
פילוסופיה של המדע ומקור הערכים אצל ליבוביץ

Author(s): איתמר פיטובסקי

Source: *Iyyun: The Jerusalem Philosophical Quarterly* / כרך מ"ב, עיון: רבעון פילוסופי, כרך מ"ב / אוקטובר 1993 pp. 541-550

Published by: [S.H. Bergman Center for Philosophical Studies / ה. ברגמן לעיון פילוסופי](#)

Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/23350912>

Accessed: 12/01/2014 08:33

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at <http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact support@jstor.org.



S.H. Bergman Center for Philosophical Studies / ה. ברגמן לעיון פילוסופי is collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Iyyun: The Jerusalem Philosophical Quarterly* / עיון: רבעון פילוסופי

<http://www.jstor.org>

פילוסופיה של המדע ומקור הערכים אצל ליבוויץ

א. הקשר בין אפיסטמולוגיה לערכים

מקובלת עלי ההבחנה בין עובדות לערכים. העובדות כפזיות על הכרתנו משעה שאנו נתקלים בהן ומבינים אותן, והערכים עניין לבחירה רצונית. אבל המדע איננו רק אוסף העובדות, והאפיסטמולוגיה המכוננת את המתודה המדעית איננה יכולה להיות חפה משיקולים ערכיים, שיקולים הכרוכים בבחירה רצונית בין אלטרנטיבות. המדובר בראש ובראשונה במצב שבו עלינו לבחור בין שתי תיאוריות מדעיות שהן, ככל הידוע לנו, שקולות במסקנותיהן האמפיריות. מנקודת ראות לוגית מצב עניינים זה הוא טיפוסי, ואיננו יוצא מן הכלל, כי העובדות התצפיתיות כשלעצמן לעולם אינן מספיקות כדי לקבוע מסגרת תיאורטית יחידה המארגנת אותן.¹ עובדה לוגית זו קיבלה ביטוי לא אחת במציאות המדעית ההיסטורית. כיוון שלא ניתן להכריע בין תיאוריות – שהן ככל הידוע לנו שקולות אמפירית – לאורן של עובדות, אנו מכריעים בפועל בכוחם של ערכים (כגון יופי, פשטות וכד'). חשיבותם של קריטריונים אלה בתולדות המדע היא עניין שנידון בהרחבה על-ידי היסטוריונים ופילוסופים.

יותר קרוב לענייננו הוא המצב, הנדיר למדי, שבו לממצאים מדעיים יש השלכות חוץ מדעיות, אפילו מטאפיזיות, היכולות לבוא לידי קונפליקט עם השקפה או "תמונת עולם" קיימת. כדי להאיר נקודה זו נדון בשאלת הדטרמיניזם: האם מצבו הפיסי של העולם ברגע נתון קובע ביחידות ובוודאות את מצבו הפיסי בעתיד? שאלה פילוסופית זו מצאה את דרכה אל מסגרת המכניקה הניוטונית, שם ניתן להגדיר באופן מתמטי את המונח "דטרמיניזם" ולענות בחיוב: הדטרמיניזם במובן שלעיל הוא מסקנה לוגית של חוקי ניוטון.² משתמע מכאן כי פלוני, המאמין

¹ Cf. e.g., W. V. O. Quine, "On Empirically Equivalent Descriptions of the World", *Erkenntnis* 9 (1975): 313; H. Putnam, "Models of Reality", in *Realism and Reason, Philosophical Papers*, vol. 3, Cambridge University Press, 1983

² בתורת ניוטון מיוצג מצבו של כל חלקיק חומר באמצעות מיקומו ומהירותו בכל רגע. גדלים אלה נקבעים באמצעות מערכת משוואות דיפרנציאליות הנגזרות מן החוק השני של ניוטון. משפט מתמטי ידוע קובע כי בהינתן "תנאי התחלה" (מיקומו ומהירותם של החלקיקים בזמן כלשהו) יש

שחוקי ניוטון מתארים את המציאות הפיסיקלית, ההכרה בדטרמיניזם "כפויה עליו" כלשונו של ליבוויץ.

