

NEW JUNGIAN
ISRAELI ASSOCIATION

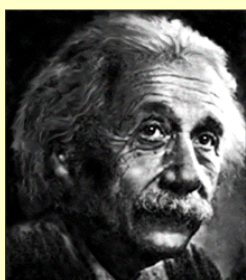


עמותה יונגיאנית
ישראלית חדשה (ע"ר)

דף הבית

איך העולם מתקיים אלא בסוד עולמה של הפיזיקה המתגלה בסמלים

מיכה אנקורי



בחרתי ללכת אל קצה העולם כדי שלא להתקל במה שכבר נאמר על ידי חברי וחברותי ליום העיון הזה. כן, עד לקצה העולם ממש. כשהחל אינשטיין בראשית המאה העשרים לעסוק בתורת היחסות הכללית, הגיע מהר למסקנה שהוא חייב לעסוק בשני דברים: במתימטיקה וביקום בכללותו.

על המתימטיקה הוא אמר: "נעשיתי חדור בהוקרה רבה כלפי המתימטיקה, שאת חלקיה המתוחכמים יותר ראיתי בעבר כמותרות גרידא". ברוב ייאושו הוא פנה אל ידידו מספסל הלימודים מרסל גרוסמן כדי שיפתח לפניו את מכמני המתימטיקה. ואז הוליכו הנוסחאות לעיסוק ביקום בכללותו.

המתימטיקה היא שפת סמלים ושפה זו מפענחת עבורנו את הטבע וחוקיו. העולם מנוסח במשוואות והמשוואות הן שפת סמלים. אינשטיין שהיה אתיאיסט מוצהר האמין שמעל הטבע וחוקיו מרחף סדר נשגב שאין להבינו מבלי לייחס אותו למה שמעבר להבנתנו ולהשגתנו. הוא האמין באלוהי שפינוזה אך העניק לו ממשות כביכול פרסונאלית וקרא לו "הזקן". כן, אינשטיין אהב להאמין שהעולם הוא מחשבותיו של הזקן ואלה נרשמו בשפת סמלים שאותה מצווה המדען לפענח.

עוד נראה להלן שמרגע ששפת סמלים זו זכתה להכרתם ולהוקרתם של המדענים – נפתח בפני האדם ספר הטבע.

בהודו אומרים שהעולם הוא צעיף המאיה. כל מה שגלוי בעצם מסתיר מאתנו את חוקיו ולכן המציאות אינה מובנת מתוך גילויה אלא דווקא מתוך ההסתור, מתוך הנעלם. זו חוויתם של מיסטיקנים בכל התרבויות וזו היתה חוויתם של גדולי המדע לדורותיהם. לא רק שהעולם מתגלה בסמלים – העולם נברא בסמלים. וכי אפשר להבין אחרת את הפסוק: "ויאמר אלוהים יהי אור ויהי אור"?

התנ"ך לימדנו שעולם נברא במאמרות. במילים. ומילים הן סמלים. ולא רק אצלינו. האל המצרי

הקדמון אתום בורא את העולם במאמרות פיו. ביהדות יש מעמד מיוחד לחוויה זו, שהעולם נברא באותיות התורה. במדרש בראשית רבה נאמר: "היה מתבונן בתורה ובורא עולם". חווית-אמונה זו מילאה תפקיד מרכזי בפולחן היהודי. קדושתו של הטקסט הכתוב נובעת מן האמונה שהאותיות הן עצמויות אלוהיות. לפיכך פסק הרמב"ם שספר תורה שבו נמצאו שתי אותיות דבוקות הוא פסול ויש לגנוזו. תארו לכם את עוצמת האמונה שבדברים אלו, שנכתבו בתקופה שספר תורה שלם נכתב על מגילת קלף באמצעות נוצה – ונפסל בגלל שתי אותיות דבוקות (ועוד בכל פעם שהיה הסופר מגיע לכתוב את השם המפורש היה הולך לטבול במקווה). מרגשת ביותר גם החירות שנטלו לעצמם גדולי ישראל מתוך אותה אמונה בכוחן של האותיות. הרמב"ן, המייצג במסורת ישראל את הקוטב הנגדי לרציונליות של הרמב"ם, את הקוטב המיסטי, אומר בפירושו לבראשית שהתורה ניתנה באותיות וחלוקתן של האותיות למילים היא בחירה של הפרשן ושל הקורא. כך, למשל, את רצף האותיות "בראשיתבראאלוהים" אפשר לחלק (שלא כדרך המצוות - הטקסט המצוי בידינו) באופן המתמיה הבא: "בראש יתברא אלוהים".



