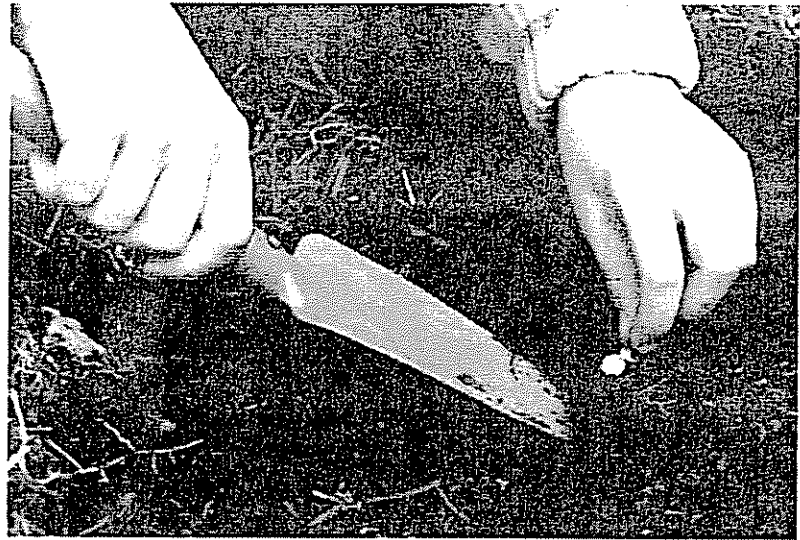


## ילדותו של המחקר המדעי

הישגיו בעתיד. וכשהילד גדל מתחילים להופיע נטיות, כישרונות וקשיים. בתחומים מסוימים, כמו מוזיקה, מתמטיקה או ספורט, הכישרונות מתגלים תמיד בגיל צעיר, ולפעמים צעיר מאוד. בתחומים אחרים הכישרון וההצלחה, אם יגיעו, יתרחשו בגיל הרבה יותר מאוחר. המשפטן, התעשיין או העיתונאי המצליח, וגם מי שיגדל לקריירה של פשע, לא תמיד משדרים את כיוון התפתחותם העתידי בגיל צעיר. העובר הופך לילד, הילד לנער, הנער לבוגר והבוגר לקשיש, ובכל שלב קשה לחזות את פרטי ההתפתחות העתידית.



### המחקר הטהור – ילדותו של אדם

קיים דמיון מפתיע בין המחקר המדעי ובין חייו של האדם. תהליך המחקר מתחיל ברעיון. הרעיון הטרי יוביל אולי לתרופה מצילת חיים או לנשק קטלני או לסוג חדש של מחשב, ואולי יצא ממנו הסבר להתהוות הכוכבים או מכשיר דימות רפואי, או שלא יצא ממנו דבר. בכל המקרים האלה מתרחשים תהליכים רבים ומורכבים בין התהוות הרעיון המקורי ובין המוצר הסופי. בזמן לידתו של הרעיון מתרחשים במוחו של המדען תהליכים, מהם נסתרים, וגם הוא לא תמיד מבין אותם עד תום. כאשר הרעיון הופך לפרויקט מחקר בסיסי, הוא בדרך כלל נראה למדען היוזם אותו ככליל השלמות, וכדבר המרכזי ביותר בעולם המדע כולו. לעתים מתגלים כבר בתחילה פגמים. המדען משקיע במחקר את נשמתו, מרצו ומשאביו, מבלי לדעת ומבלי לשאול לאן הוא יוביל ומה יהיו תוצאותיו בעתיד. עם השנים מתחילים להופיע כיוונים חדשים, תוצאות מיוחדות וקשיים. בתחומי מדע מסוימים, התוצאות התיאורטיות או המעשיות מתגלות לאחר זמן קצר יחסית, ולפעמים הרעיון מנשיל במהירות. בתחומים אחרים ההצלחה, אם תגיע, תתרחש רק לאחר שנים רבות. התהליך של פיתוח תרופה חדשה, מהרעיון המקורי ועד ניסויים בחולים ובדיקת תופעות לוואי, יכול להימשך עשרות שנים. עשרות שנים עברו גם בין הרעיון שהוביל להמצאת הלייזר ובין מגוון השימושים של הלייזרים