המצב לאמיתו של דבר מורכב יותר, שהרי מדובר במסקנה תיאורטית ולא תצפיתית. שום התבוננות בעולם מצד עצמה לא תביא אותנו לכלל הכרעה אמפירית בשאלה אם העולם דטרמיניסטי אם לאו. אבל אם התיאוריה המוצלחת ביותר שלנו על אודות המציאות האמפירית – ותורת ניוטון היתה כזו יותר ממאתיים שנה – גורסת כאחת ממסקנותיה דטרמיניזם, כלום לא נקבל מסקנה זו כ"ידע"?

זהו טיפוס השאלות שאתן מתמודדת תורת ההכרה. לשאלות אלה אין תשובה חד-משמעית והן שנויות במחלוקת לא פחות משאלות הנוגעות במוסר (אם כי במקרה שלפנינו המחלוקת איננה מביאה לשפיכות דמים). יתר-על-כן, התשובות השונות שאנשים שונים נותנים לשאלות כאלו "צבועות" בצבעי ערכיהם האסתטיים ואפילו הדתיים.

נשוב לדוגמה שלנו, בעיית הדטרמיניזם, ונדון באדם שהוא מחד גיסא מטריאליסט, במובן זה שאין הוא מאמין שיש דבר-מה בעולם שאיננו חומר, ומאידך גיסא מכיר בקיומו של הרצון החופשי. אדם כזה יבוא לכאורה לידי קונפליקט עם המסקנה הניוטונית על אודות הדטרמיניזם. אבל תמיד פתוחות בפניו שתי דרכי נסיגה ידועות:

- (1) הוא יכול לומר שתורת ניוטון היא טנטאטיבית, נותנת לנו אך מידע חלקי על עולם החומר, והיא תוחלף ברבות הזמנים בתורה משוכללת יותר שבה תתיישב הסתירה.
- (2) הוא יכול לסגת אל מצב של אנטינומיה. הוא יאמר שיש בפנינו פרדוקס: מחד גיסא ההכרה בדטרמיניזם הניוטוני "כפויה עליו" ומאידך גיסא גם ההכרה בקיומו של הרצון החופשי, אצל עצמו לפחות, "כפויה עליו" לא פחות. אלו הן הכרות סותרות. הוא מכיר בסתירה, וממנה אין מוצא. התבונה היא מוגבלת ויכולת ההשגה סופית, וכזה הוא "המצב האנושי".

אל שתי אסטרטגיות אלו ניתן כמובן לצרף אפשרות נוספת:

- (3) הוא יכול לשנות את עמדתו המטאפיזית הבסיסית (בעניין המטריאליזם למשל).

נשים לב כי אף אחת מן האפשרויות הללו איננה כשלעצמה מתחייבת או מסתברת מן העובדות. אין דבר במציאות הפיסיקלית עצמה, או אפילו בתורת ניוטון, המצביע לכיוון אפשרות זו או אחרת. הקונפליקט איננו מדעי, אבל מקורו הוא

למערכת משוואות דיפרנציאליות זו פתרון יחיד בכל זמן אחר.

במסקנה לוגית של תורה מדעית והוא חוזר אל המדע בכך שהוא מעצב ומשפיע על יחסן של הבריות אל התורה המדעית, כלומר אל החוקים הכלליים שלה. הדטרמיניזם הובא לכאן כאילוטרציה בלבד. כמובן שאסטרטגיות פילוסופיות מן הטיפוס הנזכר לעיל ננקטות בהזדמנויות שונות. מהלך מן הטיפוס הראשון שימש את איינשטיין בוויכוח המפורסם בינו ובין בוהר והייזנברג על משמעות ממצאי הפיסיקה האטומית. האחרונים שללו את הדטרמיניזם כאשר הם מסתמכים על תורת הקוונטים, ואילו איינשטיין, שדגל בדטרמיניזם מסיבות ספק אסתטיות ספק דתיות ("אלהים אינו משחק בקובייה"), הכיר כמובן בממצאיה האמפיריים של תורה זו, אבל שלל את מעמדה כתיאוריה שלמה וסופית של המציאות הפיסיקלית.³ אסטרטגיה מן הסוג השני היא זו המקובלת על קאנט (ראה בפרט האנטינומיה השלישית ב'ביקורת התבונה הטהורה', שם מוצגת בעיית הדטרמיניזם בצורה מעט שונה), והיא גם זו שאומצה על-ידי ליבוביץ. כפי שנראה הוא זורה את דרכם של קוראיו הנאמנים אנטינומיות.