עד כדי כך. האל נברא במשחק האותיות במוחו של המאמין. בין אינשטיין למדרשי חז"ל, בערך באמצע, נמצא גליליאו וגליליאו אמר "חוקי הפיזיקה כתובים בספר הטבע". לאימרה זו של גליליאו גלילאי היתה השפעה עצומה על התפתחות המדע המודרני. גלילאי האמין שהחוקים אינם פרי גחמות של אלים ואינם נתונים לפרשנות שרירותית של האדם – הם כתובים בספר הטבע. כל מה שמוטל על המדען הוא ללמוד לקרוא. וכיצד הם

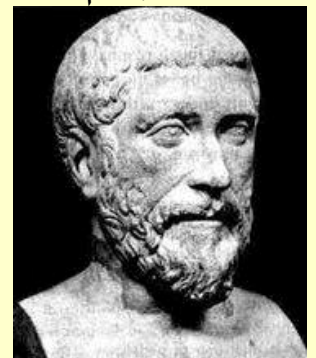
כתובים? בשפת המתמטיקה. כך האמין גלילאי ושילם מחיר מלא על אמונתו.

באמונתו זו היה גליליאו ממשיך דרכם של הפיתגוראים. חכמי יוון אלו שחיו במאה החמישית לפני הספירה, האמינו בהרמוניות של הטבע. הם האמינו שגילוי הטבע וחוקיו קשור במספרים השלמים ובצירופיהם. הם ראו יד אלוהים בעובדה המתמטית הפשוטה $10 = 5 + 4 + 3 + 2 + 1$ הם האמינו שלא במקרה שלושה מספרים שלמים עוקבים: 3; 4; 5 נותנים אורכי צלעות של משולש ישר זווית. הם גילו שמיתרים שרצף צליליהם נותן סולם הרמוני מתייחסים זה לזה באורכיהם כמו מספרים שלמים. לפיכך אמר פיתגורס: אם יש אלוהים הוא בודאי מתימטיקן. השתמר סיפור שעל פיו פיתגורס עבר בדרכו ליד נפחיה וצלילי הפטישים נשמעו לו כמוזיקה ערבה לאוזן – זולת פטיש אחד שצליליו לא השתלבו באחרים. כשחקר את הדבר מצא שמשקליהם של הפטישים מתייחסים כמו מספרים שלמים – חוץ מן הפטיש הדיס-הרמוני היחיד.

הפיתגוראים הנחילו למדע את האמונה שההרמוניה של חוקי הטבע מתגלה במספרים השלמים ובמשוואות – כלומר: בסמלים.

אמונתו העמוקה של פיתגורס בהרמוניה של המספרים הגיעה עד למה שמתגלה בסיפור הבא:

פיתגורס האמין שכל מספר או שבר של מספר, כל גודל של קטע או של חלק ממנו, ניתן לתיאור במספרים שלמים או במנה של מספרים שלמים (שבר, כמו $3/4$). והנה, אחד מן התלמידים טען ששורש ריבועי של המספר 2 אינו ניתן להכתב כמנה של שני מספרים שלמים (היום קוראים לזה מספר אי-רציונלי. שורש של 2 הוא למשל אורכו של אלכסון ריבוע שאורך צלעותיו 1). פיתגורס כל כך כעס על התלמיד שהעז להפר את ההרמוניה של העולם, שציווה להטביעו בבריכה – וכך עשו. ממשיכי דרכו של גליליאו היו קפלר וניוטון. קפלר פיענח את הגיאומטריה



של תנועת כוכבי הלכת. הוא תיאר את מסלוליהם וכן גילה את חוקיות מקצב התנועה של הכוכבים במסילותם. כדי לפענח את מסלול התנועה של כוכב מאדים מילא קפלר 800 עמודים של נוסחאות ומספרים – ולבסוף הגיע אל תגליתו: המאדים נע באליפסה שהשמש נמצאת באחד ממוקדיה. הוא אמר שאלמלא אמונתו בפיתגורס לא היה מגיע אל תגליותיו.



ניוטון ביקש לגלות את הדינמיקה, את הסיבות לתנועה של כוכבי הלכת. מחקריו הביאו אותו לנוסחאות שמתארות את חוק הגרביטציה ואת חוק התנועה. אולי למי שאינו קרוב לשפת המתימטיקה והפיזיקה נראים הדברים מסובכים, אבל העלו בדעתכם את הפלא הגדול שכל העולם על כל גופיו מצייתים לשתי נוסחאות קצרות ופשוטות אלו. הראשונה $F=m*a$ (החוק השני של ניוטון) והשנייה $F=G*M*m/R^2$ (חוק הכבידה).