הזוג הצעיר הצליח להיכנס להיריון לאחר טיפולי פוריות ממושכים. הם מתבוננים באושר בתמונת האולטרה-סאונד של העובר ומשגרים אותה, בעזרת הטלפון החכם, להוריהם, הסבים והסבתות העתידיים. טיפולי הפוריות, הטלפון החכם ומכשירי האולטרה-סאונד, כולם נולדו עקב יישומים ופיתוחים שמקורם במחקר המדעי הבסיסי. הם התחילו כרעיונות מדעיים עובריים והתפתחו, לאחר שנים רבות, למכשירים או לתהליכים ששינו את חיינו. והעובר האנושי? ומה יעלה בגורלו של הרך הנולד לאחר שנים רבות? אולי תהיה זאת פסנתרנית דגולה ואולי פושע מבוקש או חתן פרס נובל לרפואה. ואולי התוצאה תהיה שחיינית אולימפית או מובטל כרוני או נהג מונית או ראש ממשלה או עורכת דין.

בכל המקרים האלה מתרחשים תהליכים רבים ומורכבים בתקופה שבין יצירת העובר ובין בגרותו של האדם. בזמן ההיריון מתרחשים בקרבה של האם תהליכים, מהם נסתרים, וגם היא לא מבינה אותם תמיד עד תום. התינוק שנולד נראה להוריו ככליל השלמות, היופי והמתקנות, אבל למרבית הכאב במקרים מסוימים הוא מתגלה כבעל פגמים רציניים. הורי התינוק משקיעים בו את נשמתם, את אהבתם, את מרצם ומשאביהם, בלי לדעת ובלי לשאול לאן יגיע ומה יהיו

סקרנות, יוזמה, דמיון ושאפתנות, הם מאפיינים בולטים של מחקר מדעי בסיסי. כמו ילד שהוריו חוצים בשבילו את הטוב ביותר, כך יש לטפח את המחקר: צעד-צעד, בתקווה גדולה, ומבלי לדעת "מה יצא ממנו"

ההצפנה המודרנית נולדו מתחום מדעי מתמטי "חסר כל שימוש מעשי", הלוא היא תורת המספרים, העוסקת בין השאר בתכונותיהם של מספרים ראשוניים? ומי היה מעלה על דעתו שהבנת התופעה של על-מוליכות חשמלית והבנת תכונות של גרעין האטום יובילו ביחד למכשירי הדימות המגנטי MRI הנמצאים כמעט בכל בית חולים? הילד לומד מתוך סקרנות, גדל והופך למבוגר הלומד מתוך צורך או מתוך רצון להפיק תועלת. כך גם המחקר הבסיסי הטהור, הוא נובע מסקרנות, אבל צומח ומתפתח, במקרים רבים, למחקר יישומי המוביל לפירות כלכליים וחברתיים. כשם שמעשיו של האדם הבוגר תלויים במידה רבה בערכיו, בחינוכו, ביושרו האישי ובמשמעת העצמית שלו, כך גם שימושי המחקר הבסיסי תלויים ביכולתו לנצל את הטוב ולהגביל את הרע, בכל הנוגע ליישומים השונים. במחקר הבסיסי, כמו אצל הילד הרך, יש יופי רב והפתעות לכל הכיוונים. בהמשך הדרך מגיעים ההישגים המעשיים והתוצאות המועילות, לפעמים נוצרים קשיים ובהרבה מקרים התרומה היא שולית בלבד. כשם שעל החברה והמדינה לטפח את הילדים הגדלים בהן, חובתנו האינטלקטואלית והכלכלית היא לטפח גם את המחקר הבסיסי, שממנו צומחים כל חידושי המדע והטכנולוגיה. לא היינו זוכים להישגיהם של גדולי האמנות, המדע, הרפואה והחברה לולא הם, וכל שאר המבוגרים, היו פעם ילדים. ❖

