדשים ששולטים



איור 5: דוגמאות למבנים פרקטליים (דמויי-עצמים) בטבע

ביחידות האורך של הסריג החדש. הגודל המרבי של הבעות והטיפות קטן גם הוא, ולכן תמונת הסריג ה"מנורמל" דומה לזו שהיינו מקבלים אם היינו מבצעים את החישוב מלכתחילה בטמפרטורה הרחוקה מהטמפרטורה הקריטית. חוזרים על התהליך שוב ושוב, וממפים את המערכת המקורית שוב ושוב למערכות חדשות. כשהמרחק החדש בין שכנים קרובים ישתווה למרחק הקורלציה המקורי, ייעלמו הטיפות והבעות, והמערכת תיראה כמו מערכת בטמפרטורה נמוכה מאוד או כמו מערכת בטמפרטורה גבוהה מאוד.

במובן מסוים, תהליך הרנורמליזציה מעביר את המערכת המקורית למערכת בטמפרטורה חדשה. כיון שהטמפרטורה קובעת את הסטטיסטיקה של הקונפיגורציות השונות, ולכן את הפיסיקה של המערכת, ניתן לומר שהרנורמליזציה משנה את חוקי הפיסיקה ששולטים על המערכת כפונקצייה של סקאלת האורך שבה מסתכלים על המערכת.

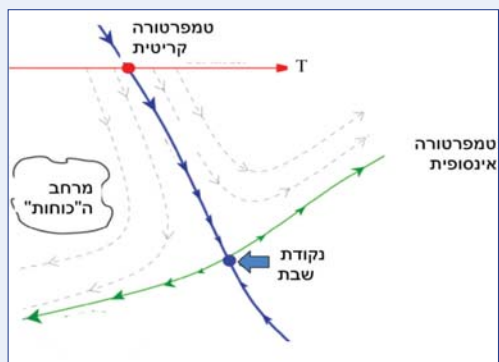
בדיוק בטמפרטורה הקריטית מרחק הקורלציה הוא אינסופי, ולכן הוא נשאר אינסופי גם אחרי הרנורמליזציה. משום כך התפלגות הטיפות והבעות איננה משתנה אחרי הרנורמליזציה. במילים אחרות, המערכת נשארת דומה לעצמה אף ששינינו את



היא תישאר תחילה קרובה אל תת־המרחב הזה ותתקרב אל נקודת השבת לפני שתתחיל להתרחק לכיוון טמפרטורות נמוכות או גבוהות. כתוצאה מה"זרימה" הזאת התכונות הפיסיקליות של המערכת ליד הנקודה הקריטית, שאותן אפשר לחשב גם אחרי צעדים רבים של רנורמליזציה, נשלטות על ידי הסביבה הקרובה של נקודת השבת, ומכאן האוניברסליות של התנהגות כל המערכות השונות: כל המערכים הקריטיים נקבעים על ידי נקודת השבת ולא על ידי הנקודה ההתחלתית במרחב ה"כוחות".

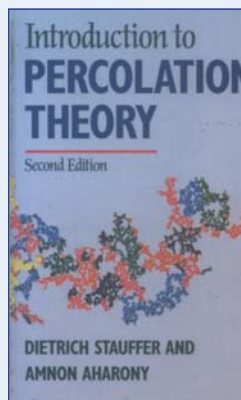
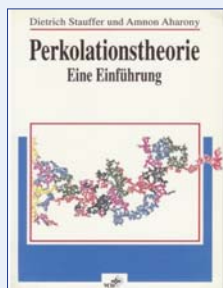
אילו כלל תת־המרחב הקריטי רק נקודת שבת אחת, כל מעברי הפאזה השונים בטבע היו מציגים אותה התנהגות פיסיקלית אוניברסלית, עם אותם מערכים קריטיים. שיטת החישוב שהציעו פיישר ווילסון אפשרה מחקר שיטתי של הנושא, וחיש מהר התברר שיש יותר מנקודת שבת אחת. למשל, מגנט שבו המומנט המגנטי יכול להצביע לכל כיוון במרחב מתואר על ידי נקודת־שבת שונה מזו שמתארת מגנט שבו המומנט מוגבל לכיוון בודד במרחב. מאז הרבה מהמחקר של תופעות קריטיות התמקד בזיהוי נקודות שבת חדשות, שמתארות מערכות פיסיקליות שונות. אני בעצמי הייתי מעורב למשל בזיהוי מחלקות אוניברסליות חדשות שמתארות מערכות מגנטיות שמכילות אינטראקציות דיפוליות, מערכות בעלות סימטרייה קובית (ששוברת את הסימטרייה לסיבובים שקיימת במגנטים שהוזכרו לעיל), ובמיוחד מערכות שמכילות סוגים שונים של אי־סדר (למשל בגלל סגסוגות של מרכיבים אטומיים שונים). איור 7 מתאר למשל את תת־המרחב הקריטי של מערכת בעלת סימטרייה קובית, שחישבת ב־1976. למערכת הזאת יש ארבע נקודות שבת אפשריות, והממד המרחבי של המומנטים המגנטיים קובע איזו מהן היא ה"יציבה" ביותר, ולכן כל המערכות "זורמות" אליה ומתוארות על ידי "מחלקת האוניברסליות" שלה [2].

◀ על התנהגות המערכת אחרי הרנורמליזציה שלה. וילסון היה הראשון שהבין כי גם אם מתחילים את התהליך במערכת כוחות פשוטה (למשל כוחות משיכה בין מולקולות שכנות בלבד), דרושים הרבה כוחות נוספים כדי לשחזר את התנהגות המערכת המנורמלת [1]. לכן תהליך הרנורמליזציה שקול ל"זרימה" במרחב רב־ממדים, כשכל ממד שלו מייצג כוח פיסיקלי אחר. איור 6 מתאר זרימה כזאת: הציר האופקי בחלק העליון של האיור מייצג את הטמפרטורה ההתחלתית של המערכת, והנקודה באמצעו מייצגת את הטמפרטורה הקריטית. פעולת הרנורמליזציה יוצרת "כוחות" חדשים, ש"מוציאים" אותנו מהציר הזה, ומעבירה אותנו אל מערכות שמיצגות על ידי הנקודות על החצים המקווקוים באיור. אם מתחילים בטמפרטורות נמוכות (או גבוהות) מהטמפרטורה הקריטית, המערכת "זורמת" לאזור שבו היא נראית כמו מערכת בטמפרטורה אפס (או בטמפרטורה אינסופית). לעומת זאת, כיון שמרחק הקורלציה נשאר אינסופי בנקודה הקריטית, המיפוי שלה נשאר על תת־מרחב שבכולו המרחק הזה אינסופי, כפי שמורים החצים הכחולים המלאים באיור. וילסון הבין שבדרך כלל קיימת בתת־המרחב הזה נקודת־שבת שאליה "זורמות" כל המערכות הקריטיות. אם מתחילים קרוב מספיק לנקודה קריטית של מערכת כלשהי,

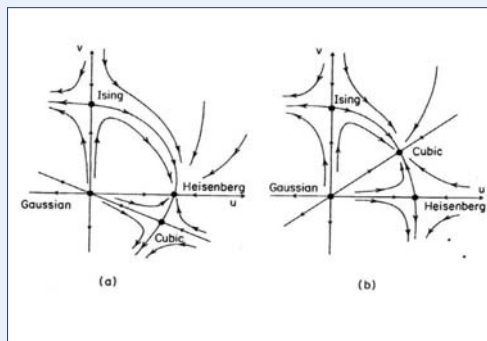


איור 6: זרימת ה"כוחות" הפיסיקליים בעקבות צעדים עוקבים של רנורמליזציה

הזאת מתנהגת כחוק חזקה סינגולרי, שמתכונתי ל- $(p - p_c)^{-\mu}$ , ו- $\mu$  הוא המעריך הקריטי שמתאר את ההתנהגות הזאת. הנושא הזה נקרא "פרקולציה" (או "חלחול") בגלל הדמיון לזרימה של אדי מים בין גרגרי קפה שדחוסים באקראי בתוך פרקולטור. גם המערכים הקריטיים של בעיית הפרקולציה הם אוניברסליים, וגם אותם ניתן לחשב בשיטות של חבורת הרנורמליזציה. בשנות השמונים והתשעים של המאה הקודמת עסקתי הרבה במחקרים כאלה, ובעיקר בזמן מלחמת המפרץ ב-1991 כי אז סגרו את האוניברסיטאות בארץ, ובזמן שהתפנה השתתפתי (עם עמיתי דיטריך שטאופר מאוניברסיטת קלן) בכתיבת ספר על תורת הפרקולציה [3]. איור 8 מראה תצלומי כריכות של הספר הזה באנגלית, בגרמנית וביפנית. עלכריכות הספרים מוצגות סימולציות שונות של האזור ה"מוליך" בתוך התווך הנקבובי בקרבת סף הפרקולציה, וניתן לראות שגם הגאומטרייה שלהן היא פרקטלית: האזור המוליך דומה לעצמו בכל סקאלת אורך, והוא חוזר אל עצמו (באופן סטטיסטי) כאשר מפעילים עליו רנורמליזציה מהסוג שתואר לעיל. במקרה של פרקולציה, ה"זרימה" ◀



איור 8: הספר על תורת הפרקולציה



איור 7: תת-המרחב הקריטי של מערכות בעלות סימטרייה קובית

### 3. פרקולציה ומאגרי נפט

המחקר של מערכות לא מסודרות קשה מזה שתואר לעיל, כי במערכות כאלה המרכיבים האקראיים של המערכת "קפואים" במקומותיהם ואינם עוברים במהלך המדידה על כל הקונפיגורציות המיקרוסקופיות שלהם. צריך קודם לחשב את התכונות הפיסיקליות של קונפיגורציה בודדת, ורק אז למצע על התכונות של מערכות שונות. אחת הדוגמאות הפשוטות ביותר של מערכת לא מסודרת היא מערכת שמורכבת מסידור אקראי של שני מרכיבים. למשל, איור 2 יכול לתאר מודל של סלע נקבובי, שבו תאים מלאים מייצגים חלקים של הסלע, ותאים ריקים מייצגים חללים בתוך הסלע. אם רוב התאים מלאים, אי אפשר למצוא מסלול שמחבר בין תאים ריקים שמוליך מצד אחד של הדגם לצד הנגדי שלו. כאשר ריכוז התאים הריקים עולה, מגיע ריכוז קריטי שבו נוצר לראשונה מסלול כזה. בריכוזים גבוהים יותר החלק של הדגם שמחבר בין שני קצותיו הולך וגדל. אם החלק הזה מכיל נוזל (למשל נפט בתוך סלע נקבובי), ה"יכולת" לשאוב את הנוזל מתוך הסלע (שנמדדת באמצעות המוליכות – הפרמיאביליות – של הסלע הזה לזרימה של הנוזל דרכו, כתגובה להפרש לחצים בין קצותיו) גדלה בהדרגה. אם מסמנים את ריכוז התאים הריקים ב- $p$ , ואת ריכוז הסף הקריטי ב- $p_c$ , אז המוליכות

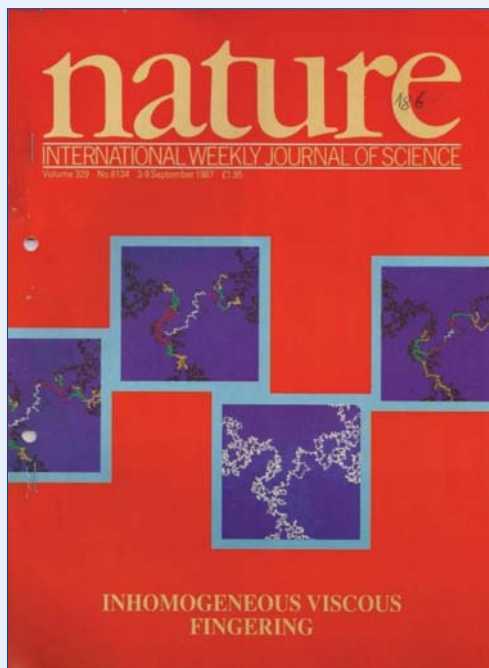
פיסיקליים ספציפיים ובחיקוי התופעות הפיסיקליות למאגרי הנפט בסקאלות אורך מעבדתיות. איור 9 מראה את שער העיתון (Nature מספטמבר 1987) [4], שמציג תמונות של נוזל צמיג שזרם בתוך שכבה מישורית שהכילה סידור אקראי של כדורים פלסטיים. מחקרנו שילב את העבודה הניסיונית הזאת עם חישובים תאורטיים שהשתמשו בתורת הפרקולציה, ומצא התאמה טובה מאוד בין החישובים למדידות.

לפני שמחליטים על הקמת מגדל קידוח של באר שדרכה יופק נפט ממעמקי הים, חשוב מאוד להעריך עד כמה יהיה קל להפיק את הנפט מהסלע שבקרקעית הים. לצורך זה מבצעים קידוחי ניסיון ומוציאים גלילים ארוכים מאוד (קילומטרים) של סלע, בקוטר אופייני של כעשרה סנטימטרים. בודקים את הגלילים בדיקה מעבדתית יסודית, שנותנת בין היתר מידע מפורט על המוליכות שלהם לזרימה של נוזל דרכם, ועל הקורלציות הסטטיסטיות בין הערכים שלה בחלקים שונים של הקידוח ובקידוחים שונים שמפוזרים בנקודות שונות של המאגר. בשלב הבא יש לעשות אינטרפולציה (ביון) של הנתונים לאזורים שבין הקידוחים השונים, ואקסטרפולציה (חיוץ) של המידע הזה אל כל חלקי המאגר. בסוף השלב הזה מתקבל מיפוי "מיקרוסקופי" של המוליכויות במקומות שונים במאגר. נתונים אלה ישמשו להערכת המוליכות המקרוסקופית בין נקודות רחוקות של המאגר, במרחקים של קילומטרים. במחקר שעשינו ב-1991 הצענו שיטת רנורמליזציה שמחשבת את המוליכות של תאים הולכים וגדלים, עד שמתקבלת המוליכות של המאגר כולו [5]. השיטה נקראת Fast Renormalization – FRACTAM – Anisotropic Media Algorithm for Correlated Transport in הוא מהיר מאוד (לעומת אלגוריתמים שפותרים את המשוואות לחישוב הזרמים בכל התאים המקוריים) ומדויק מאוד (לעומת אלגוריתמים מקורבים אחרים). איור 10 מראה את ערכי המוליכות (שמוצגים כל אחד בצבעים שונים אלה מאלה) בשלבים שונים של

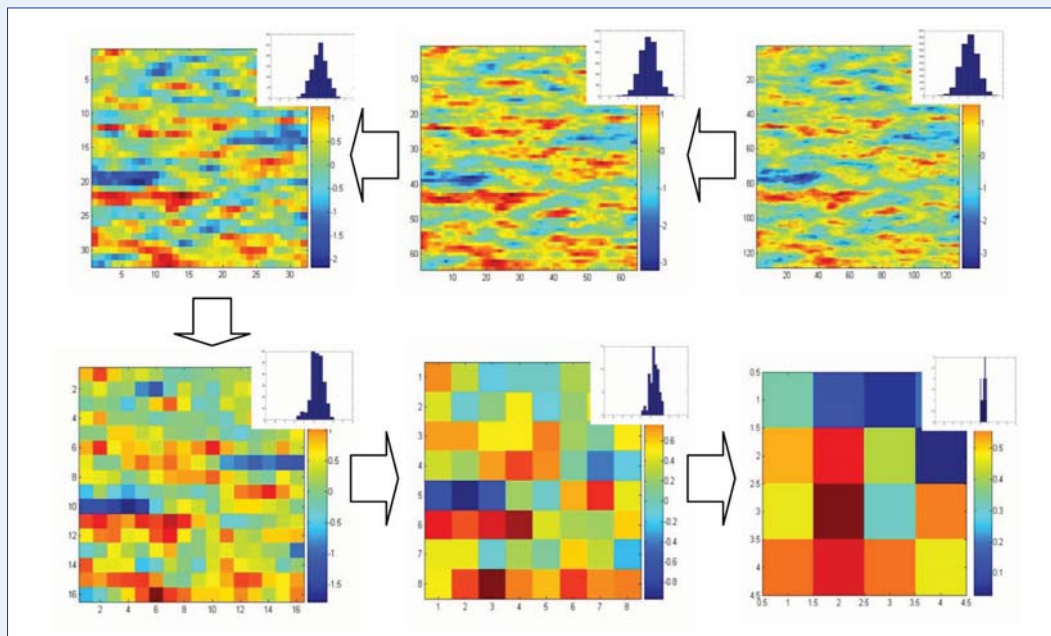
◀ של חבורת הרנורמליזציה איננה של "כוחות" כי אם של ריכוזים ושל קורלציות בין תאים מאוכלסים לתאים ריקים.

רבים ממחקריי על זרימה בתווך נקבובי נעשו באוניברסיטת אוסלו, שם הייתי פרופסור נלווה ב-25 השנים האחרונות. כאשר התגלה הנפט בים הצפוני, מיהרה ממשלת נורווגיה לאשר חוק שחייב את חברות הנפט להשקיע חלק מרווחיהן במחקר אוניברסיטאי בסיסי על נושאים שקשורים למאגרי נפט. מחקרים רבים באוניברסיטת אוסלו אכן מומנו ממענקים מחברות כמו סטטאויל וקונוקו. בהמשך הוקם באוניברסיטה מרכז מצוינות שנקרא "פיסיקה של תהליכים גאולוגיים", שבו נעשו מחקרים בין-תחומיים ששילבו בין השאר פיסיקה וגאולוגיה, ואני הייתי חבר בוועדה שניהלה אותו.

כיוון חשוב של המחקר עסק בבניית מודלים מעבדתיים (ותאורטיים) שלוכדים אספקטים



איור 9: ניסיונות וחישובים תאורטיים של זרימת נוזל צמיג בתווך נקבובי



איור 10: חמישה שלבים של רנורמליזציה של ערכי המוליכות במודל של מאגר נפץ. ההיסטוגרמה בצד ימין למעלה של כל מערכת מתארת את ההתפלגויות של המוליכות בתאים השונים של אותו דגם. הצבעים השונים מייצגים את הערכים עצמם, לפי הסקאלה שמוצגת בצד ימין של כל מסגרת.

מ־2013 חקרנו (עמיתיי יוסף אמרי ואורה אנטין־ וולמן ואני עם העמיתה הבת־דוקטורנטית חמוטל ברי־סרוקר) איך ההתנהגות הפיסיקלית של מערכות קטנות משתנה עם השתנות הגודל שלהן [6]. כאשר אלקטרונים נעים בתוך מתכת, פועלים ביניהם שני סוגים של כוחות: כוח אחד הוא כוח הדחייה החשמלית ביניהם, מאחר שיש להם אותו מטען חשמלי שלילי; כוח אחר נוצר בגלל האינטראקציה בין האלקטרונים לבין היונים החיוביים במתכת. כאשר אלקטרון עובר בין היונים הללו, המשיכה בינו לביניהם גורמת לעיוות הסריג שעליו נמצאים היונים. אלקטרון אחר "יעדיף" לעבור באותו המקום ולנצל את הקונפיגורציה המעוותת הזאת של היונים כדי "להרויח" אנרגיה חשמלית. התיאור הזה נותן הסבר איכותי להופעתו של כוח משיכה אפקטיבי בין שני האלקטרונים. הכוח הזה מתחיל להיות מורגש על ממדי אורך ◀

הרנורמליזציה. כפי שניתן לראות מהגרפים שבחלק הימני העליון בכל מסגרת, ההתפלגות של ערכי המוליכות בתאים השונים נעשית צרה יותר ויותר עם התקדמות התהליך, מה שמעיד על התכנסות טובה אל התוצאה הסופית.

#### 4. מוליכות־על

פי שהוסבר לעיל, חבורת הרנורמליזציה מאפשרת לקבל את תכונותיה של מערכת גדולה מתוך תכונותיה המיקרוסקופיות. בשנים האחרונות התפתח מאוד המחקר על מערכות מזוסקופיות, שגודלן נמצא בין הגודל המיקרוסקופי לבין הגודל המקרוסקופי. ניסיונות רבים נעשים כיום על מערכות ננומטריות הגדולות רק פי עשרה או פי מאה מהגודל של אטומים בודדים. מערכות קטנות כאלה מתוארות על ידי המכניקה הקוונטית. במאמר

## מקורות

- K. G. Wilson, *Problems in physics with many scales of length*, Scientific American 241, #2, 158-179 (1979).
- A. Aharony, *Dependence of universal critical behavior on symmetry and range of interaction*, in Phase Transitions and Critical Phenomena, C. Domb and M. S. Green, eds., Vol. 6 (Academic Press, NY, 1976), pp. 357-424.
- D. Stauffer and A. Aharony, *Introduction to Percolation Theory* (Taylor and Francis, London (1992); revised 2nd edition (1994); German translation: VCH, Weinheim (1995); Japanese translation: Yoshiokashoten, Kyoto (2001)).
- U. Oxaal, M. Murat, F. Boger, A. Aharony, J. Feder, and T. Jøssang, *Viscous fingering on percolating clusters*, Nature 329, 32-37 (Sept., 3 1987).
- A. Aharony, E. I. Hinrichsen, A. Hansen, J. Feder, T. Jøssang, and H. H. Hardy, *Effective renormalization group algorithm for transport in oil reservoirs*, Physica A177, 260-266 (1991).
- H. Bary-Soroker, O. Entin-Wohlman, Y. Imry, & A. Aharony, *Scale-dependent competing interactions: sign reversal of the average persistent current*, Phys. Rev. Lett. 110, 056801 (2013).

◀ שגדולים מאורכי הגל האופייניים לתנודות של היונים בסריג. בתנאים מתאימים הכוח הזה עשוי להתגבר על כוח הדחייה הישיר בין האלקטרונים וליצור זוגות של אלקטרונים שנקראים "הזוגות של קופר". הזוגות הללו הם מוליכי המטען במוליכי-על, שבהם הם יכולים לנוע ללא התנגדות חשמלית. במחקרנו חישבנו את הרנורמליזציה של שני הכוחות הללו ומצאנו כי כוח הדחייה הולך ונחלש כשעוברים לממדי אורך גדולים יותר, ואילו כוח המשיכה האפקטיבי הולך ומתחזק כשמגדילים את גודל המערכת. לכן במקרים מסוימים הכוח השקול הוא דוחה בממדים קטנים והופך להיות מושך בממדים גדולים. גם אם המערכת הופכת להיות מוליך-על כאשר גודלה מקרוסקופי, היא תפסיק להיות כזאת כאשר היא קטנה מספיק.

במאמרנו הצענו דרך ניסיונית לבדוק את תלותו של הכוח השקול בגודל המערכת. כאשר מפעילים שדה מגנטי בכיוון מאונך לטבעות קטנות של מתכת, זורם בטבעות הללו זרם שנקרא "זרם מתמיד" (persistent current) כיוון הזרם הזה מתהפך כשהכוח השקול הופך ממושך לדוחה. לכן מדידות של הזרם בטבעות בעלות קטרים ננומטריים שונים עשויות לגלות את הכוח מחליף את טבעו, ולשמש אישור לתאוריה.

## 5. סיכום

▮ ארבעים השנים שחלפו מאז עבודתו פורצת הדרך של קנת וילסון הופעלו שיטות הרנורמליזציה שלו על מגוון רחב מאוד של מערכות פיסיקליות. הטבע מכיל מערכות פרקטליות רבות, שדומות לעצמן בממדי אורך שונים, וכן מערכות רבות שבהן הפיסיקה תלויה באנרגיות שמתפרסות על טווח רחב של ערכים, ואין לי ספק שהכלים שהוצגו כאן ימשיכו לשמש להבנת הפיסיקה שלהן. ■

# הפלא שברכישת שפת אם



## מאת פרופ' רות ברמן

ההגאים שמשמיעים התינוקות מכל סוגי הצלילים לכדי ההגאים הייחודיים לשפה (או לשפות) שלה הם חשובים בסביבתם המידית. בסביבות גיל שנה עד שנה וחצי מסתמן הפלא – אולי הגדול מכולם – הופעת המילים הראשונות. בכך מפגינים הפעוטות יכולת אנושית ייחודית לחבר בין רצף צלילים לתוכן רפרנציאלי ולהביע משמעות באמצעות סמלים קוליים דמויי-מילים, כמודגם ב-(1).

### (1) סוגי "מילים" ראשונות

- אזה [eze]
- אבא [aba]
- אודו [udu]
- אור [or]

צורות אלו אינן זהות למקבילותיהן בלשון המבוגרים לא בהגייתן, לא בתוכנן הסמנטי ולא באקסטרנציה הרפרנציאלית שלהן (הווה אומר, השויות בעולם שהן מתייחסות אליהן). למשל: הרצף אזה ממזג יחידו את המילים "את" ו"זה", ומושמע תוך הצבעה על החפץ הרצוי. במילה אבא עשוי הילד להשתמש כלפי כל איש מבוגר, וברצף אודו יתכוון לא רק לכדור אלא גם לירח, לכפתור ולחפצים עגולים אחרים, ואילו ◀

השאלה כיצד ילדים רוכשים שפה היא חידה למלומדים לאורך ההיסטוריה. הסוגיה המסקרנת, מאז ומתמיד, חוקרים כהדיוטות היא כיצד ילדים קטנים מסוגלים לתפוס את עיקרי שפתם תוך שנים מועטות, ואילו לאדם המבוגר למידת שפה חדשה היא תהליך מתמשך שלרוב אינו מלא. העוסקים בתחום מתחבטים בשאלה כיצד ילד מגיע לשליטה במבני דקדוק מורכבים ומופשטים, אשר הם עצמם עמלים כדי לאפיין אותם. שאלת יסוד זו מניעה את המחקר בפסיכולינגוויסטיקה ההתפתחותית מאז היווסדה כתחום דעת מדעי לפני כשישים שנה, ונושא רכישת שפת האם משמש עד היום אבן בוחן לתפיסות שונות באשר למהותה של הלשון ומעמדה כענף מרכזי במדעים הקוגניטיביים.

### מסלול התפתחותי משותף

הורים עוקבים בהשתאות אחרי התהליך המופלא שעוברים ילדיהם בשנת חייהם הראשונה, בעברם בתוך חודשים ספורים מהשמעת צלילים וגטיביים (התעטשות, פיהוקים, גיהוקים) להשמעת המיות ובהמשך למלמולי הברות – שלב שבו מתחילים להיבדל תינוקות שומעים מבני גילם כבדי השמיעה – ולקראת גילאי 9-12 חודשים הולך ומצטמצם מאגר

של שפת אמם לסמן נטיות בתוך מילים ולציין יחסים תחביריים בין מילים לשם תצורת מבעים (utterances) המייצגים משפטים בנויים כהלכה. כך ילד דובר עברית כבן שנתיים יוכל להגיד במפורש: "אני רוצה את העוגיות האלה" כשהוא מתאים דקדוקית את הפועל למינו – רוֹצֵה~רוֹצָה.

הדוגמאות הבאות לקוחות מאינטארקציות של שתי ילדות – ליאור עם אמה, וסיון עם אחיה הקטן – בציון גילן בשנים ובחודשים:

(3) הרכבת משפטים וצירופם באמצעים דקדוקיים

- ליאור, 2:1: אימא, תרדי [tirdi] לי ת'מכנסיים.
- ליאור, 2:4: רוצה לשבת, תרימי את הרגליים.
- סיון, 3:0: לא לא, אתה אל תשים כאן את אלה, תשים את הפטרייה יותר בעומק.
- סיון, 3:4: הזאב ביער. תיזהר שלא יטרוף אותך.

ברצפי דיבור כדלעיל מפגינות הילדות כבר בגיל שנתיים את היכולת האנושית הייחודית של "יצירתיות גנרטיבית" – היכולת לייצר אין-ספור מבעים ומשפטים שמעולם לא שמעו, ואולי מעולם לא נאמרו בפי מי מקהיליית דוברי העברית בכלל. ועוד, עם הגיל הילדים לא רק מחברים פסוקית (clause) לפסוקית, הם גם מקשרים את הפסוקיות זו לזו באמצעות מיליות קישור כמו "ו-" או "ש-" (Dromi & Berman, 1986).

בשלב חשוב נוסף בהתפתחות ילדים בגיל טרום-בית-ספר מצרפים פסוקיות בשיח (discourse) רציף, כמודגם בקטעים ב-(4) מפי ילדות שהתבקשו לספר סיפור על מריבה (הסימן [ מסמן סוף פסוקית כיחידה תחבירית-סמנטית בסיסית).

