



האינטואיציה במחקר המדעי

אורי בן-יעקב ^G
ביה"ס להנדסה ע"ש אחי רכוב
המכללה האקדמית כנרת בעמק-הירדן
uriby@kinneret.ac.il

תקציר

מאז שחר ימי המדע היה ברור שיחד עם המידע שמגיע באמצעות החושים הגופניים, המידע המגיע באמצעות האינטואיציה וההתבוננות הפנימית הינו בעל חשיבות לא פחותה מזו של המידע החומרי-פיסיקלי, ולמעשה אף יותר. היבט זה הושם בצל במאות השנים האחרונות, בהן הדגש היה על ההיבט החומרי-אמפירי, וכעת צריך יותר ויותר להעמיד שני ערוצים אלה לקבלת מידע על המציאות זה בצד זה ולהביאם לאיזון המתאים. מטרת מאמר זה היא להדגיש ולהמחיש את מקומו של המידע האינטואיטיבי במחקר המדעי, הן מתוך סקירה היסטורית ובדוגמאות מעבודותיהם של מדענים דגולים והן בתובנות הנובעות מאופיו של המחקר המדעי.

.. הדברים שיש בהם ראייה, שמיעה, חוויה – אותם אני מוקיר ביותר .. (DK22B55)
.. עדים רעים הם עיניים ואוזניים לאלה שאין להם נשמה המבינה את השפה. (DK22B107)
.. חקרתי אל תוך עצמי. (DK22B101)

/הרקליטוס¹ Heraclitus (535 - 475 לפנה"ס)

מבוא

במהלך עבודתי המדעית פגשתי הערות המזלזלות באינטואיציה ואף דוחות את תקפותה ככלי במחקר המדעי. התייחסויות כאלה תמיד קוממו אותי, בהיותי יודע, מכיר ומעריך את מקומה ותפקידה של האינטואיציה, הן בחיי האישיים והן בעבודתי המדעית, ככלי מנחה ומדריך. לפיכך בחרתי לשתף בחומרים שאספתי ובתובנות שגיבשתי לגבי מקומה של האינטואיציה בהתפתחות המדעית.

מאמר זה הינו הרחבה של הרצאה שניתנה כחלק מסדרת הרצאות תחת הכותרת: "האם הפרדיגמה המדעית המטריאליסטית עומדת לפני שינוי?". בהזמנה לסדרת ההרצאות מתוארת הפרדיגמה המטריאליסטית כ"גישה אשר רואה במציאות החומר על צורתיו השונות מקור הכול". אני מבקש לבחון כאן את הפרדיגמה המטריאליסטית הזו, להראות שהתפישה החומרנית של ההליך המדעי היתה קיימת, גם אם בדגשים משתנים, מאז שחר ימיו של המדע, ועם זאת, מצד שני, להראות שגם ההיבט הלא-חומרני היה קיים שם, כחלק בלתי-נפרד, מאז הימים הראשונים, והאינטואיציה היא ממאפייניו המרכזיים של ההיבט הלא-חומרני.

במילים אחרות, הצביון החומרני שהמדע קיבל לא היה זה משום שההליך המדעי הפך להיות, בשלב כלשהו, חומרני; נהפוך הוא – שני ההיבטים, החומרני והלא-חומרני, היו שזורים מלכתחילה בהליך המדעי והיו חלק בלתי-נפרד ממנו, אלא שהאנשים תפשו את ההליך המדעי כחומרני. מכאן הפרדיגמה.

¹ הציטוטים משל הרקליטוס הינם עפ"י המספור המקובל ברשימת Diels-Kranz, נוסח עברי עפ"י שקולניקוב [7] ונוסח אנגלי באינטרנט



לפיכך אני מבקש להראות, במסע בעולם התיאוריה המדעית, איך המדע קיבל את הצביון המטריאליסטי, שבעצם היה בו מן ההתחלה, אך באותה המידה להראות שגם ההיבט הלא-חומרני היה קיים במדע מן ההתחלה; ואיך, ע"י הבנת מקומם ותפקידם של שני ההיבטים, יוכל המדע להתקדם הלאה, בעמידה ובהתנהלות על שתי רגליים איתנות אלה.

על תפישת טבע הדברים והאינטואיציה

המדע, המחקר המדעי, הוא ביטוי לרצון האנושי להבין ולגלות משמעות במציאות שבה אנו מצויים, עפ"י הרשמים שאנו קולטים מהמציאות הזו. אנו צופים בתופעות ומבקשים להבין את משמעותן. את האמצעים בהם אנחנו, בני-האדם, תופשים את המציאות ומבקשים לגלות את טבע הדברים, ניתן לחלק לשתי קטגוריות :

(1) התבוננות חיצונית ← איסוף רשמים דרך התנסות חושית, באמצעות החושים הגופניים ← נתונים פיסיקליים בלבד.

(2) התבוננות פנימית, אל תוך עולם התודעה שלנו ← כאן באות לידי ביטוי האינטואיציה, מחשבה, תבונה.

ההבחנה בין שתי קטגוריות אלה היא הבסיס לכל אשר ייאמר להלן.

המוטו של המאמר, המביא ציטוטים משל הרקליטוס, מבטא את השילוב של היבטים אלה במחקר המדעי :

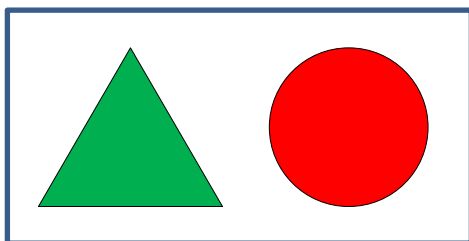
- הדברים שיש בהם ראייה, שמיעה, חוויה אותם אני מוקיר ביותר – קבלת רשמים באמצעות ההתנסות החושית
- עדים רעים הם עיניים ואוזניים לאלה שאין להם נשמה המבינה את השפה – הצורך בכלים לפענוח המשמעות של הרשמים הפיסיים
- חקרתי אל תוך עצמי – החיוניות בהתבוננות פנימית להשגת המשמעות המבוקשת