האם אין פלא בכך שהשמים והארץ וכל צבאם מצייתים לחוקים הרשומים בעזרת כמה סמלים התופסים פחות מחצי שורה כתובה? המשורר האנגלי אלכסנדר פופ שחי כמה דורות אחרי ניוטון כתב עליו את השיר הבא:

Nature and nature's laws
lay hidden in the night,
and God said 'let Newton be'
and all was light.

ובתרגום לעברית:

חוקות שמים וארץ
נחבאו במחשכי בור
ויאמר האל: יהי ניוטון
ויהי אור

כמה מבני דורו של ניוטון אמרו עליו שהכלים המתימטיים אשר פיתח כדי להבין את הטבע קירבו אותנו להכיר את מחשבתו של הבורא.

ענקי הפיזיקה אשר הזכרתי העניקו למדע את עומק האמונה בשפת הסמלים – במתימטיקה. יורשיו של ניוטון עסקו בחישובי מסלוליהם של כוכבי הלכת ורק במאה התשע-עשרה הגיעו לניסוח מלא ומדויק של כל המסלולים, למעט אחד – זה של יופיטר. המסלול הנצפה של יופיטר הראה סטיות מן המסלול המחושב. ואז עמדה בפני המדענים ברירה: לוותר על התיאוריה ועל האמונה המלווה אותה – או לחפש כוכב לכת נוסף שבגללו מתרחשים העיוותים במסלולו של יופיטר. וכך גילו את נפטון.

נדלג מכאן אל המאה העשרים. כאן שפת הסמלים עשתה חגיגה של ממש. ב-1963 בעת שהייתי סטודנט בטכניון זכיתי לשמוע את הרצאתו של הפיזיקאי פול דיראק. הוא היה אז כבן תשעים, אנגלי טיפוסי דק גיזרה וזקוף, ומילא את הלוח באופרטורים מתימטיים שכנראה רק הוא הבין את משמעותם. שמו הלך לפניו כמי שהצליח לקשר בין תורת הקוונטים לבין תורת היחסות (עד ימינו משימה זו לא הושלמה). בשנות השלושים של המאה העשרים הוא פיתח את נוסחאותיו עבור האלקטרון וקיבל מתוך המתימטיקה כמה פתרונות. כידוע לכולנו,

למשוואה ממעלה שניה, למשל, ישנם שני פתרונות (לפעמים אחד שלילי ואחד חיובי). בהרבה מקרים אנחנו בוחרים את הפתרון החיובי וזורקים את השלילי כי "אין חיה כזו". גם דיראק קיבל פתרונות שליליים למשוואותיו אבל הוא סרב להשליכם לפח. הוא טען שפתרונות מתימטיים אלה מעידים על ממשות פיזיקלית כלשהי. במקרה שלו: אנטי-חלקיקים. בקושי אנחנו מבינים מהו אלקטרון, כיצד נבין אנטי-אלקטרון? הדבר היחיד שאפשר לומר עליו, על האנטי-אלקטרון הוא, שבהתקלו באלקטרון לא נותר כלום. נו, האם אפשר להאמין שדבר כזה קיים, ורק מפני שדירק קיבל מתוך נוסחאותיו פתרון שלילי? ומה עושה אלוהים, חלפו שמונה שנים והפוזיטרון התגלה במעבדה.

יש לנו גם סיפור כחול-לבן מסוג זה. בשנות השישים של המאה הקודמת כיהן יובל נאמן כנספח צ.ה.ל בלונדון. היה לו שם מספיק זמן פנוי כדי לעסוק בפיזיקה. הוא ניסה לגלות חוקיות במגוון החלקיקים שהיו ידועים אז ושלא נמצאה תיאוריה שתסביר את קיומם. הוא הגיע למסקנה שסימטריות מתימטיות מסוימות מתארות נאמנה את כל החלקיקים הידועים ותכונותיהם. סימטריות אלו הן מה שקרוי במתימטיקה "חבורות" ולצורך רישומן כבר לא הספיקו האותיות באנגלית ומשתמשים גם באותיות הלטיניות ואף באותיות העבריות. אלא דא עקא, חלקיק אחד היה חסר לסימפוניה הזו כדי שתהא שלמה. מה עשה יובל נאמן? המציא את החלקיק החסר. הוא תיאר את תכונותיו וקרא לו 'אומגה מינוס'. במעבדות ברוקהייבן גילו את האומגה מינוס שבע שנים מאוחר יותר. לא נעז לומר שהעולם נברא כאן בסמלים, אבל אכן העולם מתגלה בסמלים.