מעניין לציין כי דווקא התגובה מן הסוג השלישי היא נדירה יותר. קשה מאד למצוא מקרה שאדם שינה את השקפתו ותפיסתו המטאפיסיות הבסיסיות, את מה שמכנים "תחושת הבטן" ביחס למציאות, לאור התפתחויות מדעיות.

ב. העלמה והטירה

שוו בנפשכם טירה מוקפת חומה גבוהה, מסביבה תעלת מים ובתוך הטירה עלמה. תעלת המים היא בעיית ההתפתחות (האוטונומיה) בבילוגיה, החומה היא הבעיה הפסיכופיסיט והעלמה המתגוררת בטירה, ושלמענה נבנו כל אמצעי המגן הללו, היא הרצון האוטונומי מייסד כל הערכים.

מבין הנושאים הרבים והמגוונים בפילוסופיה של המדע בחר ליבוביץ לעסוק באינטנסיוביות בשניים: בעיית ההתפתחות בבילוגיה והבעיה הפסיכופיסיט. על שאלות אחרות, כלליות יותר, אנו מוצאים מדי פעם הערות פה ושם ובכמה עניינים בחר ליבוביץ שלא לגעת כלל (לדוגמה, בעיית הריאליזם שעמדה במרכזו של ויכוח סוער בשלושים השנים האחרונות). הנושא הפילוסופי האחר שבו הרבה ליבוביץ לעסוק ובו העמיד את חטיבת ההגות המקורית והמעמיקה ביותר שלו היא בשאלת המצוות, האמונה היהודית, מקורותיה ומשמעותה.

כל אלו הם באמת ובתמים נושאים שונים זה מזה. בכל אחד מן הנושאים הללו מעמיד ליבוביץ סדרת טיעונים והשגות העומדים בפני עצמם ולגופם ויש בהם

³ לזכותו של איינשטיין ניתן לומר כי בזמן שבו התנהל הוויכוח (בשנות העשרים, השלושים והארבעים של מאה זו) לא היתה עמדתם של בוהר והייזנברג מבוססת על טיעון מוצק. רק בשנות השישים הובאו הוכחות כלליות של ממש לכך שתורת הקוונטים איננה ניתנת להרחבה דטרמיניסטית.

כמובן עניין לעצמם ולגופם, אבל אינני מעוניין לדון בפירוט העניינים כאן. השאלה שאשאל היא האם יש קשר בין גישתו של ליבוביץ אל הנושאים הנוגעים במדע ובין השקפתו בענייני הערכים. כפי שראינו לעיל אין שאלה זו בבחינת טעות קטגורית. גם אם יש להבחין בין עובדות לערכים, אין לגזור הבחנה שווה בין אפיסטמולוגיה ובין השאלה על מקור הערכים.

הקשר נמצא בראש ובראשונה בשיטתו הפילוסופית של ליבוביץ, שהיא בעיקרה קאנטיאנית, ואת ביטויה אנו מוצאים בשימוש חוזר בטיעונים קטגוריים ובמושג ה"הבנה" שליבוביץ משתמש בו.

כידוע, לשיטתו של קאנט אין אנו תופסים את המציאות כשהיא לעצמה, אלא תפיסתנו מתווכת על-ידי מערכת מושגים ההופכים את ההתנסות לאפשרית והמארגנים את נתוני החושים. היותה של מערכת מושגים תנאי הכרחי לתפיסה ולהבנה איננה השקפה המייחדת את שיטתו של קאנט דווקא. מה שאופייני לו היא הצפייה של המערכת המושגית; אנו תופסים ומארגנים את המציאות באמצעות מערכת קטגוריות קבועות ובלתי-משתנות. כהשוואה קראו את השורות הראשונות בערך "חיים" באנציקלופדיה העברית, פרי עטו של ליבוביץ:

חלוקת המציאות הגשמית, שאותה תופס האדם בחושיו, לשני חלקים גדולים: עולם העצמים הדוממים ועולם העצמים החיים - שהאדם עצמו אחד מהם - היא לאדם הכרח פסיכולוגי והגותי כאחד. עובדת החלוקה הזאת קודמת לכל ניתוח וניסוח מדעי של מהותה: היא כפויה על האדם בתוקף הרשמים המיוחדים, שהוא מתרשם מטיבו והתנהגותו של גוש-חומר המהווה אורגניזם חי בהשוואה לגוש-חומר נטול תופעת החיים.⁴

היגדים שתוכנם הבחנות קטגוריות דוגמת "כלב הוא בעל-חיים" קאנט מכנה משפטים סינתטיים אפריוריים.⁵ הם סינתטיים במובן זה שאין הם ריקים מתוכן וחלים על המציאות, והם אפריוריים במובן זה שהם הכרחיים ("כפויים עלינו") ומכוננים את תפיסתנו. לא הניסיון יוצר את ההבחנה, אלא שההבחנה היא במובן ידוע מאפשרת את הניסיון.