המפגש הראשוני שלנו עם המציאות בעולם הטבע הוא כמובן באמצעות ההתבוננות החיצונית, אך זה לעולם אינו מסתיים שם. ההתבוננות החיצונית מביאה לנו רשמים פיסיקליים, שאותם התודעה שלנו מבקשת לתרגם ולפענח. קיימים רשמים שכבר למדנו לפענח אותם, וכך אנו יודעים לזהות צבעים, צורות, וכיו"ב; לאלה – כלומר הרשמים שכבר למדנו לפענח אותם – אנו מקבלים את הפענוח באופן מיידי, ואז איננו מודעים בדרך כלל לתהליך שבין קליטת המידע הפיסיקלי לבין תרגומו. לעומתם, קיימים רשמים מורכבים שעבורם אין לנו תרגום מיידי ואז אנו מודעים יותר לתהליך בקשת המשמעות.

הסכמה של התהליך :

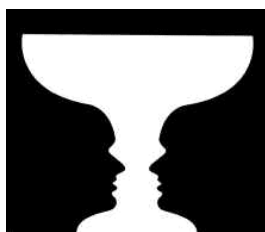
תפיסה חושנית, פיסיקלית ← תפיסה מודעת = האמצעות הפיסיקה הדמיונית

השלב הראשון בתפישת המציאות הוא קליטת מידע פיסיקלי : כאשר אנו מתבוננים למשל באיור מס' 1, איבר החישה שלנו – העין – קולט התפלגות מרחבית של אורכי גל, באופן דומה לרישום המידע על סרט צילום או כרטיס זכרון אם תצלמו את האיור במצלמה.



איור מס' 1

השלב השני הוא כאשר המידע מגיע למרכזי העיבוד בחלקו האחורי של המוח. אם המידע הפיסיקלי שהגיע פוגש היסטוריה של הכרת מידע כזה אז מתרחש זיהוי. במקרים פשוטים, כמו אלה של העיגול והמשולש באיור מס' 1, בהם יש זיהוי חד-ערכי וללא ספקות, הזיהוי הוא כה מהיר ומיידי מבחינתנו, הן ביחס לצורות והן ביחס לצבעים, שאיננו מודעים אפילו לתהליך הזה. אם לעומת זאת יש לנו קושי בזיהוי, כמו באיור הידוע של גביע/פנים (איור מס' 2) אנו מתחילים לשאול את עצמנו מה אנו רואים. זה תהליך של התבוננות פנימית, של חקירה פנימית, שמתרחש כולו בתוך התודעה שלנו.



איור מס' 2 : גביע או פנים ?

את הקשר בין התבוננות פנימית לאינטואיציה ניתן לראות מתוך מבנה המילה באנגלית :

$$\text{INTUITION} = \text{IN} + \text{TUITION}$$

IN – במשמעות של "פנים".

TUITION – כמו ב-TUTOR – במשמעות של "הדרכה".

לפיכך : אינטואיציה – במובן של "הדרכה פנימה" או "הדרכה פנימית" – הינה המענה שאנו מקבלים כאשר אנו מתבוננים פנימה לתוך תודעתנו בבקשת עזרה, הדרכה, הכוונה, ביאור, משמעות.

חשוב להדגיש שההתייחסות לאינטואיציה הינה כהתנסות חווייתית – זה משהו שקורה לנו, ואנו יודעים שהוא קורה לנו, בדיוק כמו שאם אנו מקבלים מכה ממהו אנו יודעים שזה קרה. לפיכך האינטואיציה היא כלי נסיוני, כמו כל כלי נסיוני אחר. ההבדל המייחד את האינטואיציה מהכלים האמפיריים המקובלים המדע הוא שהאינטואיציה מתרחשת במרחב התודעה האנושי ולא בעולם החומרי שמחוצה לנו. בשל-כך עולה במקרים רבים מאוד סקפטיות ודחייה באשר לשימוש באינטואיציה במחקר המדעי. המענה לכך הוא שהאינטואיציה, כמו כל כלי מחקרי אחר, הינה כלי שצריך ללמוד להשתמש בו. עד היום השימוש באינטואיציה נעשה בלי לבחון את אופי השימוש בה, ולפעמים השימוש בה היה בהצלחה, ולפעמים הוא הוביל למשגה. אך אם נלמד להשתמש בה כהלכה, נוכל לשפר לאין-ערוך את היכולת שלנו הן בהבנת המציאות בה אנו מצויים והן במימוש הפוטנציאל האנושי בתוך מציאות זו.

הדוגמאות שיובאו בהמשך ימחישו את השימוש באינטואיציה ככלי אמפירי.



שחר המדע – "צירי הלידה" של המדע

המדע כמו שאנו מכירים אותו נולד ביוון העתיקה במהלך המאה ה-6 לפנה"ס. אמנם, מה שניתן לקרוא "עובדות מדעיות" או "ידע מדעי", כדוגמת המחזוריות של גרמי השמים, חשבון (אריתמטיקה), תכונות גיאומטריות כחישובי אורכים ושטחים, משפט פיתגורס ואפילו חמשת הגופים המשוכללים הידועים כ"גופים אפלטוניים", היו ידועים גם אלף שנים (לפחות) לפני-כן. אך בתקופה האמורה החל להתרחש ביוון תהליך חדש – העלאת שאלות על טבע העולם, על טבע הדברים והתופעות, וביקוש תשובות להבנה עיונית טהורה וכוללנית.

תהליך זה נסמך על, ונבע מתוך, התצפיות על הסדירויות הרבות בעולם הטבע: המחזוריות של גרמי השמים, המחזוריות של פרייה ורבייה, חיים ומוות בעולם החי והצומח, העובדה שכל מין מוליד רק את מינו ובתבניות מאוד מוגדרות החוזרות על עצמן, וכיו"ב. תצפיות אלה העלו את המחשבה, שלמרות כל הריבוי והמגוון העצום המצוי בעולם הטבע, ודאי יש איזשהו מקור ראשוני, עקרון ראשוני, האחראי לאחדות שבסדירות. וכך עלתה השאלה המרכזית אשר חוללה את צירי הלידה של המדע, "מהו טבע הדברים? מה עומד מאחרי כל הדברים? מהו מקור כל הדברים?".

