

מלכת המדעים

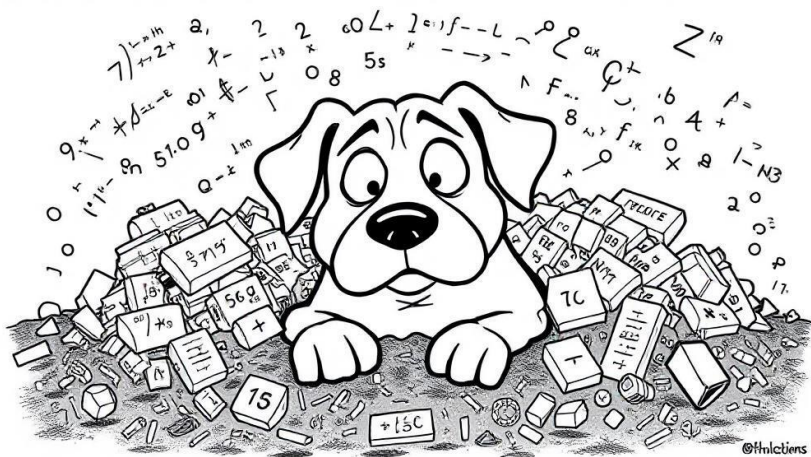
על ההבדל בין מתמטיקה למדעים אחרים

”ברוב המדעים, כל דור הורס את מה שבנה קודמו, ומה שביסס האחד מערער האחר. רק במתמטיקה מוסיף כל דור נדבך חדש למבנה הקיים”

הרמן הנקל

מה הביג דיל?

מה כל כך מיוחד במתמטיקה? במה היא שונה מהפיזיקה, מהביולוגיה, מהמוזיקה, מהאסטרונומיה, או מהפסיכולוגיה? הדעות כמובן מגוונות, ואין תשובה אחת נכונה – פילוסופיה זה לא מדע מדויק, בניגוד למתמטיקה שהיא בדיוק כן. ואולי פה קבור הכלב.



פה קבור הכלב

היום אנחנו נוטים לקרוא לכל דבר "מדע": מדעי המחשב, מדעי המוח, מדעי החברה, ואפילו מדעי הרוח. אבל כשכל דבר הוא מדע – אולי בעצם שום דבר כבר לא באמת מדע? לדעתי המושג "מדע" חווה כרגע אינפלציה די משמעותית וערכו יורד - זה קצת כמו לומר שכולם מיוחדים, ואז פתאום אף אחד לא באמת מיוחד.

אז בואו נשאל שאלה חדשה - מה זה מדע?

מה זה מדע?

כפי שתגלו לאורך הספר, השאלות אולי נראות פשוטות וקצרות, אבל התשובות להן הן עולם ומלואו – ארוכות, עשירות, מורכבות ובעיקר – לא מספקות.

אם נלך לפי ויקיפדיה, מדע הוא תחום ידע שמתאפיין בחקירה שיטתית, לוגית ומבוססת ראיות של תופעות או מבנים מופשטים. לפי ההגדרה הזו, כל התחומים שהזכרנו למעלה אכן נכנסים תחת המטרייה של המדע.

אבל, תרשו לי לפקפק בהגדרה הזו – לא כי אני חושב שאני יודע יותר מעורכי ויקיפדיה הנבונים, רחוק מזה. הרשו לי לסמוך על דעת גדולים ובפרט על קרל פופר, הפילוסוף היהודי-אוסטרי, שנחשב לאחד מהפילוסופים הבולטים של המדע. אם מישהו יוכל להאיר לנו את הסוגייה הזו באור אחר, זה בהחלט הוא.

פופר ידוע כאחד ממתנגדי ההגדרה הקלאסית של המדע כפי שהצגנו אותה. הוא הגה את "עקרון ההפרכה", רעיון שמנער את התפיסה הישנה. פופר טוען שכל התיאוריות המדעיות הן בסופו של דבר השערות, ולכן תמיד יש סיכוי שהן שגויות. המדע, לדעתו, לא מתקדם דרך ההוכחות, אלא דווקא דרך ההפרכות. הפרכת תיאוריות ישנות, היא המנוע מה שמניע אותו קדימה. ככל שתיאוריה מצליחה לעמוד בפני יותר ניסיונות הפרכה, כך היא מתקרבת יותר לאמת. זה קצת כמו אבולוציה של רעיונות – ברירה טבעית שבה הרעיון החזק והנכון "יותר" שורד.

מכאן נובע, לפי פופר, כי תאוריה מדעית מוגדרת דווקא לפי היכולת לסתור אותה. אם לתאוריה שלך יש סימוכים רבים, תימוכין כיד המלך ועדויות רבות מספור, אבל אין דרך להפריך אותה - זה לא מדע, זו אמונה במקרה הטוב ופסאודו מדע במקרה הרע. פופר לא אהב פסאודו-מדע.

לפי פרשנויות רבות, הקרע בין זיגמונד פרויד, מייסד הפסיכואנליזה, לבין תלמידו ויורשו המיועד, קרל גוסטב יונג, נבע במידה רבה מאי שביעות רצונו של יונג מ"המדעיות" של התאוריה, בהתאם לעקרון ההפרכה.

