

האוניברסיטה הפתוחה



הגדרת החיים

שרה שורץ

22000

מהדורה זמנית

פנימי. לא למכירה ולא להפצה

פברואר 2001

צוות הקורס**כתיבה** ד"ר שרה שורץ**אחראית אקדמית** פרופ' שמעונה גינצבורג

ייעוץ מדעי פרופ' חוה יבלונקה, אוניברסיטת ת"א
 פרופ' צבי זקס, האוניברסיטה העברית
 פרופ' רפאל פלק, האוניברסיטה העברית
 ד"ר איריס פריי, אוניברסיטת ת"א והטכניון

עריכה והתקנה ענת אראל-גפני

תוכן העניינים

1. מבוא 4
2. מהן הגדרות? 6
3. הגדרת החיים 9
4. הישות שלגביה מגדירים חיים 11
5. חיים מלאכותיים 11
- שאלות 15
- תשובות 16
- ביבליוגרפיה 17

1. מבוא

■ חשוב על הישויות שאפשר להחיל עליהן את המושג "חיים", ועל תכונותיהן של אותן ישויות. נסה למצוא תכונות שיאפיינו את כל הישויות החיות, ואותן בלבד. אחר כך קרא את ההקדמה וכתוב האם דעתך השתנתה בעקבות הקריאה, ובאיזה אופן.¹

הקדמה זו נועדה להציג את הגישות השונות לאפיון, להבנה ולהגדרה של המושג "חיים", ולהראות שהגדרות הן לעתים הכרח המשקף את מגבלותינו כבני אדם. כדי שנוכל לקיים בינינו שיח פורה ולהבין את הזולת, צריך שלמילים המשמשות אותנו יהיה לכל הפחות מובן מוסכם. לכל הגישות השונות להגדרת החיים יש מטרה משותפת: להבחין בין חיים לבין חומר דומם. הבחנה זו חשובה גם בהקשר לאבולוציה, שהיא המסגרת המקיפה ביותר להערכת החיים (בהנחה שזוהי התיאוריה שאנו התקפה לגבי התהוות החיים). אמנם, התהוות החיים מחומר אי-אורגני נחשבת לתהליך המשכי, שאין בו הבחנה חדה בין חי לבין לא-חי, אבל אותו תהליך אבולוציוני יצר בסופו של דבר מאפיינים ביולוגיים ייחודיים שלא היו קיימים קודם לכן, ושאנו נוטים לכנותם "חיים" (Fry 2000, p. 241).

באחת האנציקלופדיות מוצאים בערך "חיים" את ההגדרה שלהלן (World Book Encyclopedia, p.242. ההדגשות שלנו):

Nearly all living things share certain basic characteristics. These characteristics include (1) reproduction; (2) growth; (3) metabolism; (4) movement; (5) responsiveness; and (6) adaptation. Not every organism exhibits all these features, and even nonliving things may show some of them. However, these characteristics as a group outline the **basic nature of living things**.

למקרא הגדרה זו תוהה מתיוז (Matthews, 1992/1996, p. 304): כיצד ייתכן שרק "כמעט כל" ולא "כל" הדברים החיים חולקים את המאפיינים המתארים את "טבעם הבסיסי של דברים חיים"? וכיצד ייתכן שרשימת מאפיינים המתארת רק את "כמעט כל" הדברים החיים, ובעת ובעונה גם כמה דברים לא-חיים, יכולה להיות רשימה המתארת את "טבעם הבסיסי של דברים חיים"? ועוד הוא שואל: מדוע הכישלון למצוא קבוצה של מאפיינים הכרחיים ומספיקים של החיים לא הוביל למסקנה שייתכן שבעצם אין דבר שאפשר לכנותו "טבעם הבסיסי של דברים חיים"?

האפשרות שמעלה מתיוז, שאולי בעצם לא קיים "טבע בסיסי של דברים חיים", היא אפשרות לגיטימית; אבל אם מקבלים אותה, יש בזה הודאה שאין עוד צורך לחקור שאלה זו לצורך הכללה; ניתן אפוא להצדיק את הוויתור על החיפוש אחר טבעם הבסיסי של הדברים החיים רק אחרי שכל ההשקפות האחרות נכשלו. ייתכן שתחומי מחקר חדשים, כמו זה העוסק בישויות

1 שים לב, שאלה זו היא חלק ממטלה הנלווית לקורס.