אופן ניסוח השאלה – "מה עומד מאחרי כל הדברים?" – הוא מאוד משמעותי, כי הוא זה שכיוון את האופן בו התפתחה החשיבה המדעית. החשיבה היוונית היתה חומרנית, ובהתאם הם חיפשו חומר, או חומרים, כתשובה, כלומר – מהו החומר(ים) אשר ממנו נובעים כל הדברים והתופעות היוצרים יחד את המציאות בה אנו מצויים. אפילו הפיתגוראים, תלמידי פיתגורס שפעלו החל מהמאה ה-5 לפנה"ס והאמינו שהכל בעולם הוא ביסודו מספרים, תפשו את המספרים בצורה חומרית.

גם בארץ-ישראל, לא הרחק מיוון, היתה אותה תקופה הרת-משמעות, אך בכיוון שונה לחלוטין. בתחילתה היה הכיבוש הבבלי ששיאו היה חורבן בית ראשון וגלות בבל, אך לקראת סוף המאה ה-6 לפנה"ס החלה שיבת ציון עם בנין הבית השני. גם היהודים שאלו שאלות, אך השאלה כאן היתה: "מי עומד מאחרי כל הדברים?" – "מי" ולא "מה", וכך נולד המונותאיזם.

גם היוונים היו דתיים, בדרכם שלהם. דתם היתה מרובת אלים רבי כוח, אך אלים אלה היו עסוקים בסיפוק גחמותיהם ותאוותיהם, וכלל לא התאים לייחס להם אחריות לסדר הקיים ביקום. מצד שני, עפ"י השיטה המדינית היוונית רבת הגוונים הם ידעו שהסדר החברתי נתון בידי האנשים, ולפיכך לא חששו לחפש סדר שאינו נתון בידי האלים אלא בגורמים אחרים.

כך נזרעו שם הזרעים הראשונים של ההפרדה בין מדע מחד גיסא ואמונה ורגש דתי מאידך גיסא. ודאי, רבים מאנשי המדע בדורות שלאחר-מכן היו אנשים דתיים, או בעלי סוג של אמונה דתית, ורגש דתי או מעין דתי פיעם בהם בעשותם את עבודתם המדעית, איש-איש בדרכו. אך אמונה ותחושה של רגש דתי לא נראו כחלק הכרחי של המדע עצמו.

מתוך השאלות הבסיסיות "מהו טבע הדברים? מהו מקור כל הדברים?" עלו מיד שתי שאלות מרכזיות נוספות:

- איך מגלים את טבע הדברים? איך אנו, בני-האדם, משיגים ומבינים את טבע הדברים?
- * כאן נעשתה, בדרכים שונות, ההבחנה בין התבוננות פנימית להתבוננות חיצונית, אשר תלויה אותנו לכל אורך ההרצאה.
- איך מסבירים סדירות מצד אחד, מול מציאות של מגוון תופעות שבהן לא מעט ניגודים?
- * בגלל הגישה החומרנית, שאחד ממאפייניה המרכזיים הוא הנחה שאין בריאת יש מאין, נתקלו היוונים למן ההתחלה בבעיה שהכילה סתירה שעמיה לא יכלו להתמודד בהצלחה: מצד אחד ברור שיש בטבע לא



מעט סדירויות, והכרת סדירויות אלה הובילה אמנם לציפיה שקיים דבר אחד העומד מאחרי כל התופעות המוכרות ולפיכך לחיפוש וביקוש מקור ראשוני זה; אך בד בבד עם הכרה זו היה ברור שהמציאות מכילה אינספור ניגודים, שינויים ותמורות. איך אפשר שמחומר היולי (אחד, או מצומצם בגיוונו) נוצר כל המגוון הקיים? למרות הרבה מאוד נסיונות הם לא הצליחו למצוא פתרון משביע רצון לאופן בו ממקור אחד נובע כל המגוון, ושאלה זו מלווה את המדע משחר ימיו ועד היום.

הבסיס ההיסטורי – מתאלס ועד אריסטו

תאלס (Thales, 624 עד 546 לפנה"ס בקירוב [1]) איש מילטוס מזוהה כפילוסוף הטבע הראשון, כראשון אשר ביקש לתת מענה לשאלת טבע הדברים, "מה עומד מאחרי כל הדברים". ידועה תשובתו ש"הכל מים". אין עדויות מהימנות לגבי מה היתה כוונתו בכך, יש רק ספקולציות, אך לעניננו פחות חשוב למה בדיוק התכוון ויותר חשוב התהליך שהוביל לכך. המים הם ללא ספק חלק נכבד מההתנסות החושית היום-יומית של כולנו, בין אם בשימוש שהיחיד עושה בהם ובין אם לגבי מקומם של המים בחיי הכלל. ובכל זאת, אין בהתנסות החושית הזו שום דבר אשר יוביל באופן ישיר למסקנה ש"הכל מים" – האם אנו רואים, למשל, סלעים נוצרים ממים? ודאי שלא. לפיכך, כדי להגיע למסקנה ש"הכל מים" נדרש תהליך מחשבתי שהוא בבירור מעבר להתנסות החושית – תהליך הדורש לדחות ולדחוק הצידה את ההתנסות החושית בהגיעו למסקנה שאינה תואמת את ההתנסות החושית.

המשפט האחרון הוא משמעותי ביותר. הוא מביא מאפיין מאוד משמעותי של התהליך המדעי, אשר למרות מרכזיותו הודחק לשוליים והועלם ע"י הפרדיגמה המטריאליסטית – שכדי לבצע את ההפשטה הנדרשת למעבר מהתצפית הפיסיקלית לתובנה המבטאה את העקרון העומד מאחרי משפחה של תופעות נדרש תהליך מחשבתי שלא רק שהוא מעבר להתנסות החושית, הוא דורש לשים בצד את ההתנסות החושית ומחייב במקום זאת התבוננות פנימית. וכפי שאנו רואים, מאפיין זה היה שם, כמרכיב הכרחי, למן יומו הראשון של המדע.