ברפואה, בתעשייה, בתקליטורים ובאמצעי לחימה, לא תמיד אפשר לנחש את כיוון התפתחותו העתידי של רעיון מדעי, לא עם לידתו וגם לא לאחר כמה שנים. הרעיון המקורי הופך להשערה מדעית, ההשערה נבדקת ומסקנותיה מוליכות לכיוונים שונים. לא כל אלה הופכים למוצרים חדשים ולא תמיד התוצאה היא תרומה חיובית לאנושות. בכל שלב קשה לחזות את פרטי ההתפתחות העתידית. התהליך המלא של מחקר ופיתוח מקביל, במידה רבה לתהליך ההתפתחות של חיי אדם, מלידה ועד זקנה. אבל המחקר הבסיסי הטהור, שהוא תמיד תחילת הדרך, דומה במידה רבה לילדותו של אדם. בשני המקרים המניע החשוב ביותר, כמעט היחיד, היא הסקרנות האנושית. כשם שהסקרנות היא "הנשק האינטלקטואלי" העיקרי של הילד והילדה, כך הסקרנות היא המניע המרכזי של המחקר הבסיסי. ממה מורכב כל החומר ביקום? איך נוצרים ומתים כוכבים? האם אפשר ליצור סוגי חומרים חדשים לגמרי? מה הקשר בין תורשה ותכונות אנושיות שונות? כיצד משתנה המוח שלנו כשאנו לומדים דבר חדש? איך פועל חוש הריח? האם מחשב יכול להחליף חשיבה אנושית מופשטת? כל אלה שאלות הנובעות מסקרנות אמיתית ונחקרות בידי מדענים שאינם שואלים את עצמם יום-יום "מה יצא לי, או לאנושות כולה, מכך שאולי אפתור את החידה המרתקת הזו?" כשם שההורים אינם שואלים יום-יום "מה יצא מהילד שלי?" ובכל זאת תומכים בו ודואגים לו, כך נוהג המדען בפרויקט המחקר הבסיסי שלו. כשם שיש גבול למשאבים המושקעים בילד, כך גם מוגבלים המשאבים המוקדשים למחקר, ובשני המקרים קשה לפרנס ילדים או מחקרים רבים מדי בעת ובעונה אחת.

### מסקרנות לצמיחה, ומחלום למעשה

כשם שהילד מפתיע לעתים ועם בגרותו הוא תורם לתחומים שאיש לא חלם עליהם בילדותו, כך גם המחקר הבסיסי מוביל בדרכים מפתיעות ועקלקלות לתוצאות מעשיות מדהימות. מי היה מנחש שהמדיום שכולנו למעשה חיים בתוכו, אותו World Wide Web, ובתרגום חופשי "רשת קורים חובקי עולם", נולד ממחקר בסיסי בתהוב פזיקת החלקיקים? מי היה יכול לחזות מראש שכמעט כל שיטות

**פנח' חיים הררי** הוא פיזיקאי בעל שם עולמי ואיש חינוך סיוע כנשיא מכון ויצמן למדע במשך 13 שנים (1988-2001). סגן הוועדה להכנת ולתקצוב של המועצה להשכלה גבוהה (1979-1985) ויו"ר הוועדה שפרסמה את דו"ח "מחור 98" לקידום החינוך המדעי הקים את פרויקט החוננות פרו"ח. את המדע בתל אביב את מכון דוידסון לחינוך מדעי. הוזעק החוננות של מכון ויצמן למדע. חבר האקדמיה הישראלית הלאומית למדעים והאקדמיה האמריקאית וכה כפרסים: באותות כבוד רבים ובהם פרס ישראל למדעים מדויקים. פרס ויטמן לחינוך, פרס טאני חלוצי לחינוך ולמדע, פרס החינוך והמדע של מכון מקס פלאנק בגרמניה. כיום הוא יו"ר מכון דוידסון



## דוד הראל

# מי יזכה בנובל הבא

עסקו בשיטות מתורת המשחקים - ענף של המתמטיקה - אך התרומות העצומות שעליהן זכו היו בתחום הכלכלה.

פרס ישראל ופרס א.מ.ת. הוענקו בומנו לאומן בחקר הכלכלה, לא במתמטיקה. כדומה, וזכה הנר הפסיכולוגיה כדי להגיע לתובנות מהפכניות על התנהגות כלכלית של אנשים וגופים.

אך מהו הקשר בין כל זה למה שמתרחש בירדן? ובכן, בעוד שמרענים, חוקרי כלכלה וסופרים כבודם במקומו מונח, אני משוכנע שכמוני רבים מעמיטי ישמחו לוותר על תארים, פרסים ושאר כיבודים, כדי שזוכה הנובל הישראלי הבא יהיה אחד האנשים שישבו על הכמה בחלוקת פרסי א.מ.ת. ל-2011 - ראש הממשלה בנימין נתניהו.