המכונות "חיים מלאכותיים" (Artificial Life, A-Life ; ראה בהמשך), יכולים להאיר מחדש את הנושא.

בטרם נבחן השקפות אחדות על הגדרת החיים, ולפני שנחליט אם ניתן בכלל להגדיר חיים ואם יש בכך טעם, ראוי שנבדוק כיצד נוהגים להעריך הגדרות באופן כללי.

2. מהן הגדרות?

יש מדענים המגדירים זכוכית כנוזל קפוא או כנוזל שזו באיטיות רבה (supercooled liquid); הגדרה כזאת מנוגדת לאינטואיציות הנובעות מניסיונו היומיומי. כראיה מציינים אותם מדענים כי השמשות בחלונות של בתים ישנים מאוד הן עבות יותר בחלקן התחתון מאשר בחלקן העליון, וכי פני השטח של שברי זכוכית - בניגוד לשברים של מוצק גבישי - אינם שטוחים.² מדוגמה זו ניתן ללמוד שהגדרה מדעית של מושג כלשהו יכולה לכלול מאפיינים המנוגדים לאינטואיציה. פירי (Pirie) משער כי לטובעיו האלמוניים של המושג "חיים", כמו לנו, הייתה הערכה אסתטית של תופעת החיים ובעטייה הם הבחינו בין ישויות כגון חתולים וארנבות מצד אחד לבין סלעים ומים מהצד האחר (Pirie, 1937, p.12). ואולם, היום אנו מכירים ישויות בעייתיות יותר למיון (למשל, נגיפים). בבואנו להגדיר חיים מהם, כדאי להיות מוכנים לאפשרות שההגדרה לא בהכרח תעלה בקנה אחד עם האינטואיציות שלנו. נשאלת השאלה מה כן נדרש מהגדרה.

כדאי להבחין בין שני היבטים של משמעות בהקשר למושגים: *הגדרה הוראה*; היבטים אלה מקבילים להבחנתו של קרנפ³ בין *כוונה* של מושג (intention) לבין *חלולות* (ההיקף) שלו (extension). הגדרה או כוונה של מושג היא משמעותו המדויקת (פחות או יותר), ואילו ההוראה או החלולות של מושג היא קבוצת הדברים שעליהם הוא חל או שבנוגע אליהם הוא אמיתי. בהמשך נראה שלעיתים קשה להפריד בין שני היבטים הללו של משמעות המושג (ראה להלן בסעיף "חיים מלאכותיים").

ישנם כמה כללים בסיסיים להערכת הגדרה, והם נזכרים כמעט בכל ספר מבוא ללוגיקה. בספרו הקלסי מציע רובינסון (Robinson, 1924, pp. 56-59) חמישה כללים להגדרה לוגית:

1. ההגדרה חייבת לציין את כל המאפיינים החיוניים של העצם המוגדר. על אף שחוק זה הוא **אֶסְנַצִּיאִלִּיסְטִי**⁴ באופיו, הוא מקובל גם על הוגים המחזיקים בתיאוריות אחרות של הגדרה (Abelson, 1967, p.322).

2. ההגדרה חייבת לכלול לא יותר ולא פחות מאשר העצם או המערכת המוגדרים. במילים אחרות, אסור שהגדרה תהיה צרה מדי או רחבה מדי. לדוגמה, "בוגר, זכר, פסיכולוג, לא נשוי" היא הגדרה צרה מדי של "רווק", משום שאי אלה רווקים אינם פסיכולוגים (Yagisawa, 1995, pp. 185-186). לעומת זאת, "בוגר, זכר, לא נשוי" היא הגדרה רחבה מדי משום שלא כל

2 נוזל קפוא הוא למעשה מוצק אמורפי; משולבות בו תכונות של נוזל ושל מוצק כאחד: מצד הנוזל הוא מאופיין באי-סדר, ומצד המוצק - תנועתם של חלקיקיו מוגבלת לתנועות בלבד. (ראה: מילנר 1997, עמ' 56, וכן האתר באינטרנט העוסק ב-noncrystalline solids).