היסוד הקאנטיאני השני אצל ליבוביץ עניינו מושגי התפיסה, ההבנה וההסבר כפי שהם חלים על תופעות ותהליכים בטבע. בדיונו באנלוגיות של הניסיון קאנט אומר: "עקרון הוא: ניסיון הוא באפשר רק על-ידי דימוי של קשר הכרחי של התחושות".⁶ ביתר פירוט באנלוגיה השנייה גורס קאנט, שכדי שהיחס בין

⁴ ערך זה מופיע גם בספרו של ישעיהו ליבוביץ, 'בין מדע לפילוסופיה' בהוצאת אקדמון, ירושלים, תשמ"ז, עמ' 11.

⁵ זהו על-כל-פנים משפט סינתטי אפריורי לפי תפיסתו של ליבוביץ כפי שעולה מן הציטטה לעיל. אינני משוכנע שקאנט עצמו היה מאמץ דוגמה זו.

⁶ עמנואל קאנט, 'בקורת התבונה השורה', בתרגום ש.ה. ברגמן ונ. רוטנשטרייך, ירושלים,

תופעות הבאות בזה אחר זה יהיה אובייקטיבי, עלינו לתפוס בשכלנו כקשר סיבתי הכרחי: "על כן, עליידי כך בלבד, שאנו משעבדים את המשך המאורעות, ועם זה כל שינוי, לחוק הסיבתיות - הרי הניסיון עצמו הוא באפשר" (ב 234). אבל משעה שאין אנו רואים קשר סיבתי הכרחי כזה בין מאורעות נעלמת גם ההבנה. כך אצל ליבוביץ:

אין ביכולתנו "להבין" - באותה משמעות של "הבנה" המקובלת לגבי היחסים התפקודיים הקיימים בין חלקי המציאות הטבעית - את הקשר בין אירועים פסיכיים ומוחיים. אף אם היינו יודעים לגבי כל פרט ופרט באירועים אלה מהו הפרט המסוים בצד אחד שהוא "מקביל" לפרט מסוים בצד שני - לא היינו מגיעים ל"הבנת" ההקבלה הזו.⁷

העדרה של "הבנה" הוא אצל ליבוביץ העדרו של קשר סיבתי. למרות שהפסיכי נראה כבא מיד בעקבותיו של הפיסי (או ב"מקביל"), אין אנו תופסים את הפיסי כסיבתו של הפסיכי, כי אין אנו תופסים את הקשר ביניהם כהכרחי. שיטה זוהי כמעט לחלוטין נוקט ליבוביץ ביחס לניסיון להסביר את תופעות החיים באמצעות תהליכים פיסיים-כימיים:

נמצא שאם גילוי המכניזם הגנטי נתברר שאין בו - לא במישרין ולא בעקיפין - הסבר לא לתופעות המורפולוגיות ולא לפיזיולוגיות, שהן הן תופעות "החיים". ואף-על-פי כן אין אנו יכולים להטיל ספק בכך שמכניזמים אלה הם גורמי תופעות החיים.

אלה הפארלוגיזמים והאנטינומיות שאליהם מביא ניסיון הרדוקציה של "החיים" לפיזיקו-כימיה.⁸

