

## ילדותו של המחקר המדעי

### חיים הררי

הזוג הצעיר הצליח להיכנס להריון 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 ומכשיר האולטרה סאונד, כולם נולדו בעקבות יישומים ופיתוחים שמקורם במחקר המדעי הבסיסי. הם התחילו כרעיונות מדעיים עובריים והתפתחו, לאחר שנים רבות, למכשירים או לתהליכים ששינו את חיינו. והעובר האנושי? מה יעלה בגורלו של הרך הנולד לאחר שנים רבות? אולי תהיה זאת פסנתרנית דגולה ואולי פושע מבוקש או חתן פרס נובל לרפואה. ואולי התוצאה תהיה שחיניית 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 ההריון מתרחשים בקרבה של האם תהליכים, בחלקם נסתרים, וגם היא לא תמיד מבינה אותם 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, אהבתם, מרצם ומשאביהם, מבלי לדעת ומבלי לשאול לאן יגיע ומה יהיו הישגיו בעתיד. וכשהילד גדל, מתחילים להופיע נטיות, כשרונות וקשיים. בתחומים מסוימים, כמו מוסיקה, מתמטיקה או ספורט, הכשרונות מתגלים תמיד בגיל צעיר, ולפעמים צעיר מאד. בתחומים אחרים הכשרון 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.

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 ייצא ממנו הסבר להתהוות הכוכבים או מכשיר הדמייה רפואי, או שלא ייצא 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, בחלקם 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 מבשיל 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 מיגוון השימושים של הלייזרים ברפואה, בתעשייה, בתקליטורים ובאמצעי לחימה. לא תמיד אפשר לנחש את כיוון התפתחותו העתידי של רעיון מדעי, לא עם לידתו וגם לא לאחר מספר 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 לייצר סוגי חומרים חדשים לגמרי? מה הקשר בין תורשה ותכונות אנושיות שונות? כיצד משתנה המוח שלנו כאשר אנו 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 ייצא לי, או לאנושות כולה, מכך שאולי אפתור את החידה המרתקת הזו?". כשם שההורים אינם שואלים יום-יום "מה ייצא 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.

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 "קורים חובקי עולם", נולד ממחקר בסיסי בתחום פסיקת החלקיקים? מי היה יכול לחזות מראש שכמעט כל שיטות ההצפנה המודרניות נולדו מתחום מדעי מתמטי "חסר כל שימוש מעשי", הלא 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 ההדמיה המגנטית MRI הנמצאים 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 ביכולתנו 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 בה, חובתנו האינטלקטואלית והכלכלית היא לטפח גם את המחקר הבסיסי, ממנו צומחים כל חידושי המדע והטכנולוגיה. לא היינו זוכים להישגיהם של גדולי האמנות, המדע, הרפואה והחברה לולא הם, וכל שאר המבוגרים, היו פעם ילדים.