3 רודולף קרנפ (Rudolf Carnap, 1891-1970), פילוסוף אמריקני יליד גרמניה, ממנהיגי החוג הווינאי שממנו צמח זרם הפוזיטיוויזם הלוגי או האמפיריציזם הלוגי. תרם רבות בתחומי הסמנטיקה והפילוסופיה של המדע וכן ליסודות ההסתברות והלוגיקה האינדוקטיבית.

4 **אסנציאליזם** - תיאוריה מטפיזית הטוענת שלעצמים יש מהות, ומבחינה בין תכונותיה המהותיות של עצם לתכונותיה המקריות. הדיון המסורתי באסנציאליזם, שנבע מאריסטו, מבחין בין תכונות הקובעות את מהות העצם לבין תכונות המאפיינות אותו אך אינן קובעות את מהותו. מושג ההגדרה קשור באופן הדוק לאסנציאליזם של אריסטו. מאפייני ההגדרה האריסטוטלית מוזכרים בהמשך.

- הגברים שאינם נשואים הם רווקים. באותו אופן, הגדרת החיים צריכה להיות לא צרה מדי - כדי שלא תשמיט דברים חיים, ולא רחבה מדי - כדי שלא תכלול דברים שאינם חיים.
3. ההגדרה חייבת להיות ברורה ומובנת, ולא מעורפלת ומבולבלת, כדי שלא תחטיא את מטרתה. רובינסון מזכיר כמה סיבות לאי-בהירות של הגדרות, למשל: שימוש במטפורות.
4. הגדרה אינה יכולה להיות מעגלית, כלומר - אסור שהמילה המוגדרת או מילה נרדפת לה תופיע בהגדרה.
5. את ההגדרה רצוי לנסח במושגים חיוביים ולא שליליים, משום שהגדרה על דרך השלילה לוקה בחסר מבחינה לוגית: החיובי והשלילי אינם נובעים ישירות זה מזה בהקשרים לא פורמליים (כמו בשפת היומיום). לדוגמה, במוח יש אזור בשם "הגרעין התת-תלמי" (subthalamic nucleus). הריסתו במוח האנושי מובילה לפגיעה מוטורית המכונה המיבליזם (hemiballism) ומאופיינת בתנועות לא-רצוניות של החולה, הדומות לזריקת כדור. האם נכון להסיק מעובדה זו שהפונקציה של הגרעין התת-תלמי השלם היא לדכא תנועות הדומות לזריקת כדור? - מובן שלא; התסמין מבטא את פעולתה הלא-מאוזנת של מערכת העצבים המרכזית עקב הפגיעה בגרעין התת-תלמי (Nauta and Feirtag 1979, p. 78).

בנוסף לחמשת הכללים שניסח, מבחין רובינסון בין שלושה סוגי הגדרות:

1. **הגדרה אריסטוטלית** מציינת את הסוג (genus) שהדבר המוגדר נכלל בו ואת המאפיינים המבחיניים (differentia) בינו לבין דברים אחרים השייכים לאותו סוג. רוב ההגדרות המילוניות הן הגדרות אריסטוטליות. אם להשתמש בדוגמה של רובינסון, הגדרה אריסטוטלית תגדיר דוֹדְקָהֶדְרוֹן (dodecahedron) כגוף מרחבי בעל שתיים-עשרה פאות. במקרה זה הביטוי "גוף מרחבי" הוא הסוג, והפסוק "בעל שתיים-עשרה פאות" מבדיל את הדודקהדרון מגופים מרחביים אחרים.
2. **הגדרה לוגית מקיפה** מפרטת, בנוסף למאפיינים המבחיניים את ה דבר המוגדר משאר בני סוגו, גם את מאפייני הסוג. הגדרה מעין זו שימושית בעיקר לתיאור ולאפיון של קבוצות מלאכותיות כמו אלה השכיחות במתמטיקה, אך לשימושים יומיומיים רגילים היא נוחה פחות מן ההגדרה האריסטוטלית. הגדרה לוגית תגדיר דודקהדרון כגודל או כמות בעלי אורך, רוחב ועובי וכן שתיים-עשרה פאות. הגדרה זו מציינת, בנוסף למאפיין הספציפי של דודקהדרון (מספר הפאות), גם את המאפיינים של גוף מרחבי (אורך, רוחב ועובי). ואולם, המושגים "גודל" ו"כמות" החליפו בה את הסוג "גוף מרחבי", ואין בזה תרומה של ממש להבנת המושג.
3. **הגדרה גנטית** (או התהוותית) מקשרת את המוגדר למקורו או אומרת מה המבנה שלו או כיצד הוא נוצר, מבלי לשייך אותו לסוג. הכלל הקובע כיצד נוצר הפרט הנדון הוא שווה ערך להגדרה גנטית. לפי שיטה זו מגדירים דודקהדרון באמצעות הסבר כיצד לבנות אותו. הגדרות בתחום המתמטיקה הן בדרך כלל הגדרות גנטיות; דומה שהגדרות כאלה מתאימות להקשר המדעי יותר מהגדרות אריסטוטליות.