◀ המילה אור תשמש למנורה מסוימת בלבד. עם זאת ברור לכול כי רצפי צלילים כאלה משקפים "שפה". ברור הרבה פחות כיצד ילדים פורצים דרך זו אל עולם התקשורת האנושית, ובכך מגלים את היכולת הייחודית לרכוש שפה, האופיינית לכל בני האנוש, ולהם בלבד (Pinker, 1994; Suddendorf, 2013).

הדוגמאות ב-(1) לקוחות מתצפיות בילדים הרוכשים עברית כשפת אם, אולם הן מייצגות נאמנה תופעות מקבילות בשפות אחרות (Clark, 1993). יכולת זו משותפת לכל הילדים באשר הם, כל עוד הם (א) חשופים לדיבור אנושי בסביבתם המידית, ו(ב) אינם סובלים ממוגבלות (כגון חירשות או לקות מנטלית), המגבילה את יכולתם להפיק ידע הולם מהתשומה (input) הלשונית המופנית אליהם. ואמנם, יכולת זו אינה מובנת מאליה, שהרי כדי ליצור תקשורת ולהשיג את מבוקשו די לילד למשל שימשוך לאמו בחולצה, יגרור אותה למטבח ויצביע על קופסת העוגיות שהוא אוהב. במקום זאת ילדים עוברים תהליך הדרגתי, המוביל לניסוח מפורש של כל שברצונם להביע ולומר. כך לדוגמה בבקשו עוגייה, יעבור הפעוט כמה דרגות, כב-(2).

(2) המעבר להבעה ודבליית אוטונומית

- אזה [eze] הדאיקטי-מצביע – מלווה במחוה של הצבעה
- גייה [giya] – רצף צלילי דמוי מילה לציין מילת היעד עוגייה
- נילי גייה [nili giya] – צירופן יחד של שתיים-שלוש "מילים"

לקראת אמצע שנת החיים השנייה שימושם של הילדים במילים נהיה קונוונציונלי יותר ואינו מלווה במחוות כמו הצבעה, ובהמשך יתחילו לחבר שתי מילים או יותר ברצף אינטונציוני אחד. בשלב מתקדם יותר יעברו לבניית יחידות תלויות-מבנה (structure-dependent) תוך שימוש בדקדוק

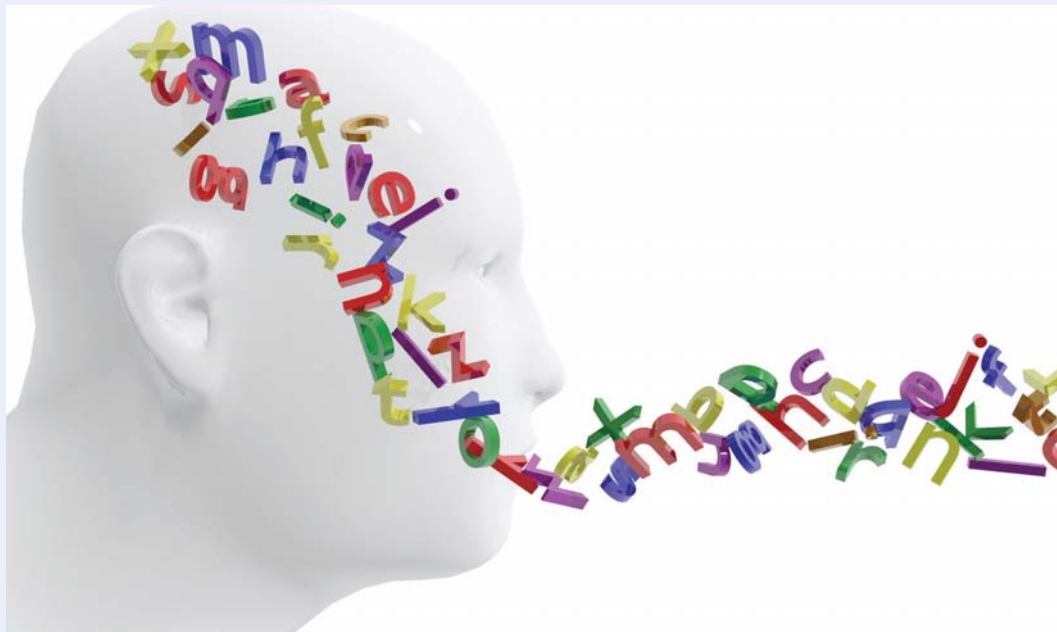
מנטלית) המגבילה את יכולתם להפיק ידע הולם מן התשומה (input) הלשונית המופנית אליהם. שלבי ההתפתחות שצוינו לעיל אינם ייחודיים לרכישת העברית כשפת אם אלא משותפים לכל השפות. אדרבה, מבחינת הרך הנולד אין שפה קשה יותר או קשה פחות. ממחקרים שהשוו בין ילדים דוברי שפות שונות התברר כי הפעוטות מתמודדים עם האתגר של רכישת עברית או אנגלית, טורקית או ספרדית, סרבית או סינית באותה הצלחה (Slobin, 1982; 1997). ראיות לטיעון זה עלו במחקר שנערך במקביל בארץ ובארצות אחרות בקרב ילדים ובוגרים דוברי שפות שונות (Berman & Slobin, 1994). מכולם ביקשנו לספר סיפור על פי אותו ספרון תמונות ללא מילים המתאר הרפתקאותיהם של ילד וכלבו בחיפושם אחרי צפרדעם שברחה. נמצא שהנבדקים הצעירים ביותר, בני 3–4 שנים, תיארו את התמונות לפי המבנה הדקדוקי-תחבירי הייחודי של שפת אמם: אנגלית, עברית, ספרדית, טורקית וכו', ובכך מאוששת כביכול הטענה, אליבא דאסכולת הבלשן נעם חומסקי, שרכישת שפה היא תהליך קצר ומהיר. ◀

(4) קטעים מתוך סיפורי מריבה

- א. אורית, 5:2: פעם אחת ביום הולדת של ילד אחד מהגן רבתי עם חברה שלי כי היא לא רצתה לשתף אותי במשחק חד, שתיים, שלוש]  
 ב. מיכל, 5:4: אני תמיד רבה עם אחי (כ)שבליה הוא מפחיד אותי]  
 ואומר לי] שיש לנו בחדר מפלצת]

הדוגמאות ב־(4) משקפות לא רק מעבר לבניית רצפים מעבר לגבולות המשפט הבודד אלא גם את היכולת לייצר שיח אוטונומי – תחילה בסוגת הסיפור האישי, ובהמשך בסוגות שיח נוספות (Berman, 2008).

המסלול ההתפתחותי ממלמולי הברות דרך מילים בודדות ועד להרכבת משפטים וסיפורים משותף לכל הילדים באשר הם, בתנאי כאמור שהם (א) חשופים לדיבור אנושי בסביבתם המידית ו־(ב) אינם סובלים מלקות (כגון חירשות או מוגבלות





הידע הלשוני הספציפי שעל הילדים להפנים בכל שלב התפתחותי שונה אפוא משפה לשפה, אולם המסלול ההתפתחותי שסורטט לעיל משותף לכולן.

## גישות שונות, הסברים שונים

מערך התפתחותי זה מקובל על כל החוקרים, אולם הם נחלקים בשאלה מה מניע את התהליך וכיצד מסבירים אותו. אציין כאן בקווים כלליים שלוש גישות עיקריות לנושא, השואבות את השראתן מגדולי ההוגים בבלשנות, בפסיכולוגיה ובפילוסופיה של העת החדשה. הבולטים שבהם הם נעם חומסקי (1928), הבלשן האמריקאי הנודע, אבי המודל הגנרטיבי של דקדוק אוניברסלי, לב ויגוצקי (1896–1934), הפסיכולוג הרוסי, הוגה הרעיון של למידה חברתית-תרבותית, וז'אן פיאז'ה (1896–1980), האפיסטמולוג השווייצרי, מייסד תאוריית השלבים בהתפתחות הקוגניטיבית של הפרט.

בקצה האחד מצויים אנשי אסכולת הדקדוק הגנרטיבי-הפורמלי מבית מדרשו של חומסקי, המדגישים את המבנה הלשוני ומניחים שלילד מנגנון מולד של דקדוק אוניברסלי (בראש ובראשונה של התחביר). לדידם, מנגנון זה מורכב מעקרונות ומאילוץ פורמליים המשותפים לכל השפות והוא שמאפשר לילדים לעבור מהר וביעילות לידע שלם של שפתם, ובכך לממש את הגניוס הייחודי של האדם, שהרי מותר האדם מן הבהמה (Pinker, 1994).

בקצה השני, הדוגלים בגישה פרגמטית-חברתית מייחסים תפקיד מרכזי לתשומה הלשונית מהסביבה שבה הילד גדל כגורם התומך ישירות ברכישת השפה. לדידם, למידת שפה היא פן מרכזי בתהליכי סוציאליזציה כלליים, וההתנהגות הלשונית באה לשרת בראש ובראשונה תפקידי תקשורת בין-אישיים (Ninio & Snow, 1996).

בניסיון למזג את הקצוות, אנשי הפסיכולוגיה הקוגניטיבית והתפתחותית מדגישים את תצורת הידע (knowledge construction) אצל הילד. רכישת שפה

לצד זאת מחקרנו הראה כי ילדים בני 9–10 הפיקו סיפורים שנבדלו במובהק הן מאלה של אחיהם בגיל טרום-בית-ספר והן מאלה של המבוגרים. ההבדלים ניכרו לא רק בתוכן ובמבנה של סיפוריהם אלא גם בצורות הדקדוקיות, במבני הלשון ובמגוון הלכסיקלי שהשתמשו בהם. ממצאים אלה הביאו למסקנה כי רכישת שפת האם איננה מתמצה בשליטה במבנה המשפט הפשוט ובדקדוק אלא היא תהליך התפתחותי ממושך, עד להשגת שליטה בשימוש הנאות והמיומן בה למטרות תקשורתיות שונות. עוד עולה בבירור ממחקרנו כי תהליך רכישת השפה מושפע בעת ובעונה אחת הן מגורמי ההתפתחות הקוגניטיבית-חברתית הכללית והן מגורמים הנובעים מאופייה המיוחד של כל שפה ושפה.

ברור כי תוכן המשימה שונה משפה אחת לרעותה, ומהותה תלויה בשפה המסוימת שאליה חשוף הילד מינקותו. את השפעת הטיפולוגיה של שפת היעד ניתן להדגים במטלה של ילדים בעברית לעומת בני גילם במטלה באנגלית. פעוטות רוכשי-עברית בגיל שנתיים עד שלוש יתחבטו ברכישת המורפולוגיה, קרי הנטייות המשונות את צורת המילה כדי להביע קטגוריות דקדוקיות של זמן ושל התאם במין, במספר ובגוף וכו', כבצורות המסומנות ב-(א5) להלן. באנגלית יתמודדו הפעוטות באותו שלב התפתחותי עם בעיות תחביריות באשר למיקומם ולצורתם של פועלי עזר (דוגמת do, be, have, will) לשם הרכבת משפטי שאלה ושליטה, כב-(ב5).

(5) מוקדי התמודדות בעברית לעומת אנגלית

- א. אני לא אקח את החרוזים הירוקים. למה לקחת קובייה ירוקה?
- ב. I won't take the green beads. Why did you take a green block?



(6) שיטות מחקר הנהוגות בחקר רכישת שפה

- מערכים ניסויים – מטלות מובנות הבודקות הבנה, הפקה ושיפוט של מבנים דקדוקיים ופריטים לקסיקליים נבחרים.
- מדגמי שפה – מדיבורם החופשי של ילדים באינטראקציה עם מבוגרים, משני סוגים: מחקרים ארוכי טווח (longitudinal), הבוחנים תהליכים התפתחותיים לאורך זמן, ומחקרי רוחב. למדידת (cross-sectional) ידיעותיהם והישגיהם של ילדים בשכבות גיל שונות.
- הפקת טקסטים – נרטיביים, תיאוריים ועיוניים – לבדיקת דרכי ההבעה בשיח הרציף ולהערכת יכולת ההבעה בכתב כבעל פה בגיל בית הספר.

להדגמת סוגי הממצאים העולים ממחקרים בשטח אביא נתונים מתחום בנייני הפועל בעברית (דוגמת ◀

נעזרת במנגנוני למידה ובכישורים קוגניטיביים כלליים (כמו חיקוי, pattern detection וקטגוריזציה), המיושמים בתשומה הלשונית באמצעות כישורים ייחודיים (domain-specific) לשפה. על פי גישה זו, התפתחות הידע הלשוני מתרחשת תוך אינטראקציה הן עם סביבתו של הילד והן עם תכונות הטיפולוגיה הייחודית של שפת אמו, שלהן הילד רגיש כבר למן הגיל הרך (Karmiloff-Smith, 1992; Slobin, 1997). בתפיסתם את הילד כמשתתף אקטיבי בתהליך רכישת הידע הלשוני והתפתחותו שואפים הנוקטים גישה קונסטרוקטיביסטית לגשר על פני הדיכוטומיה Nature / Nurture, ידע מולד מול התנהגות נלמדת (Tomasello & Slobin, 2005). בכך מבקשים גם לקשר בין צורות הלשון ותכונותיה המבניות הצרופות, שאותן מדגישה הגישה החומסקיאנית, לבין השימוש בלשון ככלי תקשורת, הנמצא במרכז הגישה הפרגמטיסטית-חברתית. מחקריי שלי שאובים, רעיונית-עקרונית ומתודולוגית-יישומית, בעיקר מגישה שלישית זו.

**עדויות מן השטח**

כדי לעמוד על הידע הלשוני של ילדים בני גילים שונים ודוברי שפות שונות מסתמכים החוקרים על ראיות משלושה מקורות עיקריים:

ילדות אלו יודעות לבנות משפט כהלכה, להשתמש באמצעים דקדוקיים לציון נושא תחבירי לעומת מושא ולהתאים את צורת הפועל לקטגוריות דקדוקיות (יאכלו ברבים, זוזי בציווי, נופלת בנקבה, ללבוש בצורת שם הפועל). אולם הן אינן מחליפות את ערך הבניין כדי לציין את המעבר ממשפט בעל פועל עומד למשפט בעל פועל יוצא, כלומר את ההבדל בין פעולה שמישהו עושה בעצמו (לעבור, לאכול) לבין פעולה שנגרמת בידי מישהו או משהו אחר (להעביר, להאכיל). בכך ילדות אלו, כמו רוכשי עברית אחרים בשלב התפתחותי זה, דומות לבני גילם דוברי אנגלית או הולנדית, שבהן שינוי בטרנזיטיביות אינו מחייב שינוי בצורת הפועל.

בסביבות גיל 3-4 הילדים כבר מחליפים את ערך בניין הפועל לפי מבנה המשפט שבו הוא מופיע, אולם לא תמיד על פי המקובל בשפה, כמודגם ב-(8) וב-(9).

(8) שלב ב - חילופי בניינים "שגויים" לציון שינוי בהקשר התחבירי-סמנטי

- א) 1. אורי, 3:7: הנה הבלון נירם (~ מתרומם)
2. מיטל, 3:10: המוצץ התאבד לי (~ נאבד)
- ב) 3. ארז, 4:8: זה מקטן את הבגדים (~ מקטין)
4. אורי, 5:6: יש לי משהו שישמיח אותך (~ ישמח)
- ג) 5. ניר, 3:7: אימא, האורז כבר בשול (~ מבושל)
6. יעל, 4:6: אני מאוד מעולבת ממך (~ נעלבתי)
7. שי, 4:10: הרגליים שלי יהיו מוקפות מקור (~ קפואות)

◀ **ישב~הושיב, לבש~הלביש~התלבש**). למערכת זו עניין טיפולוגי ייחודי, כאופייני לשפות השמיות, ומבחינת הידע הלשוני, בנייני הפועל מתייחדים בשקפם בריזמנית את צורת הפועל בלקסיקון, את תוכנה הסמנטי ואת מעמדה התחבירי במשפט. הדוגמאות המובאות להלן להצגת מסלול ההתפתחות של השימוש בבנייני הפועל לקוחות מן המקורות האלה: (א) נתונים ממערכים אקספרימנטליים מובנים לבדיקת התפתחות מערכת הפועל בעברית; (ב) תיעוד דיבורם החופשי של ילדים במחקרי אורך במעבדת המחקר שלי (מדגם חלקי נמצא בארכיון הבין-לאומי של שפת ילדים CHILDES) ודיווחי הורים ומחנכים (ג) סיפורים וטקסטים עיוניים שהפיקו ילדים ומבוגרים (Berman, 1993a, b; 1994, 2004, 2008; Berman & Slobin, 1994).

תחילה, בסביבת גיל שנתיים עד שלוש, רווחת התופעה המודגמת ב-(3) לעיל מפי ליאור בת ה-2:2 באמרה: "אימא, תרדי [tirdi] לי ת'מכנסיים" ובדוגמאות נוספות ב-(7):

א) שלב א - אין חילופי בניינים לשורש פועלי אחד

- א. סמדר, 2:3: מרים עוברת את כל הדפים (~ מעבירה)
- ב. קרן, 2:5: אבל מתי כבר יאכלו אותי (~ יאכילו)
- שלי, 2:7: ראיתי את הצעירים שלי לאבא (~ הראיתי)
- רונה, 2:8: אימא, זוזי לי את הכיסא (~ תזיזי)
- הגר, 2:9: אבל ככה את נופלת אותי (~ מפילה)
- אביטל, 2:11: ככה את יכולה ללבוש את הנעליים לברבי (~ להלביש)

קיימים בשפתם, ובכך נותנים ביטוי מילוני מקורי לתכנים סמנטיים כגון פעולה, גרימה או מצב סופי. בהמשך, תוך שימוש נרחב יותר בבניינים נפעל והתפעל, שני הבניינים הרווחים פחות, והמשמשים בעיקר לפעלים עומדים, מביעים הדוברים מעבר מעמדת מבצע הפעולה לעמדת מקבל הפעולה או החווה אותה. כך, כמודגם ב־(10), מבוגרים עוברים בקלות מבניין לבניין באותו שורש עיצורי, כבתיאור סצנות מספרון התמונות שהוזכר לעיל.

(10) הידע הבשל - שימוש בחילופי בניינים להבעת נקודת מבט

- שורש ת-ק-ע: ראשו של הכלב נתקע בכד שממנו ברחו הצפרדע ונשאר תקוע שם עד ש...
- שורש ג-ל-י: הם קיוו לגלות סוף־סוף את צפרדעם האבודה אבל תחת זאת נתגלתה להם משפחה שלמה של צפרדעים ...

אצל הדובר הבוגר, המיומן, משמשים חילופי הבניינים בפונקצייה פרגמטית־דיסקורסיבית להבעת פרספקטיבות שונות על מצב עניינים נתון, יכולת הדורשת גמישות לשונית וקוגניטיבית כאחד.

### דברי סיכום

לסיום נחזור לגישות השונות שהוצגו לעיל. לטענתי, תהליך רכישת השפה והתפתחותה הוא כה מורכב ורב־צדדי, שאי אפשר להסבירו באמצעות מנגנון בסיסי אחד. יוצא אפוא כי במידה מסוימת "כל הגישות צודקות".  
להמחשת טיעון זה נעיינן שוב בדוגמאות מדיבורן של הילדות בנות השנתיים שהובאו ב־(3) וב־(7) לעיל - תרדי במקום תורדי, עוברת במקום מעבירה, יאכלו במקום יאכילו וכיוצ"ב. את

בשלב זה הילדים כבר ערים לצורך לשנות את צורת הפועל לפי הקשרו התחבירי של פועל עומד כב־(א8) או יוצא כב־(ב8), אולם לא תמיד הם משתמשים בבניין המקובל בשפת הסביבה. מהדוגמאות ב־(ג8) אנו למדים כי הילדים כבר מבינים היטב את המושג של מצב סופי־תוצאתי הנגרם מפעולות כגון לבשל, להעליב או להקפיא, והם גם יודעים שבעברית מביעים זאת באמצעות צורות המסומנות בתנועה u (מסימני הצורות הסבילות בעברית). בכך הילדים מגלים רגישות עצומה לאופייה הייחודי של העברית גם אם עדיין אינם שולטים במוסכמות הלקסיקליות במלואן. הצורות המסומנות אמנם "שגויות" מבחינת המקובל בעברית בת זמננו, אולם הן מעידות על ידע תחבירי וסמנטי עשיר, מורכב ומופשט. ידע דומה באידי ביטוי גם בשימושים המודגמים וב־(9).

(9) שלב ב (המשך) - מילוי פערים בלקסיקון

1. שחר, 3:7: ככה את מקרמת לי את הידיים (= מורחת בקרם)
2. אביטל, 4:1: תיראי איך אני מחללת (= נוסעת בחללית)
3. ניר, 4:5: אני מחריק את הכסא (= עושה שיחרוק)
4. שלי, 4:6: כמעט הצללת אותי באמבטיה (= גרמת לי לצלול)
5. תמר, 5:2: התה שלי כבר מלומן? (= שמת בו לימון)
6. שי, 3:5: הנה, יש לי אצבעות חנוכות (= כמו חנוכיה)

בשלב הביניים שבין מצב של אי־ידיעת מערך בניין הפועל וחוסר התחשבות בו כגורם בשפתם (כב־7 לעיל) לבין השליטה בידע הבשל, ילדים מפגינים פן נוסף של יכולתם היצירתית: הם משתמשים במערכת הבניינים כדי להמציא פעלים אפשריים אך שאינם

משאבי הידע הלשוני

- היכולת הגנטית של ילדים בני אנוש לרכוש כל שפה.
- האילוץ הטיפולוגי המקנה רגישות מוגברת לשפת אם מסוימת.
- רמזים מהתשומה הלשונית בצורת שפה המופנית לילד (CDS = Child Directed Speech).
- יכולת פרגמטית לקשר בין תשומה זו למתרחש בסביבה החוץ-לשונית.
- התפתחות חברתית-אפקטיבית המקדמת שימוש הולם בשפה לפונקציות תקשורתיות בהקשרי שיח שונים.
- התפתחות קוגניטיבית ומוחית המאפשרת לאחסן, לשלוף ולעבד בעת ובעונה אחת וביעילות מערכות מידע מורכבות.

בריבוי גורמים אלה, כבהסברים השונים המוצעים לעיל, משתקף אופיים המיוחד של מדעי הרוח והעיסוק המחקרי בהם. כשמדובר ברוחו של האדם, לא כל שכן בנפשו של ילד ובידע שעדיין אינו בשל ומיוצב, אין בהכרח דרך אחת מוחלטת להשיב על כל הסוגיות, ואין מנגנון אחיד הפותר את כל התעלומות. רכישת הידע הלשוני והתפתחותו מושתתות על מכלול גורמים מבניים, מנטליים ותקשורתיים הפועלים בזמנית. שאלת השאלות היא מה הקשר בין גורמים שונים אלה וכיצד הם משתלבים זה בזה במהלך ההתפתחות. על אף יותר מיובל שנות מחקר אינטנסיבי בתחום, אין תשובה חד-משמעית על סוגיה זו, ואולי לעולם לא תהיה. סוגיית הפלא שברכישת שפה נשאר אפופת מסתורין, ואולי בכך קסמה המיוחד להורה ולחוקר כאחד.

◀ אי-סימון ההבחנה בין פעולה עצמאית לפעולה נגרמת, סימון שהעברית מחייבת באמצעות שינוי בניין הפועל (במקרה זה מבניין קל להפעיל), אפשר לפרש בדרכים שונות:

הסברים לנטרול ההבחנה הצורנית - פועל עומד ~ פועל יוצא

- הסבר לשוני: בניין קל, המשמש פעוטות גם בהקשרים הדורשים צורת הפעיל, הוא היחיד משבעת בנייני הפועל בעברית המאפשר פעלים עומדים (כגון לשבת, לבכות, לישון) ופעלים יוצאים (כגון לשבור, לפתוח, לקחת) באותה מידה.
- הסבר סביבתי-סטטיסטי: בניין קל הוא השכיח ביותר בשימוש בשפה בכלל ובשפה המופנית לילדים בפרט.
- הסבר תקשורתי-פרגמטי: ילדים מתייחסים למצבים ולאירועים מנקודת מבט אחת בלבד, בלי להתחשב בנקודת מבטו של השומע-הנמען.
- הסבר עיבודי-קוגניטיבי: פעוטות אינם מסוגלים להחיל בעת ובעונה אחת מכלול של אופרציות משולבות כנדרש לשם חילופי בניינים: הבחנה תחבירית בין נושא המשפט למושא, סימון דקדוקי של קטגוריות התאם (מין, מספר וגוף) וכן שינוי לקסיקלי באמצעות חילופי בניינים.

בכל אחד מן ההסברים האלה יש לטעמי מן האמת. מסקנתי מהעיון בהם היא שעל מנת לרכוש ידע לשוני ולשלוט במערכות שפת האם - דוגמת בנייני הפועל בעברית - ילדים נעזרים בכל האמצעים העומדים לרשותם, כלהלן.

## מקורות

- Berman, R. A. (1993a). Marking of verb transitivity by Hebrew-speaking children. *Journal of Child Language*, 20, 641–669.
- Berman, R. A. (1993b). Developmental perspectives on transitivity: A confluence of cues. In Y. Levy (ed.), *Other Children, Other Languages: Issues in the Theory of Acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 189–241.
- Berman, R. A. (1994). Formal, lexical, and semantic factors in acquisition of Hebrew resultative participles. In S. Gahl, A. Dolbey, & C. Johnson (eds.), *Berkeley Linguistic Society*, No. 20, 82–92.
- Berman, R. A. (2004). Between emergence and mastery: The long developmental route of language acquisition. In *Language Development across Childhood and Adolescence*. Amsterdam: John Benjamins, 9–34.
- Berman, R. A. (2008). The psycholinguistics of developing text construction. *Journal of Child Language*, 35, 735–771.
- Berman, R. A. & Slobin, D. I. (1994). *Relating Events in Narrative: A Crosslinguistic Developmental Study*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clark, E. V. (1993). *The Lexicon in Acquisition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dromi, E. & Berman, R. A. (1986). Language-general and language-specific in developing syntax. *Journal of Child Language*, 14, 371–387.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- Ninio, A. & Snow, C. E. (1996). *Pragmatic Development*. Westview Press.
- Pinker, S. (1994). *The Language Instinct*. New York: Harper Modern Classics.
- Slobin, D. I. (1982). Universal and particular in the acquisition of language. In E. Wanner & L. R. Gleitman (Eds.), *Language Acquisition: The State of the Art*. Cambridge: Cambridge University Press, 128–172.
- Slobin, D. I. (1997). The origins of grammaticizable notions: Beyond the individual mind. In D. I. Slobin (ed.), *The Crosslinguistic Study of Language Acquisition: Vol. 5. Expanding the Contexts*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 265–323.
- Suddendorf, T. (2013). *The Gap: The Science of What Separates Us from Other Animals*. New York: Basic Books.
- Tomasello, M. & Slobin, D. I. (2005). *Beyond Nature-Nurture: Essays in Honor of Elizabeth Bates*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

תודתי נתונה לגב' שובל שדה על עזרתה בעריכת המאמר ולתלמידיי לשעבר ולעוזרי המחקר במעבדתי באוניברסיטת תל-אביב, שסייעו לי בהכנת החומר.