כשם שמומחה לפסיכולוגיה או לתורת המי שחקים יכול לזכות בפרס נובל בכלכלה, כך יכול נתניהו להביא שלום גם ללא תווית של שחר שלום יפה נפש, ולהיכנס אז להיסטוריה כגיבור אמיתי. אני תקווה כי ראש הממשלה ינצל את הפתח המוערי לתקווה, שהפגישות בירדן פותחות, יעשה מה שצריך ויביא פרס נובל לשלום. או או יישכח לו כל השאר.

פרופ' הראל מטבח ויצמן, חבר האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, הוא חתן פרס ישראל ופרס א.מ.ת.

ציירתם את ה"גרניקה" - לא תזכו בנובל. ואולם, אם תפתחו תרופה לסרטן או חיסון לאיירס, או שתבנו מודל המנבא במרויך משברים כלכליים, סיכויכם לזכות בנובל ימריאו, ללא קשר לתחום התמחותכם. משמעות הרבר אינה שההישגים הראשונים פחותים בהשיבותם, אלא שהם אינם בתחומים שבהם מוענק הפרס.

פרס נובל מקורו בצוואתו של המרען אלפרד נובל מ-1895, והוא מוענק בשלושה שטחי מדע בלבד: פיזיקה, כימיה, ופסיכולוגיה או רפואה (תחום הכולל גם ביולוגיה). מלבדם מוענק פרס בספרות והפרס לשלום. הפרס למרעי הכלכלה על שם נובל, שניתן על ידי הבנק המרכזי השוודי, נחשב לפרס נובל למרות שהוא נוסד כ-70 שנה מאוחר יותר. וזהו, אין פרס נובל בגיאולוגיה, ולא במתמטיקה, ארכיאולוגיה, מדעי המחשב או אודיכלות - וכן גם לא בשטחי המחקר במרעי הרוח והחברה - ויהיו ההישגים עצומים ומהפכניים ככל שיהיו.

אין זה אומר שלא יכול לזכות בנובל מי שמיומנתו במקצוע אחר, ובלבד שהתרומה היא באחד מהשטחים שבהן הפרס ניתן. פרס נובל לשלום הוענק לאנשים ממגוון מקצועות: פוליטיקאים, סופרים, עורכי דין, עיתונאים, נזירים, מהנדסים וגם חשמלאי אחר. שמונה מהזוכים בפרס בכלכלה (בהם ג'ון נאש ואומן)

קושי נרגענו מטקס הענקת פרס נובל בשטוקהולם, והנה נתבשרנו על פגישות שקיימו ראש צוות המשא ומתן הפלסטיני, סאיב עריקאת, ושר ליח ראש הממשלה, עז'ר יצחק מולכו, בבירת ירדן. מה הקשר? יש קשר.

השמחה וההתלהבות הנלוות לזכייתם של ישראלים בפרס נובל מעלות את השאלה, מי יהיה הישראלי הבא שיוכה בנובל. למי יש סיכוי ולמי ניהיל שיוכה ישראל אומן וערה יונת נחשכו במשך שנים לזוכים כמעט בטוחים, וכך גם אבי רהם הרשקו ואודין צ'חגובר. לגבי תגליתו של דן שכסמן - עבר זמן רב עד שהיא התקבלה כנכונה על ידי הקהילה המדעית, אבל מאז נחשב גם הוא לזוכה נובל כמעט ודאי. יש עוד מרען ישראלי או שניים שהציפייה רבה שיוכו, וכך הרבר גם לגבי זוכים אפשריים בפרס נובל בספרות.

לפני כחודשיים ישבתי בקהל בטקס חלוד קת פרסי א.מ.ת, וראש הממשלה בנימין נתניהו הצהיר שעל פי הנתונים, "יש סיכוי גבוה מאוד" שאחד הזוכים יזכה בעתיד גם בפרס נובל. זאת, למרות שתרומויותם המחקריות של כל שמונת הזוכים הן בתחומים שבהם כלל לא מוענקים פרסי נובל.

גם אם גיליתם את המגילות הגנוזות, או המצאתם את האינטרנט, או הגעתם לירח או