יש המבחינים בין סוגים נוספים של הגדרות (סיכום תמציתי ניתן למצוא אצל: Yagisawa 1995), ומהן כדאי לציין את הסוג הפרובוקטיבי קמעה של הגדרה סטיפולטיבית (stipulative definition): בהגדרה כזאת אנו קובעים באופן שרירותי איזו משמעות נייחס למילה.⁵

סיכום של הנושא ניתן למצוא בספר "הפרופסור והמשוגע" על כתיבת מילון אוקספורד (וינצ'סטר, 2000, עמ' 146. ההדגשות במקור):

הגדרה נאותה של מילים היא אומנות מורכבת ומיוחדת במינה. קיימים כללים - מילה (שם-עצם, למשל) יש להגדיר תחילה על-פי קבוצת הדברים שהיא משתייכת אליה (יונק, הולך על ארבע), ואחר כך יש להבדיל אותה מחברים אחרים באותה קבוצה (בָּקָר, נקבה). אין לכלול בהגדרה מילים יותר קשות או פחות ידועות מהמילה המוגדרת עצמה. ההגדרה חייבת לקבוע מהו הדבר הזה, ולא מה אינו. אם מילה מסוימת היא בעלת מגוון של משמעויות - שֹׁר היא בעיקרה מילה בעלת משמעות אחת, שֹׁקֵה היא בעלת מגוון רחב יותר של משמעויות - כי אז יש לפרט אותן [...]. אם ישכיל המגדיר לדבוק בכל הכללים הללו, ויוסיף לתערובת את הצורך הדוחק בקיצור תמציתי ובניסוח אלגנטי - ואם הוא (או היא) יעשה (או תעשה) עבודה נאמנה, כי אז תתקבל מן הסתם הגדרה נאותה.

5 נראה שהסוג "הגדרה סטיפולטיבית" מערב את המקור ההיסטורי של המילה המוגדרת ואת השימוש הנוכחי בה. ייתכן שבעבר (ופה ושם גם היום) המציא האדם צירופי הברות שרירותיים לעצמים, לקבוצות של עצמים, לתופעות וכדומה, אבל משעה שמילה נטבעה היא נעשית ישות (מופשטת) בפני עצמה, ועוברת התפתחויות ושינויים.

3. הגדרת החיים

לפי האמור לעיל, הגדרה אריסטוטלית של חיים אמורה לציין מהו הסוג שהחיים שייכים אליו (תופעת טבע?) ומהם המאפיינים המבחינים את החיים מפרטים אחרים מאותו הסוג. הגדרה לוגית מקיפה תציין גם את מאפייני הסוג הזה, ואילו הגדרה גנטית של החיים תתייחס למקורם. הגדרות גנטיות של החיים ניתן למצוא, מטבע הדברים, אצל חוקרים העוסקים בשאלת *לאשית החיים* (פריי, 1997). אצל הוגים אחרים (ראה רשימת ספרות מצורפת) מוצאים בדרך כלל גרסה של הגדרה אריסטוטלית המציינת את מאפייני החיים מבלי לציין במפורש לאיזה סוג הם שייכים. ארנסט מאייר (Mayr, 1982), למשל, מציין שמונה מאפיינים של חיים, ואת סוגם הוא מכנה לפעמים "תהליך" (עמ' 53) ולפעמים "תופעה" (עמ' 65). מאייר אינו מתחייב אפוא להגדרה של חיים, ולא כל שכן להגדרה אריסטוטלית. מאפייני החיים אליבא דמאייר הם אלה:

1. לכל הרמות של מערכות חיות, החל בגרעין, דרך התא, האיבר, הפרט, וכלה באקוסיסטמה ובחברה, יש ארגון מורכב ביותר ואדפטיבי מאוד. המורכבות והאדפטיביות מתבטאות במנגנוני משוב מדויקים, בתגובתיות לגירוי חיצוני ובחילוף חומרים. המורכבות אינה אקראית אלא מאורגנת: המבנים השונים באורגניזם הם חסרי משמעות ללא המכלול, שהוא האורגניזם השלם.
2. אורגניזמים חיים מורכבים מקבוצת מקרומולקולות מיוחדת מבחינה כימית.
3. התופעות החשובות במערכות חיות, החל בהבדלים בין פרטים וכלה ביחסי הגומלין בתוך אקוסיסטמות, הן בעיקרן איכותיות ולא כמותיות.⁶
4. כל הרמות של מערכות חיות מורכבות מקבוצות של פרטים שיש ביניהם שונות רבה.
5. לכל האורגניזמים יש תכניות גנטיות שהתפתחו באופן היסטורי, והן מאפשרות להם לעסוק בתהליכים ובפעילויות *טלאונומיים*.⁷
6. קבוצות של אורגניזמים חיים מוגדרות על-ידי קשרים היסטוריים המעידים על מוצא משותף.
7. אורגניזמים הם התוצר של ברירה טבעית.
8. תהליכים ביולוגיים מצטיינים באי-יכולת לחזותם מראש.

מרק בידאו (Bedau, 1996, p. 336) מציין כי רשימת מאפייני החיים של מאייר היא רשימה שימושית של תווי ההיכר של מערכות חיות, אך בסופו של דבר היא רק מעצימה את התהייה והפליאה לגבי הסיבה האפשרית שבגללה אוסף מדהים זה של אפיונים נוכח במגוון עצום של תופעות טבע. הרשימה רק מדגישה את השאלה מדוע כל האפיונים האלה מתקיימים ביחד (במערכות חיות) במקום לענות עליה.

6 מאייר מתכוון לומר שההבדלים הנידונים הם "עקרוניים" (איכותיים) לעומת ההבדלים המתבטאים במיקום על פני רצף כמותי. למשל, ההבדל בין בעלי חוליות לחסרי חוליות גדול יותר מן ההבדל שבין X חוליות ל-Y חוליות, וזאת משום שהוא מחייב ארגון שונה לגמרי של האורגניזם.

7 *טלאונומיה* היא תיאור של מראית עין של כיווניות באורגניזמים חיים, הנובעת מהאדפטציה ההתפתחותית שלהם. שימו לב להבדל בינה לבין *טלאולוגיה*: ההשקפה שיש בתופעות טבע תכנון וכיווניות, ושימוש בהם כהסבר לתופעות טבע. בקורסים הבאים נראה שיש הוגים הטוענים שהמושג "טלאולוגיה" עבר התפתחות, ומשמעותו בביולוגיה כיום זהה בעצם לזו של טלאונומיה.

בידאו (p. 334) מבחין בין שלושה סוגי הגדרות של חיים השכיחות בספרות העכשווית: החיים כקבוצה רופפת של תכונות, החיים כקבוצה ספציפית של תכונות והחיים כחילוף חומרים (במינוח שלו: metabolism). ספקנים כמו מתיוז, שנזכר במבוא, טוענים לעתים קרובות שהחיים מאופיינים רק בקבוצה רופפת של תכונות מקושרות. התכונות האינדיווידואליות בקבוצה נתפסות כאופייניות לישויות חיות אך לא כהכרחיות עבורן. בידאו טוען שלהגדרה מעין זו יש יתרון ויש חיסרון. יתרונה בזה שהיא נותנת הסבר טבעי לגבולות המעורפלים ולמקרים הגבוליים של החיים. הדוגמה הקלסית של מקרה גבולי היא כזכור נגיף, משום שכל עוד הנגיף אינו נמצא בתא פונדקאי, אי אפשר לגלות בו את סימני החיים הנזכרים במבוא. דוגמאות אחרות הן פרד ודבורה-פועלת; רוב סימני החיים הנזכרים לעיל אמנם מתקיימים בהם, אך הם אינם יכולים להתרבות. חסרונה העיקרי של הגדרת החיים כקבוצת תכונות, לדעת בידאו, הוא שהיא גורמת בהכרח לחיים להיראות שרירותיים או לפחות מסתוריים.