הדגמה להמחשה :

אני מחזיק אבן בידי. האם מוכרת לנו התנסות חושית אשר ביכולתה להסביר לנו איך האבן נוצרת ממים?

תלמידו וממשיכו של תאלס היה אנכסימנדרוס (Anaximendros, 610 עד 545 לפנה"ס בקירוב [1]). הוא הציע תשובה שונה לחלוטין ומאוד נועזת: מבחינתו המקור של כל הדברים היה בחומר בלתי-מוגדר, בלתי-מוחש, אך בלתי-מוגבל בהיקפו הממלא את כל המרחב. חומר כזה כמובן אינו קיים בהתנסות החושית, וודאי שאין ההתנסות החושית מציעה איזשהו אופן על-פיו חומר כזה משמש כמקור של כל הדברים. כאן התהליך המחשבתי דחה ודחק הצידה את ההתנסות החושית לא רק בתהליך היצירה, אלא גם בהווית המקור עצמו.

עם כל זה שההגעה לתשובה דרשה תהליך מחשבתי אשר דחה ודחק הצידה את ההתנסות החושית, עדיין זו היתה השקפת עולם חומרנית לחלוטין – הן המים אצל תאלס והן הבלתי-מוגבל אצל אנכסימנדרוס הם במובהק חומרים.

פיתגורס (Pythagoras, 569 עד 475 לפנה"ס בקירוב [1]) וממשיכו הפיתגוראים הגיעו לדרגה גבוהה יותר של הפשטה, אך עם זאת, גם הם לא התנתקו מהתפישה החומרית. פיתגורס היה כנראה הראשון אשר התיחס בצורה מובהקת למספרים כאל מושגים מופשטים העומדים בפני עצמם, ולא רק כאמצעי לספירה ולסידור, והוא ותלמידיו ראו את המספרים (ובראשם היחידה – "1") כיסוד כל הדברים; אך גם הם התיחסו ליחידה ולמספרים



הנוצרים ממנה כאל חומרים.

התפישה החומרנית הובאה לידי קיצוניות – עד כדי אבסורד – בידי פרמנידס (Parmenides), נולד 515 לפנה"ס בקירוב [1]). הוא טען שאם יש חומר אחד המהווה את המקור לכל הדברים, אז חומר זה צריך למלא את כל המרחב בצורה אחידה, ותמונה אחידה זו צריכה להשמר לנצח כיוון שאין כל גורם אשר יחולל שינויים, וכזכור, החשיבה היוונית המקובלת שללה בריאת יש מאין. מכאן שכל המגוון הנראה לעין למעשה לא ייתכן, ואין הוא יכול להיות אלא אשליה בלבד. מכאן המסקנה, החשובה לענינו – ההתנסות החושית שגויה ומטעה, הדרך היחידה להכיר את האמת היא בדרך המחשבה, דרך לא-חושית, הנוגדת ושוללת את ההתנסות החושית.

בסופו של דבר היה זה אריסטו (Aristoteles, 384 עד 322 לפנה"ס [2]) אשר הטביע את חותמו וקבע, במידה רבה, את הדפוסים אשר עיצבו והכתיבו את אופני החשיבה בתרבות המערבית בכלל ובמדע המתפתח בפרט.

אריסטו היה תלמידו של אפלטון (Platon, 427 עד 347 לפנה"ס [2]). אפלטון בהחלט הכיר בהתבוננות הפנימית ככלי חקירה לגיטימי : באחד הדיאלוגים אומר סוקרטס

.. נבקש להתבונן במחשבותינו אלה כשהן לעצמן .. נחזור ונתבונן בבעיה מעט מעט, כאנשים ששעתם בידם, ובחקירה של ממש, בלא קוצר רוח, נחקור את עצמנו עד שנעמוד על טיבם של דמיונות אלה שרוחנו מדמה אותם .. [3]

על-פי אפלטון, המציאות משוקפת באמצעות שתי הקטגוריות שנמנו לעיל (דהיינו – התבוננות חיצונית מול התבוננות פנימית), וכל קטגוריה משקפת עולם הקיים בפני עצמו : המציאות מורכבת מעולם התופעות הפיסיקלי, המוחש והנראה, מצד אחד, ומעולם המהויות – "אידיאות" בלשונו של אפלטון – הנתפש רק בכוח השכל וההתבוננות הפנימית, מצד שני (המושג היווני המקורי "אידיאה" תורגם בעברית ל"דמות" ובאנגלית ל"צורה", שהם יותר בבחינת תרגום מילולי, אך למיטב הבנתי התרגום המייצג באופן הקרוב ביותר לכוונתו של אפלטון הוא במושג "מהות"). העולם האמיתי, מבחינתו של אפלטון, הוא עולם המהויות או האידיאות – עולם בעל קיום עצמאי הנתפש בהתבוננות פנימית בלבד – בעוד שעולם התופעות הנצפות והמוחשות, הנתפשות בהתנסות חושית בלבד, הוא רק השתקפות של עולם המהויות. עפ"י אפלטון החוויות שלנו שייכות או לעולם זה או לעולם האחר.²

אריסטו שלל את תפישתו של אפלטון. החשיבה של אריסטו היתה מאוד אנאליטית – הוא ניתח בצורה יסודית את עבודותיהם של כל הפילוסופים של הטבע שקדמו לו, הוא הניח את הבסיס לתורת ההגיון, הוא הניח את הבסיס לשיטת המיון של המינים השונים בעולם החי והצומח – אך מרוב שחשיבתו היתה אנאליטית, הוא לא היה מסוגל להכיר בכך שהמציאות מלאה בחוויות אשר נתפשות בדרך בלתי-אנאליטית, לא-רציונלית. היום משתמשים במושגים "מוח שמאל" ו-"מוח ימין". לפי זה, תפישת המציאות עפ"י אריסטו היא באמצעות "מוח שמאל" בלבד.

