



יובל נאמן

סוף־סוף נשמעת רננת הספרות

אני עצמי הופתעתי כאשר נתגלתה לי עוד הצצה יוונית מלפני 2500 שנה. כוונתי לפיתגורס איש סמוס, שהבחין בחשיבותו של סוג ממצאים שכיום אנו מכנים אותם ממצאים ספקטרוסקופיים – ברמת המולקולה, האטום, הגרעין או החלקיק. יתר על כן, למעשה חזה פיתגורס את העולם הקוואנטי. כמובן, לא היה לו מושג על ההיבטים הבלתי־אינטואיטיביים הנובעים מכך, אך הייתה לו תמונה של יקום עשוי מרווחים סופיים בדומה למיתר. לכן אינני מזלזל עוד במה שאפשר להשיג באותו אולם ריק על סמך חשיבה מעמיקה בלבד.

כיצד הגיע פיתגורס אל הרעיון הקוואנטי?

מלבד גילוייו במתמטיקה (המשפט בגאומטריה הקרוי על שמו וכן הוכחת קיומם של מספרים א־רציונליים) חקר פיתגורס את הפיזיקה של המוזיקה. אלא שהמוזיקה בפועל היא עולם קוואנטי מאולץ: המיתר בכינור תפוס בשני הקצוות, ובהרעידך אותו אורכי הגל נאלצים להתאים את עצמם לאורך הקטע החופשי במיתר. לכאן ייכנס גל אחד באורך המלא, או ייכנסו לכאן שני גלים ואורכם יהיה מחצית מאורך המיתר החופשי, או ייכנסו שלושה גלים באורך שהוא שליש המיתר החופשי, וכן הלאה. פיתגורס ובית מדרשו חקרו והבינו את הקשרים האלה לפחות בין אורכי הגל ובין מה שהאוזן שומעת. התברר להם שהכול קשור ביחסים פשוטים בין מספרים, במיוחד אהבו טטרדות כגון 1:2:3:4.

על סמך הניסיון הזה העריכו שכך בוודאי כל התופעות פועלות בטבע. זו הייתה השערת הפיתגוראניזם, ורוב ההיסטוריונים מתייחסים אליה בזלזול מובהק.

בחקירתי בנושא פיתגורס והמוזיקה נתקלתי בספרו של פרנכיני גפוריו, Theorica Musicae (תורת המוזיקה), שהופיע ב־1492 עם גילוי אמריקה, נפילת גרנדה וגירוש ספרד – בשנת 1492. האיורים שבספר מתארים שלושה אישים: פיתגורס; תלמידו פילולאוס (שהיה מורהו של דמוקריטוס מעבדירה); ויובל התנכ"י אבי כל תופס כינור ועוגב (בראשית ד' 21), שהכול כאן נעשה בהשגחתו ובהמרצתו. פיתגורס ופילולאוס ידועים בכל התקופות כאנשי מדע דגולים וחקירתם היא חקירה מדעית. הופעת יובל באה להדגיש את ההקשר המוזיקלי. לניבוי של פיתגורס קראו על כן 'רננת הספרות' (Music of the Spheres).

במשך כל ימי הביניים חיפשו אנשי המדע, והיא לא נשמעה. התצפיות עסקו במערכת השמש ובעולם המקרוסקופי, שבו אין ביטוי ישיר לאפקטים קוואנטיים בדרך כלל. פעם חשב יוהאנס קפלר שהוא שומע, אך עד מהרה התאכזב (הוא כתב על כך בהתרגשות רבה).

בעיניי, המדע הוא תוצאה מוצלחת של הניסוי שהחל ביוון הגדולה (דרום איטליה) במאה השישית לפני הספירה. בניסוי זה נבדקה ההשערה שלפיה אפשר לתאר את מכלול העולם הגשמי ולשחזרו על ידי מערכת לוגית הבנויה מחוקים וממנגנון של הסקת מסקנות (ובכלל זה שימוש במתמטיקה כמנגנון הלוגי). עוד השערת־עזר חשובה הייתה שמבחינת חקר התכנים בטבע אפשר לבנות את המדע טלאים־טלאים, ומדי פעם בפעם לאחות טלאים שכנים בתוכם. הדגם המוצלח הראשון היה הגאומטריה של אויקלידס.

בשנים האחרונות שקדתי הרבה על חומר מן המדע היווני מתוך התחקות אחר שורשיהם של כמה רעיונות יסוד במדע המודרני. אינני היסטוריון, וראייתי אינה מאוזנת אלא אבולוציונית ובפועל טלאונומית – זיהוי בדיעבד של המסלול שהתקדמנו בו והתחנות שעברנו בהן, התפתחויות שתרמו לממצא הסופי בימינו.

ההיבט היהודי – באותה תקופה הגו נביאי ישראל כמה מן האידאלים ההומניסטיים של ימינו: צדק חברתי, שלום עולמי וכיוצא באלה. זאת בהמשך לאלף שקדם, שבו נפסלה הקרבת קרבנות אדם, נקבע יום מנוחה שבועי לכול ושופר הטיפול בעבדים. רק כעבור עוד כ־1500 שנה התרחשה הרחבת אופקים מעניינת, וגם אצלנו נמשכו המלומדים לאתגר המדעי, עד כדי כך שכמה מגדולי היהדות בדורם היו גם גדולי המדע באותה העת: הרלב"ג ואברהם זכות באסטרונומיה, חסדאי קרשקש ביסודות הפיזיקה, הרמב"ם ברפואה ועוד.