# ללמוד מן הטבע לרווחת האדם - מבטו של מהנדס



## מאת פרופסור־מחקר אמריטוס דניאל ויס

**ה** לימוד מן הטבע נעשה במישורים רבים, למשל שימוש ישיר בתופעות או בתהליכים, כגון פיתוח תרופות אנטיביוטיות בדרך של ניסוי, או טיוב צמחים ובעלי חיים בשיטות דמויות אבולוציה לפיתוח תכונות רצויות, כגון מתן כמות גדולה יותר של חלב או התפתחות פיזית מהירה יותר של בהמות. שלב מתקדם יותר של לימוד מהטבע נקרא ביומימטיקה – העתקת תופעות ומנגנונים מהטבע. אם ניקח את דוגמת הפרווה, הביומימטיקה מתבטאת בפיתוח פרוות מלאכותיות בעלות תכונות של שמירת חום הדומות לתכונות אלה – שמירת חום ומניעת זליגת חום – של הפרוות הטבעיות. השלב השלישי הוא הבנת הפתרון הטבעי לצורך מסוים ומציאת פתרון טוב יותר באמצעות ניתוח וזיקוק העקרונות של הצורך. אתן דוגמה מן התחום שלי – אווירונאוטיקה. העופות המסוגלים לעוף תוך כדי הפעלת כוחות הנעה לא מצאו דרך להפריד בין שני צרכים – שמירת הגוף באוויר מחד ויצירת כוחות הנעה שיביאו להתקדמות מאידך. לעומת זאת האדם הפריד את המנועים מהאלמנט המייצר עילוי – הכנפיים – ובכך אפשר שיפור של שניהם. במאמר זה אנסה לסקור תחום רחב של נושאים, בהדגשת העבודות של קבוצתי. בגלל הרקע שלי עיקר העבודות הללו התייחסו לתנועתם של בעלי

**צ**מחים ובעלי חיים התפתחו במשך מאות מיליוני שנה במעבדה המשוכללת והאכזרית ביותר – הסביבה האקולוגית של כדור הארץ. הם התפתחו בתנאים משתנים, בדרך כלל התפתחות הדרגתית המאפשרת הסתגלות ואופטימיזציה להשרדות ולשגשוג בתנאים הסביבתיים, ומדי זמן חל שינוי קיצוני פתאומי (כגון פגיעת אסטרואיד ענק) או מהיר במובן גאולוגי (סדרת התפרצויות געשיות גדולות). כל זה בסביבה תחרותית, שנוצרו בה סולמות אקולוגיים של השגת מזון והצורך בתזונה והתחמקות מסכנות. מתוך תהליך ההתפתחות האבולוציוני התפתחו חלקי גוף, צורות גוף ואופני התנהגות שהאדם למד להכירם, למד מהם ולמד לממש את התובנות שהשיג על סמך אלה. לימוד זה מן הטבע מלווה את האדם מימיו הראשונים – הוא הבין שחיות מתגברות על הקור באמצעות פרווה, ומכאן, הבין שכדאי אפוא ללבוש את פרוות החיה, שאמנם ניצודה לצורכי תזונה, אך מהר מאוד ניצודה במיוחד להשגת הפרווה; לאחר מכן כאשר צעד וטיפס בתנאים קשים על פני הקרקע וראה את הציפורים עושות דרכן בקלות, הוא התקנא בהן, וזו הייתה ראשיתה של ההנדסה האווירונאוטית... כיום אנו לומדים מן הטבע בתחומים רבים. אסקור אותם בקצרה ולאחר מכן אביא כמה דוגמאות ואתאר אותן בפירוט.



איור 1: זרע סמרה - הכנף האסימטרית גורמת לסחרור ומייצרת עילוי, המאט את נפילת הזירעון ומאפשר את הפצתו.

להנעת כלי טיס. העיקרון של יצירת כוח באמצעות סיבוב מהיר של להב נמצא בטבע בזרעי הסמרה (איור 1), שבשל מבנם האסימטרי הם מתחילים להסתחרר עם ניתוקם מהעץ. סחרור זה יוצר כוח עילוי, המאט את נפילתם ומאפשר לרוח זמן רב יותר כדי לשאתם הרחק מהעץ ההורה.

פעולתם של מנוע הסילון ושל הרקטה מושתתת על עיקרון אחר: הם משתמשים ישירות בחוק הפעולה והתגובה בכך שהם פולטים מסת אוויר (או מים) לכיוון אחד, דבר המספק תנע לגוף בכיוון הפוך. הראשונים שהשתמשו בשיטה זו (במים) הם חסרי חוליות ימיים, כגון התמנון והדינונונים, שברגיל מתקדמים באמצעות תנועות שחייה, אך בעת מצוקה הם פולטים סילון מים (או דיו) ובעזרתו מאיצים את התקדמותם. זו תנועה חד־פעמית או מחזורית, המדמה פעולת רקטה, אך סלפות (Salpa) מדמות ממש מנוע סילוני, באמצעות שאיפת מים מצד אחד, הוספת אנרגייה באמצעות לחיצה ופליטת המים במהירות גדולה יותר בצדן השני.

כאשר מתבוננים בעופות גדולים, בולט לעין שאברות קצה הכנף נפרדות ומאפשרות זרימת אוויר ביניהן. תופעה זו נותחה לפני כמה עשורים, והוכח שהיא מביאה ליעילות גדולה יותר של הכנפיים בעת דאייה ללא נפנוף – לזה דומה מצבם של כנפי מטוסים. ההסבר לכך הוא כדלקמן: העילוי על הכנף נוצר בזכות מבנה

חיים. מכיוון שבעלי חיים ימיים קיימים זמן רב יותר, התפתחו במים שיטות הנעה והתנהגות רבות, ואנו עסקנו בחלקן הקטן. משם עברנו לאוויר, ובתחום זה אתחיל כאן:

**כ**פי שנאמר קודם לכן, אחת הדוגמאות הבולטות ביותר ללימוד מן הטבע היא התעופה. כבר במיתולוגיה היוונית ובאגדות עמים ברחבי העולם סופר על ניסיונות לאפשר לאדם "לעוף כמו הציפורים". זו דוגמה מצוינת משני אספקטים שונים: הראשון הוא כמובן השלב הבסיסי של הבנה שתעופה של גופים כבדים מן האוויר היא אפשרית, והשני הוא הניסיון המתבקש לחקות את הטבע באמצעות הוספת כנפיים מלאכותיות לזרועות – שנחל כישלון חרוץ, ולמעשה עיכב את התפתחות התעופה במאות שנים, אם לא באלפי שנים. הוסבר שדדלוס מן המיתולוגיה היוונית נכשל בניסיונו לעוף כי השעווה שהדביקה את הכנפיים נמסה והוא איבד את הכנפיים, אך הסיבה האמתית היא גודל הכנפיים: כדי ליצור כוח עילוי מספיק להרים אדם צריך כנפיים גדולות מאוד בגלל כובד משקלו של האדם, אך יכולתם של שרירים וגידים אינה מספקת כדי לנפנף כנפיים בגודל כזה. בחישובים שנעשו בשנות השישים של המאה הקודמת הראו [1] שבגלל מגבלות אלה העופות הגדולים ביותר הם בעלי משקל של עד 15 ק"ג (אלבטרוס), והם זקוקים לעזרת הרוח להמראה. רק כאשר הבינו שניתן להפריד, כפי שנאמר קודם, את החלק המייצר עילוי (כנף) שאינו מנפנף מהחלק שייצור דחף (מנוע), יכלו האחים רייט ואחרים לעוף "כמעט כמו הציפורים".

אגב, הפתרון הראשון ליצירת דחף היה המדחף (פרופלור), שאינו קיים בצורה כזו בטבע היות שאין אפשרות בטבע להעביר חמצן ותזונה דרך מערכת ציר ומסב, כפי שדרוש למדחף. הסבר זה נכון למערכות מקרוסקופיות, אך בגדלים מולקולריים נמצאו "מכונות" שבהן קיים עקרון הסיבוב של ציר בתוך מסב. גם כאן יש דוגמאות טבעיות שהן מקבילות לאמצעי



לחיסכון באנרגייה. מבנה יהלום זה נוצל לאחרונה לתכנון חוות של טחנות רוח, ובזכותו עולה הנצילות הכוללת של החווה.

כל הדוגמאות שהזכרו עד עתה התייחסו לגופים גדולים יחסית (מידה אופיינית היא כמה סנטימטרים ומעלה ומהירות של כמה עשרות סנטימטרים לשנייה ועד למטוסי ג'מבו ומהירויות על-קוליות). בתנאים אלה כוחות האינרצייה גדולים בהרבה מכוחות החיכוך עקב צמיגות. כאשר מקטינים את גודל הגוף או מאטים את מהירות התנועה, משנים את היחס הזה, וכל תכונות הזרימה משתנות. כאשר מדובר לדוגמה בחרקים שאורכם הוא מילימטר או שניים ומהירותם כמה סנטימטרים לשנייה, כגון thrips (ראה איור 3א), מתברר שכוחות הצמיגות גדולים כל כך, שמבחינתם האוויר הוא בעל תכונות דומות לדבש. חרקים אלה "ניצלו" עובדה זו, והתפתחו אצלם כנפיים, שאינן רציפות אלא דמויות מסרק. הכנפיים הללו מצליחות לייצר כוחות כמעט שווים (יותר מ-90%) לכוחות בכנפיים זהות בגודלן ובמהירות הנפנוף, תוך חיסכון בעשרות אחוזים במשקל הכנף. תופעה דומה מנוצלת על ידי זרעי הסביון כדי לרחף זמן רב ולהשיג פיזור גדול. אנו ניצלנו תכונה זו כדי לחסוך במשקל של משטחי עילוי כאלה ברחפנים קטנים (אורך כללי חמישה מילימטרים – איור 3ב) שאינם זקוקים לאנרגייה לריחוף ממושך, המנוצלים כדי לאפשר לרחפנים לרחף זמן רב באוויר ולבצע משימות כמו למשל גילוי מזהמים באוויר: מורחים חומר מסוים על הרחפן, והחומר משנה צבעו כשהוא בא במגע עם מזהם. המשך הפיתוח הביא לשיפורים המאפשרים גם לגופים גדולים (קצת) יותר להשתמש בכנפי מסרק ולייצר מעופפים דמויי חרקים. הפרויקט הזה, הנמשך כמה שנים, היה ההשראה לבול שהפיק דואר ישראל לציון 100 שנה לייסוד הטכניון (איור 4).

**מ** כאן נעבור לנושאים הקשורים בים. בשנות השבעים התגלתה תופעה מדאיגה ביותר של דילול אוכלוסיות דולפינים. עם השתכללות שיטות הדיג הממוכנות בעזרת רשתות, במיוחד

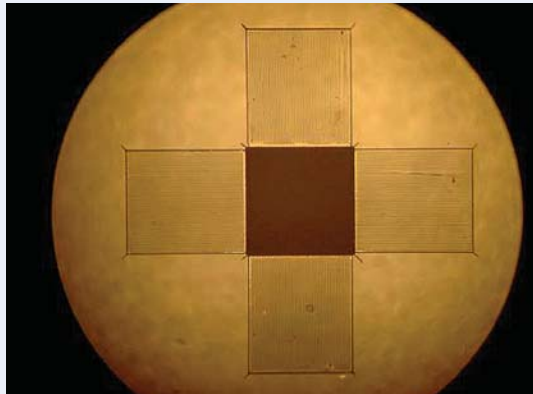


איור 2: מיסת מבנה של מטוסים לחיסכון באנרגייה

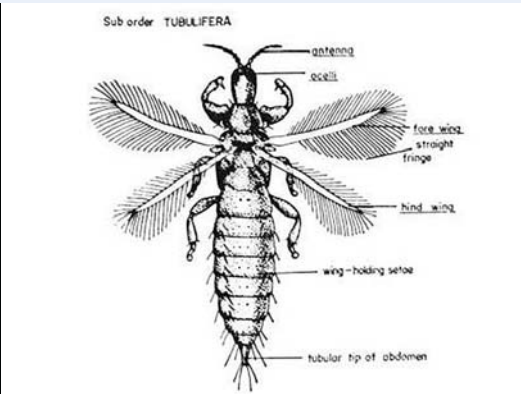
◀ חתך הכנף המביא לסירקולציה סביב החתך ולהפרש לחצים בין הצד התחתון של הכנף לצדה העליון. אך בקצה הכנף, הרחוק מהכתף, מתאפשר לאוויר לקצר את הדרך ולהגיע ישירות מסביב לקצה, ובכך לקלקל את העילוי באזור, ששטחו שווה בערך לרוחב הכנף בריבוע. כאשר העוף מפצל את אברותיו, כל אחת מהן היא כנף קטנה, וסך השטח ה"מקולקל" קטן. במטוסי נוסעים, שבהם הנצילות היא ערך עליון, אימצו את הפתרון הזה, וכיום במרבית המטוסים מתקינים גדרות קצה כנף, בעלות צורות שונות.

נסיים את הדיון, המקוצר מאוד, בתעופה של כלים גדולים בדוגמה אחרת שאותה אנו מנסים לחקות בימים אלה. מדובר בתעופת להקות עופות. הכול ודאי מכירים את תצורת ה-V שיוצרות להקות של עופות נודדים במעופן. כבר לפני כמאה שנה הובן שיש לתצורה זו יתרון אנרגטי, וחישובים הראו שניתן לחסוך עד כ-15% מהאנרגייה הדרושה לתעופה של כל פרט במהירות נתונה, והדבר נכון גם לטייסי טייסת אם יטוסו במבנה כזה. היישום אינו פשוט, היות שהמרחקים שעל פרטי המבנה לשמור מהווים סכנה בטיחותית. למרות זאת נעשו ניסויים (איור 2) שבהם הושגו רווחים אנרגטיים כאלה.

**ת** ופעם דומה מתגלה כאשר מתבוננים בעיון בלהקות דגים נודדות, המסתדרות במבנים דמויי יהלום כדי להיעזר בעקבות של שכניהם



איור 33: ננוג'לשן מטיטניום המרחף באוויר אטמוספרי בשל מבנה המסרק של הכנף - כאשר רוחב מוט מסרק הוא 5 מיקרון



איור 34: חרק בעל כנפיים דמויי מסרק - אורכו כ-1.5 מ"מ

מכאן נולדה שיטה, שהיא עדיין בשימוש היום, של הכנסת סירה מהירה למים לפני סגירת הרשתות (שהיקפיהן מגיעים למאות מטרים) שתבריח במהירות את הדולפינים כדי שיקפצו מעל הרשת. פתרון זה נראה מספק במשך זמן רב, אך בדיקות לאורך זמן של זני הדולפינים שנפגעו הראו שהאוכלוסיות אינן מתאוששות, והסיבה המשוערת היא אבדן גורים בעת המנוסה מהרשתות. צריך לזכור שגורי דולפינים יונקים במשך כמה חודשים והם נצמדים אל האם לתקופה של עד שלוש שנים.

לאור זה התחלנו במחקר שמטרתו להבין איך גורי דולפינים מצליחים לעקוב אחר הלהקה שלהם בעת נדידה רגילה, שגם היא נעשית במהירות שקשה לגור לעמוד בהן לאורך זמן. מתברר שכאשר גור נמצא בקרבת אמו, במיקום ספציפי, האם יכולה לגרור אותו על ידי סחיפתו בניצול אפקטים הידרודינמיים, ואשר ליילוד – הסחיפה יכולה לספק לו עד 90% מן האנרגייה הדרושה לתנועה במהירות הנדידה האופיינית לזן זה. אפקט הסחיפה קטן מאוד עם התרחקות הגור מן האם, וכך תזוזה של כמה עשרות סנטימטרים של מרכז הכובד של הגור מן הנקודה האופטימלית יכולה להקטין את אפקט הסחיפה הזה עד לרבע מערכו המרבי. כמובן, כאשר מבריחים את האם אל הרשת ומכריחים אותה לקפוץ מעליה, הסחיפה פוסקת, כי צפיפות האוויר, ◀

דיג דגי הטונה באוקיינוסים, התרבו מקרי ההרג של דולפינים. דולפינים, כמו שאר היונקים הימיים, הם נושמי אוויר, וכשהם נתפסים ברשתות הדייגים הם אינם מצליחים לנשום וטובעים. היו הערכות שקצב הקטילה יביא להיעלמות זנים מסוימים של דולפינים בתוך שנים ספורות, והוחל בחיפוש אחר דרכים להציל אותם מרשתות הדייגים. באותו זמן שהיתי בסן דיאגו, ואחד ממחקריי דן בתופעה שהתגלתה למראה שחייה מהירה של דולפינים – ממהירות מסוימת הם משנים את אופן התנועה ומתחילים בסדרת קפיצות בליסטיות מהירות. מחקרנו הראה שהקפיצות הן שיטה לחיסכון באנרגייה, שמאפשרת לדולפינים לנוע מהר יותר ולמשך זמן רב יותר בעת בריחה. ניתוח התופעה העלה שהשיחה באוויר בעת הקפיצה חוסכת את הכוח הדרוש לנוע במים, והחל ממהירות מסוימת האנרגייה הדרושה לזינוק אל מחוץ למים פחותה מן האנרגייה הדרושה לשחייה לאותו מרחק. התנהגות זו התגלתה לאחר מכן גם בפינגווינים, שגם הם נושמי אוויר, ולכן כמו הדולפינים גם הם חייבים להישאר קרוב לפני השטח. תופעת הקפיצות מתרחשת בעת שחייה מהירה, כי תצרוכת החמצן עולה עם המהירות בחזקה שלישית. התנהגות זו אינה קיימת אצל דגים כי הם בעת סכנה יכולים לצלול לעומק.

בשל שיקולים של הידרודינמיקה. במחקרנו התברר שהם שחיינים יעילים בזכות המבנה ה"קופסתי", המאפשר להם לשלוט בהתנגדות וביציבות תנועתם באמצעות השלת מערבולות מפינות הגוף הקופסתי. נזכור שכדי לשחות מרבית הדגים חייבים לנענע את גופם ואת סנפיר הזנב, ובכך להגדיל את התנגדות המים להתקדמותם. בדולפינים למשל יחס ההתנגדות בעת שחייה מהירה, שבה חלקי הגוף השונים נעים רוחבית, ביחס להתנגדות בעת גלישה כשהגוף ישר, הוא פי ארבעה, ובכרישים עד פי שלושה. הגדלת התנגדות זו נחסכת לקופסונונים בזכות המבנה שלהם, ומכאן יעילותם. לאחר פרסום התוצאות המפתיעות הללו בנתה חברת מרצדס את הדגם "קונספט" של מכונית ביומימטית הנראית כמו קופסונון (איור 6).

בשל היחס הגבוה שבין התנגדות המים בעת שחייה להתנגדות בגלישה ישרה, מינים רבים של דגים אינם שוחים במהירות קבועה אלא במחזוריות המתבטאת בהפעלת תאוצה למהירות גבוהה, וגלישה חזרה למהירות הראשונית. מתברר ממחקרנו שבדרך זו הדגים חוסכים עשרות אחוזים באנרגייה הדרושה לנוע למרחק מסוים.

גם ציפורים שונות משתמשות בתכונה זו, וניתן לראות דרורים למשל המתקדמים בנסיקות (קפיצות) ובגלישות ולא במהירות קבועה. במחקר שנעשה



איור 5: דג הקופסונון



איור 4: בול הטכניון, המדגים רחפן בעל עיקרון דומה לזה שבאיור 3

◀ הקטנה פי 800 מזו של המים, מקטינה את הכוח ביחס זה. לכן הגור, אם בכלל הצליח לקפוץ בתיאום מדויק, עלול לאבד את התמיכה של אמו, ועד שהאם תתאושש מן הטראומה של ההברחה, הגור עלול לאבד קשר אתה – ולמות. לאור תוצאותיו של מחקר זה שונו תהליכי ההברחה באופן שהגור יוכל לעקוב אחרי האם, ועתה מקווים שאוכלוסיות הדולפינים יתאוששו.

המחקר הזה הביא לידיע שיש בו תרומה גם לתחום התעופה. אמנם הכוח המועבר בין גופים קטן בשל רמת צפיפות האוויר הנמוכה, אך הוא גדל עם מהירות הטיסה בריבוע. מהירות הטיסה במטוסי סילון היא בערך פי 25-30 ממהירות תנועת הדולפינים, ולכן הכוחות המועברים שוב משמעותיים במובן זה שהם באותו סדר גודל כמו הכוחות הרגילים. כך, ניתן לתלות מטענים חיצוניים על כנפי מטוסים בתצורה שתמזער את ההתנגדות הנוספת.

מחקר אחר שהביא לתוצאות מפתיעות ולשימוש לא צפוי היה על שחיית קופסונונים (boxfish) (איור 5). משפחות דגים אלה הן בעלות צורות לא צפויים

הדוגמאות הידועות ביותר של תוכן ביומימטי היא ההסוואה. זיקית משנה צבעה לפי הרקע, חרקים שונים יוצרים דוגמאות מטעות על כנפיהם, וחיות מתחפשות לצמחים ומידמות להם בצבע ובצורה.

**T** וגמה מודרנית יותר היא הוולקרו - Velcro - משטח שעליו מבנה סבך של סיבים, הנתפסים בסיבים של מבנה שני. השימושים שלו רבים, למשל בנעליים במקום שרוכים. את רעיון הוולקרו הגה אזרח קנדי שטייל עם כלבו ארוך השער. בשעת הטיול נצמדו לשער של הכלב זרעי צמחים בעלי משטח מחוספס, והיה קשה להפרידם. מציפו הזרעים הללו צמח רעיון הוולקרו.

הארכיטקטורה אף היא ניזונה מדוגמאות טבעיות. למשל: שיטות האורור של קני חיות וחרקים, והבולטים שבהם הטרימיטים, שלמרות גודלם - פחות מסנטימטר - בונים מגדלים וחופרים מחילות שגודלם מטרים אחדים, מהוות בסיס לתכנון מערכות אורור טבעיות של מבנים. עדיין אין מבנים שמחקים ממש מגדלי טרימיטים, אך לפחות בניין אחד - מרכז איסטגייט בזימבבואה - מתיימר להיות מבוסס על עקרונות אלה.

מבנה פשוט וידוע הרבה יותר הוא חלת הדבש, המשמשת דוגמה למבנים קלים, המורכבים משכבות חמר דקות בצורת משושה, המסוגלות לשאת עומסים כבדים ומשמשות לחיסכון במשקל המבנה.

**A** בל התרומה הגדולה ביותר של הטבע לאנושות, המתגלה בקצב גדל והולך, היא התרופות. למן גילוי הפניצילין וחומרים אנטיביוטיים אחרים היה הטבע המקור וההשראה לתרופות. באמצעים של חישובים ברמה מולקולרית אנו מחקים כיום את הטבע בתרופות.

לסיכום, הלימוד מן ה"מעבדה" של הטבע הוא רק בתחילת הדרך, ונכונו לחוקרים, המוכנים להתבונן בתופעות ובהתנהגויות השונות המתגלות בכל עבר ולנתחן, הפתעות והישגים עצומים. ■



איור 6: מכונית הקונספט של מר צדס מבוססת על צורת הקופסונון.

במעבדתנו לאחרונה נצפו חסכוניות אנרגטיים של עד 20% בטיסה, במהירויות עבר-קוליות מחזוריות כאלה. אמנם אין לצפות שמטוסי נוסעים יטוסו כך כי טיסה כזאת תסב לנוסעים אי-נוחות רבה מדי, אך בכלים לא מאוישים הדבר אפשרי.

המחקרים של קבוצתי התרכזו בעיקר בתנועתיות של בעלי חיים וצמחים כדי ללמוד על שכלולים הניתנים לניצול טכנולוגי, או להביא להקטנת השפעותינו המזיקות על הסביבה. לכן מרבית המאמר הזה דן בסוג זה של תופעות.

יש לזכור שניתן ללמוד מן הטבע בתחומים שונים לגמרי מאלה, ואכן יש הצלחות מרובות. אחת



איור 7: מבנה קל וחזק מבוסס על מילוי בצורת חלת דבש

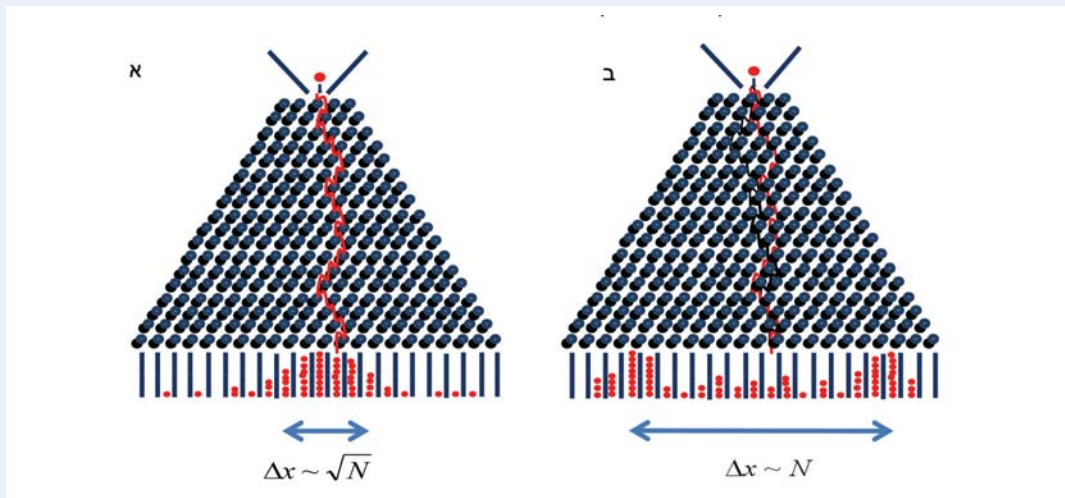
# על הליכה קוונטית של פוטונים



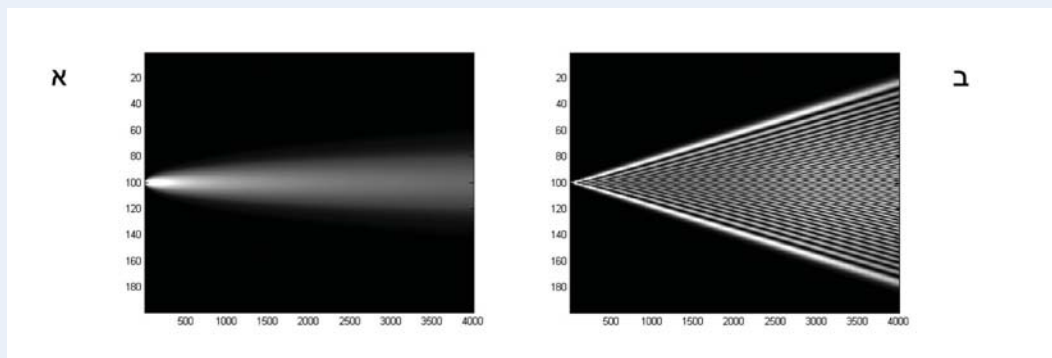
## מאת פרופ' ירון זילברברג

שבבסיסה של תורת ההסתברות: כאשר מפילים כדורים רבים, הם מצטברים בערמה שמרכזה מתחת לנקודת ההתחלה, צורתה כעקומת פעמון (התפלגות נורמלית), ורוחבה פרופורציוני לשורש מספר ההתנגשויות. תהליכים אקראיים כאלה מתארים למשל תנועה של מולקולת גז או נזל המתנגשת ומוסטת באקראי, ואכן כידוע גודלו של כתם העובר דיפוזיה מתרחב באופן מתכונתי לשורש הזמן.

אשר ביקש סר פרנסיס גלטון להדגים לחבריו את עקרונות תורת ההסתברות שאותה עזר לפתח, הוא בנה את המתקן המתואר באיור 1א. במתקן זה, שנודע כיום כ"לוח גלטון", כדורים נופלים מטה תוך כדי התנגשות במוטות שגורמים להם לסטיות אקראיות, ימינה או שמאלה. התהליך שכל כדור עובר ידוע כהליכה אקראית או "הליכת שיכור" שפוסע ימינה ושמאלה באקראי. המתקן מדגים את "משפט הגבול המרכזי"



איור 1: (א) חלקיק קלאסי הנופל בלוח גלטון מוסט על ידי המוטות ימינה ושמאלה באקראי. הסיכוי להגיע לנקודת סיום מסוימת מתקבל מסך כל המסלולים המגיעים אליה (למשל המסלול האדום), ולאחר מספר גדול של צעדים ההתפלגות מתוארת בעקומת פעמון (התפלגות נורמלית); (ב) חלקיק קוונטי דוגם בעת ובעונה אחת את כל המסלולים האפשריים (למשל האדום והשחור) שמתאבכים ביניהם. ההתפלגות שנוצרת מההתאבכות מרוכזת בקצוות ומתרחבת לינארית עם מספר הצעדים.



איור 2: הילוך אקראי של חלקיקים קלאסיים אחראי למשל לתהליכי דיפוזיה, כמתואר באיור למעלה: חלקיקים הנמצאים תחילה בנקודה אחת יתרחקו עם הזמן, ועקומת הפעמון המתארת את מיקומם תגדל עם שורש הזמן (או מספר ההתנגשויות). הילוך קוונטי (מימין) מנבא התרחבות לינארית בזמן, כאשר פונקציית ההסתברות מרוכזת בשתי האונות הקיצוניות, הנקראות גם האונות הבליסטיות.