קווי המתאר של הארגומנט הליבוביצי הם ברורים איפוא: ראשית, כל ניסיון של רדוקציה (של "החיים" לפיסיקה-כימיה או של ה"mind לפיסיולוגיה) יש בו עירוב קטגוריות, בלבול בין "חיים" לבין "מנגנונים הפועלים בחיים" בלשונו של ברנאר (שאותו ליבוביץ מרבה לצטט) או בלבול בין פעולתו הפיסיקלית של המוח לבין חשיבה. אבל לא נוכל כמובן להכחיש את קיומן של קורלציות: בין תהליכים כימיים לבין תכונות האורגניזמים המאפיינות אותו כיצור חי, ובין תהליכים פיסיולוגיים לפסיכיים. נמצא איפוא שאנו עומדים בפני מתאמים שאין להם הסבר, ולא מחמת קשיים טכניים אין בידנו הסבר אלא מכיוון ש"הסבר" ו"הבנה" משמעם תפיסת הסיבות הפועלות. אבל אנו נבצר מאתנו לראות את הכרחיות הקשר שבין צד א (פיסיקה, כימיה) לבין צד ב (חיים, תופעות פסיכיות), מכאן שמציאות החיים וודאי המציאות הפסיכית הן בבחינת דבר בלתי-נתפס ופרדוקסלי מנקודת הראות של הקטגוריות של מדעי הטבע.

מוסד ביאליק תשמ"ג, עמ' 127 (ב 218).

⁷ "המה והתודעה", בתוך 'בין מדע לפילוסופיה', עמ' 197.

⁸ "על הרדוקציוניזם בביולוגיה", שם, עמ' 51.

האנטינומיות הללו מאפשרות לנו לקבוע את האוטונומיה של התחומים שבהם מדובר,⁹ גם "האוטונומיה של החיים"¹⁰ וגם האוטונומיה של המציאות הפסיכית. אלמלא זו האחרונה לא היינו יכולים לכנות הכרעה רצונית "ערכית" כי הרי מה שעושה אותה, בין השאר, לבעלת ערך היא עצם אפשרותן של הכרעות אחרות. היא אינה "כפויה עלינו" כיוון שאין היא תוצאה של חוקי הפיסיקה והכימיה ואינה ניתנת להסבר באמצעותם.

ניצבים אנו בפני מבנה הגותי הדוק, כעין מבצר, שבו העלמה (רצוננו החופשי) מוגנת על-ידי חומה בצורה ותעלה עמוקה. נותר לנו רק לברר אם מדובר ב-"damsel in distress".

ג. כמה התנגדויות אפשריות

למה יעלה בדעתו של מישהו להסתער על הטירה? ובכן, זוהי אחת המגמות המרכזיות של הפעילות המדעית לפחות מראשית המדע המודרני: רדוקציה. קשה להסביר מגמה זו כעניין שהוא הכרחי לפעילות המדעית, אבל בפועל היא הוכיחה את עצמה. כל מדעי הטבע, לפחות אלה העוסקים בדומם, כבר אוחדו תחת מבחר מצומצם של חוקי הפיסיקה. ההישג הזה, לבד מערכו האינטלקטואלי הגדול, יש לו גם פן אינסטרומנטלי לא מבוטל. הרדוקציה של הכימיה לפיסיקה ושל התרמודינמיקה למכניקה הביאו בכניפהן שלל תגליות חדשות שלא היו אפשריות כשעמד כל אחד מן התחומים הללו לעצמו. לא יפלא איפוא שהמגמה הולכת ונמשכת, ומאמץ גדול מושקע בצמצום מספר ההנחות והעקרונות של המדע. לפחות בפיסיקה מגמה זו נמצאת היום בשיאה. שם יש אנשים הסבורים שההצלחה נמצאת מעבר לפינה והם כבר מדברים על TOE (Theory of Everything).

השאלה איך אפשר, אם אפשר, לעמוד בפני ארגומנטים כגון אלה שמעלה ליבוביץ אפריורית כנגד אפשרות הרדוקציה. גם כאן אין ברצוני לעסוק באופן פרטני בטיעונים של ליבוביץ אלא להתרכז במתודה.

ראשית, אפשר לתקוף את הצפידות של הקטגוריות הקאנטיאניות, שהיא כאמור מהותית גם לשיטתו של ליבוביץ. בעניין זה ישנה ספרות ענקית. שלילת הסינתטי-אפריורי היתה כמעט טעם הקיום של הפוזיטיביזם הלוגי, והדיון בעניין זה נמשך מראשית המאה העשרים ועד היום. אלו עניינים ידועים ואיני רוצה לדוש בהם שוב.

⁹ זוהי גם, פחות או יותר, גישתו של קאנט ביחס לאוטונומיה של תחומי "התבונה המעשית" הכוללים את המוסר והדת. ראה הדיון באנטינומיות של התבונה הטהורה בפרט בפרק ג, "על עניינה של התבונה בניגוד וה", ב'ביקורת התבונה הטהורה', עמ' 246 ואילך (כ 490 ואילך).