על-פי אריסטו החוויה האמיתית היא אך ורק זו המגיעה אלינו דרך החושים הגופניים. טבעם האמיתי של הדברים הוא טבעם הנראה, הנצפה, המוחשי, ואין מה לחפש מעבר למה שהחושים הגופניים קולטים. כל התבוננות נובעת אך ורק מתוך הרשמים המוחשיים, המתקבלים באמצעות החושים הגופניים.

תפישתו של אריסטו אומצה כקונצנזוס של החשיבה המערבית, ובכך למעשה נקבעה הפרדיגמה המטריאליסטית.

² אפלטון לא הציג את עולם האידיאות כתיאוריה, אלא פשוט התיחס לקיומו כאל עובדה במקומות רבים בכתביו. עובדה זו מחזקת, לדעתי, את ההבנה שאפלטון בא מתוך ההתנסות האישית, החוויתית שלו, ולא מתוך איזו תפישה תיאורטית.



בחלק הראשון של המאמר הצגתי את ההתבוננות הפנימית כחלק חיוני, בלתי-נפרד, של ההליך המדעי, במעבר מן התופעות הנצפות אך בלתי-מובנות להשערה המציעה תובנה המכילה תופעות אלה. בחלקו השני של המאמר אני מבקש לדון בשיטה המדעית עצמה, ולהאיר את ההיבט, הלא-מוכר בדרך-כלל אך חיוני ביותר, המצוי בבסיסו של ההליך המדעי.

המטרה המצופה ממחקר מדעי מוצלח היא סיכומו במספר (מצומצם ככל האפשר) של עקרונות יסוד אשר מהם ניתן לקבל, ע"י כללי היסק לוגיים-מתמטיים, מגוון קביעות המתארות את מגוון התופעות שהן מושא המחקר וניתנות לבחינה באמצעים אמפיריים. המבנה המתקבל הוא התיאוריה המדעית.

העיון והדיון בחשיבה מדעית בכלל ובמבנה של תיאוריות מדעיות בפרט כמובן אינו חדש, אך עד-כה הושם הדגש בדרך-כלל על התהליכים הלוגיים בהם נבנית התיאוריה מן היסודות ומתבצע המחקר המדעי – מהשערת השערות דרך איסוף נתונים ועד הסקת מסקנות ובחינתן האמפירית. לעומת זאת, יש מעט מאוד עיסוק בשאלה "איך אנחנו קולטים ומזהים את עקרונות היסוד". במקרים רבים ההתייחסות היא שמדובר ב"הנחות יסוד אשר איכשהו מקובלות ומוסכמות". איך בדיוק הן מתקבלות? דווקא כאן – בתהליך גיבוש עקרונות היסוד – בא לידי ביטוי באופן המוחשי ביותר הפן הלא-חומרני של ההליך המדעי.

המאפיין המהותי של עקרונות היסוד הוא שלא ניתן לגזור אותם ממושגים וקשרים בסיסיים אחרים, כי אחרת אלה האחרונים היו משמשים כיסודות. במלים אחרות, בכל תיאוריה מדעית חייב להיות קיים רובד של מושגים וקשרים אשר, בהיותו הרובד הראשוני והבסיסי, לא ניתן לגזור או להסיק אותו באופן רציונלי (כי אין לו בסיס יותר ראשוני). הדרך היחידה להכיר את הרובד היסודי, הבסיסי, הראשוני, הוא דרך האינטואיציה בלבד. ההכרה האינטואיטיבית, האי-רציונלית, נסמכת על תודעה חושית, חיצונית ופנימית, הנעזרת ככל יכולתה במאפיינים המתארים את המושג הנדון. חשוב לשים לב להבחנה בין איפיון והגדרה, משום שאיפיון הוא מעגלי, תוך שהוא נעזר במושגים אחרים אשר גם הם מזוהים ומוכרים אינטואיטיבית בלבד, בעוד שהגדרה נסמכת על מושגים כאלה (או מושגים אחרים המוגדרים מהם) באופן לוגי-רציונלי.

לפיכך, הבסיס החיצוני בו נעוצים עקרונות היסוד של כל תיאוריה מדעית הוא הכרה חוויתית, בלתי-אמצעית, של המציאות, ולכן הדרך להגיע לזיהוי והכרת היסודות היא רק בדרך אירציונלית, חוויתית.

אלברט איינשטיין היה לא רק מדען גדול, הוא גם היה מאוד מודע לתהליך המדעי שהוא עצמו חווה, ודיבר על כך רבות. הנה מספר ציטוטים מדבריו :

.. חוקים בסיסיים כלליים ביותר שדרכם אפשר להגיע, בהסקה טהורה, אל תמונת העולם. שום דרך לוגית אינה מובילה אל חוקים בסיסיים אלה, אלא רק האינטואיציה הנשענת על תחושה ועל הבנה של הניסיון. [4]

מושגי היסוד וחוקי היסוד, שאינם ניתנים לפירוק נוסף מהבחינה הלוגית, הם לב לבה של התאוריה ואי-אפשר לתפוס אותם מהבחינה הרציונלית. [5]

.. כל ניסיון להסקה לוגית של מושגי היסוד ושל חוקי היסוד של המכניקה מתוך הניסיון הבסיסי נדון לכישלון. [5]

.. את היסוד האקסיומטי של הפיסיקה העיונית אין להסיק מתוך הניסיון אלא יש להמציאו באופן חופשי. [5]



להלן נתמקד איפוא דווקא בחלק הפחות מוכר, והוא אופן השגת היסודות של התיאוריה המדעית, תוך שימוש בגיאומטריה ובמכניקה כדוגמאות.

עקרונות היסוד בתיאוריות מדעיות

עקרונות היסוד הם הבסיס שעליו עומדת כל התיאוריה. כל מהנדס יודע שכל מבנה זקוק לעמוד, באמצעות היסודות שלו, על בסיס חיצוני שאינו חלק מהמבנה, וכי היסודות חייבים להיות נעוצים היטב בקרקע כדי שהמבנה יהיה וישאר יציב.