הסוג השני של הגדרת החיים הוא רשימת תכונות האמורות לייצג מעין תנאים הכרחיים ומספיקים. בידאו משייך לסוג זה את הגדרתו של מאייר שהוצגה לעיל. כאמור, בידאו טוען כי הרשימה של מאייר ורשימות אחרות מסוגה (ראה, למשל, Maynard Smith, 1986) רק מדגישות את השאלה מדוע כל האפיונים האלה מתקיימים ביחד (במערכות חיות), במקום לענות עליה.

הסוג השלישי של הגדרת החיים, החיים כמטבוליזם, מתבקש ביותר משום שחילוף החומרים הוא כנראה תנאי הכרחי לכל צורות החיים הפיזיקליות:⁸ כל צורת חיים אפשרית, המתקיימת בהתמדה חרף החוק השני של התרמודינמיקה, זקוקה כנראה למטבוליזם. החוק השני של התרמודינמיקה, בניסוחו הכוללני ביותר, אומר ש"המגמה הכללית בקוסמוס מתקדמת לקראת התווה (כאוס)". בניסוחו הפיזיקלי החוק אומר: "כמות האַנְטְרֹופִיָה (אי-סדר) בעולם נמצאת בעלייה מתמדת". והניסוח הסטטיסטי: "הסיכויים שמידת הסדר תעלה מאליה במערכת סגורה (כלומר, שאינה ניזונה ממקור אנרגיה חיצוני) שואפים לאפס" (איסר, 1989, עמ' 12). בעולם היצורים החיים, לא זו בלבד שהאנטרופיה עשויה שלא לגדול אלא היא למעשה קטנה ככל שהאורגניזם גדל ומחזיק במלאי של אנרגיה חופשית.

חילוף החומרים הוא האמצעי למאבק באנטרופיה: את הירידה באנטרופיה באורגניזם מפצה העלייה באנטרופיה בסביבה (ולכן לא מופר החוק השני של התרמודינמיקה). במילים אחרות, אורגניזם הוא מערכת פתוחה, ולכן החוק השני של התרמודינמיקה כלשונו אינו חל עליו. מיינרד סמית (Maynard Smith, 1986) מביא שתי דוגמאות לישויות המקיימות מטבוליזם אך אינן חיות: שלהבת נר ומערבולת. דוגמאות אלה כשלעצמן, אומר בידאו (עמ' 337), אינן מוכיחות באופן מכריע שחילוף חומרים אינו תנאי מספיק לחיים. מושג מתאים של חיים אינו חייב לכלול את כל הישויות שאנו ממיינים כחיים באופן אינטואיטיבי, ורק אותן. השאלה החשובה היא, האם חילוף חומרים הוא המאפיין המבדיל שאכן מסביר מהו הדבר המאחד את כל מגוון החיים.

8 בניגוד לצורות חיים וירטואליות, ראה בהמשך.

4. הישות שלגביה מגדירים חיים

בידאו (Bedau, 1996) עצמו מציע שהמאפיין העיקרי של חיים הוא אדפטציה, שהיא פועל יוצא של תהליך האבולוציה, ומגן על הצעתו זו בצורה משכנעת למדי. הדבר המבחין בינו לבין אלה הסבורים שמטבוליזם הוא המאפיין העיקרי של החיים הוא הדוגמה הפרדיגמטית⁹ לישות חיה שמביא כל אחד מהם. עבור בידאו הדוגמה הפרדיגמטית לחיים היא מערכת או אוכלוסייה מתפתחת (עמ' 340), בעוד שהדוגמה הפרדיגמטית בעיני תומכי המטבוליזם היא אורגניזם. סוגיית הדוגמה הפרדיגמטית נעשית בעייתית לגבי הוגים המציעים צבר של אפיונים להגדרת החיים. אצל מאייר (1982) ניתן למצוא שימוש בארבע דוגמאות שונות, לפי ההקשר: מערכות או מערכות חיות, אורגניזמים או אורגניזמים חיים, אינדיווידואלים וישויות ביולוגיות (עמ' 53-57).