שיכול לדלג מאטום לאטום בגביש, מבצע הילוך קוונטי שכזה. אלקטרון שידוע לנו שהיה ברגע נתון באטום מסוים, אחרי זמן מה הוא יתקדם במעברים אקראיים לאטומים אחרים, ופונקציית ההסתברות למצוא אותו במקום מסוים תתרחב עם הזמן כמתואר ◀



**סר פרנסיס גלטון**  
(1822-1911) היה מדען אנגלי, בן דודו של צ'רלס דרווין, שתרם למספר לא קטן של מדעים ומכניקות. הוא נשכח במידה רבה, אולי מפני שיצירתו העיקרית - מדע היוגניקה, או התורשה של האינטליגנציה - התפתח בהמשך לתורה גזענית שנוצלה בין השאר על ידי הנאצים.

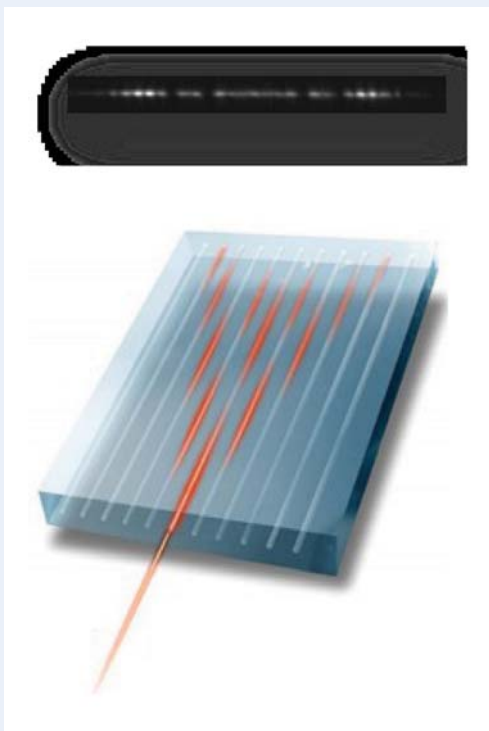
אולם גלטון תרם רבות לנושאים רבים אחרים ובמיוחד לפיתוחה של ההסתברות כתורה מדעית. הוא שעמד על חשיבותן של הקורלציות בין משתנים ועל חשיבותה של ההתפלגות הנורמלית (ולשם כך בנה את המתקן הידוע). הוא נחשב גם לאבי תורת האקלים, למציא השאלון הפסיכולוגי ולמי שהכניס לשימוש את מביעת האצבעות כאמצעי זיהוי.

מה היה קורה אילו היינו מקטינים את לוח גלטון הקטנה קיצונית, והכדור הנופל היה חלקיק המתנהג לפי חוקי תורת הקוונטים? מתברר שההתפלגות שהיו יוצרים חלקיקים קוונטיים הנופלים בלוח גלטון כזה הייתה שונה בהרבה מההתפלגות הקלאסית: חלקיק "קלאסי" מגיע מנקודת ההתחלה לנקודת הסיום במסלול מוגדר, ואילו החלקיק הקוונטי יכול להגיע בדרכים רבות, ואין לדעת באיזה מסלול עבר (כל עוד איננו מודדים זאת ואיננו מנסים לזהות את המסלול). יתרה מזו, תורת הקוונטים טוענת שלמעשה החלקיק עבר דרך כל המסלולים האפשריים בעת ובעונה אחת, וההסתברות להגיע לנקודת סיום מסוימת היא למעשה ההתאבכות של כל המסלולים האלה. כאמור, ההבדל הזה בין "הליכה קלאסית" ל"הליכה קוונטית" מביא לפונקציית התפלגות שונה מאוד מההתפלגות הקלאסית - היא רחבה הרבה יותר, רוחבה גדל פרופורציונית למספר הצעדים (ולא לשורש שלו), והיא מרוכזת בשתי אונות הנמצאות בקצות ההתפלגות ולא במרכזה (ראה איור ב1).

הליכה אקראית של חלקיקים קוונטיים נשמעת אולי כפרי רוחו של תאורטיקן יצירתי, אבל לאמתו של דבר היא מתארת כמה מהתהליכים הבסיסיים בטבע, ולמשל את המוליכות של מתכות: אלקטרון חופשי,

מיקרומטרים), תמונת הקרניים כבר אינה תקפה, ויש לפתור את משוואות הגלים כדי לנתח את שדה האור המתקדם. נמצא שכאשר ממדי הליבה קטנים מספיק, יש התפלגות אחת ויחידה של משרעת השדה האלקטרומגנטי שמתקדם לאורכה. התפלגות זאת קבועה, ורק המופע (פאזה) של הגל משתנה תוך כדי התקדמות. זהו האטום שלנו – אור שכלוא בממד הרוחבי, אך יכול להתקדם לאורך הליבה.

נתאר לעצמנו עכשיו שבמקום ליבה אחת המוליכה את האור, שתי ליבות זהות ומקבילות מוליכות אותו. אם הן רחוקות זו מזו, האור מתקדם בכל אחת ללא קשר לחברתה. אבל כאשר הליבות קרובות מספיק זו לזו, אור המתקדם לאורך אחת מהן יזלוג בהדרגה לליבה השנייה, עד שכולו יימצא בה, ואז יחזור בהדרגה לראשונה, וחוזר חלילה. המעבר הזה מוכר היטב מהרבה תופעות פיזיקליות דומות – כך למשל עוברת



איור 3: מערך של ליבות שבהן מתקדם האור מדגים הילוך קוונטי של פוטונים. התצלום מראה את ההתפלגות האופיינית להילוך קוונטי, אף שצולם באור לייזר רגיל.

◀ באיור 2, והיא זהה להתפלגות שמנבא לוח גלטון הקוונטי. אמנם האיור מתאר את המצב הצפוי בשרשרת חד-ממדית של אטומים, אבל התהליך ניתן להכללה גם לשלושה ממדים. איש עוד לא ראה אלקטרון מבצע הליכה קוונטית כזאת, אף שהיא קיימת בבסיס ההבנה של התכונות החשמליות והאופטיות של חומרים מוצקים. היא מסבירה איך אלקטרונים יכולים לנוע למרחקים גדולים בגביש בזמן שחלקיקים קלאסיים, שהיו מתקדמים על ידי דיפוזיה, היו מוגבלים הרבה יותר בתנועתם. קשה למדוד את הדינמיקה של אלקטרון בודד, אבל ניתן לחקור את התהליכים האלה בעזרת חלקיקים קוונטיים אחרים, נוחים יותר למדידה ניסיונית. במאמר זה אסקור כמה מעבודותינו בהליכה קוונטית של פוטונים – החלקיקים הקוונטיים שמהם מורכב האור.

## אטומים לאור

כדי לבחון את ההליכה האקראית של פוטונים, יש למצוא תחילה את המקבילה האופטית לאטומים שביניהם האלקטרונים נעים. נרצה למקם את הפוטונים במרחב אך גם לאפשר להם לדלג מ"אטום" ל"אטום". אבל יש הבדל עקרוני בין אלקטרונים לפוטונים: בהיותם חסרי מסה, חייבים הפוטונים לנוע במהירות האור, ולא נוכל לכלוא אותם במקום אחד. הפתרון פשוט למדי: נכלא אותם רק בשני ממדים ונשאיר כיון אחד שלאורכו הם יתקדמו בחופשיות. ה"אטום" הבסיסי שלנו אפוא דומה למבנה הפשוט יחסית (והחשוב מאין כמוהו לטכנולוגיה המודרנית) של הסיב האופטי. סיב אופטי בצורתו האלמנטרית ביותר הוא גליל של זכוכית, שהאור המתקדם לאורכו כלוא בשל החזרה מלאה מדופנותיו. מאחר שהאור רגיש לאיכות המשטח שממנו הוא מוחזר, מוטב לכלוא את האזור שבו האור מולך – ליבת הסיב – במעטפת זכוכית אחרת, בעלת גורם שבירה נמוך יותר. כאשר ממדי הסיב מוקטנים וקוטר הליבה מתקרב לממדים של אורך הגל האופטי (כלומר כמה

שהם מתקדמים לאורך הליבות, ולכן אין צורך למדוד כלל את הזמן – אנחנו יודעים שזמנים שונים פירושם מקומות שונים לאורך הדגם. כל שעלינו לעשות הוא לשלוח אור לליבה אחת במישור הכניסה ולבדוק את ההתפלגות שלו לאחר שהתקדם כמה מילימטרים או סנטימטרים.

ואכן, התנהגותו של אור המתקדם ב"סריגים פוטוניים" דומה מאוד להתנהגותם של אלקטרונים בגבישים אטומיים, ולרבות מן התופעות שבבסיסה של תורת המצב המוצק, אך מעולם לא נצפו ישירות, שוחזרו ונמדדו במבנים הפוטוניים האנלוגיים. מובן שאין סיבה להגביל את המחקר למבנים מחזוריים דווקא, וכדי להדגים אפקטים רבים מיוצרים דגמים בעלי מבנה כנדרש. כך למשל ניתן ליצור ליבה אחת שונה מיתר הליבות ולמדוד את האפקט של פגם בגביש מסודר על התפשטות הגלים במערך. מחקרים אלה נעשו הן בעצמות אור "רגילות", שבהן כל פוטון נע ללא תלות בחבריו, וגם בעצמות גבוהות, שבהן האור משפיע על הדגם (דרך אפקטים "לא לינאריים"), שאז ניתן ללמוד על השפעתן של אינטראקציות על המהלך הקוונטי.

## ובכל זאת, פוטונים

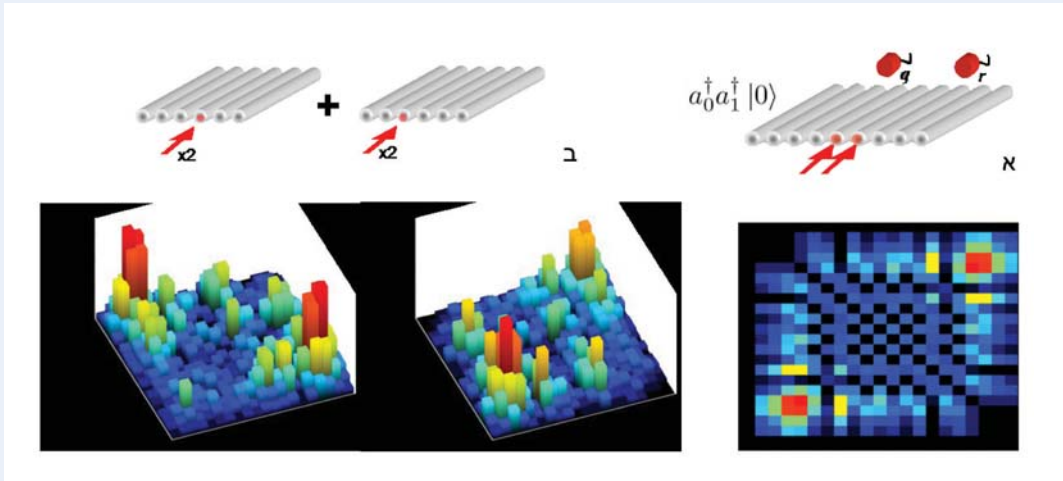
כאמור, כדי לקבל את פונקציית ההתפלגות של ההילוך הקוונטי אין צורך לעסוק בפוטונים בודדים – מדידות אלו נעשו באור לייזר רגיל, המכונה גם "אור קלאסי". וזאת משום שההתאבכות שמובילה לתבנית ההילוך הקוונטי נובעת מהתכונות הגליות של החלקיקים. ובכל זאת, מה באשר לחלקיקים עצמם? האם נוכל לצפות להתנהגות שונה כאשר האור אכן יהיה מורכב מפוטונים בודדים? תורת הקוונטים מנבאת שכאשר נשלח את האור כפוטונים יחידים, אכן נוכל לצפות לאפקטים לא קלאסיים, אבל רק אם נשאל לא לאן הגיעו הפוטונים אלא מה הקורלציות ביניהם. הדבר נובע מעוד אחת מהמוזרויות של תורת הקוונטים, שכופה סימטרייה בין שני חלקיקים זהים. לעומת ◀

אנרגייה בין מטוטלות מצומדות. אילו שלחנו פוטון בודד לליבה אחת, היינו מגלים שיש לו הסתברות מסוימת לדלג לליבה האחרת, ממש כמו אלקטרון בין שני אטומים.

הצעד הבא מתבקש – נניח לא רק שתי ליבות אלא מערך שלם של ליבות, בעיקרון אפילו אין-סופי, המוצבות ברווחים שווים כמתואר באיור 3. אם נכניס אור לליבה אחת במישור הכניסה של מערך כזה, הוא יזלוג לשכנים תוך כדי התקדמות, ומשם לשכנים הבאים, וכך התפלגות האור תמשיך ותתרחב לליבות רבות יותר ויותר. זהו תהליך המזכיר מאוד תהליך דיפרקציה, שבה אלומת אור צרה מתרחבת תוך כדי התקדמות, ולכן התבנית המתקבלת מכונה לפעמים "דיפרקציה דיסקרטית". מה שחשוב מבחינתנו הוא שהתבנית של הדיפרקציה הדיסקרטית משחזרת בדיוק את פונקציית ההתפלגות של הילוך קוונטי (איור 2), שכן בראייה קוונטית התפלגות העצמה של גל האור אינה אלא ההסתברות של כל פוטון להגיע לנקודה המסוימת. ואכן, כדי לצלם את התמונה באיור 3 לא היה צורך לשלוח אור חלש במיוחד – הפוטונים מבצעים את ההילוך הקוונטי כל אחד בפני עצמו ואינם מושפעים מנוכחות פוטונים אחרים, שכן שלא כמו האלקטרונים, להם אין מטען חשמלי, ולכן אין אינטראקציה ביניהם. תמונה זו, למעשה תצלום של פונקציית ההסתברות הקוונטית, מדגימה גם את היתרון בעבודה עם פוטונים – הממדים של המבנים האופטיים גדולים מספיק, וכיוון שמדובר באור, ניתן לצלם את פונקציית ההתפלגות ישירות. קל לראות בתצלום את נטייתם של הפוטונים להתרחק מהמרכז (שלשם הוזרק האור מלכתחילה) ולהצטבר בשתי האונות החיצוניות.

יתר על כן, התקדמותו של האור במערכת זו לאורך הליבות מקלה מאוד את הניסוי. לו רצינו לבצע ניסוי כזה באלקטרונים, היינו חייבים להציב אותם תחילה על אטום יחיד, ואז לחזור ולמדוד את המיקום שלהם בזמנים שונים. גם את הפוטונים אנחנו מודדים בזמנים שונים, אבל אנחנו גם מנצלים את העובדה





איור 4: א. מימין, פונקציית הקורלציה המחושבת כאשר שני פוטונים נשלחים דרך ליבות 0 ו-1. הצבעים מייצגים את ההסתברות למדוד ביציאה פוטונים בליבות השונות, כשברורה הנטייה שלהם לנוע יחד לאחד משני הצדדים (מאופיינת בהסתברות הגבוהה לאורך האלכסון הראשי, והנמוכה - לאורך האלכסון הנגדי); ב. במרכז ומשמאל מוצגות פונקציות הקורלציה שנמדדו בשביל פוטונים שזורים, כאשר הזוג נשלח דרך ליבה 0 או ליבה 1, כמתואר באיור למעלה. באמצעות שליטה בפאזה האופטית אפשר לשלוט בסימטרייה ולכוון את ההסתברות לאחד משני האלכסונים. זהו אפקט קוונטי מובהק - חלקיקים קלאסיים יציגו תמיד קורלציה סימטרית סביב שני הצירים.

ביותר, ולהפך. ראה את מפת ההסתברות באיור 4א. שני הפוטונים "בוחרים" להגיע לאותו צד. הפוטונים מקיימים סימטרייה הידועה במכניקת הקוונטים כסימטרייה של בוזונים (על שם סאטיינדרה בוזה, פיזיקאי הודי שפיתח את התחום עם איינשטיין יחד). אכן, בוזונים נוטים להתקבץ באותו אזור. אלקטרונים מקיימים סימטרייה הפוכה, של פרמיונים (נקראים על שם אנריקו פרמי, הפיזיקאי האיטלקי), שמונעת משני אלקטרונים להימצא באותו מצב. שני אלקטרונים היו דווקא נוטים להיפרד לאונות מנוגדות (ולא בשל מטענם החשמלי).

את שני הפוטונים ניתן לארגן במצבים קוונטיים מורכבים יותר. במיוחד מעניין המצב שבו נשלחים שני פוטונים יחד, שניהם דרך ליבה אחת או דרך שני צדדים. המצב ידוע כמצב קוונטי שזור: אין לנו מידע באיזו ליבה הם נמצאים, אך מידע על אחד מהם מיד משליך על השני. באיור 4ב אנו מראים תוצאות של ניסוי שביצענו בפוטונים שזורים. פוטונים שזורים מעניינים מאחר שהם מציגים תכונות קולקטיביות

◀ העולם הקלאסי, שבו כל חלקיק שומר על זהותו, תורת הקוונטים דורשת שכל שני חלקיקים שאינם ניתנים להבחנה זה מזה יהיו מוכללים לישות אחת. הבה נבחן איך אפקט זה משפיע על המערכת שלנו. נניח שוב סריג פוטוני מחזורי, אבל הפעם, במקום לשלוח מספר רב של פוטונים לאחת מליבות הסריג, נשגר בדיוק שני פוטונים, לשתי ליבות שכנות. חשוב ששני הפוטונים האלו יהיו זהים בכל תכונותיהם וישוגרו בדיוק באותו זמן, וכך כשיגיעו לצד השני של הדגם, לא נוכל להבחין, אפילו עקרונית, מי משניהם הגיע לגלאים שלנו. כאמור, ננסה ללמוד על הקורלציות ביניהם: אם גלינו פוטון אחד ביציאה מליבה מספר  $q$ , מה הסיכוי שנגלה את השני בליבה מספר  $r$ ? חשוב להדגיש שוב שהפוטונים אינם חשים זה בזה, אין ביניהם אינטראקציה, כלומר ההילוך הקוונטי של כל אחד מהם נעשה באופן עצמאי כמו שתואר למעלה. אבל כשנבחן את הקורלציה נגלה דבר מפתיע: אם מצאנו פוטון אחד הגיע לאונה הימנית, הסיכוי שהשני הגיע לאונה השמאלית קטן

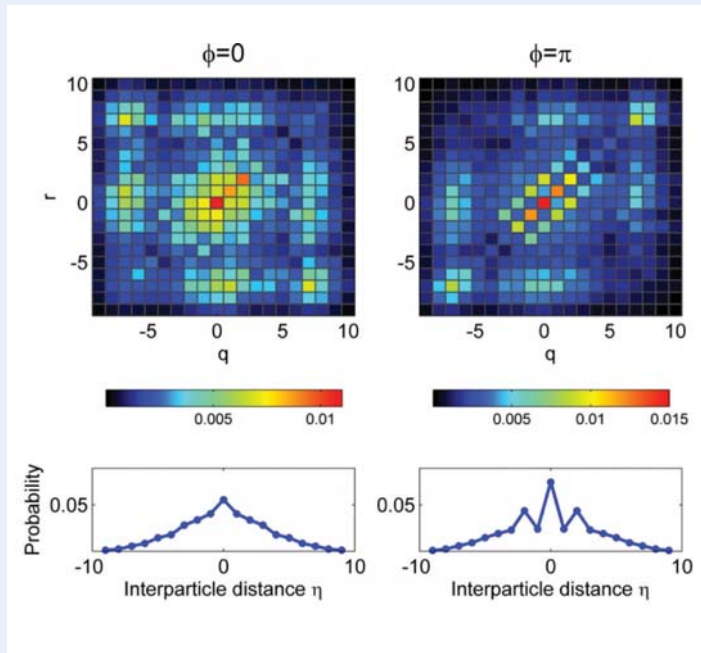


איור 5: פונקציית ההתפלגות המחושבת המתארת הילוך קוונטי בסריג מסודר (שמאל), בסריג לא מסודר (במרכז) ולאחר מיצוע על סריגים לא מסודרים רבים (ימין). הגרף הניסיוני מראה מדידה של ההתפלגות הממוצעת בסריגים פוטוניים שבהם המרחקים בין הליבות השתנו באקראי, כאשר אור נשלח בליבה המרכזית. ההתפלגות ממוקמת סביב למיקום ההתחלתי ומתאימה לתלות שחישב פיליפ אנדרסון ב־1958.

### אור וסדר

עד כה הנחנו שהסריג הפוטוני הוא סריג מחזורי מושלם וכל הליבות שלו זהות. אחד הפרקים החשובים של הפיזיקה של מוצקים בחצי השני של המאה העשרים עסק בשאלה איך אלקטרונים נעים בגביש שאינו מושלם ויש בו אי־סדר (מרדכי שגב, "אור ואי־סדר", איגרת, 34 [תשע"ג], עמ' 26). מתברר

מורכבות. כך למשל באמצעות שליטה בפאזה היחסית בין שתי הכניסות ניתן לשלוט בסימטרייה של הזוג ולגרום לפוטונים להתקבץ יחד, כמצופה מבוזזונים, או להיפרד, כאילו היו פרמיונים. כדי למדוד את הקורלציות הללו נשלחו זוגות רבים, ובאשר לכל אחד מהם נבדק לאילו ליבות הגיע. רק לאחר איסוף של מדגם מספיק היה ניתן לגזור את פונקציית ההתפלגות.



איור 6: קורלציה בין שני פוטונים שזורים המוזרקים לליבות שכנות בכניסה לסריג לא מסודר. הסימטרייה של המצב השזור משפיעה על מיקומם של הפוטונים, אפילו בנוכחות אי־סדר וגם לאחר מיצוע סטטיסטי. שתי הדיאגרמות העליונות מציגות את הקורלציות שנמדדו בשני המצבים, בעלי סימטרייה בזווית (שמאל) ופרמיונית (מימין). בהשוואה לסריגים מחזוריים (איור 4) רואים צבר גדול של פוטונים שנשארו ממוקמים סביב נקודת ההתחלה שבמרכז. תבנית המשבצות במפה הימנית רומזת על תלות לא טריוויאלית של מיקומו של פוטון אחד במיקומו של השני. הגרפים התחתונים מתארים את התפלגות המרחקים בין שני הפוטונים ביציאה. במפתיע, החלקיקים השזורים בעלי סימטרייה פרמיונית מעדיפים להימצא במרחקים זוגיים זה מזה.

השזור. בולטת במיוחד המפה הימנית, שמאופיינת בתבנית משבצות. התבנית הזאת נובעת מנטייתם של הפוטונים במקרה הזה להתמקם במרחקים זוגיים זה מזה – ואכן כשמנתחים את המרחק הצפוי בין החלקיקים שעברו לוקליזציה, מתגלה התנודה לא צפויה המתוארת באיור.

## סיכום

היכולת הניסויית לעבוד עם פוטונים בודדים, לייצר אותם במצבים שונים ולחקור את התקדמותם במבנים שאותם אנחנו מייצרים בדייקנות רבה מאפשרת לנו להדגים ולחקור עקרונות קוונטיים בסיסיים – שאת חלקם סקרנו במאמר זה. חלק מהתהליכים האלה צפוי וידוע, והם קיימים בבסיסה של הבנת תהליכים אלקטרוניים במוצקים, אך מעולם לא נצפו ישירות במעבדה. חלקם האחר לא היה ידוע, שכן הם לא היו ניתנים לחקירה במערכות אלקטרוניות. ראינו כאן עושר של תופעות המערבות שני חלקיקים קוונטיים בלבד. אחת התקוות היא שבאמצעות הוספה זהירה ומושכלת של עוד חלקיקים נוכל ללמוד על מערכות קוונטיות מורכבות יותר ויותר, שאת חלקן איננו מבינים כיום.

אולם ליכולת הניסויית הזאת יש גם השלכות נוספות, שאמנם לא התעכבנו עליהן כאן אך הן מעוררות עניין רב בעת האחרונה: התקדמותו של התחום הידוע כמחשוב קוונטי תלויה בפיתוחן של יכולות כאלו. רבים מאמינים שמחשוב קוונטי עשוי להביא למהפכת המידע הבאה, שכן מחשבים שיושתתו על עקרונות אלו יהיו משוחררים מרבות מן המגבלות של המחשבים בני זמננו המושתתים על העקרונות הקלאסיים. אחרים ספקניים יותר, שכן מכשלות רבות, חלקן לאו דווקא טכניות, עומדות בדרך לבניית מחשבים קוונטיים. אבל כולם מסכימים שחקירת התחום והבנת המערכות האלה ומגבלותיהן ילמדו אותנו הרבה על העולם שבו אנו חיים. ■

◀ שאי-סדר יכול להשפיע השפעה קיצונית על תנועתם של האלקטרונים ולגרום להם להישאר ממוקמים בסביבת נקודת המוצא שלהם. איור 5 מראה את ההילוך הקוונטי הצפוי בסריג מושלם, בסריג שבו אי-סדר, ולבסוף לאחר מיצוע על סריגים לא מסודרים רבים. פונקציית ההתפלגות הממוצעת אינה מתרחבת, והאלקטרונים נשארים ממוקמים בסביבת נקודת ההתחלה. את האפקט הזה, שידוע כ"לוקליזציית אנדרסון", על שם המדען שחזה אותו לפני יותר מחמישים שנה, ניתן למדוד ישירות באמצעות שימוש בסריגים פוטוניים, ותוצאה של מדידה כזאת מוצגת גם היא באיור 5.

גם התנהגותם של חלקיקים קוונטיים בסריגים לא מסודרים, המוליכה ללוקליזציה של אנדרסון, היא במהותה אפקט של גלים, ומוסברת בהתאבכותם. ואכן הניסוי שמוצג באיור 5 גם הוא בוצע באור לייזר "קלאסי". שוב ראוי לשאול את השאלה אם התקדמות של אור בסריגים לא מסודרים תהיה שונה בגבול הקוונטי, שבו מתקדמים פוטונים בודדים. כמו בסריג המסודר, גם כאן השוני בין אור קלאסי לקוונטי יתגלה רק כשנחקור את הקורלציות בין הפוטונים. אבל כדי לגלות את האפקט הקוונטי בסריגים לא מסודרים עלינו למצע על סריגים רבים בעלי אי-סדר שונה. בסריג המסודר ראינו שחלקיקים מציגים קורלציות לא טריוויאליות, לפי הסימטריה שלהם. האם הקורלציות הקוונטיות שורדות גם בנוכחותו של אי-סדר? האם הסימטריה משפיעה על קורלציות גם בסריג לא מסודר?

התשובות לשאלות אלה נענו רק לאחרונה, כשהצלחנו לשגר זוגות של פוטונים שזורים ולמדוד את הקורלציות ביניהם תוך מיצוע על הסטטיסטיקה של אי-הסדר. אחד הממצאים המפתיעים הוא עד כמה נשמרת הקורלציה הקוונטית גם בנוכחות אי-סדר, ואפילו אחרי מיצוע על דגימות רבות של אי-סדר. מפות הקורלציה המוצגות באיור 6 מראות עד כמה משתנה הקורלציה כתלות בסימטריה של הזוג

# הערת שוליים ל"הערת שוליים" וכמה מחשבות על מצב המחקר במדעי הרוח



## מאת פרופ' שלומית רמון-קינן

אני נרגשת לעמוד במקום שבו עמדו שלושה ממוריי ומחבריי בנפש שכבר אינם בין החיים: דוריס קרוק, ביל דלסקי וגרשון שקד, וכן מורתי הדגולה רות נבו, תיבדל לחיים. לחברי האקדמיה שפתחו לי את השער - תודה רבה!

אוריאל שקולניק, נואם את נאום הקבלה שלו לאקדמיה למדעים. אוריאל נמצא במצב שבו אני נמצאת עכשיו, אלא שהטקס מתקיים במוזיאון ישראל ולא בבניין האקדמיה, ואוריאל מקרין הרבה יותר ביטחון עצמי. האב יושב שפוף ועצוב. משום מה האב יוצא החוצה במהלך הטקס, וכשהוא חוזר המאבטח חוקר אותו ובודק אותו. האב מגיב בעצבנות רבה. אין לו צמיד כחול, כי הוא איננו חבר אקדמיה. ההדרה מקבלת ביטוי קונקרטי באמצעות הצמיד הכחול. בנסיעה הביתה מן הטקס שואלת הנכדה: "למה סבא לא חבר באקדמיה למדעים?", ושאלתה נענית בשתיקה רועמת של כל המשפחה. הסב עצמו מעדיף לחזור הביתה ברגל ולא במכונית עם משפחתו.