¹⁰ זהו שם פרק במאמרו של ליבוביץ, "מושג האורגניזם בביולוגיה ובעיון", בתוך 'בין מדע לפילוסופיה', עמ' 36.

שנית, ניתן להטיל ספק בקשר ההכרחי שבין "הבנה" במדעי הטבע ובין הסיבתיות. מושג הסיבתיות של גאליליי, העומד ביסוד ניתוחו של קאנט, הוא שהשתרש במדע הקלאסי (במיוחד בפיסיקה), אבל במאה הי"ז עמדו גם שיטות מטאפיסיות אחרות שאולי מן הראוי להחיותן בימים אלה. אצל לייבניץ, למשל, ההבנה מושגת כאשר עולה בידינו לחשוף את "ההרמוניה הטבועה מראש" בעולם, דהיינו את הקשרים והמתאמים בין התופעות. תורת הקוונטים היא התורה המוצלחת ביותר שהיתה אי פעם במדע הן מבחינת הטווח העצום של התופעות שהיא מתארת ומנבאת והן מבחינת הדיוק הגדול מאד של גיבויה. אבל אין זו תורה המספקת הסברים סיבתיים. את התהליכים היא מתארת במובן זה שהיא מקשרת אותם לתהליכים אחרים ומציינת את ההסתברויות שאירועים מסוימים יקרו ומתאמים מסוימים ימצאו. אין היא מציינת את הסיבה לקיומם של מתאמים אלו. גם כאן בלב מדעי הטבע אנו ניצבים איפוא בפני מתאמים בין מאורעות שלא נמצאה להם סיבה וכנראה גם לא תימצא.¹¹ אם כן, תורת הקוונטים מספקת "הסבר" שהוא קרוב יותר ברוחו להשקפת לייבניץ (חשיפת ההרמוניה הטבועה מראש) מאשר לגאליליי (חשיפת הסיבות הפועלות).

הקאנטיאני יכול לומר שאין אנו מבינים את המציאות האטומית, ואמנם ישנם גם כמה פיסיקאים הגורסים כך. אבל אם התיאוריה המוצלחת ביותר מבחינה אינסטרומנטלית שאי פעם מילאה את הדפים בספרי הפיסיקה היא "בלתי-מובנת", אפשר לתהות אם אנחנו מבינים או יודעים דבר כלשהו. תהיה התשובה אשר תהיה, נראה לי כי התפתחות המדע במאה העשרים הטילה צל כבד על האפיסטמולוגיה הקאנטיאנית. במקום להיכנס לדיון אוטורי בתורת הקוונטים וממצאיה או בשאלות הגיאומטריה של המרחב והזמן, בחרתי באילוסטרציה פשוטה למגבלותיה של שיטת קאנט-ליבוביץ: המחשב.

ראשית אבהיר מלכתחילה מה אין בכוונתי לטעון. אינני סבור כי המחשב מהווה מודל או הסבר לפעולת ה־mind. בכך אני שותף מלא לעמדת ליבוביץ. החלק המהותי של המציאות הנפשית, יסוד ההתכוונות (אינטנציונליות) נעדר לחלוטין מן המחשב. לטעון כי תכנית מחשב היא אינטנציונלית הוא חסר שחר אף מן הטענה שהמוח (הפיסיקלי) הוא אינטנציונלי. אבל מרוב התלהבות לפסילת המחשב כמודל של ה־mind נשכחים כל אותם דברים שכן ניתן ללומדם ממה שקרוי "מהפכת האינפורמציה".

כאשר פלוני ישאל אותך "מה המחשב עושה עכשיו?" תענה לו, גניח, "הוא

¹¹ ישנן כמה תוצאות פורמאליות המראות כי כל ניסיון להרחבה סיבתית של תורת הקוונטים ייתקל בקשיים גדולים. על חלק מתוצאות אלה אפשר ללמוד ממאמרי, "לוגיקה קוונטית ו'המוזמה' של הטבע", 'עיון' לו (1987): 204, וראה הע' 3 לעיל.