ואולם, ייתכן שהפער בין מערכות ואוכלוסיות מצד אחד לבין אורגניזמים ואינדיווידואלים מהצד האחר אינו כה גדול כפי שנדמה. אם מערכת היא שלם המורכב מחלקים המקיימים יחסי גומלין ביניהם ועם הסביבה, הרי שהגדרה זו חלה גם על אורגניזמים. מנגד, יש הסבורים שמינים (species) הם אינדיווידואלים ולא קבוצות (Ghiselin, 1974; Hull, 1976), משום שחלים עליהם מאפייני האורגניזמים, שהם דוגמה פרדיגמטית לאינדיווידואלים.¹⁰ כמו לאורגניזמים, גם למינים יש ארגון פנימי, גם הם יחידאיים במובן זה שאם ייווצר מין זהה למין שנכחד, הוא ייחשב למין חדש, וגם המינים משתנים אך עדיין נחשבים לאותו מין כל עוד השינוי הוא המשכי. במילים אחרות, אין הבדל מהותי בין אורגניזמים למערכות; אם מינים דומים לאינדיווידואלים ואורגניזמים דומים למערכות, הרי ששתי הישויות הללו מתכנסות בסופו של דבר לאותו סוג ישות.

5. חיים מלאכותיים

התחום העוסק בחיים מלאכותיים (Artificial Life, ובקיצור A-Life) מנסה ליצור התנהגות דמוית חיים, ולשם כך הוא מתמקד ביצירת מחוללי התנהגות (Langton, 1989/1996 p. 40). קיימים שלושה מודלים של חיים מלאכותיים: חומרה (hardware) - רובוטים ממוחשבים; יצירת חיים במבחנה (wetware) - המשרתת הן את חוקרי מוצא החיים והן את מדעני הרפואה (האחרונים מנסים ליצור, למשל, מולקולות RNA שימושיות מבחינה כימית); ובניית מודלים ממוחשבים (software) המחקים את התהליכים המאפיינים מערכות חיות, ומעקב אחר מה שקורה בהם. כפי שאומרת מרגרט בודן (Boden, 1999 p. 232), חוקרי החיים המלאכותיים חושבים על תופעות חיות במונחים של מידע ומחשוב ולא במונחים של חומר ואנרגיה. בודן (pp.240-242) מביאה כדוגמה את התוכנה "יצורים" (Creatures) שפיתח גרנד (Steve Grand), ובה עשויים להתקיים זה לצד זה עד עשרה יצורים וירטואליים, שניחנו בביוכימיה וירטואלית המאפשרת להם להתפתח.

9 על פרדיגמה למדתם בקורס "פילוסופיה של המדע", ביחידות העוסקות בתומס קון.

10 חוברת מס' 2 בכרך 2 של העיתון *Biology and Philosophy*, שהתפרסמה באפריל 1987, הוקדשה כולה לנושא מעמד האונטולוגי של מינים בכלל ולשאלה האם מינים הם אינדיווידואלים בפרט.

בדומה לאינטליגנציה המלאכותית שקדמה לו, כל אחד מהמודלים של חיים מלאכותיים עשוי להתחלק לשני תת-תחומים: האחד הוא מערכות "מהונדסות", שעוצבו במטרה לבצע משימה מורכבת בכל אמצעי העומד לרשות המעצב, גם אם הקשר של אותו אמצעי לאופן שמערכות חיות מבצעות אותה משימה הוא קלוש ביותר. התת-תחום האחר הוא מערכות שנועדו לשמש כמודלים מדויקים של מערכות ביולוגיות, ולבחון השערות ביולוגיות (Taylor and Jefferson, 1995, p.1).