בסוף הסרט אנו עוברים לסצנה דומה בבנייני האומה. הפעם לפנינו אירוע אחר: טקס חלוקת פרסי ישראל, שבו עומד האב, אליעזר שקולניק, לקבל את הפרס אף שבינתיים גילה - בזכות שיטת העבודה הפילולוגית שלו - שבנו הוא שכתב את דוח הוועדה. גם פה מסומנת ההתקבלות בצמיד כחול על הזרוע, והאב ◀

**פ** תיחת השער מובילה אותי, אסוציאטיבית, לסרטו של יוסי סידר "הערת שוליים". אני מעזה להקדיש חלק מדבריי לסרט זה בגלל הרלוונטיות הפיקנטית שלו למעמד שלכבודו התכנסנו כאן היום וכן בזכות הרהורים שהוא עורר בי בנוגע לשיטות מחקר במדעי הרוח. אסכם את עיקרו של הסרט לטובת מי שלא צפו בו, במילים אחדות, שלצערי מרדדות את מורכבותו. הסרט עוסק באב ובן ששניהם חוקרי תלמוד. האב, אליעזר שקולניק, מועמד לפרס ישראל כבר 16 שנה ונפסל מדי שנה. יום אחד מודיעה לו שרת החינוך שהוחלט להעניק לו את פרס ישראל לאותה שנה. בהמשך מתברר כי חל בלבול, והכוונה הייתה לבנו, אוריאל שקולניק. הבן נלחם בוועדות השונות כדי שלא ישללו את הפרס מאביו. הוא מצליח בשני תנאים: שהוא עצמו יכתוב את נימוקי ועדת השופטים ושיפסול את עצמו כמועמד לפרס ישראל גם אחרי מות אביו ומות יו"ר הוועדה. ובחזרה לפתיחת השער: במבנה מעגלי הסרט מתחיל ומסתיים בטקסים פותחי-שער. בתחילת הסרט הבן,

ראש המכון למדעי היהדות ע"ש מנדל וחבר בקתדרה למחשבה יהודית. הוא נבחר לאקדמיה הלאומית למדעים כחדשן, נועז, מי שרואה בעיות ישנות בראייה חדשה. גם גישתו המחקרית שונה מזאת של אביו: אמנם שניהם עוסקים באותה תקופה, אבל הבן איננו עובד על כתבי יד ואיננו משווה גרסאות. הוא בונה סטרוקטורות/תבניות (כד, על סמך אלמנט אחד של דמיון). הנושאים שהוא חוקר פופולריים מאוד היום בעולם האינטלקטואלי גם מעבר לתקופה הספציפית: הלכות אישות בתקופת חז"ל; זיכרון וזהות בגלות בבל. הנושא מוכנס לקונטקסט של תרבות התקופה ושל תפיסה אידאולוגית מן הסוג הרווח בזמננו, והגישה נשמעת קרובה למה שנקרא כיום "לימודי תרבות". אין בסרט ציטטות מן הספרים (הבדיוניים) עצמם, אבל שיחה חברתית שבה משתתף הבן אחרי טקס הקבלה לאקדמיה מעידה על אופיים. השיחה נסבה על דניאל בויארין, חוקר תלמוד, לא בדיוני כלל, המלמד בברקלי, ועל טענתו בדבר הפמיניזציה של הגבר היהודי... עוד הם נבדלים בהיות הבן רהוט וכריזמטי, ואילו האב מהסס בדיבורו. בזכות תכונות אלה הבן נושא בליל שבועות אותה הרצאה בשישה מקומות שונים. על המסך רואים שישה פיות מדברים בעת ובעונה אחת. כמו כן מחקרו של האב הוא אקדמי במובהק, ואילו הבן פונה אל הקהל הרחב. הוא מעין "סלב" אקדמי. מבחינה קולנועית הניגודים בין האב לבן מתבטאים בעריכה מקבילה, כלומר מעברים חדים מסצנה שבה מופיע האחד לסצנה שבה מופיע האחר. אחרי שאנו רואים את האב השוקד על כתבי יד בספרייה הלאומית, למעשה במעין מרתף תת-קרקעי סגור וחשוך למדי של הספרייה הלאומית, מתרחש מעבר חד אל הבן, המשחק סוג של טניס באולם ספורט מואר ואחר כך מתקלח, מתמסר למים הזורמים על פניו. מעברים דומים קיימים בין הריאיון של האב אצל העיתונאית, שבו הוא מסתייג מספריו של הבן, ובין ניסיונותיו הכמעט-נואשים של הבן לכתוב את חוות דעתם של השופטים, שעליה יחתום ראש הוועדה. הבן מנסה להחמיא לאב, אך גם להיות ישר עם עצמו. כך מוחלפת המילה "יצירתיות", שאותה

מושיט את ידיו לקבל את הצמיד כמו שמישהו מושיט ידיו לאזיקים. הוא מקבל פרס שהוא יודע שלא אליו כוון, ולכן הוא חווה את המעמד ככניסה לבית סוהר. אין ספק שקיימת בסרט ביקורת על הקריטריונים להענקת פרסים וכיבודים, על מידת האובייקטיביות שבהם ועל שקיפותם, ובקיצור על מה שהמשורר שלונסקי קרא "פרסטיטוציה". לא אתמקד באספקט זה של הסרט אלא בטיפוסי החוקרים המעוצבים בו. האב והבן מייצגים שני טיפוסי חוקרים כמעט הפוכים זה לזה, ויש לציין שהסרט מגזים את שני הסוגים באופן כמעט קריקטורי. ניתן אולי להתחיל לדון בהבדל בעזרת המטפורה מתחום הארכאולוגיה שבה משתמש האב בריאיון אצל עיתונאית: שני חוקרים עומדים בפני חרסים שבורים. האחד מתבונן בהם, מנקה אותם בקפידה, מודד אותם מדידה מדעית ומדויקת, מקטלג ומסדר אותם, מנסה לפענח מאיזו תקופה הם ומי יצר אותם. השני מסתכל על החרסים לכמה דקות, רואה שהם בערך באותו צבע ובונה מהם כד. כד יפה, מושך את העין, אבל – לדברי האב – אין בינו ובין האמת המדעית ולא כלום. "אין כד. זו פיקציה". האב הוא חוקר כתבי יד, משווה גרסאות, בעל מתודה היסטורית-פילולוגית. הוא עבד 30 שנה על ספר ובו היפותזה בדבר גרסה שונה מזו המקובלת של התלמוד הירושלמי. לרוע מזלו, מישהו אחר (היושב בוועדת השופטים לפרס ישראל) גילה את הספר אחריו, אבל פרסם בעניינו לפניו. האב רחוק מאוד מ"רוח הזמן" הנוכחי. כך למשל הגיב לשאלה על לוינס, הוגה דעות וחוקר תלמוד צרפתי, שהפך פופולרי מאוד בימינו: "אין מביאים ראייה מן השוטים". גם בהוראה לא שפר גורלו: הוא מלמד קורס שבו משתתפת תלמידה אחת בלבד אך סירב לבטל את הקורס ומלמד אותו באולם גדול. לעומת האב, שעבד 30 שנה על ספר אחד, הבן סבור שלא ראוי להתעכב יותר מדי, שכדאי ללכת הלאה. ולאור דעתו זאת הוא פרסם תשעה ספרים, קיבל פרס ביאליק, פרס ירושלים ופרס אורבך, הוא חבר באקדמיה האמריקאית למדעי היהדות, ובארצנו –

כוונתי לגישות בעלות התווית – אולי לא תמיד בצדק – "פוסט-מודרניות", כגון דקונסטרוקציה, פמיניזם (או לימודי מגדר), פוסט-קולוניאליזם, קוגניטיביזם, קונטקסטואליזם ועוד ועוד "איזמים". ברוב גישות אלה, שחלקן חופף חלקית את ה"מודרניזם" מבחינה כרונולוגית, מערערים על מה שהיה נהוג לתפוס כ"ודאיות" ומדגישים אי-יציבות וחוסר יכולת לבחור בין הבניות שונות. אחת הגישות האלה נקראת

"לימודי תרבות", והיא נראית לי הקרובה ביותר לעבודתו של שקולניק הבן. בין המטרות של התכנית ללימודי תרבות, כפי שהיא מופיעה בשנתון האוניברסיטה העברית בירושלים, מצוינת המטרה הזאת: "מתן כלים לניתוח היסטורי, סוציולוגי ואנתרופולוגי של מערכות זיכרון, צבירת ידע ותהליכי כינון של זהות בתרבויות שונות". והרי אחד מספריו של אוריאל שקולניק נקרא: "זיכרון וזהות בגלות בבל"...

בהקשר תרבותי זה יש

למושג ה"נרטיב" תפקיד מרכזי. חשוב לי להדגיש את מרכזיותו של הנרטיב, כי מחקרית בתחום הספרות היו רובם מזווית "נרטולוגית", והשינויים שחלו בתפיסת הנרטיב הם אחד הסימנים לשינויים בתפיסת העולם שעליהם דיברתי. בשלב ה"קלאסי" של הנרטולוגיה נתפס הנרטיב כ"סיפר של סדרת אירועים [בדייוניים]" (כהגדרתי) או כ"תהליך שבו מישהו מספר למישהו שמהו קרה" (כהגדרתה של הרנסטיין-סמית), ◀

הוא מקליד בהתחלה, במילה "יסודיותו", "מחקריו" (ברבים) – ב"מחקרו" (ביחיד) ו"גדולתו" – ב"מצודתו". הפרק הזה בסרט נקרא "נקמתו של פרופ' שקולניק", ומתבקשת השאלה: "מי מהשניים הוא הנוקם?" התשובה לדעתי נשאת פתוחה. האפיון הוויזואלי הבוטה ביותר של הבן הוא שכאשר בגדיו נעלמים מחדר הספורט, הוא נכנס לחדר אחר, שבו מתקיים שיעור סוף ולוקח/שואל בגד שמונח שם. גם קונוטציות של סוף וגם לבישת בגד

שאיננו שלו – כלומר התחזות – אינם זרים לאישיותו של הבן. ייצוג ויזואלי דומה של האב מופיע כאשר הוא מגיע לבנייני האומה לחזרה לקראת טקס הפרס וטועה בחדר. הוא נכנס בטעות לחדר שבו מתקיימים ריקודים עם מסכות על הפנים. משתמע: האב מקבל את הפרס בטעות (כפי שאנחנו כבר יודעים בשלב זה), והסכמתו לקבלת הכיבוד למרות מה שהוא יודע היא כעין עטיית מסכה על פניו.

ניתן לסכם את הניגוד בין האב לבנו בציטטה

מדברי כל אחד מהם על האחר. האב על הבן: "אוריאל מצטיין במה שהוא עושה, אבל לא הייתי קורא למלאכה שבה הוא עוסק חקר התלמוד". הבן על האב: "לבדוק חרסים כל החיים בלי שום מסקנה שמעניינת מישהו, זה מדע? זאת אוננות".

נראה לי שכיום קיימת נטייה בחלק ניכר ממדעי הרוח והחברה לעבור ממתודות הקרובות יותר לרוחו של האב אל דרכי חשיבה הדומות יותר לאלה של הבן.



הבלשנות, את הסמיטיקה (חקר מערכות הסימנים), את האנתרופולוגיה, את חקר הפולקלור והמיתוס ואת תורת הספרות. ברוח הבלשנות והסטרקטורליזם נבנו דקדוקים של עלילות, לוגיקות סיפוריות, פואטיקות נרטיביות, ורובם התאפיינו, בדרך זו או אחרת, בניגודים בינאריים (יכולתם לראות ניגודים בינאריים גם בדרך שבה דיברתי על "הערת שוליים").

בערך באותה עת נוספו למושג ה"נרטיב" גם קונוטציות שפותחו בתאוריות קונסטרוקטיביסטיות (הבנייתיות) במדעי החברה, והשימוש בו כיום נראה לי נוטה לשני כיוונים הפוכים זה לזה: מצד אחד, גם כיום נתפס הנרטיב כדרך לארגון, תבנות ומתן קוהרנטיות, ובמובן זה הוא גם דרך למתן משמעות (או גילוי משמעות חבויה – תלוי בהשקפה). עד כאן – קונוטציות שמרניות למדי; מצד אחר, ברגע ש"מתן משמעות" מצטרף לקונוטציות, מתחילה השמרנות להסתבך בספקנות "פוסט-קלאסית". אם הנרטיב נותן משמעות, פירושו שהוא אינטרפרטציה, ואם נרטיבים הם אינטרפרטציות, אפשר שיהיה יותר מנרטיב אחד המתבנת או מפרש את אותן ההתרחשויות. לכן מושג ה"נרטיב" מתקשר כיום עם פרובלמטיזציה של שני מושגים חשובים אחרים: "מציאות" ו"אמת". נתחיל ב"מציאות": מהי מציאות אם סיפורים שונים עליה משנים אותה? האם המציאות נשארת אחת גם בשינוי הסיפורים? האם יש מציאות שאינה תלויה-סיפורים עליה? (וזכרו את דברי ההיסטוריון היידן וייט על "סיפורים מתחרים"). ומכיוון קצת שונה, פוליטי יותר: האם המציאות היא יותר מהנרטיב השליט בנוגע אליה? ברוח שאלה אחרונה זאת רבים מנסים להשתמש בנרטיב כדרך להשמעת קולות מושקעים – קולות החורגים מן הסיפור השליט שאותו מכנים "מציאות", כגון אלה של מיעוטים, נשים ומקופחים. שאלות דומות נשאלות באשר ל"אמת": אם אפשר שיהיו נרטיבים שונים על אותם אירועים, האם קיימות דרכים להבחין בין נכונים לנכונים פחות? האם יש דרך להגיע ל"אמת" מבעד לסיפורים, או שלכל סיפור אמת משלו? בדיסציפלינות רבות משמש היום מושג ה"נרטיב" כלי לקעקע את ה"אמת", בבחינת כל

◀ והנרטולוגיה ראתה בעצמה מקצוע החוקר את העקרונות ואת המבנים שבבסיסם של סיפורים. כדי לסבר את האוזן, עיקרון מרכזי אחד הוא ההעמדה זה מול זה את סדר האירועים כפי שהתרחשו (או "התרחשו" אם מדובר בבדיון) ואת ארגונם של אותם אירועים בטקסט הסיפורי המסוים. דרך בטוחה להרוס סיפור בלשי היא לספר אותו בסדר כרונולוגי, שהרי סוף הטקסט הוא התחלת האירועים. עיקרון נוסף הוא הנטייה להשלכת הסיבתיות ("על כן" או "לפיכך") על העקיבה בזמן ("אחר כך"), כמו למשל בסיכום הבא לחייו של המשורר מילטון: מילטון כתב את "גן העדן האבוד" (Paradise Lost), אחר כך מתה אשתו, אחר כך כתב את "השיבה לגן העדן" (Paradise Regained). אם אנו מחייכים למשמע הסיכום, הרי זה משום שייחסנו יחסי סיבה ותוצאה לעקיבה המפורשת בזמן ("אחר כך"). במובן זה, סיפורים מיישמים כעיקרון מבנה את מה שהלוגיקה הקלאסית רואה בו טעות ("post hoc ergo propter hoc", כלומר: "אחרי" פירושו "משום כך").

מי שטבע את המונח "נרטולוגיה" ב-1969, אף שפעילות מסוג זה הייתה קיימת עוד לפני טביעתו, הוא התאורטיקן הבולגרי-צרפתי טודורוב, שהגדיר את המקצוע "מדע שעדיין איננו קיים, מדע הסיפור". השאיפה למדעיות גררה אתה בזמנו קונוטציות של "אובייקטיביות", "ניטרליות", "הפשטה", "מטה-שפה" (אחרים יקראו לזה "ז'רגון") ותיאור טהור (בהבדל מאינטרפרטציה).

אני הגעתי אל הנרטולוגיה מן הספרות, ובשלב הראשון של עבודתי האקדמית התמקדתי בחקר הנרטיב הספרותי, בייחודו לעומת נרטיבים שאינם ספרותיים, אבל הנרטולוגיה עצמה הייתה במובן מסוים אינטרדיסציפלינרית מתחילת דרכה. הנרטולוגיה צמחה במחצית הראשונה של המאה שעברה על יסוד הבלשנות הסטרקטורלית מבית מדרשו של דה-סוסיר ולאחריה הבלשנות הגנרטיבית-טרנספורמטיבית שפיתחו חומסקי וממשיכיו וכן על יסוד הסטרקטורליזם – תפיסת עולם שהקיפה את

למען האמת, החירות האינטרדיסציפלינרית היא שאפשרה לי לדבר פה על הסרט "הערת שוליים", והייתי רוצה לסיים את דבריי בחזרה מעגלית אל הסרט, שבנוי אף הוא בצורה מעגלית. על רקע התחרותיות והרדיפה אחרי כיבודים, שאינני מנסה להכחישם, חסר לי אלמנט אחד בסרט: השמחה שבמחקר, התענוג שבגילוי (וגם בחיפוש עצמו), ההתרגשות שמעורר המגע עם טקסטים נפלאים ועם סטודנטים. זה מה שהייתי מאחלת לאב ולבן שקולניק ולכל העולם האקדמי.

אמת היא רק סוג אחד של סיפור, ותמיד אפשר לספר גם סיפור אחר. קשה לא לראות כמה עמדה זאת שונה מהדגשתו של פרופ' אליעזר שקולניק, האב ב"הערת שוליים", את "האמת המדעית". "אני אף פעם לא בטוח", אומר הבן. כיום יש גם המשתמשים בנרטיב כדי לחתור תחת מושגים כמו "תאוריה", "כלל" ו"חוק", וחתירה זאת נעשית בשם הסובייקטיבי והפרטי נגד האובייקטיבי (או פסידו-אובייקטיבי) והכללי. הנרטיב נתפס לא פעם כסוג של תאורטיזציה בזכות עצמו, ולכן אנו פוגשים לעתים

בביטויים כמו "הנרטיב של אפלטון", "העלילות של דרווין", ובמהלך דיון סוער בסמינר שלי העיר אחד הסטודנטים: "שימו לב לנרטיב שמתרחש פה עכשיו". בין ה"ודאיות" המעורעות בגישות פוסט-מודרניות עורערו ונפרצו גם הגבולות בין דיסציפלינות מקובלות. הן מתודות והן מונחים או מטפורות הועברו מדיסציפלינה אחת לאחרת והאירו, לא פעם על דרך ההזרה, אספקטים בלתי צפויים של דיסציפלינת המקור. גם מחקר, שהתמקד בתחילת דרכו בנרטיבים ספרותיים, נפתח למנשקים מאתגרים בין ספרות לפסיכואנליזה, להיסטוריוגרפיה, למשפטים, לפוליטיקה ולרפואה (סיפורי חולים, סיפורי רופאים). ראוי להדגיש שאין פה מהפכה אלא פיתוח נטייה שכבר הייתה קיימת בפוטנצייה בנרטולוגיה הקלאסית.





# באקדמיה

# מדוע מוצדק לממן חוג באשורולוגיה?

“פרסומם של גילויים מדעיים חשוב לא רק כדי להעשיר את הקוראים ולעדכנם בכל מה שנוגע לפיתוחים במדע אלא גם כדי להבהיר את הצידוק לתמיכה הציבורית בו”.

דברים שנשאה חברת האקדמיה בפתיחת המושב בנושא ארכאולוגיה  
בכינוס החמישי לתקשורת המדע בישראל

## מאת פרופ' נילי כהן

אני מתכבדת ושמחה לומר כמה מילים בפתח המושב של “ארכאולוגיה ותקשורת: מדע, ידע ופוליטיקה”. אני שמחה שהאקדמיה הלאומית למדעים היא שותפה לכינוס העוסק בתקשורת המדע. אני מניחה שהציבור כולו ער לחשיבותו של המדע לא רק כמצבור מרכזי של התרבות האנושית אלא גם כמקור לקידום רווחת הציבור. פרסומם של גילויים מדעיים חשוב לא רק כדי להעשיר את הקוראים ולעדכנם בכל מה שנוגע לפיתוח המדע אלא גם כדי להבהיר את הצידוק הכלכלי לתמיכה הציבורית במדע. לצידוק זה חשיבות מרכזית אצלנו משום שמרבית המוסדות המדעיים זוכים לתמיכה מסיבית מן הממשלה. הציבור, בין ישירות, באמצעות נציגיו הפורמליים בכנסת, בממשלה ובביקורת המדינה, ובין בעקיפין, באמצעות התקשורת, מציב שאלות בדבר היקף התמיכה הכספית המועברת לאוניברסיטאות ובדבר אופן ניהולם של כספים אלה. התקשורת משמשת כלי חשוב לחשיפתם של גילויים מדעיים ולהבהרות והסברים באשר לחשיבות ההשקעה במחקר, במיוחד כאשר המחקר אינו נושא פרות טכנולוגיים או רפואיים. כידוע, לא אחת אי אפשר לדעת מראש אם מחקר תאורטי יישא פרות כאלה או אחרים. למשל, מי חשב שתורתו של איינשטיין והבאים אחריו תביא לפיתוח הפצצה האטומית... ויש כמובן גם דוגמאות עצומות וחיוניות, שרווחת האדם וקדמת האנושות ברורה בהן.

חשוב להבהיר לציבור, ואף בזה תרומתה של התקשורת, שקיים יחס ישיר בין השקעה במחקר לבין שגשוג כלכלי. שאלות בדבר הצידוק להשקעה בסוג מחקר זה או אחר נשאלות לרוב בנוגע לחוגים שונים במדעי החברה והרוח, כמו למשל מדוע מוצדק לממן חוג באשורולוגיה. לטעמי, חשוב להסביר לציבור את הטעם בשימור התרבות העולמית, ודאי כשמדובר בתרבות שאנו חלק ממנה. אולם למיטב ידיעתי מעולם לא נשאלו שאלות או התעוררו תהיות בדבר הצידוק לקיומם של חוגים לארכאולוגיה. הציבור הרחב צמא לכל גילוי ארכאולוגי, וגילויים כאלה מגיעים לתקשורת לעתים מזומנות ומעוררים

עניין רב. לאחרונה עיטרה את כותרות העיתונים הידיעה המעניינת שבירושלים התגלתה לוחית עופרת שחשפה כישוף בן 1,700 שנה. אישה אחת בשם קירילה ביקשה להטיל כישוף על אדם בשם יאניס, והיא גייסה למטרה זו אלים שונים, יוונים וכנענים גם יחד. ומה הייתה מטרת הכישוף? בין השניים היה סכסוך משפטי, ומטרת הכתובת הייתה להעניק לקירילה שליטה על אויבה. לשם כך היא פנתה למכשף מיומן שסייע לה. לא ידוע לנו אם הכישוף עזר, ואם כדאי להסתייע באמצעים אלה גם כיום כדי לזכות בניצחון משפטי. מכל מקום, זהו ביטוי קטן לעניין העצום שיש לציבור שלנו בארכאולוגיה, עניין שהחל לפני עשרות שנים.

מציאת המגילות הגנוזות הסעירה את הציבור בארץ, והמאבק סביב פרשנותן נמשך עד עצם היום הזה, וכמובן מגיע לתקשורת ומעורר עניין.

אני זוכרת את הוריי חוזרים מערב בהיכל התרבות לפני יותר מחמישים שנה כשפניהם סמוקות מרוב התרגשות בעקבות החוויה שזימנה להם הרצאתו של פרופ' ידן, בנו של פרופ' סוקניק, גואל המגילות הגנוזות, על חפירות

מצדה. ידן היה לא רק מדען חשוב אלא גם איש תקשורת מן המעלה הראשונה, והרצאותיו על התנחלות השבטים, על תקופת שלמה המלך, ובכלל על התנ"ך כהיסטוריה, הזרימו תלמידים לחוג לארכאולוגיה. הציבור הרחב היה צמא לדעת על כל גילוי חדש שחזק את הטקסט, כלומר את התנ"ך, שהוא הקושאן שלנו על ארץ ישראל. וכידוע, יש המפרשים את התנ"ך כקושאן תרבותי-סמלי, ואחרים כקושאן ממשי.

וכאן כמובן מגיעים לשאלה אם ניתן לנתק מדע (לא מדויק) מהשקפה פוליטית. הדבר חל על תחומים רבים, לרבות התחום המשפטי, וגם על ארכאולוגיה. ובעניין זה יש האומרים שהתקשורת פועלת כסוכנת לקידום השקפה פוליטית זו או אחרת באמצעות ההשקפות המדעיות הארכאולוגיות ◀



פרופ' כהן

◀ השונות. כנראה קשה לנתק מדע־לא־מדויק מהשקפת עולם אישית, וזכורים בהקשר דומה דבריו של גבריאלה ד'אנונצ'יו, המדינאי וההיסטוריון האיטלקי, שאמר ש"כל היסטוריה היא ההיסטוריה בת זמנו [ואפשר להוסיף גם – והשקפתו האישית] של מי שכותב אותה".

זאת ועוד, המחקר הארכאולוגי כיום מסתייע בכלים מדעיים המאפשרים לתארך ממצאים במדויק, ומן הסתם הדבר עשוי לזקק את הגורמים הרלוונטיים לפיענוח הממצאים. לפני כשנתיים הוקם "מרכז מקס פלנק-מכון ויצמן לחקר ארכיאולוגיה ואנתרופולוגיה אינטגרטיבית", שתפקידו להסתייע בכלים מדעיים־כמותיים כדי לקבוע עיתוי ותיארוך מדויקים של ממצאים ארכאולוגיים באמצעות פחמן רדיו־אקטיבי ברמת דיוק של 20-40 שנה. שיתוף הפעולה הזה, שעשוי לסייע בהכרעה במחלוקות מלומדים שונות, הוא הישג גדול למדע בישראל. ואם אינכם יודעים על כך, סימן שתקשורת המדע זקוקה לחיזוק גדול, ואני מקווה שהכינוס הנוכחי יתרום לכך תרומה נאה.



מושב נוסף בכינוס עסק בארכאולוגיה ובמיקומה בין דיסציפלינה מדעית לכלי דיון, ואולי אף ניגוח אקטואלי-פוליטי: "ארכיאולוגיה ותקשורת: מדע, ידע ופוליטיקה". השתתפו בו ארכאולוגים מאסכולות שונות, ובהם (מימין לשמאל): פרופ' ישראל פינקלשטיין, חבר האקדמיה פרופ' יורם צפירי, העיתונאים מ"הארץ" דני רובינשטיין וניר חסון – המסקרים ענייני ארכאולוגיה – ד"ר גדעון אבני מרשות העתיקות; בהנחייתו של העיתונאי רינו צרור.

את המושב פתחה פרופ' נילי כהן – ודבריה מובאים כאן.

## הכינוס החמישי לתקשורת המדע בישראל - "מדע, ידע או דעה"

התקיים ב"ל" במרחשוון-א' בכסלו, תשע"ד (3-4 בנובמבר, 2013) בשיתוף מרכז אדמונד י' ספרא לאתיקה באוניברסיטת תל-אביב ובשיתוף מועדון העיתונות הבין-לאומי בירושלים (JPC).

הכינוס החמישי לתקשורת המדע בישראל התמקד בתפקידה המעשי של התקשורת הישראלית כמנגנון תיווך בין ידע מדעי לחברה האזרחית. במילים אחרות, דיון בגבולות שהתקשורת מסרטט בין מדע, לידע ולדעה.

סדרת כינוסי תקשורת המדע בישראל, מיזמת האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים והטכניון, נועדה להפגיש כתבי מדע, עורכים בכירים, בלוגרים, דוברי מוסדות אקדמיים ואנשי יחסי ציבור עם מדענים וחוקרי תקשורת, קובעי מדיניות בממסד האקדמי ואנשי חינוך מדעי.

הכינוס החמישי כלל הרצאות ומושבים (פאנלים רבי-שיח מונחים) וכן "כיתות אמן" מעשיות ייחודיות בכתיבה ויצירה תקשורתית-מדעית שהעבירו מומחים מחו"ל לכתבים ולמדענים ישראלים. נישאו בו הרצאות אורח מפי ד"ר חורחה צ'אם מארצות הברית, יוצר והוגה PhD Comics (שזוכה לכשבעה מיליון מבקרים שונים בשנה), ומפי כתב המדע סשה קרברג, שהפך את עצמו לבי-האקר כדי לדווח על התופעה. פרופ' רות ארנון, נשיאת האקדמיה, דיברה על פיתוח חיסונים, ואחרי הרצאתה התקיים מושב על חיסון הפוליו בתקשורת הישראלית. מושב הצהריים ייחד במה לדיון בין-לאומי של שבעה מכתבי המדע עם עמיתיהם מכאן, בהנחייתו של פרופ' אורן הרמן.