מעלה את המספר 7956 בריבוע. ו"איך", ישאל פלוני, "מעלה המחשב את המספר הזה בריבוע?" בתשובה קרוב לוודאי תפרט את תכנית המחשב (התכנה, האלגוריתם) שבו נעשה שימוש. כאשר אנו מסבירים את פעולת המחשב ומתארים את התהליך העובר מן המצב ההתחלתי (קלט) ועד לסיום (לפלט) אנו עושים זאת באמצעות תיאור האלגוריתם, כלומר שרשרת הצעדים הלוגיים והאריתמטיים שמתבצעים תוך כדי החישוב. התכנה נתפסת בעינינו כהסבר מספק לתוצאה למרות שאלגוריתמים אינם יצורים פיסיים או כימיים והצעדים הלוגיים אינם "סיבות פועלות" פיסיקליות בנוסח גאילי. יתר-על-כן, אם לשאלה "כיצד מעלה המחשב מספר בריבוע" אתן לך כתשובה את סדרת התהליכים הפיסיקליים המתרחשים בקרביו, לא תראה תשובה זו כמספקת, ודאי לא כתשובה שקופה.

אפשר לטעון כי אין מדובר כאן בעניין עקרוני אלא רק בדרך קיצור. השימוש בשפת האלגוריתמים היא דרך לקצר ולעקוף את התיאור הפיסיקלי המפורט יותר. במקום לפרט את הפעילות החשמלית אנו מסתפקים בשפה שבה נותנים שמות קוד קצרים לפעילות חשמלית מורכבת. אבל השקפה מן הסוג הזה היא מוטעית, והטעות מקורה בחוסר הבנה די נפוצה על אודות מחשבים. השימוש בשפת האלגוריתמים הוא עקרוני ואיננו ניתן לרדוקציה. אמנה כמה סיבות:

1. המחשבים הקיימים בפועל אמנם משקפים במבנה הפיסיקלי שלהם (במה שקרוי "הארכיטקטורה" שלהם) את המבנה הלוגי של תהליך החישוב: הם בנויים על מודל החישוב הקרוי "מעגלים בוליאניים". אבל אין שום הכרח במבנה פיסיקלי זה. מכוונת חישוב אוניברסליות הינן מכוונות המסוגלות להוציא לפועל כל אלגוריתם (במגבלות זמן ומרחב כמובן), יכולות ללבוש מספר בלתי-מוגבל של צורות פיסיקליות, החל מן הצורה השקופה של המעגלים הבוליאניים, דרך מה שקרוי "רשתות נוירונים", "אוטומטים צולוריים", תנועת מספר חלקיקים ואפילו תנועת חלקיק אחד בפוטנציאל תלת-ממדי מספיק מסובך.¹²
2. במימושים פיסיקליים שונים של תהליך החישוב אין כל הכרח שיהיה מקביל ברור וחד-משמעי בין צעד לוגי לתהליך מובחן מבחינה פיסיקלית. גם הייצוג הפיסי של סמל מורכב אינו בהכרח מסובך יותר מן הייצוג הפיסי של מרכיביו, ואין שום הכרח שיישמר בין ייצוגים פיסיים אלה היחס של חלק לשלם. מה שנתפס ברמת האלגוריתם כתהליך דיסקרטי בדיד יכול להיות במימוש הפיסיקלי תהליך רציף (אנלוגי).

¹² C. Moore, "Unpredictability and Undecidability in Dynamical Systems", *Physical Review Letters* 64 (1990): 2354; C. H. Bennett, "Undecidable Dynamics", *Nature* 346 (1990): 606

3. אין המושג "אלגוריתם" זהה עם סך כל המימושים הפיסיקליים שלו גם מפני שלא ברור מהם המימושים הפיסיקליים של אלגוריתמים נתונים (כמה טיפוסים שונים של מכונות להכפלת מספרים ייתכנו?) וגם מפני שאלגוריתמים, בהיותם בעלי תחום תלות אינסופי (אלגוריתם הכפל מאפשר הכפלת כל זוג מספרים), אינם ניתנים להגדרה באמצעות מערכות פיסיקליות סופיות (והיקום כולו הוא כנראה כזה); מדובר פשוט בקטגוריות שונות לגמרי.