בהתאם, גם כל תיאוריה מדעית – כמבנה של טיעונים לוגיים – זקוקה ליסודות הנעוצים בבסיס חיצוני שאינו חלק מהמבנה. מהו הבסיס החיצוני בו נעוצים עקרונות היסוד של התיאוריות המדעיות ?

אתיחס כעת בקצרה להתפתחות התיאוריה המדעית בשני תחומים – גיאומטריה ומכניקה, תוך סקירת ההתפתחות של הבסיס – עקרונות היסוד. אני מבקש להראות שאת עקרונות היסוד, בשני התחומים, ניתן לחלק לשתי קטגוריות – עקרונות הנובעים מהתבוננות חיצונית, תוך התנסות חושית ישירה, מצד אחד, ועקרונות הנובעים מהתבוננות פנימית, במידה רבה תוך דחיית ושלילת מה שלכאורה מלמדת ההתנסות החושית הישירה, מצד שני; ושדווקא העקרונות המצויים בקטגוריה השניה הם אלה שבהם חלה התפתחות התיאוריה וההבנה.

גיאומטריה ❖

התיאוריה המדעית הראשונה הבנויה במבנה אקסיומטי, כאמור, היא כמובן הגיאומטריה האוקלידית שפורסמה בספר "יסודות" של אוקלידס (Euclides, 275-365 לפנה"ס). יסודות הגיאומטריה האוקלידית – מושגי יסוד, עקרונות יסוד (אקסיומות), וכללי היסק – אמנם הוצגו שם כ"חבילה" אחת, אך אני מבקש לחלק אותם לשתי קטגוריות כאמור לעיל :

❖ ראשית, יסודות הברורים מאליהם מתוך הנסיון היום-יומי :

- **מושגי היסוד – נקודה, קו ו-מישור** – אין להם הגדרה ומשמעותם מובנת בצורה אינטואיטיבית עפ"י מאפייניהם : לנקודה אין ממדים, קו הוא אורך ללא רוחב, הקצוות של קווים הם נקודות, כל שני ישרים החותכים זה את זה יוצרים מישור.
- **עקרונות היסוד (אקסיומות)** הבסיסיים קובעים ש (1) בין כל שתי נקודות ניתן להעביר קו ישר, (2) את האפשרות לשרטט מעגל מכל נקודה כמרכז ובכל רדיוס, ו- (3) שכל הזוויות הישרות שוות זו לזו.
- **כללי היסק** בסיסיים, המאפשרים לקבוע שוויון של עצמים שונים עפ"י מאפיינים זהים (חפיפה, צירוף, וכ"ו"ב)

❖ וכנגדם, עקרונות יסוד שאינם ברורים מאליהם מתוך הנסיון היום-יומי :

(4) ניתן להמשיך כל קטע ישר כקו ישר ללא הגבלה.

(5) אם קו ישר החותך שני קווים ישרים יוצר שתי זוויות פנימיות כך שסכומן באחד הצדדים קטן מסכום שתי זוויות ישרות, אזי אם שני הישרים יוארכו במידה מספקת הם ייפגשו באותו צד בו סכום הזוויות קטן משתי זוויות ישרות.

* עקרון זה נוסח בתקופות מאוחרות יותר כ"בהנתן ישר ונקודה מחוץ לו, ניתן להעביר דרך הנקודה ישר אחד ויחיד המקביל לישר הנתון", וזכה בהתאם לכינוי "אקסיומת המקבילים".



הכרת והבנת עקרונות אלה קשורות באופן הדוק להכרת והבנת מושג האינסוף. כל הקווים שאנו מכירים, ואשר ציירנו או נצייר בימי חיינו, הם קווים סופיים ומוגבלים. בניגוד לשרטוט של מעגל עפ"י מרכז ורדיוס, או חיבור שתי נקודות ע"י קטע ישר, אין אדם אשר הצליח "להמשיך קטע ישר ללא הגבלה" – כדי לעשות זאת אדם צריך לחיות חיים אינסופיים, ולהיות מסוגל להגיע לכל נקודה ביקום. באותה המידה, כדי לבדוק אם שני קווים נפגשים, אנחנו צריכים להיות מסוגלים בפועל להמשיך אותם עד אינסוף, אחרת איך נדע אם באמת הם נפגשו או לא ?

מכאן המסקנה הברורה, שבניגוד לקודמיהם, את העקרונות (4) ו-(5) לא ניתן להסיק מהנסייון היום-יומי.

מבחינתו של אוקלידס, ושל ממשיכיו במשך קרוב לאלפיים שנה, גם שני העקרונות האחרונים נראו כנובעים מתוך ההתנסות החושית, היום-יומית, הישירה. אלא שההבנה, אשר הגיעה לפני כמאתיים שנה, שאין הדבר כך, הובילה לגילוי והכרת הגיאומטריות הידועות כ"לא-אוקלידיות"; אשר ההבדל ביניהן לבין הגיאומטריה האוקלידית הוא בהחלפת האקסיומות אשר נובעות מהתבוננות פנימית, ובמקומן הוצעו האקסיומות :

- דרך נקודה מחוץ לישר ניתן להעביר אינסוף ישרים המקבילים לקו הנתון.

או

- דרך נקודה מחוץ לישר לא ניתן להעביר כלל ישרים המקבילים לקו הנתון (וגם לא ניתן להמשיך כל קטע ישר כקו ישר ללא הגבלה).

כל אחת מאקסיומות אלה הובילה לטיפוס אחר של גיאומטריה. מאוחר יותר הסתבר שיש מגוון אינסופי של גיאומטריות לא אוקלידיות.