הכינוס, שנערך על ידי האקדמיה, הטכניון ומרכז ספרא באוניברסיטת תל-אביב, בשיתוף עם מועדון העיתונות הבין-לאומי בירושלים (JPC), היה חלק מסדרת אירועי מדע בין-לאומיים שהתקיימו בחודש נובמבר 2013, ובהם הרצאות "ניצוצות" בירושלים: סדרת מפגשים בין מדע לתרבות בהשתתפות אורחים מחו"ל, אנשי אקדמיה, כתבי מדע ומדענים והפתוחים לקהל הרחב וביקור משלחת ראשונה מסוגה של עיתונאים מחו"ל בישראל (ראו התמונה למטה).



חברי המשלחת הם עורכים, כתבים ובלוגרים מובילים בתחומי המדע בארצות הברית, בגרמניה, בגוואטמלה, באיטליה ועוד. במהלך שהותם בארץ ביקרו חברי המשלחת במוסדות המדעיים החשובים בישראל, נפגשו עם מדענים בכירים וצעירים בולטים ואף ביקרו במיזם המדעי SESAME שבירדן.

# "משנאת הזר - לקבלת האחר"

רשמים מכינוס ייחודי שקיימה האקדמיה בביתה בכ"ה-כ"ו  
בתשרי תשע"ד (19-20 באוקטובר 2014) במעמד כבוד נשיא  
המדינה ושרי החינוך והמשפטים

ברוך נשיאה הראשון של האקדמיה פרופ' מרטין בובר, שהשנה האקדמיה מציינת 50 שנה לפטירתו, החליטה מועצת האקדמיה להתמודד עם הנושא הכואב והטעון: שנאת הזר והאחר.

בעקבות גילויי השנאה והאלימות החמורים בתקופה האחרונה הוחלט לקיים כינוס מיוחד שתכליתו לדון בתופעות אלו ולחתור לגיבוש הצעות קונקרטיות להתמודדות אתן. בכינוס עלו סוגיות חקיקה ומשפט והיבטים חינוכיים, תרבותיים וחברתיים, מתוך ראייה רחבה, והשתתפו בו מדענים, הוגים ואנשי עשייה ציבורית בישראל.

## כתבו אסף אוני ואביטל בר

זה היה קיץ קשה, כואב ומדמם... המתח בין יהודים לערבים בתוככי מדינת ישראל עלה לשיאים חדשים, והיחסים בין הצדדים הגיעו לשפל חדש" – כך פתח נשיא המדינה ראובן (רובי) ריבלין את הכינוס המיוחד שערכה האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים באוקטובר האחרון, שנקרא בשם "משנאת הזר לקבלת האחר". "הגיע הזמן להודות ביושר כי החברה הישראלית חולה – ובמחלה הזו חובה לטפל", קבע הנשיא ריבלין, שימים לפני הופעתו זכה להערות גזעניות ופוגעניות בעמוד הפייסבוק שלו לאחר שגינה אלימות נגד ערבים. "לאקדמיה הישראלית יש בעיניי תפקיד מכריע בצמצום האלימות בחברה הישראלית", הוסיף ואמר הנשיא.

ביוזמי הכינוס היה סגן נשיאת האקדמיה פרופ' ב"ז קדר, שזכה לברכתה של הנשיאה. "היזמה החלה בשיחה בין פרופ' רות ארנון לביני", הוא מספר. "דיברנו על הקיץ הקשה הזה. על האלימות, על ההסתה, דברים שהזכירו מקומות זמנים שאיננו רוצים להיזכר בהם או להגיע אליהם. שאלנו את עצמנו מה ניתן לעשות, וההחלטה הייתה לקיים כינוס מיוחד בנושא, כמה שיותר מהר. קצב ארגון הדברים היה מהיר יותר מבכינוס אקדמי רגיל, כמה שבועות בלבד".

במושב הפתיחה של הכינוס, שהתקיים בבית האקדמיה בירושלים, נכחו לצד נשיא המדינה גם שר החינוך שי פירון, שגם נשא דברים, אנשי ציבור ומומחים רבים מהאקדמיה. האולם היה מלא מפה לפה, ונשיא המדינה ביקש

מנשיאת האקדמיה "אישור מיוחד" להישאר ולהאזין להרצאת הפתיחה של הכינוס, שנשא פרופ' יהודה באואר. תחת הכותרת "מה יכולה האקדמיה לתרום למאבק בהסתה?" סרטט פרופ' באואר את תמונת ההסתה נגד ערבים ונגד יהודים משני הצדדים ואת המצב החברתי והמשפטי והזהיר כי "כל פגיעה בחופש הביטוי תהווה סכנה לחברה הישראלית יותר מאשר הסתה".

המושב שהתנהל לאחר מכן, הראשון מבין שלושה שהיו בכינוס, הוקדש לסובלנות בדת היהודית. את המושב הנחה פרופ' שלמה אבינרי. הדוברים הראשונים – הרב מנחם הכהן, פרופ' רחל אליאור, הרב ד"ר דניאל הרטמן והרב נעמה קלמן – הציגו פנים שונים של הבעייתיות בהסתה שגופים ופרטים משפיעים מעודדים לה אך הדגישו כי במסורת היהודית יש צדדים שניתן להתבסס עליהם לצורך חינוך לסובלנות. "במסורת היהודית יש טקסטים לכאן ולכאן", ציין הרב ד"ר הרטמן.



מימין: פרופ' ארנון, פרופ' קדר והנשיא ריבלין

"אנחנו צריכים להיכנס למפעל חינוכי רחב שבו, למרות המחויבות הדתית שלנו, אנחנו מאמינים ומבנים שמחויבות מוסרית היא עליונה וקדומה – ומקדימה – את המחויבות לאלוהים". הרב ד"ר יואל בן-נון, שהשתתף גם הוא במושב זה והגיב לדברים, אמר כי "אם אני חושב על בחורי ישיבות ממוצעים שאני מכיר, אני חושש מאוד שאחרי שמיעת כל הדוברים הנכבדים והחשובים... מלאכתי נהיית קשה – כמעט בלתי אפשרית. יש פה מכנה משותף של כמעט ייאוש מההלכה ומהאורתודוקסיה". הרב בן-נון אמר כי הוא סבור שמקור בעל משקל למצב הקיים

הוא ה"פחד". לדבריו, תרומתה הסגולית של המערכת האקדמית היא בחקר הקשר בין ה"פחד" ל"שנאה" וגילוייה.

ביומו השני של הכינוס התקיימו שני מושבים שהוקדשו לסוגיות במשפט ובחינוך. שרת המשפטים ציפי לבני פתחה את המושב הראשון, "המשפט כאמצעי לחולל שינוי ביחס לאחר". יושבת ראש המושב הייתה פרופ' נילי כהן. "גם אני נזעקתי במיוחד מגל הכיעור, השנאה והאלימות שצץ ערב המבצע בעזה, עם חטיפת הנערים", אמרה לבני בפתח דבריה. "הגל לא התחיל מאפס... אבל הצירוף והריבוי והתכנים בעיניי היו פעמון אזעקה מאוד חזק ומאוד צורם. אם לא נטפל בזה בחקיקה, מדינות ישראל על ערכיה הבסיסיים יכולה למצוא את עצמה בהידרדרות".

במהלך המושב נשאו דברים גם פרופ' מיכאל קרייני, עו"ד ד"ר יעקב וינרוט, פרופ' רות גביון ופרקליט המדינה שי ניצן, שהטיל ספק ביכולתו של המשפט

◀ לשמש כלי בלעדי למלחמה בגזענות ובהסתה. "האם המשפט יכול להוות תשובה לגזענות?", שאל את הנוכחים. "בדרך כלל אני עונה לשאלה זו במילה אחת 'לא' ובשתי מילים 'לא לבד'". לדבריו, "נדמה לי שלא פחות חשוב מדובר על הדרך המשפטית להיאבק בתופעת הגזענות. כמשפטן וכמי שעוסק בזה עשורים רבים, הרבה יותר חשוב המאבק החינוכי והמאבק החברתי". ניצן המשיך לתאר את המאבק המשפטי בספר ההלכה "תורת המלך" ואת החקירה שנפתחה בנושא נגד הרבנים שפרסמו אותו. החקירה הסתיימה ללא הגשת כתב אישום. "זה מלמד שהעולם הפלילי הוא מורכב, הוא קשה, ולסמוך עליו במלחמה במאבק בגזענות – אני לא הייתי עושה את זה", אמר.



מימין: הנשיא ריבלין, פרופ' ארנון, פרופ' קדר והשר פירון

את המושב השלישי, שהוקדש לחינוך – "החינוך כאמצעי לחולל שינוי ביחס לאחר" – פתח פרופ' באואר, שהנחה את הדיון, בסדרת שאלות. הוא תהה איך לחנך מורים למלחמה בהסתה, כיצד להיאבק בקבוצות תלמידים בעלות עמדות גזעניות מהבית ואם להציע תכניות שונות למסגרות שונות. "עצם המתודולוגיה היא בעיה שכדאי לעסוק בה", אמר, והמליץ כי "יש מקום שהאקדמיה תמליץ על הדרכים המתאימות לענות על השאלות הללו".

במושב נשאו דברים גם פרופ' אייל נווה, הרב אברהם גיסר, ד"ר אייל קמינקא, פרופ' פאדיה נאסר-אבו אלהיג' ופרופ' גבריאל סלומון, שטען כי תכניות חינוך לבדן אין בהן די כדי להיאבק בגזענות. "שמעתי את שם החינוך נישא בשמחה בתור התחום שיציל את עם ישראל מהגזענות. אני רוצה לחלוק על זה", אמר. "15 שנה חקרתי, ואני ממשיך לחקור. לא מצאנו מחקר אחד שמראה שיש השפעות ארוכות טווח לתכניות נגד גזענות... איש לא בדק והראה שנשאר משהו מההשקעה". עם זאת פרופ' סלומון ציין מקרה אחד, מחוץ למערכת החינוך, שבו הראה מחקר השפעות חיוביות נמשכות נגד גזענות:



מימין: עו"ד ניצן, פרופ' כהן, פרופ' גביזון והשרה לבני

מועדוני כדורגל משותפים ליהודים ולערבים. הסתבר כי יש ירידה חדה בגזענות כלפי ערבים ויהודים בקרב מי שהולכים למועדון כדורגל משותף.



"למה זה מצליח?" תהה, "משום שיש תלות הדדית בין השחקנים, יש כבוד הדדי, ויש מטרה משותפת. יש פעילות מתמשכת – פעמיים בשבוע למשך שנה – והסביבה תומכת. ההורים הרי יושבים יחד על הספסלים".

"מה שהרשים אותי במיוחד היה כובד הראש שכל הדוברים הקדישו לתחומם", אמר לאחר הכינוס פרופ' קדר. "הם הדגישו עד כמה קשה להתמודד עם נושא מורכב כמו גזענות והסתה. המשפטנים דיברו על קוצר ידו של המשפט להתמודד עם הבעיה, אף שכולם הסכימו שהוא צריך לעשות זאת; אנשי החינוך היו זהירים מאוד בעניין האפשרות לשנות עמדות באמצעות תכניות חינוך; בפאנל שעסק ביהדות הועלו טענות כי חסר היסוד הסובלני במסורת". במושב הסיכום של הכינוס עלתה לדיון יזמת האקדמיה לדון בנושאים כמו שנאה ואלימות. את העמדה המבקרת את האקדמיה על העיסוק בכך

הביע פרופ' ישראל אומן. "אני מצטער שאירוע זה מתקיים בחסות האקדמיה ובמשכנה. כאן האקדמיה למדעים, ואין קשר בין אירוע זה למדע. זהו כינוס בעל צביון ציבורי, חברתי, אבל לא מדעי... זוהי האקדמיה למדעים – ולא מועדון לתיקון העולם", אמר.

פרופ' ידין דודאי, שהשתתף גם הוא במושב הסיכום לצד פרופ' קדר ופרופ' דוד הראל, חלק עליו. "אני חושב שיש לאקדמיה מקום אדיר בניסיון להבין מהן שיטות המחקר שתאפשרנה להבין



מימין: פרופ' הראל, פרופ' דודאי, פרופ' קדר ופרופ' אומן

ואולי גם להטות את התהליך שאנחנו נמצאים, או שאיננו נמצאים, בו". פרופ' קדר, שנשא דברים גם במושב הסיכום, התייחס לסוגיה גם לאחר הכינוס: "ראינו את הדברים כך, שמבחינה פורמלית חוק האקדמיה מונה עם מטרותיה 'לטפח ולקדם פעילות מדעית' ובוודאי בתחומים החיוניים לקיומה של החברה. דיון בשנאה ובאלימות הוא דבר שאינו רק מתבקש אלא משהו שאנו ממש חייבים בו בשעה זו. זהו נושא שנוגע לאופייה של החברה שלנו. ליכולת עמידותה. מבחינה זו, לדעתי, פעלנו לפי המטרות שהאקדמיה חייבת בהן", אמר.

הוא הוסיף: "הנשיא הראשון של האקדמיה, מרטין בובר, דיבר לא מעט על הנושאים הללו. אין לי ספק שאילו היה אתנו הוא היה מברך על המאמץ הזה. הרי 'מדע' בעברית הוא לא רק Science במובנו באנגלית, אלא גם Wissenschaft הגרמני, ועל כן כוללת האקדמיה שלנו גם את תחומי הרוח, החברה והמשפטים. בשל חומרת המצב, כינוס זה ופעילות מתמשכת הם מתבקשים, ומשום כך דיון בשנאת הזר מנקודת הראות של המשפט והחינוך הוא בהחלט דיון ראוי להתקיים באקדמיה למדעים".

## דברי נשיא המדינה בכינוס "משנאת הזר לקבלת האחר" של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

מכובדיי כולם,

את מרטין בובר הכרתי כילד קטן, כאחד השכנים בשכונת רחביה שבה גדלתי. אדם, שהדרת פניו ודמותו חרותים בך, גם טרם שעמדת על טיבו. רק כשבגרתי התחלתי להבין שה"שכן" הזה אינו סתם שכן, אלא שכן מיוחד, מקורי, רחב כתפיים ויוצא דופן. לפני שנים רבות פורסם מאמר הסוקר את פעילותו הספרותית של אבי, הפרופסור יוסף יואל ריבלין. כותב המאמר הזכיר אגב אורחא שבשעה שמרטין בובר ופרנץ רוזנצוויג עמלו על תרגום חדש של התנ"ך לגרמנית, שהה אבי בלימודיו בפרנקפורט, אצל המזרחן היהודי-גרמני יוסף הורוביץ (לימים ממקימי האוניברסיטה העברית והיזום של אגודת "ברית שלום"), תוך שהוא עושה ניסיונות ראשוניים, עם ביאליק יחד, בתרגום הקוראן לעברית.

שנים רבות האזכור הביוגרפי הזה היה בעיניי לא יותר מאשר אנקדוטה זניחה, לכאורה. אך לאחרונה חשבתי שנית על הליך התרגום ומשמעותיו, ועל המכנה המשותף שבא לידי ביטוי בתהליך מרתק זה. הזמן הוא אמצע המאה ועשרים, אחרי מלחמת העולם הראשונה. אירופה חווה תסיסה פנימית, ביחס לעצמה, ביחס למיעוטים החיים בה וביחס לקולוניות שמחוצה לה. מסביב ייהום הסער, ובתוכם, בעין הסערה, עמלים אנשים שונים, ברצינות תהומית, על תרגום טקסטים קאנוניים, ספרי יסוד של דתות וציוויליזציות, משפה אחת לאחרת. אפשר לעצור ולשאול: למה? בשעה כה סוערת מוצאים להם אנשים יצירתיים ורחבי דעת זמן לעסוק דווקא ב"תרגום"? הרי התנ"ך תורגם גם בעבר לגרמנית. גם הקוראן תורגם לעברית. הצורך בתרגום חדש לא נבע מקושי לשוני. אם כן, מדוע התעורר צורך כה דחוף בתרגום חדש של טקסטים קנוניים?

אפשר לתרגם חומרים כדי לשלוט, כדי למשול, כדי לכבוש, כדי לדעת את האויב, או להשיב תשובה לאפיקורס. אפשר לתרגם טקסטים כדי להשתמש בהם להוכחת העליונות של הציוויליזציה או התרבות שלך. כך למשל התנ"ך תורגם פעמים רבות לצורך הוכחת עליונותו, ולחלופין לצורך חשיפת סתירותיו או להוכחת עליונות הברית החדשה על הישנה. אלא שבובר ורוזנצוויג, ובהקשר אחר, אבי ז"ל, מתרגמים מתוך מניע אחר לחלוטין. הם תרגמו את התנ"ך או את הקוראן מתוך כוונה ליצור דיאלוג, שיחה בין תרבויות ודתות. מפעל התרגום שלהם הונע מתוך רגישות דתית, ספרותית ולשונית לשפה, לתרבותה ולאנשים הנושאים אותה וחיים אותה. הצורך בתרגום חדש נבע מתוך תפיסת עולם חדשה, מתוך אמונה עמוקה בכוחו של הדיאלוג, בחיוניותו וביכולתו להציע בשורה לאנושות מוכה וחבולה. הם האמינו בכנות שמכאוביה של אירופה יבואו על פתרונם, בין היתר כאשר היא תצליח לפתח שפה שבה היא תתקשר עם העולם והתרבויות שבסביבתה. חייבת להיות דרך לדיאלוג בין-דתית, בין-תרבותית, בין שפות שונות ותפיסות שונות לא מתוך ויתור על עמדתך אלא מתוך נכונות לראות



הנשיא ריבלין

בתרבות האחרת רבת ערך, אנושית, עומדת בפני עצמה, מרחב עצום של התרחשות. התרגום הוא בסיס לשיח שבלעדיו אין חיים תרבותיים משותפים, ואולי אין חיים כלל.

אצל בובר, כך אני סבור, לתרגום היה ערך עמוק אף יותר. בובר הגיע לתרגום התנ"ך כאשר הוא כבר היה אמן הדיאלוג, הן בהקשר הפילוסופי הן בהקשר הבינ-דתי.

במונחים של בובר, לדיאלוג היה ערך כשלעצמו. שיח אמתי, כך לימד אותנו בובר, יש לו היכולת להביא אותנו להכיר ב"לז" כ"אתה". תרגום הנעשה מתוך כבוד וכנות הוא האופן שבו תרבות אחת עוברת טרנספורמציה ביחס לתרבות אחרת, מיחסי "אני-לז" ליחסי "אני-אתה". תרגום כזה הוא הדרך להביט בתרבות השונה ולהכיר אותה לא כתרבות סתם, לא כתרבות שלהם, לא כמושא למחקר אלא כחלק מתרבותך שלך, כתרבות הרלוונטית לחייך שלך. תרגום כזה מבטא דיאלוג שאיננו מחפש שליטה, הוא מבטא שיח פתוח ומזמין, שנקודת ההתחלה שלו אולי ידועה, אבל נקודת הסיום שלו איננה מוגדרת.

מכובדי,

אנחנו עומדים כאן הערב, בפתח השנה האקדמית, לאחר קיץ קשה, כואב ומדמם. סטודנטים רבים גויסו ל"מבצע צוק איתן". המתח בין יהודים לערבים בתוככי מדינת ישראל, עלה לשיאים חדשים, והיחסים בין הצדדים הגיעו לשפל חדש. כולנו היינו עדים לרצף של תקריות אלימות מזעזעות, משני הצדדים. מגפת האלימות איננה מוגבלת למגזר זה או אחר, היא מחלחלת לכל תחום ואינה פוסחת על שום זירה. יש אלימות במגרשי הכדורגל ויש אלימות באקדמיה. יש אלימות ברשתות החברתיות ובשיח היום-יומי, בבתי החולים ובבתי הספר (באופן אישי, ביקרתי את משפחתו של מנהל בית הספר בטייבה ◀

◀ שנרצח בתוך בית ספרו, ולהבדיל, גם אני נחשף לתגובות של אלימות מילולית לא קלה בכל פעם שאני מעלה פוסט כזה או אחר בדף הפייסבוק שלי, באופן שאיננו מוצא חן בידי קבוצת גולשים מסוימת). הגיע הזמן להודות ביושר כי החברה הישראלית חולה, ובמחלה הזו חובה לטפל. בפרפרזה על הרצאתו של בובר, אני אינני שואל: "האם שכחנו להיות יהודים?" אלא: "האם שכחנו להיות בני אדם?" "האם שכחנו כיצד לדבר?" "האם נטשנו את סוד הדיאלוג?" לאקדמיה הישראלית יש בעיני תפקיד מכריע בצמצום האלימות בחברה הישראלית. המרחב האקדמי, שבו תרבויות ושפות נלמדות מתוך רצון להכיר אותן, בזיקת אני-אתה, צריך להיות מרחב מייצר לא רק למידה אלא גם מפגש ממשי. מרחב שמכשיר דור חדש של אזרחים ישראלים שיודעים לדבר אלה עם אלה, ובעיקר שיודעים להקשיב אלה לאלה. בשעות כאלה אנחנו צריכים ללמוד מחדש איך לדבר, איך לשוחח, איך לחלוק בלי לשלול, איך להתווכח בלי להסכים. האקדמיה אינה יכולה להסתתר מאחורי ספרים ומחקרים. האקדמיה, כפי שאפלטון ייסד אותה, היא מקום שבו נלמדת דרך חיים. במרחבי הקמפוסים בישראל עוברים עשרות אלפי צעירות וצעירים ישראלים, מכל גוני החברה הישראלית: חילונים וחרדים, יהודים וערבים. לרוב הם חולפים אלה על פני אלה בשתיקה, במסדרונות, ובין הספסלים. לכל היותר הם מחליפים סיכומים. האקדמיה בעיניי יכולה וצריכה להיות מרחב התרגול הגדול ביותר, בהיקפו ובמשמעותו, של הדיון הדליברטיבי בישראל. כזה שמתקיים בו דיאלוג קשה, כפי שמכנה אותו הרב זקס, ולא רק ויכוח או עימות. אם בוויכוח שני הצדדים נשארים כפי שהיו בתחילה, הרי שבדיאלוג הקשה, בשיחה אמיתית (אלה שלא מתקיימים בצעקות ואגב חילופי שמות נוראיים) חל שינוי בשני הצדדים. אין זה מתפקידי או מכוחי לברר לאקדמיה את תפקידה במאבק על הבית הישראלי, אך אני קורא לכן ולכם לברר את חלקכם במאבק על דמותה של החברה בישראל. אני מצהיר כאן בפניכם כי בכל עשייה שלכם לטובת המאבק בנגע האלימות בחברה הישראלית, בית הנשיא, כמו גם הנשיא היושב בתוכו, עומדים לשירותכם.

אין בידי כלים רבים להשפעה על דרכה של האקדמיה, אבל לבקשתי, מלגות הנשיא, הראשונות שיוענקו על ידי, יוקדשו לסטודנטים ממדעי הרוח והחברה שעבודותיהם מתארות מפגש בין תרבויות, שפות ודתות, בדגש על המפגש רב המשמעות בין "עבר, ערב ואדום". אני תקווה שתהיה לי האפשרות להביע במחווה זאת את אמונתי בתפקיד המשמעותי של המחקר במדעי הרוח והחברה כבסיס לפיתוחה של חברה סובלנית וקשובה.

מרטין בובר, היה הוגה דעות יהודי, ובתור שכזה קנה את מקומו בעולם והפך בתקופתו את המחשבה היהודית לחלק בלתי נפרד מתורת האדם וממחשבת האדם. כנביאי המקרא בשעתם, גם מרטין בובר לא היה פילוסוף הנחבא אל הכלים, מנותק מהווי העולם. היו לו דעות נחרצות, יוצאות דופן, המנוגדות לטעמו של הקהל הרחב, אך הוא לא היסס להביע אותן ואף להילחם עליהן. גם אנחנו מצווים להילחם על דעתנו, להתעקש על הקשבה, גם בהעדר הקשבה. מי ייתן וערכיו ועקרונותיו יהיו נר לרגליו, יהי זכרו ברוך. ברוכים תהיו. ■

## הרצאת הפתיחה בכינוס - מאת פרופ' יהודה באואר

יום העיון הנוכחי אינו עוד יום עיון על האנטישמיות, אף שהאנטישמיות שייכת בהחלט להקשר דברינו ביום העיון הזה. הוא גם אינו יום עיון על שנאת הזר בכלל, בעולם, בעבר ובהווה, אף שגם נושא זה שייך להקשר הרחב של עיוננו.

רצוי לברר ראשית מה אנו כוללים בהגדרת "הסתה", מבלי להיכנס בשלב זה לדיון אקדמי, שיש לקיימו ושיתבסס בוודאי על תובנות של הפסיכולוגיה, הפסיכולוגיה החברתית, מדע המדינה, המשפטים, ההיסטוריה ותחומים רלוונטיים אחרים. דיון כזה יתקיים, אני מקווה, בפורומים מתאימים בתוך האקדמיה ומחוצה לה. מטרתו תהיה פונקציונלית: להקל צעדים משפטיים, חינוכיים ומדיניים שיוכלו לצמצם את היקפי ההסתה. לצורך ענייננו אפשר אולי להסתפק באמירה כללית שכאשר פרט או ציבור במדינת ישראל תוקף, מילולית או תקשורתית, פרט או ציבור אחר בכוונה לפגוע בו, להקשות את חייו או את תפקודו, לגרום לו נזק פיזי או נפשי, או אף לסכן בכך את חייו – נראה בזה הסתה. אני מציע להבחין בין הסתה לבין תוצאותיה הפיזיות. פגיעה פיזית שנגרמה מהסתה מחייבת תגובה שלטונית משפטית חריפה ביותר.

מטרתה של הסתה היא ללבות שנאה ולהביא להרחקה, לפגיעה חמורה, להשפלה ועד לאיון של הפרט או הציבור המותקפים. במושג "הסתה" אין לכלול הבעת דעה פוליטית, ביקורת על הממשל, על הצבא, על המדיניות או על החברה בישראל. גם לא ביקורת חריפה ביותר שאינה מקובלת על חלקים גדולים בציבור, כי למול כל אלה עומד העיקרון של חופש הדיבור והדעה, וכל פגיעה בו תסכן את החברה הישראלית אף יותר מן ההסתה.

הנושא המרכזי שלנו הוא בראש ובראשונה שנאתם של יהודים ישראלים, כרוב מבין אזרחי המדינה, את שכניהם, ערבים אזרחי ישראל, ולהפך, וגם שנאת מהגרים או פליטים אפריקנים החיים כאן. כן היינו עדים לתופעות של שמחה לאיד בציבור הפלסטיני/ערבי אזרחי ישראל כשנורו טילים ליישובים יהודיים, והיו גם מקרי תקיפת יהודים בידי ערבים פלסטינים. לא נכלול בזה הבעת צער על אבדן חיי אזרחים, משני הצדדים, באירועי עזה האחרונים. נרצה גם לעסוק בשנאה ובגילוייה השונים של ימין פוליטי כלפי שמאל פוליטי ולבדוק זאת גם בכיוון ההפוך. טרם נתקלתי בדיווח על בריון או בריוני שמאל גברתניים התוקפים מפגיני ימין או מתנכלים לאנשי ימין המהלכים ברחוב, אבל יש בהחלט לבדוק התבטאויות מילוליות מכיוון שמאל שהן בבחינת הסתה. נרצה לברר אם יש לעסוק גם בביטויי איבה של אשכנזים נגד מי שמכונים "מזרחיים", ולהפך. כן לא צריך להתעלם מן ההסתה של פרטים או ציבורים דתיים קיצוניים נגד חילוניים ולהפך, או הסתה לשנאת ערבים בספרי לימוד בבתי ספר חרדיים, שהם תמונת מראה לתופעות דומות בספרי לימוד פלסטיניים על יהודים וישראל. הנחתי שלי היא שיש קשר בין כל התופעות האלה, ויסודו של הקשר הזה במשבר חברתי עמוק העובר על

◀ הציבור בישראל. רצוי שחוקרים ינסו לברר ביתר עומק מה מקורות המשבר הזה. האם הוא תוצאה של המצוקה הביטחונית, או של חוסר מוצא מדיני, אולי של הפערים העדתיים, או של גידול הפערים הכלכליים בין עשירים לעניים? או שמא – וזה הגיוני בעיניי יותר – הגורמים האלה ועוד אחרים שותפים כולם ביצירת המשבר? סביר ביותר להניח גם שתופעות אלה בישראל משקפות מגמה כללית יותר במדינות רבות אחרות, וכל ניתוח של המקרים אצלנו מוכרח לעסוק גם בפן ההשוואתי. אין ספק בקיום האיומים הביטחוניים הממשיים מאוד על ישראל ועל אזרחיה מן החוץ, אולם אלה משמשים לעתים קרובות עילה להסתה לאומנית קיצונית נגד זרים בכלל וערבים בפרט. אנחנו, כאנשי האקדמיה הישראלית למדעים, נקראים לבדוק את הרקע לתופעות אלה, את הסיבות המשוערות להתגברותן בעת האחרונה ולהציע הצעות לצעדים שניתן לנקוט נגדן, מתוך הנחת יסוד, המשותפת לנו, שתופעות של שנאה, הסתה, הדרה, פגיעה מילולית או פיזית, הפליה וכיוצא באלה, לא רק שהן פוגעות פגיעה חמורה ביותר בישראל כמדינה דמוקרטית אלא שהן בבחינת סכנה קיומית לחברה הישראלית כולה, לתרבותיותה, לסיכויי התפתחותה, ובסופו של דבר לביטחונה הפנימי והחיצוני.