4. ישנה סיבה עמוקה מדוע אי אפשר בעיקרון לתת תיאור פיסיקלי פרטני לחישובים מספיק מסובכים. סיבה זו מקורה בתוצאה מתמטית ידועה של טיורינג, הקרויה "משפט אי-הכריעות של בעיית העצירה". אלגוריתמים הם בדרך כלל יצורים דטרמיניסטיים במובן זה שכל אחד משלבי החישוב בהם נקבע באופן יחיד על-ידי הצעדים שקדמו לו. למרות זאת הוכיח טיורינג כי ישנן שאלות לגבי "התנהגותו" העתידית של האלגוריתם שאין לנו שום דרך עקרונית (אלגוריתמית) לענות עליהן גם כשהאלגוריתם עצמו ידוע במלוא פרטיו. שאלה טיפוסית כזו היא האם האלגוריתם ייכנס באחד משלבי החישוב למצב שבו ייתקל בפקודת עצירה או ימשיך את דרכו "לעולמים". יוצא מכך שאלגוריתמים הם יצורים דטרמיניסטיים, אבל, אם הם מספיק מסובכים, היבטים שונים של התנהגותם העתידית אינם ניתנים לניבוי בעיקרון. ברמה הפיסיקלית עובדה מתמטית זו משתקפת בכך שאנו אכן מסוגלים לכתוב את משוואות התנועה של המחשב (במחשב הסטנדרטי מדובר במשוואות הדיפרנציאליות המתארות את הזרמים החשמליים במעגלים שלו). אבל אין שום אלגוריתם המאפשר לחשב תכונות מסוימות של פתרון. תיאור תהליך החישוב כתהליך סיבתי פיסיקלי כרוך בדיוק במציאת תכונות אלה של הפתרון.

מכל זה נובע שתיאור התהליך הפיסיקלי בקרבי המחשב, גם אם היה תיאור כזה אפשרי, איננו מהווה הסבר לשאלה כיצד המחשב מחשב בפועל. גם אם נגולל את תיאור המהלך הפיסיקלי כולו מתחילתו ועד סופו לא ייווצר בתודעתנו קשר הכרחי בין סיפור מעשה זה ובין העובדה שנערך כאן "חישוב", פשוט מפני שאין קשר הכרחי כזה. עם זאת ברור, שכדי שמערכת דינמית פיסיקלית תוכל להיקרא מחשב (אוניברסלי) צריך שיהיו לה תכונות מסוימות (הכסא שלי איננו מחשב). המדובר הוא בתכונות של מורכבות וסיבוכיות שאינן ניתנות כלל להגדרה בקטגוריות של הפיסיקה.

מהי המסקנה מכל אלה? יש בפנינו מכונה שנבנתה על-ידי אדם על סמך רעיונות אנושיים. היא מובנת לנו לחלוטין ואין שום מסתורין תיאולוגיים או

מטאפיסיים הקשורים בה. בכל זאת אנו מתארים את פעולותיה במונחים שאינם פיסיים וזאת לא מתוך בחירה אלא, כאמור, מתוך הכרח. אנו בוודאי מבינים את פעולתה למרות שאין זו הבנה סיבתית "מסורתית", ואת ההסבר אנו מספקים בקטגוריות של מדעי המחשב (אלגוריתמים) שאינן, כאמור, ניתנות לרדוקציה לקטגוריות של הפיסיקה. קרוב לוודאי שקטגוריות אלה יאומצו בסופו של דבר על-ידי הפיסיקה. המדובר במערכת מושגית המאפשרת לתאר תכונות גנריות של מערכות דינמיות, כגון מורכבות וסיבוכיות. אבל גם אם תהליך זה יקרה, עדיין מדובר בקטגוריות שאינן ניתנות להגדרה באמצעות מונח מן המונחים המסורתיים בפיסיקה (מהירות, אנרגיה, תקיפה, תקיפת סיבוב, אנטרופיה, וכו'), וזו עוד ראייה לכך שאין אנו תופסים את המציאות בקטגוריות צפידות ואין אנו מקבלים תיאורי סיבה ומסובב בלבד בתור "הסברים".

המערכת המושגית שבאמצעותה אנו מתארים ומארגנים את המציאות זורמת עם מציאות זו עצמה. כך גם ה"הבנה" האנושית מעוצבת חדשות לבקרים. כאשר ליבוביץ אומר שהמציאות הפסיכופיסיטית היא בעיניו בלתי־מובנת, אני מצטרף אליו. גם בעיני היא בלתי־מובנת. כאשר הוא טוען שלעולם תישאר כזו אין לי אלא להטיל ספק.

האוניברסיטה העברית בירושלים

תודות: הנני מודה לימימה בן מנחם ולאלחנן יקירה על הערותיהם בעקבות ההרצאה.