✿ מכניקה

היסודות התיאורטיים של המכניקה סוכמו לראשונה ע"י ניוטון (Isaac Newton, 1642-1727), בספרו "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*" ("היסודות המתמטיים של מדעי-הטבע", 1687 [6]). בהציגו את יסודות המכניקה הניוטונית – מושגי יסוד, עקרונות יסוד (אקסיומות), וכללי היסק – כבר הבדיל ניוטון בין שתי הקטגוריות. ראשית הוצגו העקרונות המבוססים על מחקר רב-שנים של הרבה אנשים, עיוני ואמפירי, אין עליהם עוררין מבחינת התאמתם למציאות המוכרת, וניתן לומר שאלה היסודות הנובעים בהתבוננות חיצונית מתוך ההתנסות החושית היום-יומית :

- הגדרות של המושגים מסה, תנע קווי ("תנועה" או "כמות התנועה" בלשונו של ניוטון), התמדה, שיווי-משקל (או היפוכו), וכוחות מרכזיים עם תכונות בסיסיות שלהם.
- שלושת החוקים, המוכרים כיום כ"שלושת חוקי ניוטון" – אלה הם האקסיומות של המכניקה הניוטונית.
- תוצאות ראשוניות, המביאות את החיבור הוקטורי של כוחות, חוק שימור התנע הקווי כנובע מחוק הפעולה ההדדית, מרכז כובד ותכונותיו.

אולם במקביל להם הרגיש ניוטון את הצורך לענות על שאלת הקשר, היחס, בין המציאות הפיסיקלית אותה אנו פוגשים בהתנסות החושית היום-יומית לבין המרחב והזמן. על כך הוא כבר לא מצא תשובה במסגרת המחקר הפיסיקלי, ולכן הוא פנה לעיין בה, כמו ביוון העתיקה, באמצעות התבוננות פנימית. את התשובה שמצא הביא ניוטון כאקסיומה נוספת, מושגית – המרחב המוחלט והזמן המוחלט.



ניוטון היה מודע לכך שהמרחב והזמן נראים לנו בחיי יום-יום כמרחב וזמן יחסיים (כי כל המדידות וההתייחסויות המרחביות והזמניות שלנו הן תמיד יחסית למשהו אחר), אך טען כי נראות זו אינה אמיתית, וכי בעצם המרחב והזמן האמיתיים הן מוחלטים.

ניוטון הבדיל לכן בין המרחב והזמן כפי שהם נראים לנו בחיי יום-יום לבין המרחב והזמן ה"אמיתיים", לדעתו, ואשר אליהם מדע הטבע צריך להתייחס. הוא היה מודע לכך שמושגי המרחב המוחלט והזמן המוחלט נראים כעומדים בסתירה להתנסות היום-יומית. המרחב והזמן נתפשים כיחסיים כאשר האדם מבקש לתפוש אותם מתוך היחסים שלהם לעצמים מוחשיים. כדי לתפוש את המרחב והזמן בצורה אמיתית, דהיינו כמוחלטים, ולהשיג בכך את עצם מהותם, צריך, עפ"י ניוטון, להתנתק מהרשמים של החושים הגופניים, שכן הדרך היחידה לכך היא רק באמצעות השכל, התבונה וההתבוננות הפנימית.

מדברי ניוטון לגבי אופן תפישת הזמן והמרחב המוחלטים [6] :

האדם הפשוט תופס מושגים אלה רק מתוך היחסים שלהם לעצמים מוחשיים. ויהיה זה נוח לחלק אותם למוחלטים ויחסיים, אמיתיים וגלויים, מתמטיים ומוכרים כללית. [...] במקום מקומות ותנועות מוחלטים אנו משתמשים ביחסיים, וזאת אפילו מבלי להרגיש אי נוחות בדברים הרגילים. אולם בדיונים פילוסופיים, עלינו לסגת צעד אחד אחורה מן החושים שלנו, ולשקול דברים כשהם לעצמם, מנותקים ממה שהינו רק אמות מידה מוחשיות שלהם.

מה שניוטון אמר, בעצם, זה שהחושים שלנו מטעים אותנו, וכי צריך להניח בצד את עדות החושים, ובמקום זאת להשתמש באמצעים תבוניים ושכליים בלבד (וחזר בכך על טענה ותיקה מהתקופה היוונית העתיקה ..). אך על מה מבוססים שיקולים תבוניים אלה ? באיזו מידה הם מכילים שיקוף אמיתי של המציאות הפיסיקלית ? לניוטון לא היתה תשובה משיבית רצון לשאלה זו, למעשה לאיש לא היתה, והיינו צריכים להמתין לאיינשטיין שיאיר את עינינו (ויסלחו לי נא כל האחרים אשר דילגתי עליהם..).

המרחב המוחלט והזמן המוחלט הם עקרונות יסוד של המכניקה הניוטונית שאינם ברורים מאליהם מתוך הנסיון היום-יומי. הזמן המוחלט, עפ"י ניוטון, הינו זמן הקיים בפני עצמו, ולפיכך זורם באותה המידה, באופן אחיד עבור הכול; זרימתו אינה תלויה כלל בהתרחשויות בעולם הטבע, כי הזמן נמצא מחוץ לעולם זה. המרחב המוחלט הינו מרחב סטאטי, קבוע ונצחי. מרחב כזה מגדיר את מושגי המנוחה המוחלטת והתנועה המוחלטת, עפ"י כל הגופים הנמצאים בו במנוחה, מצד אחד, או נעים יחסית אליו, מצד שני. כל עוד הצטמצמה הפיסיקה למכניקה בלבד לא היתה התנגשות בין תפישות אלה לבין הנסיון בעולם הטבע; אולם ככל שהתפתחה הכרת התופעות האלקטרומגנטיות ובעיקר האור, הצטברו עדויות שהובילו להכרה שמשו לקוי בתפישות אלה.

הכרה זו יצאה לאור בתורת היחסות של איינשטיין (Albert Einstein, 1879-1955). איינשטיין השתמש – במפורש ובמודע – באינטואיציה ובהתבוננות פנימית, שבעזרתם הגיע לעקרונות שהחליפו את מושגי הזמן והמרחב המוחלטים :

- הרחבת עקרון היחסיות לכל הפיסיקה (כולל אלקטרומגנטיות ואופטיקה) – במקום מרחב מוחלט.
- אחידות מהירות האור בריק כגודל המוחלט, הזמן נמדד באופן יחסי – במקום הזמן המוחלט.