לפי פרשנות זו, יונג טען שהתיאוריות של פרויד אינן ניתנות להפרכה אמיתית. לדוגמה, אם אדם מבטא כעס כלפי דמות סמכותית, הפסיכואנליזה עשויה להסביר זאת כתחושת תסכול שנובעת מהשפעות לא-מודעות של יחסיו עם הוריו. לעומת זאת, אם אותו אדם היה מפגין כבוד מוגזם כלפי דמות סמכותית, התיאוריה הייתה טוענת שזהו מנגנון פיצוי לא-מודע על רגשות תסכול חבויים. כך, ללא קשר להתנהגות, הפסיכואנליזה תמיד מוצאת דרך להסביר אותה, מה שמקשה על האפשרות להפריך את הטענות שלה.

גם אם כל הגברים בעולם יעידו שמעולם לא התאהבו באמותיהם ולא קנאו באבותיהם, ובכך יסתרו את "תסביך אדיפוס", פרויד תמיד יכול לטעון שהם פשוט "מדחיקים" את זה, ולכן אינם מודעים לכך.

שוב, אם לא ניתן להפריך תיאוריה, אז היא פשוט לא תיאוריה מדעית. על העיקרון המשכנע הזה של פופר, בנה פרופסור יונתן דובי קומה נוספת. דובי, פיזיקאי מהטכניון, מציע שה"מדעיות" של תיאוריה אינה עניין בינארי – תחומי הדעת לא מתחלקים למדעים אמיתיים ולשטויות מוחלטות.

ההיררכיה הפופריאנית

פרופסור דובי טבע את מונח "ההיררכיה הפופריאנית". ההיררכיה הזו בעצם מציגה ספקטרום שבו כל תחום מסווג על פי כמה הוא "מדעי" - ככל שהתיאוריה קלה יותר להפרכה, כך היא נחשבת מדעית יותר.

בתחתית ההיררכיה הפופריאנית נמצאות תיאוריות שאינן מדעיות כלל – כאלה שלא ניתן להפריך באף ניסוי, אפילו לא בתיאוריה. דוגמה מפורסמת לכך היא תיאוריית גלגול הנשמות.

מעליהן, וזו כבר פרשנותי האישית, נמצאים תחומים מדעיים שבהם ניתן אמנם להעמיד תיאוריות למבחן ניסוי, אך תמיד קיימת האפשרות לטעון שהניסוי אינו משקף בצורה מושלמת את המציאות. כאן נכנסים לתמונה מדעי החברה ותחומים מדעיים המבוססים על סטטיסטיקה, שכן כאשר הניסוי מתמקד בבני אדם, תמיד אפשר לטעון שהממצאים אינם מייצגים באופן מלא את המורכבות של המציאות.

ככל שמטפסים במעלה ההיררכיה הפופריאנית, ניסויי ההפרכה נעשים ברורים ומוחשיים יותר. לפי פרופסור דובי, הפיזיקה נמצאת במקום השני בהיררכיה זו. לדוגמה, גלילאו היה צריך רק לטפס פעם אחת למגדל פיזה, להפיל שתי אבנים עם מסות שונות, ולהראות שהן פוגעות בקרקע באותו זמן כדי להפריך את התיאוריה האריסטוטלית הישנה על כוח המשיכה. ניסוי של כמה דקות יכול להפריך תאוריה מדעית בת 2000 שנה.

אבל בראש ההיררכיה, בפסגת הפירמידה ובפער ניכר מכל השאר, ניצבת המתמטיקה. גם בניסוי של גלילאו תמיד אפשר לטעון טיעונים שונים נגד הניסוי: הוא לא מדד נכון, הוא לא שם לב לפרטים, או אפילו שהניסוי מעולם לא התרחש והוא רק אגדה. במתמטיקה, לעומת זאת, הניסוי המפריך הוא וירטואלי לחלוטין – הוא לא תלוי באמצעים שלך, במיקום שלך, ואפילו לא בזמן מסוים.

על מנת להפריך את הטענה כי אין מספר טבעי שהריבוע שלו שווה למספר שלילי – כל מה שצריך זה למצוא אחד כזה. ההפרכה היא חדה, חותכת ואיננה משתמעת לשתי פנים.

שימו לב שגם על מושגים בסיסיים ביותר בפיזיקה קיימות מחלוקות ואמונות שונות. יש המאמינים שהעולם שטוח, טוענים שניסויים מדעיים רבים מעולם לא בוצעו, או רואים בנחיתה על הירח קונספירציה. לעומת זאת, במתמטיקה אין מקום לאי-הסכמה מסוג זה – ההפרכה ברורה ומיידית. אין צורך במכשור מתקדם או באמצעים מיוחדים; כל אדם יכול לשחזר את ההוכחות או ההפרכות בעצמו.

לא לחינם אמר גאוס כי "המתמטיקה היא מלכת המדעים".