המסובכת שבתורות הפיזיקה היא תורת הקוונטים. הסיפור החל כאשר במעבדות מצאו שחלקיקים אלמנטריים התנהגו באופן משונה כפי שכדורונים של חומר אינם מתנהגים. ואז בא הנסיך דברולי (פיזיקאי צרפתי צעיר בעל ייחוס נסיכי) ואמר: כך כפי שמצאנו במעבדה מתנהגים גלים. ואז אמרו לו: אבל הרי אלו חלקיקים שהרי מקורם במכשיר היורה אלקטרונים? על כך ענה להם דברולי: אתם לא ראיתם אלקטרונים ואני לא ראיתי גלים – אבל את המתימטיקה של הממצאים אני מכיר: זו מתימטיקה של גלים. ומאז ועד עתה מקובל שאכן החלקיקים יכולים גם להיות גלים. מה שמאשר זאת היא המתימטיקה התואמת להפליא את הניסויים. כבר מזמן ויתרנו על התקוה לראות חלקיקים אלמנטריים. אבל את הנוסחאות אנחנו רואים. למשל, הנה משוואת שרדינגר. זו המשוואה שמוכיחה את עצמה באלפי ניסויים בחלקיקים

$$E\Psi(\vec{r}) = \frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(\vec{r}) + V(\vec{r})\Psi(\vec{r})$$

אלמנטריים. כל אות מסמנת כאן ביטויים מורכבים בשפת

המתימטיקה (אופרטור, פונקציית גל, קבוע של

פלנק וכו'). ומהו בעצם החלקיק שמסתתר מאחורי המשוואה הזו? סטנלי ארתור אדינגטון, אחת מן הדמויות הציוריות ביותר בפיזיקה של המאה העשרים אמר: פעם חשבנו שמתחת למתימטיקה יש חומר. עכשיו אנחנו חושבים שמתחת למתימטיקה יש עוד מתימטיקה.

בספר הקדום של המיסטיקה היהודית, "ספר יצירה", מתחיל הכתוב בתיאור ה'חומר' שמהם נברא העולם, וכך הוא אומר: "בשלושים ושתיים נתיבות פלאות חכמה ברא י'ה' צבאות את עולמו". ומה הן 32 נתיבות פלאות אלו? אלו הן כ"ב האותיות ועשר הספירות והרי כולן סמלים. בהמשך הספר מופיע פסוק נפלא שמתאר את חידת הבריאה: "יצר מתוהו ממש ועשה את שאינו ישנו וחצב עמודים גדולים מאויר שאינו נתפס".

ואסיים בסיפור פיקנטי שקשור בשמו של אותו סטנלי אדינגטון שאינשטיין אמר עליו שהוא אחד משני האנשים שמבינים את תורת היחסות.

אדינגטון התעניין במקדמים שמופיעים לפני הגדלים הפיזיקליים במשוואות הפיזיקה השונות. מקדמים אלו הם או סתם מספרים או גדלים שנועדו לאזן את המשוואה ובדרך כלל לא ייחסו

להם משמעות מרובה. אדינגטון שם לב לעובדה שהמספר 137 מופיע בכמה משוואות בלא שיהיה לכך הסבר והוא ייגע את מוחו בשאלה הכיצד ניתן לגזור את המספר 137 מתוך שיקולים מתימטיים טהורים. יום אחד טילפן אליו ידידו ואמר לו: סטנלי, 137 זה הגימטריה של Eddington.

אדינגטון בא עם הסיפור הזה למפגש איראנוס באסקונה – מפגש שהתקיים אחת לשנה ואליו הוזמנו גדולי המדענים וההוגים בעולם. הוא סח את הסיפור לגרשם שלום, חוקר הקבלה הידוע. גרשם שלום אמר לו ש 137 זה הגימטריה של "קבלה". ואני רציתי לצטט את הסיפור הזה בספרי על המיסטיקה היהודית. כדי לרענן את זיכרוני חיפשתי בסיפרו של מיצ'יו קאקו "על מרחב" את הערך "הכוח החלש" שבו קשור המקדס 137 ומצאתי את הערך בעמוד 137 (אפשר לבדוק!).