כוחו של ניחוש חכם – מן השנים הרבות שבהן לימדתי קורסים בפיזיקה בולט בזיכרוני מקרה אחד. הרהרתי בו פעמים רבות מאז. זה היה בתל־אביב, בגמר הסמסטר הראשון בשנה א' של לימודי התואר הראשון. סטודנט (כיום עמית מכובד במדע הממשלתי) ניגש אליי והעיר: "פרופסור, ציפיתי לגישה שונה ולהצגה אחרת של הפיזיקה. חשבתי שנסתגר באולם ריק, נהרהר ביסודות הקיום הפיזי ונפיק מכך מערכת עקרונות לגבי מבנהו וטבעו של העולם הגשמי." הסברתי לו שהפיזיקה היא מדע ניסיוני, וקודם כול שומה עלינו להכיר את התופעות, ורק אחר כך נוכל לדעת מה עלינו לתאר או להסביר.

ניחושים – ובכל זאת נמצאו הקשרים שבין הישגי המדע המודרני בתכנים הרעיוניים ובין הרעיונות שהעלו היוונים, על אף שמדובר בניחושים, שכן לא הייתה כל אפשרות שיגיעו אליהם בניסויים ומדידות. לדוגמה, כבר במאה התשע־עשרה צוינה הזיקה של ג'ון דלתון לדמוקריטוס מעבדירה, שהקדים אותו בהעלאת רעיון האטומים באלפיים ושלוש מאות שנה.

בשנות העשרה של המאה העשרים התרחשה גאומטריזציה של הפיזיקה בתורת היחסות הכללית של איינשטיין, שאת שורשיה אפשר למצוא אצל אפלטון.

ה'יובלים' בעולם היהודי כיום. בעודי בן חמש נשלחתי ללמוד לנגן פסנתר אצל מורה אלמנה. היא הפחידה אותי בבגדיה השחורים, ואני ערקתי מהשיעורים. הוריי הבינו שלא אהיה מוצרט שני, ובוודאי הצטערו על כך. כיוון שנקראתי בשם 'יובל', הייתה לי הרגשה כבדה של מי שלא קיים את תקוותם – עד לפרשת פיתגורס!
 כעת ברור לכל ולי שתרומתי למדע היא חוויה מוזיקלית, וחבל שהוריי אינם מצויים עוד בין החיים ואי אפשר להסביר להם שאכן קיימתי את תקוותיהם והעשרתי את המוזיקה.

הראשון שאכן שמע את 'רננת הספרות' היה מורה למתמטיקה בבית ספר תיכון בבזל שבשווייץ, Johann Jakob Balmer, שחיבב משחקי מספרים. ב-1885 עבר על תוצאותיהם של מי שמדדו אורכי גל (או תדירויות) בספקטרה של מימן, ומצא שאפשר לכלול את כל אותה סדרה בנוסחה פשוטה שבה יש לכל קו מספר סידורי מ-1,2,3 והלאה. עד מהרה נמצאו בספקטרה של המימן סדרות חדשות והן נקראו על שם המזהים: Lyman, Paschen, Brackett, Pfund ואחרים. כאשר הגה נילס בוהר את המודל הקוואנטי 'הפשטני' של

האטום, והיה צריך להסביר מדוע יש לאלקטרונים מסלולים קבועים ואינם יכולים להימצא בין המסלולים האלה, הסברו היה בדיוק זה של מיתרי הכינור של פיתגורס: אפשריים רק מסלולים שבהם אפשר לשים מספר שלם של אורכי גל. מן המימן הלכו לאטומים סבוכים יותר – עד שהיה העניין לתשבץ מסובך. יואל רקח, יוג'ין וויגנר והרמן וייל הובילו לפיענוחו השלם. כך זה היה בכל רמות הספקטרוסקופיה, מן הרמה המולקולרית ומטה. בגרעין נקראו המספרים האלה 'מספרי הקסם' וסביבם קם 'מודל הקליפות'. בפזיקת החלקיקים האלמנטריים מצאתי אני את המפתח – מודל האוקטט והסברו המבני – על ידי גילוי רמה נוספת, הקוורקים. הכול מתפתח סביב יחסים פיתגוריים. לדוגמה, בשנת 1964 חישבו שני סטודנטים בלינינגרד – יבגני לויין וליאוניד פרנקפורט – על סמך מנגינה מן הסולפג' "שלי" (הקוורק) את היחס הצפוי בין חתכי פעולה של קרן מיזונים ובין חתכי פעולה של קרן נוקליאוניים כאשר הן יורות על אותה מטרה ובאנרגיה גבוהה, ומצאו שהיחס צריך להיות 2:3. וכך אכן נמדד. כיום שניהם פרופסורים באוניברסיטת תל-אביב.
ההקשר האישי – שמי יובל, כיוון שהורי אהבו מוזיקה. לפני בעולם היהודי לא היה אלא יובל אחד, ושמו היה יובל אופנקו, שהוריו הקימו בתל-אביב הקטנה את קונסרבטוריון יובל. שם למדה אחת מדודותיי, והיא שהציעה להוריי לקרוא לי יובל – אחד השמות שלא היו מקובלים בתקופות הקודמות כיון שהמדובר בצאצאי קין. אני זקן