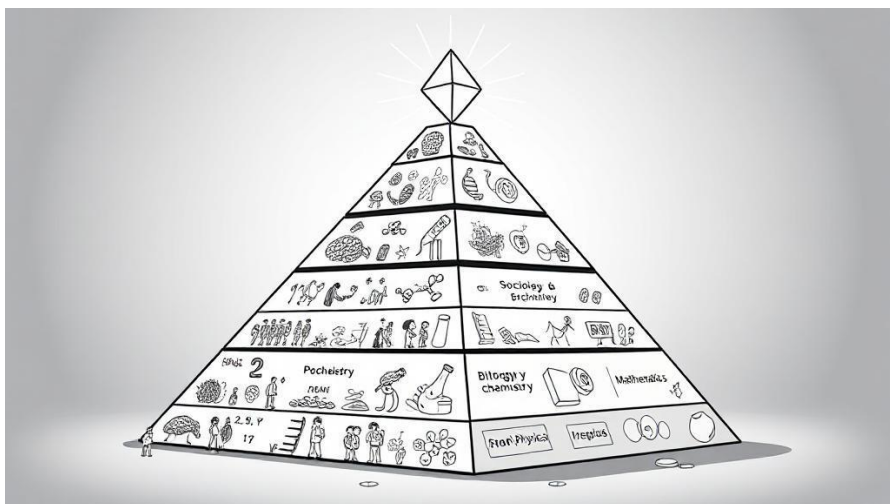
אבל להיררכיה הפופריאנית יש שני צדדים. ככל שהתחום שלך מדעי ומדויק יותר, כך טווח הנושאים שאתה יכול לדון בהם מצטמצם. הפיזיקה המודרנית, למשל, מדויקת מאוד, אבל תחום השיפוט שלה מוגבל לחלקיקים זעירים.

הכימיה, שהיא קצת פחות מדעית, יכולה כבר לדבר על תרכובות של חלקיקים ועל החומרים שהם יוצרים באמצעות הקשרים ביניהם.

הביולוגיה, שמדעית אפילו פחות, מתרחבת עוד יותר, ועוסקת באיך החומרים הללו מתארגנים לתאים חיים.

הפסיכולוגיה, שממוקמת בהיררכיה מתחת לביולוגיה, מתעסקת בהתנהגות של אותם תאים חיים כשהם מסודרים בצורת אדם – וזה יתרון אדיר, אך המדעיות והדיוק בהתאם.

אם נמשיך לרדת במורד ההיררכיה, נגיע לסוציולוגיה – תחום שעוסק בהתנהגות של חברות שלמות של בני אדם. זה משהו שהפיזיקה יכולה רק לחלום לעסוק בו.



ההיררכיה הפופריאנית. צילום: flux

הטרייד-אוף

אז ראינו שיש כאן טרייד-אוף – ככל שאתה יותר מדעי ומדויק, כך תחום העיסוק שלך נעשה צר יותר. המתמטיקה, שממוקמת בראש ההיררכיה, אמורה לפי מודל הטרייד-אוף הזה לעסוק בתחום כל כך צר שהוא אפילו לא חלקיק.

ובמובנים מסוימים, זה נכון! המתמטיקה לא זקוקה לשום דבר פיזי כדי להתקיים – היא לא עוסקת בשום דבר חומרי. היא פשוט עומדת בפני עצמה, בממלכה של רעיונות מופשטים, שבה כל דבר הוא אפשרי – וכלום לא נחוץ.

מצד שני, המתמטיקה עוסקת בהכל. הפיזיקה, הכימיה, הביולוגיה, הפסיכולוגיה, ואפילו הסוציולוגיה – כולן פונות למתמטיקה לעזרה כשהן נתקלות בקשיים ולא יודעות להתמודד לבד.

המתמטיקה עוסקת בהכל ובכלום. היא נמצאת גם בראש הפירמידה וגם בתחתיתה. היא זו שעושה לכולם את העבודה השחורה, אבל היא גם מלכת המדעים. המתמטיקה היא חריגה מהכל ומשותפת לכולם.

בניגוד לשאר המדעים, המתמטיקה אינה מדע המבוסס על תצפיות וניסויים בעולם הפיזי, אלא שייכת למסורת הרציונליזם הקלאסי. פילוסופית, מדובר בגישה מוקדמת יותר בהשוואה לאמפיריציזם, או "נסותנות", שהתפתח מאוחר יותר.

פרנסיס בייקון, מראשי האמפיריציזם, הוביל מהפכה מחשבתית כשהציב את הניסוי והתצפית מעל להיגיון הטהור. הוא שאב השראה מהישגיהם של גלילאו וקופרניקוס, שהצליחו לערער את תפיסות אריסטו שהתבססו על היגיון בלבד, ולהחליפן בתיאוריות הנשענות על מדידה וניסיון.

המתמטיקה היא מדע רציונליסטי לחלוטין, שמבוסס על הגיון טהור. כלומר, המתמטיקה היא מעין רגרסיה פרימיטיבית, לפחות במובן זה. לכן נשאלת השאלה – האם המתמטיקה בכלל עובדת?