אולם האקדמיה אינה גוף פוליטי, ואין זה מתפקידה לנהל את המאבק היום-יומי בהסתה לסוגיה, אף שכל חברה/ בתוכה רשאי/ת כמובן להביע את דעתו/ה בכל פורום מחוצה לה. תפקידה כאמור הוא בירור, ניתוח, ניסיון להגיע למסקנות וייעוץ בדבר פעולות מעשיות. זוהי דרך המעורבות המעשית שבה אנשי אקדמיה בכלל וחברי האקדמיה למדעים בפרט יכולים לנקוט כדי לנסות ולהשפיע על המציאות החברתית. רצוי שהמערכת הפוליטית – משרדי הממשלה, הכנסת, הרשות השיפוטית – תשקול צעדים מעשיים, ואם האקדמיה יכולה לתרום לכך, נצא כולנו נשכרים. יש כאן גורם מוסרי בסיסי: אנשי אקדמיה מחויבים מעצם עיסוקם להתריע, לא לשתוק ולקבל מציאות שלדעתם מסכנת את החברה שבה הם חיים. אם לא הצלחת לשנות, לפחות אמרת את דעתך, או שמא זעקת את זעקתך, בתקווה שאנשים בתוך המערכות הפוליטיות והאחרות ומחוצה להן ישמעו אותה.

בציבור נוהגים לכנות את מכלול התופעות שבהן אנו דנים – "גזענות". אולם אין מדובר אצלנו על שנאה על בסיס גזע, צבע עור וכיוצא באלה, אלא שנאה לאומנית או דתית או אנטי-דתית קיצונית. הפליה גזענית קיימת בשוליים – למשל בתופעות של הדרת עולים מאתיופיה בחברה היהודית, וביחס קיצוני גזעני כלפי פליטים מאפריקה.

האם ההסתה בחברה הישראלית מבוססת על גזענות? התשובה היא בשלילה. כאשר חברות של בריונים יהודים קוראות "מוות לערבים", כאשר נערים יהודים מכים ערבים בשכונות יהודיות, או כאשר פלסטינים מוסתים בשטחים צועקים "אטבח אל יהוד", אין מדובר בשנאה על בסיס צבע עור. ההסתה היא על בסיס לאומני ודתי. ספר ההסתה המזוויע לרצח, "תורת המלך", של שני רבנים



פרופ' באואר

בשומרון, הקורא להרג של מי שמוגדרים גויים, כלומר בפועל ערבים, הוא על רקע דתי ולאומני. כמובן, זה לא רק אצלנו: בצפון אירלנד לדוגמה הרקע הוא כביכול דתי, אבל מאחורי זה עומד סכסוך שהוא ביסודו לאומי חמור ועתיק. כל זאת לעומת המהומות בעיירה פרגוסון במדינת מיזורי, שהן קמו על רקע גזעי, בין אפרו-אמריקנים לבין לבנים, או לפחות כך הדבר על פני השטח.

כדאי לעמוד, בזהירות המתבקשת, על הסתה שיסודה דתי. הסתה, הפליה, שנאה, ועד רצח המוני, הן תופעות שכיחות פחות בין תרבויות פוליתאיסטיות לעומת חברות מונותאיסטיות. אמנם, דווקא בבורמה הבודהיסטית הייתה מלחמה אכזרית בין אנווראתהא, המלך הבודהיסטי, לבין עם המון (Mon) במאה ה-11 (1057), על שליטה בכתבים הבודהיסטיים הקדושים, שבמרכזם, כמה פרדוקסלי, הימנעות מאלימות. אולם כללית, לא היו מלחמות דת בין המאמינים בדתות פוליתאיסטיות, והדבר הגיוני: כאשר כוחות הטבע והחברה מבוטאים על ידי אלים שונים ורבים, אין מקום למריבות. אלים שנקראו בשמות שונים בתרבויות שונות, אבל תפקידם בפנתאון האלים היה דומה או זהה, היו לדמות אחת, וכך יכלו לשמש קבוצות אנושיות שונות. לעומת זאת המונותאיזם הוא אקסקלוסיבי. אם אינך מאמין בדת שלי, או אינך מקיים מינימום מסוים של חובות שהדת שלי מטילה גם על מי שאינו מאמין בה, תבלה את חיי הנצח באווירה החמימה של גיהנום כלשהו. מאחורי זה הסתתרו

◀ כמובן גורמים ארציים מאוד – תאוות שלטון, אינטרסים חומריים וכיוצא באלה. שלטון שרצה בהאחדת האוכלוסייה מבחינת האמונות שלה לא ראה בעין יפה גיוון של אמונות. החשמונאים הכריחו את האדומים, ואולי גם אחרים, לקבל עליהם את הדת היהודית, ובני ישראל ואחריהם היהודאים והיהודים ראו באויביהם את אויבי אלוהיהם. מיליוני אנשים נרצחו בידי ממלכות נוצריות בשם דת האהבה הנוצרית. הסיבות האמתיות למלחמות אלה היו מרובות, והפנטיות הדתית הייתה רק אחת מהן, אבל הדת סיפקה לעתים קרובות מאוד את ההצדקה הנדרשת למעשי הזוועה. לא רק עובדי אלילים נרצחו בהמוניהם, אלא גם מיליוני נוצרים נרצחו בידי נוצרים אחרים כאשר ההסתה הייתה בשם פירוש שונה במקצת לכתבי הקודש בין קתולים לפרוטסטנטים. כיבוש המזרח התיכון ומעבר לו בידי הצבאות המוסלמים נעשה בשם דת של שלום עולמי ותבע מספר עצום של קרבנות. בהמשך מוסלמים רצחו, ורוצחים, מוסלמים אחרים בהמוניהם, והעילה היא דתית, גם כאשר הסיבות האמתיות הן אחרות או מסובכות יותר.

אולם האמונה העזה באמיתות דתיות היא גם חיובית. בלא דת אין תולדות של תרבות. באך ומיכלאנג'לו היו נתפסים היום כפונדמנטליסטים דתיים. אך אין "מתאוס פסיון" בלי נצרות. אין קפלה סיסטינית בלי נצרות, ואין לתאר את התרבות הנאורה האירופית בלי עברה הדתי של אירופה. אין שווה דגון מוזהב בינגון בלא הבודהא, ואין טאג' מאהל בהודו בלא אסלאם. כך גם אצלנו. מייסד החסידות, ורבים כמוהו, היה גם מאמין אדוק בדתו וגם אדם שראה באמונתו הדתית פתח הצלה לכל בני אנוש מסבל קשה ומתמשך. המורשת היהודית מורכבת מאוד: מצד אחד פרק לא בספר במדבר, הדורש מבני ישראל להרוג את כל בני מדיין, וכאשר הם הורגים רק את הגברים, בא אליהם משה ודורש מהם בשם האל להרוג גם את הנשים ואת הילדים הזכרים, ומצד אחר מבוססת המורשת ההומניסטית המערבית במידה לא מעטה על כתבי הנביאים, והעם היהודי הקטן הזה תרם תרומה אדירה למיטב האתיקה העולמית, התאורטית והמעשית. גם בתקופה המודרנית, עם עליית זרמים רעיוניים שונים ביהדות, מצאו גישות כמו זו של מרטין בובר, נשיאה הראשון של האקדמיה, ושל רבים אחרים דרך אל לבות בני תרבות בעולם כולו.

במציאות הישראלית הסבוכה התפתח סוג של פונדמנטליזם בעל מאפיינים גנוצידליים ברורים בנוסח "תורת המלך". מקורותיו בפירוש מסוים קיצוני של המורשת הדתית היהודית, וניתן להבחין בניצוצות שלו גם בתקופת טרום-המדינה. אולם פיתוח גישות כאלה ניכר בעיקר לאחר מלחמת ששת הימים, לפני קרוב לחמישה עשורים. יש כאן תמונת מראה לקיצוניות האסלאמית, ומי שקורא את שני הצדדים הללו אינו יכול לדעת שיש לא להתרשם מהקרבה הבסיסית ביניהם. קיצוניות דתית אינה חדשה, ומולה עומדת גישה דתית מתונה, אוהבת אדם ועם, בעלת מאפיינים אוניברסליים. אין זה מאבק חדש כל עיקר. צמיחתה של קיצוניות אסלאמית, המייצגת בסופו של דבר, כנראה, כך נקווה, מיעוט בעולם המוסלמי, אבל מיעוט אלים ומסוכן ביותר לכלל החברה האנושית, מביאה אולי לתגובה בעלת אופי דומה בחברות אנושיות כמו זו שלנו.



היסוד השני, ואולי חשוב אף יותר, הוא היסוד הלאומני. כידוע לכולנו, קיימים סוגים שונים של לאומיות, ויש ויכוח אקדמי בעל חשיבות רבה בשאלה מתי ובאילו תנאים צמחה הלאומיות – אם היא תופעה שקשורה למהפכות התעשייתיות האירופיות, או יסודה עוד בעת העתיקה במודעות הקולקטיבית של קבוצות אנוש לעצמן. לטעמי, מודעות קולקטיבית כזאת קיימת במי שקראו לעצמם בני ישראל, ואחר כך אנשי ממלכת יהודה, ואחר כך יהודים, מאז העת העתיקה. המודרנה הוסיפה ללאומיות שכבות חשובות ומודעות בעלת אופי שונה, וזהו תהליך שנמשך גם כיום ביבשות אפריקה ואסיה. בעת משברים פוליטיים ואחרים מתפתחת לאומיות קיצונית ואקסקלוסיבית המכונה בפינו "לאומנות". היא קמה תחילה באירופה, במאה התשע-עשרה, הגיעה לשיאים הידועים לנו במאה העשרים, והיא חיה וקיימת כיום, ולא רק באירופה ובאזורנו.

המאבק בין שני הלאומים, היהודי והערבי, על חתיכת הנדל"ן הקטנה שבין הים לנהר הוליד מצד אחד לאומנות ושנאה עזות, ומצד אחר ניסיונות, משני הצדדים, אבל בעיקר מקבוצות בצד היהודי, למצוא דרכי ביניים ופשרות שיאפשרו הפגת מתח ואפשרות של חיים משותפים, הן בין פלסטינים בשטחים לבין ישראל הן בין יהודים לערבים/פלסטינים בתוך ישראל עצמה. היה בסיס דתי ללאומיות וללאומנות בשני הצדדים, גם אצל יהודים שלא היו דתיים כלל ועיקר, כי הטיעונים היו מבוססים, בשני הצדדים, על פירוש כזה או אחר של מסורות היסטוריות בעלות צביון דתי, אך היו, ויש גם כיום, פירושים דתיים ולאומיים חשובים המחפשים פשרה. אחרי מלחמת ששת הימים בוטא המאבק במונחים לאומיים/לאומניים בעיקר. מה שנוסף מאז הוא החיבור המתהדק והולך בין תפיסות דתיות ולאומניות קיצוניות בחלקים של האוכלוסייה, היהודית והערבית, של ישראל. דבר זה מוצא את ביטויו בהסתה, וההסתה מיתרגמת לפעולות פיזיות – "תג מחיר", תקיפות, פגיעות במסגדים וכנסיות ועוד. אזרחי ישראל הערבים הפלסטינים נתונים בדילמה קשה בין הזדהות אתנית מובנת עם פלסטינים בגדה המערבית ובעזה לבין רצונם לזכות בשוויון של ממש, ולא רק פורמלית, במדינה שמרביתם רואים בה את מדינתם, ישראל. העובדה שמצבם הכלכלי ואפילו החברתי במדינה המאפשרת להם חופש ביטוי הוא לאין ערוך טוב ממצבם של בני עמם מעבר לגבול – ומאחר שישראל גם לא סיפחה את הגדה המערבית, הרי גם תושבי הגדה וגם המתנחלים נמצאים פורמלית מעבר לגבול – אינה מפחיתה את תחושת התסכול מחוסר השוויון המעשי. להפך, התסכול מוביל לתחושות של איבה ושנאה, ולתופעות של הסתה.

המצב נפיץ. המלחמה האחרונה בעזה עוד חידדה את הבעיה. הסכנה אינה רק פגיעה באזרחי ישראל הערבים אלא גם שינוי שלילי ביותר באופייה של החברה הישראלית כולה, ובראש ובראשונה של החלק היהודי בה. אבדן יסודות הנאורות בחברה היהודית יביא בין השאר, ובהכרח, להחרפת המשבר בין ישראל היהודית לבין התפוצות, משבר שסימניו ברורים גם כיום. ביטחונה המדיני ◀

◀ הבינ-לאומי של ישראל תלוי במידה לא מעטה בשמירה קפדנית על יחסי קרבה בין יהודי ישראל ליהודי התפוצות.

ואשר לבעיות הפנימיות: בעולם של הסתה ושל תרגומה לפעולות פיזיות אין אפשרות לחנך לערכים כלשהם, גם לא לערכים של לאומיות יהודית. כאשר היחסים בין חרדים לחילונים ובין חלקים שונים בחברה הלא-חרדית מתמצים בקללות הדדיות, נהרס אט-אט המרקם החברתי המקיים את החברה, אפשרויות השליטה מצטמצמות, והלכידות המינימלית נמצאת בסכנה. מה עושים?

מקום מרכזי בפעולות נגד הסתה יש כמובן לחינוך. אבל אין מדובר בעוד תכנית שבה המורה עומד/ עומדת בפני תלמידים ומסביר/ה להם שלא יפה להסתה נגד האחר. לאחרונה פעל משרד החינוך להגדרת מערכי שיעורים המחנכים נגד הסתה, ואלה ראויים לדעתי לכל שבח. יש כמובן הבדל בין תכנית יפה לבין יישומה בשטח, וכולנו מודעים לכך. מלבד זאת צריך להבין שההסתה היא קודם כול של מבוגרים, הורי התלמידים, וצריך להעז ולנסות לחנך גם את המבוגרים, בתכניות המותאמות לקהלים שונים והמבוצעות לא רק בידי צוותים חינוכיים. צריך להשפיע על אמצעי התקשורת, במכתבים ובמאמרים בעיתונות הכתובה, אבל בעיקר בכלי התקשורת החברתיים, לפי תכנית גלובלית שתיבנה בשיתוף פעולה בין גורמים שונים. צריך לברר עם משפטנים מה ניתן לעשות באמצעות חקיקה – אינני מצדד בשום חוק שיצמצם את חופש הביטוי, ומבחינה זאת אני מצדד בדגם האמריקני הידוע לכולנו. אולם יש גבול, והגבול הוא הסתה הגורמת, או יכולה לגרום, לאלימות. אני מבקש להזהיר מפני הפיתוי לשים דגש בנאומים ובדרשות. פוליטיקאי או אקדמאי או עיתונאי או מורה הנואם נאום מזהיר נגד הסתה, נגד אלימות ובעד אהבת הזולת, הוא, במקרה הטוב, פטפטן שאינו מזיק, או לכל היותר מועיל במידה מועטה. בדרך כלל דרשה מוסרנית כזאת, בימינו אלה, נכנסת דרך אוזן הקליטה ויוצאת דרך אוזן הפליטה. נכון, כל פעולה נגד הסתה מוכרחה להיות מונעת על ידי זעם מוסרי הפונה נגד התופעה והמבוטא מטבע הדברים במילים. אולם הדרך אינה דרשה; החריש צריך להיות עמוק יותר. הוא מתחיל בגן, עובר דרך בית הספר היסודי והתיכון, עובר להשכלה הגבוהה ואינו נעצר בפני ציבורי הורים ומבוגרים בכלל. יש טעם בהעלאת דוגמאות של הצלחה, כמו ה־best practices – מפגשים בין קבוצות שונות של ילדים ונערים, ניסיונות להבין את התרבות האחרת, פעילות משותפת של מגזרים שונים וכיוצא באלה.

נחוצה תכנית כללית, מוסדרת, ולא ססמאות שבעזרתן יוצאים ידי חובה. אני מציע הקמת צוותים באקדמיה, בשיתוף הדוק עם גורמים משפטיים, חינוכיים וחברתיים כלליים, שיציעו הצעות מעשיות. אני מציע גם הקמת צוות שיתמקד בטיפול במהלכים מתאימים ברשתות החברתיות ובאינטרנט בכלל. צריך למהר, לאט וביסודיות. למהר – כי הבעיה בוערת; לאט וביסודיות – כי בעיית ההסתה לא תיעלם במהרה. האם נצליח? אינני יודע, אבל כדאי מאוד להשקיע בכך מאמץ. ■

# השבת מוחות

## כתב אסף אוני

נשיא האקדמיה דאז פרופ' מנחם יערי, שהיה חבר בוועדת שוחט, עמד בראש ועדת המשנה, שעסקה במחקר המדעי בישראל וטיפוחו, ובתוך כך בנושא החוקרים הישראלים השוהים בחו"ל. ועדת המשנה ביקשה לבדוק מה ניתן לעשות כדי לשמור על קשר עמם ולהקל במידת האפשר את שובם ארצה ואת השתלבותם במערכת ההשכלה הגבוהה.

לצורך עבודתה של ועדת המשנה הפעילה האקדמיה מפרברואר 2007 מרשם מקוון למדענים ולמשתלמים ישראלים צעירים בחו"ל, ולאור תוצאות המרשם החליטה האקדמיה לפעול להגברת קשר זה ולשמירתו, ופרופ' יערי יזם את כינונו של "מרכז הקשר" באקדמיה.

נשיאת האקדמיה פרופ' רות ארנון אמרה כי "האקדמיה מביאה באמצעות הנתונים הנאספים ב'מרכז הקשר' את

דבר החוקרים הצעירים הישראלים בחו"ל לידיעת הגורמים המוסמכים בישראל ועושה כמיטב יכולתה לסייע להם בנושאים הייחודיים המעסיקים אותם". עוד אמרה פרופ' ארנון כי על מערכת ההשכלה הגבוהה לעשות מאמץ ניכר כדי לקלוט את טובי החוקרים הצעירים ולהציע להם עתיד מקצועי נאות.

המרכז אוסף מידע ממוסדות ההשכלה הגבוהה בארץ ושולח לקבוצות חוקרים, הנבחרות לפי תחומים מקצועיים, מידע עדכני על המשרות הפנויות בתחומי התמחותם.

בשלוש השנים החולפות (בשנים האקדמיות: תשע"א-תשע"ג) חזרו לישראל 205 מדענים שהיו רשומים במרכז הקשר ושנעזרו בסיוע שהוא מושיט לחוקרים ישראלים בתהליך חיפוש עבודה או משרה אקדמית שיאפשרו להם לשוב לארץ.

נכון לנובמבר 2014 רשומים במאגר מרכז הקשר של האקדמיה 2,804 חוקרים ישראלים, שמרביתם

מועסקים בחו"ל ומעוניינים לשוב לישראל. כשליש מהם מתחומי מדעי החיים והרפואה, שלישי מתחומי המדעים המדויקים וההנדסה ושליש מתחומי מדעי החברה והרוח. 2,021 רשומים הם בעלי תואר דוקטור, 629 דוקטורנטים (סטודנטים לתואר שלישי) ו-154 תלמידי התואר השני. מדי יום ביומו נרשמים חוקרים חדשים למאגר, באמצעות אתר האינטרנט של האקדמיה.



מרכז הקשר נוסד ביולי 2007 על ידי האקדמיה למדעים לפי אחת ההמלצות של ועדת שוחט (הוועדה לבחינת מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל, בראשות מר אברהם [בייגה] שוחט). בדוח הוועדה, שהוגש ביולי 2007 לממשלת ישראל, מתייחסת המלצה 31 בפרק של ועדת המשנה לקידום המחקר האקדמי לסוגיית הקשר עם חוקרים ומשתלמים ישראלים בחו"ל ומצביעה על האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים כמוסד המתאים לכינונו ולביסוסו של מערך קשר נאות עם חוקרים ומשתלמים אלה.

הפעולה בין מרכז הקשר למוסדות האקדמיים בארץ, שכל המידע הנחוץ לחוקרים הישראליים יהיה מרוכז ונגיש במאגר אחד.

פעילות מרכז הקשר משתלבת באחת ההמלצות העיקריות של דוח מצב המדע, שפורסם לראשונה בשנה שעברה, בעקבות תיקון לחוק האקדמיה. הדוח, הסוקר את פעילות האקדמיה הישראלית, את כיווני ההשקעה הנחוצים בה

ואת עתידה, קובע כי יש "לבלום את המגמה המסוכנת של 'בריחת מוחות'". הדוח ממליץ לפעול ל"גיוס סגל צעיר ברמה עולמית, שדרוג תשתיות המחקר ובניית תשתיות מתקדמות נוספות, הכפלת תקציבן של קרנות מחקר תחרותיות, הקמת מרכזי מצוינות מחקרית ומאמץ לאומי להשבת מוחות' (brain drain reversal)".

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מגדירה שהות ממושכת בחו"ל כיציאה מהארץ לשנה ומעלה ואי־שהות

בישראל למשך שלושה חודשים רצופים בתקופה שאחרי היציאה הראשונית. לפי נתוני הלמ"ס, מ־1984 ועד 2008 קיבלו 16,041 תושבי ישראל תואר שלישי מאוניברסיטאות בארץ. נכון לשנת 2010, 11.9% מהם שהו ממושכת בחו"ל. בעיית "בריחת המוחות" מטרידה את האקדמיה הישראלית, ומשימת "השבת המוחות" ניצבת גבוה בסדר העדיפויות שלה. ■

◀ אחרי רישום קצר למרכז, המומלץ לכל אקדמאי ישראלי היוצא לחו"ל, יקבל החוקר בקביעות מידע על משרות שונות המוצעות באקדמיה ובתעשייה הישראלית. המרכז משתף פעולה עם כל הגופים הרשמיים המעורבים בניסיון להשיב את המדענים הישראליים לארץ, ובהם המרכז לקליטה במדע של משרד העלייה והקליטה, התכנית הלאומית להשבת אקדמאים, ות"ת ועוד.

החוקרים ששבו לארץ מציינים כי העדכון השוטף שקיבלו, בדואר אלקטרוני, ממרכז הקשר בדבר משרות, האפשרות לפנות טלפונית לקבלת הסבר כיצד לתעל את המאמצים למציאת משרה אקדמית לאפיקים המתאימים ביותר והמפגשים שהמרכז מארגן למועמדים – אלה סייעו להם רבות בתהליך החזרה לישראל. מערכת המחשוב של מרכז הקשר מצוי כעת בהליך מתקדם של שדרוג כדי לענות על הצרכים הגדלים ביצירת החיבור בין החוקרים

בחו"ל מחפשי העבודה לבין המוסדות האקדמיים בארץ.

בחידושים באתר יהיה לוח מודעות אינטראקטיבי שירכז את כל המשרות האקדמיות בישראל, הן באוניברסיטאות הן במכללות האקדמיות הן במכוני המחקר השונים, כדי שהרשומים במאגר יוכלו לחפש משרות בצורה אפקטיבית. למעשה, זאת תהיה הפעם הראשונה, בעקבות שיתוף



מרכז הקשר, כחלק מפעילותו, ארגן השנה, זו הפעם החמישית, מפגש ויריד תעסוקה שנתי, שבו הגופים השונים המעורבים בהשבת מדענים לישראל מציגים את פעילויותיהם, ומתקיימות שיחות בין מדענים השוקלים לחזור ארצה לבין נציגי המוסדות האקדמיים ועם מדענים שכבר חזרו ומספרים מניסיונם. כדי להגיע לחוקרים רבים, ככל האפשר, ברחבי העולם שודרו ההרצאות והפאנלים בשידור חי בערוץ ה"יוטיוב" של האקדמיה.

## ד"ר שי קובו

אתה מפסיד את ההיסטוריה של המשרות המוצעות, את הבנת הדינמיקה של המשרות האקדמיות בישראל. צריך להירשם כמה שיותר מוקדם".

המשרה שאליה התקבל בסופו של דבר – מרצה בכיר במחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה בפקולטה לחקלאות ברחובות של האוניברסיטה העברית – התפרסמה לראשונה ביוני 2012. "אחרי שראיתי אותה דרך הודעה ממרכז הקשר, נרשמתי בפעם הראשונה בחיי לכינוס שעסק בפטריות. הכינוס הזה סלל את דרכי לתחום שבו אני עוסק כיום. היה לי המזל לשאת הרצאה בכינוס, פגשתי חוקרים רלוונטיים, וגם קיבלתי מלגת מחקר בתחום. המשרה התפרסמה שוב ביולי 2013, ואז הייתי מוכן להתמודד עליה".

"למעשה", הוא אומר, "היה פה תהליך: בזכות העובדה שידעתי על המשרה ממרכז הקשר, עוד לפני שהייתי מוכן, עשיתי את הצעדים הנדרשים כדי להתאים אליה". אשתו, מספר ד"ר קובו, התקבלה עוד קודם לכן למשרה המשלבת מחקר ולימוד באוניברסיטה הפתוחה, והזוג וילדיהם חזרו ביולי 2013 לישראל. "צריך להבין, המצב לזרים בארצות הברית הוא לא מזהיר כל כך, אפילו בביו־טק", אומר ד"ר קובו. "במכון ◀

◀ כבר במהלך הדוקטורט הבנו שהכרחי לעשות בתר־דוקטורט בחו"ל", מספר ד"ר שי קובו, ששב למשרה אקדמית בכירה שמצא בעזרת מרכז הקשר של האקדמיה למדעים לפני כשנה. "חיפשנו מקום שיהיה טוב לשנינו, מה שהוביל אותנו בסופו של דבר לקרוליינה הצפונית, למשולש המחקר Research Triangle Park. אשתי (ד"ר עינת חזקני־קובו) השתלמה במשך שבע שנים בבת־דוקטורט באוניברסיטת 'דיוק', ואני השתלמתי במשך חמש שנים בבת־דוקטורט באוניברסיטה, ולאחר מכן במשרה במכון ממשלתי של מכוני הבריאות של ארצות הברית (NIH)".

"בשלב מסוים", הוא מספר, "חיפשנו משרות אקדמיות קבועות. התלבטנו בין ארצות הברית לישראל. בתחילה הייתה לנו מחשבה להישאר בארצות הברית, ובמיוחד למצוא משהו בקרוליינה הצפונית. זאת משום שהייתה באזור קהילה מגובשת ואיכות חיים גבוהה. במקביל נרשמנו למרכז הקשר של האקדמיה עם הקמתו, כדי לבדוק את האפשרות לחזור לישראל. זו נקודה חשובה – אם אתה נרשם רק כשאתה מתחיל לחפש עבודה,

"כדאי להכין תכנית חזרה לישראל כבר כשיוצאים לבת־דוקטורט"



## ד"ר חי דביר

// התגוררנו בסן דייגו כשבע שנים וחצי, וכמעט ראינו את עתידנו שם", מספר ד"ר חי דביר, המכהן כיום כראש המרכז לביולוגיה מבנית בטכניון. "התלבטנו במשך שנים אם לחזור או להישאר, כשאחד השיקולים המרכזיים שלנו היה הילדים. הבת הבכורה שלי הייתה בת 13 לפני שחזרנו לישראל, וזה היה כמעט הרגע האחרון שבו היינו יכולים לחזור ולאפשר לה להשתלב בלימודים". "אף שהיה רצון לחזור לישראל", הוא אומר, "לא שקלנו לשוב ללא משרה אקדמית. לכן שמחתי לראות הודעה בדואר האלקטרוני ממרכז הקשר על משרה פתוחה בטכניון שהתאימה ביותר להתמחות שלי".