הוא לא שינה את שאר עקרונות היסוד, המבוססים על התנסות ישירה עולם הטבע.



תפישת הזמן המוחלט נראית מאוד סבירה ומשכנעת עפ"י הנסיון היום-יומי של כל אחד מאתנו. הקושי היחיד איתה הוא שהיא מתגלה כשגויה בתנועות במהירויות הקרובות למהירות האור, כפי שהסתבר מתורת היחסות, אשר בה התגלה שגם הזמן הוא חלק מהמרחב הפיסיקלי ולא יישות נפרדת, חיצונית.

אינטואיציה מול התנסות חושית

רבים ודאי יגידו, שעצם העובדה שניוטון הגיע באמצעות התבוננות פנימית למושגים השגויים של מרחב מוחלט וזמן מוחלט הינה העדות החותכת לכך שלא ניתן לסמוך על האינטואיציה. באותה המידה ניתן לומר שלא ניתן לסמוך על ההתנסות החושית הישירה, כי היא מובילה למסקנות שגויות (כמו למשל שמדידת הזמן היא זהה לכולם, או חיבור מהירויות גליליאני). הענין הוא, שכמו שאת מסקנות ההתבוננות החיצונית צריך לבחון עם הנסיון, כך גם לגבי מסקנות ההתבוננות הפנימית. כמו שהיה עם חקר עולם הטבע, מתקופת יוון העתיקה ועד ימינו, שבהרבה מקרים היה פער של הרבה שנים, אף של דורות, בין העלאת מסקנות והשערות לבין בחינתן האמפירית, גם ביחס לאינטואיציה ולהתבוננות הפנימית התהליך של בחינה ואישוש (או דחיית) מסקנות העולות מהן עשוי להמשך זמן רב, שנים ואולי אף דורות. הנושא של בחינת האינטואיציה ובניית האמון במה שהיא מעלה ובמסקנותיה הוא נושא נכבד בפני עצמו, ולא נוכל לגעת בו במסגרת הנוכחית.

סיכום

מאמר זה הציג את האינטואיציה וההתבוננות הפנימית כחלק שהוא לא רק לגיטימי אלא ממש חיוני מ"ארגז הכלים" של החוקר המדעי. לפיכך נדרש גם ללמוד להשתמש כהלכה בכלים אלה, ומכאן הצורך לפתח מחקר אשר יתמקד בהכרת ולמידת אופן השימוש היעיל והנכון בהם. מחקר כזה ישלב תצפיות פנימיות של החוקרים אל תוך התודעות של עצמם (כמו הרקליטוס : "חקרתי אל תוך עצמי"), יחד עם השוואה של תצפיות של חוקרים שונים. אחת המטרות המרכזיות של מחקר כזה תהיה לזהות מאפיינים משותפים, שניתן להסכים עליהם בין התצפיות הפנימיות, ממש כמו שבאירוס מס' 1 לעיל כולם יכולים לזהות עיגול ומשולש, וכמו שכולם יכולים לזהות שהעיגול אדום והמשולש ירוק (כמובן, למעט עוורי צבעים, כלומר רק כאלה שיש להם היכולת לזהות ולהבחין).

בשלב הנוכחי ניתן להציע מגוון שאלות ונושאים למחקר עתידי :

- פיתוח כלים מחקריים אשר יאירו את ההיבטים המשותפים, האובייקטיביים, של האינטואיציה, ויאפשרו לקרב אותה לקונצנזוס.
- (כולל, למשל, איסוף עוד נתונים על מקומה ותפקידה של האינטואיציה במחקר המדעי)
- פיתוח כלים שונים אשר יאפשרו בניית אמון בשימוש באינטואיציה.
- (מתן מענה לחששות, חשדנות וחוסר-אמון הקיימים במחקר המדעי כלפי השימוש באינטואיציה)
- פיתוח אמצעים שונים להגברת המודעות לשימוש באינטואיציה.
- האם ניתן לחנך להשתמש באינטואיציה ?
- האם ניתן לפתח אינטואיציה ? באילו דרכים ניתן לפתח אינטואיציה ?
- האם אינטואיציה זה דבר אחד, או שקיימים סוגים שונים של אינטואיציה ?
- אם-כן, מהו המבדיל, מהו המשותף, לסוגי אינטואיציה שונים ?
- מה מקורה של האינטואיציה ? מהיכן היא מגיעה אלינו ?



- [1] ש. שקולניקוב, תולדות הפילוסופיה היוונית : הפילוסופים הקדם-סוקרטים, תל-אביב: יחדיו, תשמ"א 1981.
- [2] ז. בכלר, תולדות המחשבה המדעית, משרד הבטחון – ההוצאה לאור, 1984.
- [3] אפלטון, "תאיטיטוס", ב- כל כתבי אפלטון, תרגום יהודה ליבס, כרך III, ירושלים/תל-אביב, שוקן, תשכ"ט 1968, p. 91.
- [4] א. איינשטיין, "עקרונות המחקר", דברים שנאמרו ע"י איינשטיין ב- 26.4.1918 בחגיגה לציון יום הולדתו ה-60 של מקס פלנק, "ב- אלברט איינשטיין – רעיונות ודעות, ירושלים, הוצאת מאגנס, תשס"ה, p. 136.
- [5] א. איינשטיין, "על המתודיקה של הפיזיקה העיונית", עפ"י הרצאה שנתן איינשטיין ב- 10.6.1933 באוקספורד, "ב- אלברט איינשטיין – רעיונות ודעות, ירושלים, הוצאת מאגנס, תשס"ה, p. 162.
- [6] I. Newton, Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (The Mathematical Principles of Natural Philosophy), 1687 .
- תרגום לאנגלית (אינטרנט) :
- [The Mathematical Principles of Natural Philosophy, Vol. I, 3rd ed., trans. Andrew Motte](#)
- [Isaac Newton : Principia, translated and annotated by Ian Bruce](#)
- [7] ש. שקולניקוב, הרקליטוס ופרמנידס : עדויות ופראגמנטיים, ירושלים: מוסד ביאליק, 1988.