בנוגע לסוגיית בריחת המוחות אומר ד"ר דביר כי "כמעט כל הבתר־דוקטורנטים שהכרתי בארצות הברית, שהגיעו לרמת הישגים שמצדיקה חיפוש משרה אקדמית, ניסו ומנסים לחזור לארץ. המצב הוא שאין מספיק מקומות. יש מדענים שמחפשים משרות במקביל גם בארצות הברית, ויש שאף לא קיבלו הצעות עבודה בישראל אך קיבלו הצעות יוקרתיות מהרווד, אז אי

◀ שבו עבדתי היו הרבה בתר־דוקטורנטים, וכשרואים אילו משרות הם מצאו בסוף, אתה שואל את עצמך אם הניסיון שלהם בכלל היה הכרחי".

"החזרה היא מורכבת", הוא מספר. "יש הרבה מאוד נקודות אור בחיים בישראל, ובשבילנו הדבר הטוב ביותר הוא החיים עם המשפחה. זה דבר שאולי לא הערכנו מספיק. אנחנו נהנים לראות את הקשר של הילדים עם הסבים והסבתות ועם בני הדודים – חוויות שלא היו להם בארצות הברית. מבחינה אקדמית זו קפיצת מדרגה, וקיבלתי את עבודת חלומותיי. מעבר לכך, אמנם יש הרבה קשיים תקציביים בארץ, אבל מבחינה אינטלקטואלית ויצירתית המדע הישראלי מתקרב בהחלט לרמה במקומות הטובים ביותר בארצות הברית". לדבריו, "מה שהייתי רוצה להבהיר לחוקרים ישראלים שיוצאים לחו"ל הוא שעליהם לצאת לבתר־דוקטורט כבר עם הבנה ברורה של התהליך: איך מוצאים עבודה לאחר מכן, איך מוצאים משרה בישראל או בחו"ל. רצוי מאוד שתהיה תכנית מגובשת. כיום, החוקרים הישראלים שיוצאים לבתר־דוקטורט אינם מבינים בדיוק כיצד התהליך מתרחש. צריך לדעת לאן לכוון, לא רק לעשות ניסויים במעבדה".



"כמעט כל מי שאני מכיר היה רוצה לחזור לאקדמיה הישראלית"

שלי רכשו בארצות הברית, ובאופן אבסולוטי החינוך שם היה טוב ומתקדם יותר, אבל מבחינה חברתית ומנטלית טוב יותר לילדים בישראל. הם פורחים". לחוקרים הנמצאים בחו"ל אומר ד"ר דביר: "מסלול הקביעות הוא לחוץ ואינטנסיבי בארץ כמו בחו"ל. עם זאת הוא מרתק והסיפוק ממנו רב. אמנם בארצות הברית יש משאבים רבים יותר ליישם מדע רב יותר. אולם אני סבור שהסיפוק מהעשייה הוא יחסי, ואם אתה מצליח להתבלט כאן, במשאבים הקיימים, הסיפוק שתזכה לו יהיה דומה. ייתכן שההכרה בכך, באופן מודע יותר או פחות, תורמת לעובדה שמרבית המדענים שהתחנכו בארץ עדיין מעדיפים לשוב לישראל כשהאופציה התעסוקתית קיימת בשבילם".

## ד"ר סמדר בן טבו דה־לאון

|| בגדול ידענו שאנחנו רוצים לחזור לישראל. בפועל זה היה קשה מאוד", מספרת ד"ר סמדר בן טבו דה־לאון, שחזרה לישראל למשרה של מרצה בכירה וראש המעבדה לחקר בקרה גנטית במחלקה לביולוגיה ימית באוניברסיטת חיפה לפני כשנתיים. "היה טוב מאוד שם, אבל ראינו כיצד הילדים שלנו הולכים ונעשים אמריקאים. ידענו שאין להם חיבור עם ישראל. בסופו של דבר, הרצון להיות קרוב למשפחה – הרגש – היה הדבר הכי חזק". ד"ר דה־לאון ומשפחתה חיו בקליפורניה במשך שבע שנים. "הייתי פיזיקאית, ובמהלך הבת־דוקטורט עברתי מפזיקה לביולוגיה ב־CALTECH (California Institute of Technology). הרמה, המשאבים והיכולת לעשות מחקר מדעי שם יוצאי דופן. הם נמצאים בחזית המדע. השמים הם הגבול, וזה באמת פיתה להישאר". לדבריה, "כשהתחלתי לחפש משרה אקדמית, עשיתי זאת גם בארץ וגם בארצות הברית. מרכז הקשר עזר לי מאוד בעניין הזה. הם שולחים הודעה על כל משרה פנויה, מה ששומר אותך מעודכנת בכל האפשרויות. יש מדי פעם מפגשים בארצות הברית שבהם מדענים

אפשר לומר שאין בריחת מוחות. אבל באופן מפתיע לכאורה, למרות המציאות הישראלית הלחוצה שבה ההישרדות היא במרכז ההווה של מרבית התושבים, כמעט כל מי שאני מכיר היה מעדיף עבודה בישראל". לדבריו, "היתרון במרכז הקשר הוא בכך שהוא מעביר את האינפורמציה ישירות אל חוקרים ישראלים. הוא מבצע בשבילם את עבודת הריכוז והעדכון. הייתי רשום בו כמעט מאז שנוסד, והוא היה מקור אינפורמציה חשוב ביותר. העדכונים שאתה מקבל מסייעים לך להרגיש שאינך מחמיץ איזו משרה שעשויה להתאים לך. לצד המשרות והקולות הקוראים, ייתכן שכדאי שפקולטות יפרסמו גם את תחומי העניין הכלליים שלהן דרך מרכז הקשר, כדי לסייע למדענים ולחוקרים להבין את התמונה באקדמיה הישראלית בצורה טובה יותר".

"בדיעבד ההחלטה לשוב הייתה מצינת מבחינה משפחתית וחברתית אך גם מקצועית", הוא אומר. "אתה יכול להיות מדען טוב בהרבה מקומות בעולם, אבל יש משהו בתרבות שבה גדלת, שמאפשר לך למצות את כישוריך טוב יותר. זה נכון במיוחד כשמדובר באינטראקציה עם מדענים עמיתים. מדע אמנם עושים 'באנגלית', אבל האינטראקציה בין אנשים תלויה במכלול שלם של קודים תרבותיים, והכרתם מקנה חופש מחשבתי ויצירתיות רבים יותר. באופן אישי אני מרגיש טוב יותר בארץ כמדען. אף שהייתי במכון סאלק בארצות הברית, ובמקומות אחרים שהם ב'טופ', לא הרגשתי שהמדע נעשה בהכרח ברמת טובה יותר מבישראל".

"מעבר לכך, הקליטה לילדים הייתה קלה ונעימה הרבה מעבר לציפיותינו. החיים בישראל מאפשרים לילדים עצמאות רבה יותר לעומת ארצות הברית. אני מאמין שהעובדה שילד יכול ללכת לבית ספר ברגל, לפגוש חברים ברחוב ולהתמודד עם סיטואציות חיים בסיסיות בעצמו מקנה לו הרבה אושר. סן דייגו נחשבת ל'גן עדן', אבל עדיין, משהו באינטנסיביות הישראלית כנראה עושה טוב לילדים ואולי גם לנו המבוגרים. יש הרבה ערכים מצוינים בעיקר של כבוד לאחר ולשונה שהילדים

**"אחרי שנתיים וחצי  
כאן אני יכולה לומר  
שהחיים בישראל היו  
חסרים לי"**



שלי בנוי – השולחן אינו מפריד ביני ובין האנשים אלא אנחנו יושבים זה ליד זה – נשאב מהמבנה של משרד ראש המעבדה שלי בקאלטק. אני מקווה שהבאתי אתי ערכים נוספים מארצות הברית, כמו הרצון לפתור שאלות מדעיות ולהתרכז פחות בסוגיות אישיות", היא אומרת. לדבריה, "כמעט כל מי שדיברתי אתו בחו"ל רוצה לחזור לישראל. העצה שלי למי שרוצה לחזור היא להתעניין הרבה לפני שפונים רשמית ולהתייעץ עם אנשי קשר בארץ, להשקיע בכתיבת קורות חיים המשקפים את המצוינות האקדמית ובכתיבת הצעות מחקר ממוקדות ותמציתיות. לפני הראיונות קשה להעריך איפה תהיה ההתאמה הטובה ביותר מכל הבחינות, ולכן כדאי להגיש לכמה שיותר מקומות, לבוא בראש פתוח לראיונות בארץ ולהשתדל לעשות רושם טוב בכל מקום. קשרים מקצועיים הנוצרים בריאיון יכולים להפוך לשיתופי פעולה פוריים אפילו אם בסופו של דבר הבחירה תהיה במקום אחר. בנוגע לשיבה, העצה שלי היא לחכות שנה-שנתיים לפני שמחליטים אם זו הייתה החלטה טובה או לא. בהתחלה רק צריך להחזיק מעמד. חזרתי כי הרגשתי שאין לי בררה אחרת, שאני חייבת לחזור, ועכשיו אני אומרת 'איזה מזל שחזרתי'."

◀ בכירים מסבירים על תהליך קבלת העבודה בארץ ועל דרישות המסלול האקדמי. זה היה מלמד מאוד".  
ד"ר דה־לאון מספרת שהנסיעה לישראל שבמסגרתה התראיינה באוניברסיטת חיפה מומנה דרך מידע שסופק לה ממרכז הקשר. "כתנאי לקבלת המימון מחייבים אותך להיפגש עם נציג של משרד הקליטה. זה יעיל מאוד. הם מספרים לך על הזכויות לתושב חוזר, על הכרטיסים המוזלים באל על. זה מחבר אותך לעניין השיבה והופך אותו לממשי".  
"חלק מהרקע לשיבה", היא מספרת, "היה תרבותי. התרבות בארצות הברית שונה לחלוטין. המרחב רב מאוד, עד כי לפעמים הוא יוצר תחושה של ניכור. זאת לעומת החיכוך הישראלי, הכניסה של כל אחד לחיים שלך ושל ילדיך, שאפשר לראות בהם גם חום ואכפתיות. אחרי שנתיים וחצי כאן אני יודעת לומר שזה היה חסר לי, החום הישראלי. שם לא הרגשתי בבית, וכאן – עם כל הקשיים – אני מרגישה בבית, מקצועית ואישית".  
לאחר שהתקבלה למשרה החדשה עבדה ד"ר דה־לאון בשנתיים האחרונות על הקמת המעבדה. "בניתי אותה באופן שיהיה דומה למבנה המעבדה שבה עשיתי את הפוסט־דוק בקאלטק. למשל, הרעיון לצורה שבה החדר



## ד"ר איילת ארז

לדבריה, "חיפשתי מקום בישראל שיאפשר לי לשלב בין רפואה למחקר, כמו שעשיתי בארצות הברית. זה מצב בעייתי בישראל. רופאים כאן מקדישים כ-80% מזמנם לטפל בחולים, ואם אתה חוקר, רוב זמנך מוקדש למדע ולא לחולים. מה שסייע לי מאוד להחליט היה מימון הנסיעה (שאליו הגעתי דרך מידע ממרכז הקשר), שעזרה לי להגיע לישראל ולעשות מעין 'סיבוב הופעות' בפקולטות ובבתי החולים. בתחילה לא חשבתי אפילו לבוא למכון ויצמן מכיוון שכאן המחקר הוא בעיקר מחקר בסיסי ולא קליני, אבל חבר שעובד כאן אמר: 'אם את ממילא מרצה על תחום המחקר שלך, אולי כדאי שתישאי הרצאה אחת גם כאן'.

ד"ר ארז מספרת כי התרשמה מהרמה המדעית והאנושית של המכון. "מהר מאוד התרשמתי מהתשתיות של המחקר במכון ויצמן ומהאפשרויות של העבודה עם מדענים אחרים. כחוקרת בכירה, מכון ויצמן מאפשר לי יום בשבוע לעבוד בבית חולים, אבל עדיין הייתה שאלה מבחינתנו אם לחזור לישראל או לא".

"בסופו של דבר אדע אם המעבר היה מוצלח", היא אומרת, "גם מבחינת העבודה וגם מבחינת הילדים. מבחינה מקצועית אפשר לעשות בישראל עבודה מצוינת – השיקול צריך להיות אישי".

**ד**ר איילת ארז, מדענית ורופאת ילדים, שבה לישראל עם משפחתה ב־2012, לאחר בת־דוקטורט משולב עם תת־התמחות קלינית בגנטיקה ב־Baylor College of Medicine שבמדינת טקסס. "הייתי אמורה לחזור כבר ב־2011, אבל בקיץ של אותה שנה פרצה שביבת הרופאים", סיפרה. "כבר הייתה לי משרה של רופא חוקר בארצות הברית וגם זכינו באזרחות אמריקאית בהגרלה שנרשמנו אליה לגמרי במקרה, אז חשבנו שיהיה טוב יותר להישאר בארצות הברית עוד שנה".

ד"ר ארז שהתה עם משפחתה בארצות הברית כשבע שנים. "הנוחות שם רבה מאוד לעומת הארץ. כאן הכול אינטנסיבי, מלחיק, חם. היו שתי מלחמות מאז שחזרנו. אי אפשר להשוות את זה לחיים בארצות הברית". היא מספרת שהרקע לחזרה היה משפחתי. "התחלנו להרגיש שהילדות נהיות קצת אמריקאיות, אחרות מאתנו. היה גם לחץ של המשפחה לחזור. בסופו של דבר, אתה רוצה לתת לילדים את האפשרות להיות ישראלים. לתת להם סבא וסבתא ומשפחה לא־וירטואליים בסקייפ".

**"חיפשתי מקום שיאפשר לי לשלב רפואה ומחקר כמו בארצות הברית"**



# בהוצאה לאור



## *Guide to Hebrew Manuscript Collections*

מהדורה שנייה מעודכנת

מאת בנימין ריצ'לר

במהלך מאתיים השנים האחרונות "נדדו" ברחבי העולם אוספים גדולים וחשובים של כתבי יד עבריים. אוספים פרטיים התגלגלו לספריות ציבוריות, כתבי יד יחידים ואוספים החליפו ידיים, מספרי מדף שונו וחוקרים קבעו לכתבי יד מספרים שרירותיים או השתמשו בכינויים ובסיגנטורות מקוצרים. המהדורה הראשונה של "מורה הדרך" של ריצ'לר, שיצאה לאור בשנת תשנ"ד (1994), סיפקה תיעוד מקיף ושיטתי של "נדודים" אלו. היא ציידה את הקורא במידע ביבליוגרפי בסיסי על כתבי היד המצוטטים בספרות המחקר והייתה כלי חשוב לאיתורם.

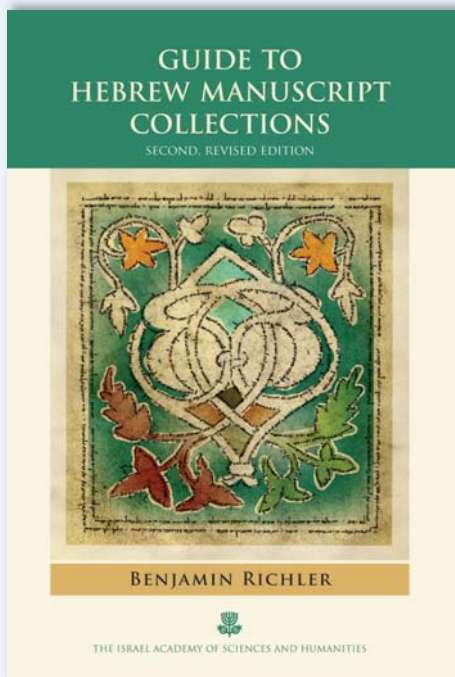
ואולם מאז חלו שינויים רבים: פורסמו קטלוגים חדשים של אוספים חשובים, אוספים פרטיים וציבוריים נמכרו ומאות כתבי יד החליפו ידיים וגם התגלו כתבי יד שלא היו ידועים קודם לכן. כמו

כן קוטלגו אלפי כתבי יד השמורים בספריות במזרח אירופה, שלאחרונה נעשו נגישים לחוקרים במערב, וכך התאפשר זיהוי של כתבי יד שנחשבו אבודים. חידושים טכנולוגיים אפשרו לאתר כתבי יד "אבודים" נוספים: הקטלוגים הממוחשבים של המכון לתצלומי כתבי יד עבריים ושל ספריות אחרות מאפשרים חיפושים מורכבים, וריבוי המשאבים באינטרנט ושכיחות הדואר האלקטרוני מקלים את חיפושי המידע.

מהדורה חדשה זו היא עדכון מלא והרחבה של המהדורה הראשונה של הספר, והיא כוללת נספחים המציינים את מקומותיהם הנוכחיים המדויקים של אלפי כתבי יד ואוספים.

בנימין ריצ'לר הוא מנהלו לשעבר של המכון לתצלומי כתבי יד עבריים בספרייה הלאומית.

2014. x + 409 עמודים. 27 x 18 ס"מ. כריכה קשה.



*Inner Dialogues*  
*The Jew as Devil's Advocate*  
By Carlo Ginzburg

Proceedings of the Israel Academy of Sciences and Humanities,  
vol. VIII, no. 8 (2014. 23 pp.)  
The Martin Buber Memorial Lectures

קטעים מתוך סדרת חיבורים דתיים שנכתבו באנגלייה בראשית המאה השמונה־עשרה מציגים את עצמם כדילוגים שמשתתפות בהם דמויות יהודיות בדיוניות: 'רב' או פשוט 'יהודי'. מה הם ייצגו? במסה שלפנינו נבחנת טכניקה ספרותית חמקמקה זו והשלכותיה, העשויות להיות בלתי־צפויות.

## פילוסופיה או היסטוריה?

ההיסטוריוגרפיה המודרנית של הפילוסופיה העתיקה  
מאת אורנה הררי

דברי פורום צעירי מדעי הרוח והחברה של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, חוברת 2 (תשע"ד. 15 עמודים)

מאמר זה בוחן את ההיסטוריוגרפיה המודרנית של הפילוסופיה העתיקה דרך דיון בשאלה מדוע הגישה ההיסטורית לחקר הפילוסופיה העתיקה נזנחה בעשורים הראשונים של המאה העשרים לטובת גישה פילוסופית המבקשת להסביר את הרעיונות הפילוסופיים במנותק מההקשר החוץ־פילוסופי, כלומר ההקשר הביוגרפי, התרבותי, הדתי, החברתי והפוליטי. המחברת טוענת שלמרות ההבדלים בין הגישה ההיסטורית לגישה הפילוסופית שתיהן מבוססות על ההנחה שחקר הפילוסופיה של העבר אינו מנותק מהעיסוק בפילוסופיה, ולכן התפתחות ההיסטוריוגרפיה המודרנית של הפילוסופיה משקפת את השינויים שחלו בפילוסופיה המודרנית ולא שינויים שמקורם בפיתוח גישה מתודולוגית חדשה. הניתוח חושף את הקשיים העולים מהנחה אחרת המשותפת לשתי הגישות ההיסטוריוגרפיות האלה והיא שהבנה היסטורית של הפילוסופיה של העבר משמעה הצבת הרעיונות הפילוסופיים בהקשרם החוץ־פילוסופי. הנחה זו מבוססת במובלע על ההנחה שהתוכן הפילוסופי עצמו ובמיוחד הטיעונים התומכים בהשקפות הפילוסופיות אינם מושא להיסטוריוזציה, מאחר שאינם משתנים במהלך ההיסטוריה. המאמר מראה שאף על פי שהצבת הרעיונות הפילוסופיים בהקשרם החוץ־פילוסופי כרוכה ביישום מתודות היסטוריות, אין היא מובילה בהכרח להבנה היסטורית, אלא היא מועדת לאנכרוניזם יותר מניתוח המוותר על היומרה להיסטוריוזציה.



## ספרים חדשים מאת חברי האקדמיה

**משה בר־אשר** ועירית מאיר (עורכים), נְמָעֵי אֵילָן: מחקרים בלשון העברית ובאחיותיה מוגשים לאילן אלדר, ירושלים: כרמל, תשע"ד.

**עמנואל טוב**, ביקורת נוסח המקרא, פרקי מבוא (מהדורה שנייה מורחבת ומתוקנת), ירושלים: מוסד ביאליק, תשע"ד.

**מרגלית פינקלברג**, הומרוס, תל־אביב: אוניברסיטת תל־אביב, ההוצאה לאור ע"ש חיים רובין, תשע"ד.

יורם ארדר, חגי בן־שמאי, אהרן דותן ו**מרדכי עקיבא פרידמן** (עורכים), עיונים בתרבות הערבית־יהודית: דברי הוועידה הארבע־עשרה של החברה לחקר התרבות הערבית־יהודית, תל־אביב: אוניברסיטת תל־אביב, תשע"ד.

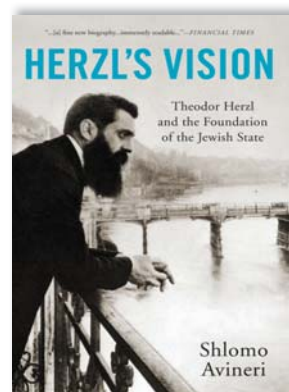
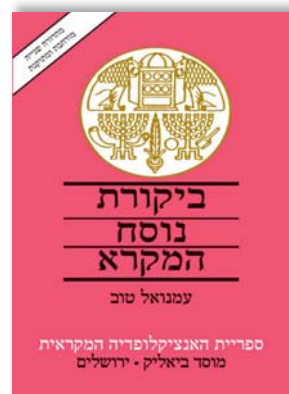
**Moshé Bar-Asher**, *Les communautés juives du Sud-Ouest de la France: Prières et traditions linguistiques*, Leuven and Paris: Peeters, 2013.

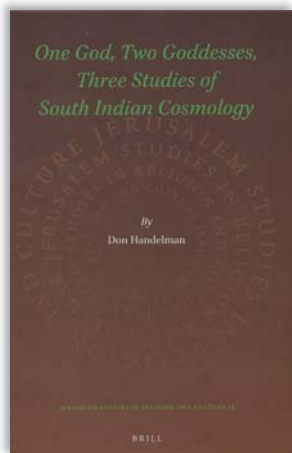
**Moshe Bar-Asher**, *Studies in Classical Hebrew*, Berlin and Boston: De Gruyter 2014.

**Shlomo Avineri**, *Theodor Herzl and the Foundation of the Jewish State*, London: Weidenfeld, 2013; New York: BlueBridge, 2014.

**Gideon Goldenberg**, *Semitic Languages: Features, Structures, Relations, Processes*, Oxford: Oxford University Press, 2013.

**Gideon Goldenberg**, *Further Studies in Semitic Linguistics*, Münster: Ugarit-Verlag, 2013.





**Don Handelman**, *One God, Two Goddesses, Three Studies of South Indian Cosmology* (Jerusalem Studies in Religion and Culture, 18), Leiden: Brill, 2014.

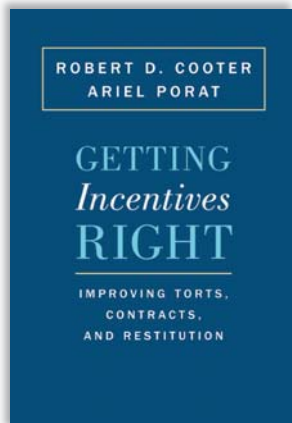
**Moshe Idel**, *Mircea Eliade: From Myth to Magic*, New York: Peter Lang, 2014.

**Moshe Idel**, *Mircea Eliade: de la magie la mit*, transl. Maria-Magdalena Angelescu, Iassi: Polirom, 2014.

**Moshe Idel**, *Il figlio nel misticismo ebraico*, transl. Enrico Lucca, vol. 2, Verona: Campostrini, 2014.

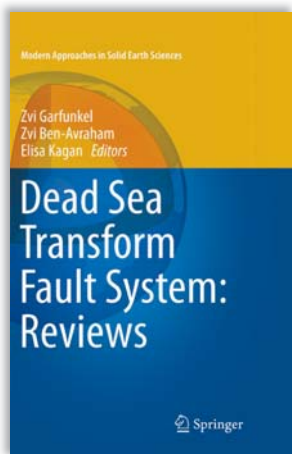
**Moshe Idel**, *Representing God*, eds. H. Samuelson-Tirosh and A. Hughes, Leiden: Brill, 2014.

**Moshe Idel**, *Il paradiso nella mistica ebraica* tr. R. Lista, (Il Carubbo, 2014).



**Yosef Kaplan**, *An Alternative Path to Modernity. The Western Sephardi Diaspora in the Seventeenth Century*, Leiden: Brill, 2000 Russian Translation: *Альтернативный путь к Новому времени: Сефардская диаспора в Западной Европе*, перевод Алисы Крупновой и Любовь Черниной, Книжники, Москва, 2014, стр. 312.

**Robert Cooter & Ariel Porat**, *Getting Incentives Right: Improving Torts, Contracts and Restitution*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2014.



**Zeev Sternhell**, *Histoire et Lumières: Changer le monde par la raison, Entretiens avec Nicolas Weill*, Paris, Albin Michel, 2014.

## רשימת חברי האקדמיה תשע"ה

### החטיבה למדעי הטבע

הלל פורסטנברג	רשף טנא	עמירם גרינוולד	רות ארנון, נשיאה
דב פרוהמן	עדה יונת	גדעון דגן	איתמר וילנר, יו"ר החטיבה
אהרן צ'חנובר	יהושע יורטנר	ידין דודאי	עודד אברמסקי
דוד קשדן	יוסף ירדן	מרדכי הייבלום	שמואל אגמון
מיכאל רבין	אלכס לובוצקי	דוד הראל	יקיר אהרונוב
מישל רבל	יוסי לוי	אהוד הרושובסקי	אמנון אהרוני
אהרון רזין	רפאל דוד לוין	חיים הררי	שמעון אולמן
מרדכי שגב	אלכסנדר לויצקי	אברהם הרשקו	משה אורן
יחזקאל שטיין	אילון לינדנשטראוס	מאיר וילצ'יק	נוגה אלון
יצחק צבי שטיינברג	צבי ליפקין	דניאל ויס	יוסף אמרי
יוסף שילה	דוד מילשטיין	יעקב זיו	צבי בן-אברהם
דן שכטמן	רפאל משולם	ירון זילברברג	יעקב בקנשטיין
שהרן שלח	אברהם ניצן	משה זכאי	יוסף ברנשטיין
שלמה שמאי (שיץ)	חיים סידר	אורי זליגסון	יורם גרונו
עדי שמיר	מיכאל סלע	אילן חת	
זאב תדמור			
יגאל תלמי			

### החטיבה למדעי הרוח

מרדכי עקיבא פרידמן	חווה טורניאנסקי	יעקב בלידשטיין	ב"ז קדר, סגן הנשיאה
יורם צפירי	מנחם יערי	משה בר-אשר	יוסף קפלן, יו"ר החטיבה
איתן קולברג	נילי כהן	מנחם ברינקר	שלמה אבינרי
אשר קוריאט	עמיחי מזר	רות ברמן	ישראל אומן
יעקב קליין	אבישי מרגלית	אהרן ברק	משה אידל
אריאל רובינשטיין	נדב נאמן	אברהם גרוסמן	בנימין איזק
שלומית רמון-קינן	רות נבו	משה הלברטל	יצחק אנגלרד
יואל רק	דוד נבון	אלחנן הלפמן	יהודה באואר
דוד שולמן	גדליה סטרומזה	דון הנדלמן	מיכל בירן
זאב שטרנהל	אריאל פורת	סרג'ו הרט	מלאכי בית-אריה
בן-עמי שילוני	מרגלית פינקלברג	מנחם הרן	יהושע בלאו
דוד שמידלר	דניאל פרידמן	שולמית וולקוב	
שאויל שקד	יוחנן פרידמן	עמנואל טוב	
אריאל ששה-הלוי			





## האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

רחוב ז'בוטינסקי 43, כיכר אלברט איינשטיין, ירושלים 9104001  
טל' 02-5676222, פקס' 02-5666059, דוא"ל avital@academy.ac.il

[www.academy.ac.il](http://www.academy.ac.il)