את גישת המודלים המדויקים מייצגים חוקרים כמו כריסטופר לנגטון, תומס ריי ומרק בידאו (Bedau, 1996; Ray, 1992/1996; Langton, 1989/1996). מטרתם לחלץ את הביולוגיה מן האילוץ של חקירת דוגמה אחת של חיים - החיים על כדור הארץ - המבוססים על כימיה של שרשרת פחמן. לדעתם, הביולוגיה התיאורטית מתמודדת עם מכשול עקרוני: אי אפשר לגזור עקרונות כלליים ממדגמים המבוססים על דוגמה אחת ויחידה. בהעדר דוגמאות אחרות קשה מאוד להבחין בין תכונות שהן מהותיות, או הכרחיות, לחיים - תכונות המשותפות לכל המערכות החיות באשר הן - לבין תכונות שהן קונטינגנטיות¹¹ לחיים על פני כדור הארץ. מכיוון שהסיכוי שאורגניזמים המבוססים על ביוכימיה אחרת יציגו עצמם בפנינו הוא אפסי, האפשרות הנותרת היא לנסות לסנתז (ליצור) צורות חיים חלופיות בעצמנו (ראה למשל: Langton 89/96 p. 39).

הדגש הוא על סינתזה בניגוד לאנליזה. לנגטון (עמ' 52-53) טוען שהגישה האנליטית מתאימה לחקר מערכות לינאריות, בעוד שהגישה הסינתטית מתאימה לחקר מערכות שאינן לינאריות. במערכות לינאריות התנהגות השלם היא סכום ההתנהגויות של חלקיו, ואילו במערכות לא-לינאריות התנהגות השלם היא יותר מסכום ההתנהגויות של חלקיו. הגישה הסינתטית מתאימה לחקירת התנהגות מורכבת מכיוון שקשה מאוד לעקוב לאחור אחר המחולל של התנהגות כזאת, אך פשוט למדי ליצור מחולל כזה, כלומר - לברוא את ההתנהגות המורכבת עצמה. לדעתו של לנגטון, החיים נוצרים (emerge)¹², מארגון החומר ואינם תכונה של החומר עצמו. לכן הגישה הנכונה לחקור אותם היא זו הסינתטית.

כאשר הגישה הסינתטית מתורגמת לתוכנת מחשב (כמו Creatures שזכרה לעיל), הקלט הוא מרכיבי המערכת ותכונותיהם בהתאם למאפייני החיים, והפלט הוא בדרך כלל ממוצע סטטיסטי של אותם הנתונים. הדרך לנבא את ההתנהגות האמרגנטית של המערכת היא באמצעות הדמיה (סימולציה)¹³ (Bedau 1996 p. 344). הצורך בהדמיה לשם חיזוי במקרה זה נובע לא ממגבלה

11 קונטינגנטיות היא תכונה של דבר שאינו הכרחי אלא תלוי נסיבות ותנאים. לדוגמה, המשפט "במערכת השמש יש תשעה כוכבי לכת" הוא אמיתי אך קונטינגנטי. המציאות מלמדת שבמערכת השמש המוכרת לנו יש תשעה כוכבי לכת, ועל כן המשפט הוא אמיתי; אך אין זה הכרחי שזה יהיה מספרם של כוכבי הלכת במערכות שמש בכלל: יש מערכות אחרות שבהן מספר כוכבי הלכת הוא אחר.

ראו: Hamlyn, D.W. (1966,1967). "Contingent and Necessary statements." In Edwards, P. (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy* (Macmillan, New York), Vol. 2, pp. 198-205.

12 במושג אמרגנטיות נדון בקורסים "בעיית הרדוקציה בביולוגיה" ו"בעיית הגוף והנפש".

13 הדמיה (סימולציה) היא חיקוי של תנאים ומצבים טבעיים באמצעים מלאכותיים, בעיקר באופן ממוחשב, לצורך ניסוי, לימוד, תרגול וכדומה; פעולת החיקוי מיועדת להמחיש את תוצאותיה של אותה פעולה אילו נערכה באמת (מילון רב-מילים).

אנושית קוגניטיבית אלא מהעובדה שיש תוצאות שאי אפשר להבחין בהן אלא באמצעות הדמיה (כגון במערכות כאוטיות-דטרמיניסטיות)¹⁴.

כזכור, הניסיון לסנתז חיים וירטואליים במחשב אמור לסייע גם ליצירת דוגמאות חדשות לחיים בנוסף לדוגמה היחידה המוכרת לנו, המבוססת על שרשרות פחמן ומתקיימת על כדור הארץ. מתוך שלל הדוגמאות אפשר יהיה אולי למצוא הכללה לגבי האפיונים של חיים באשר הם. ואולם, מעבר לבעיות הנוגעות ליצירת תוכנות כה מתוחכמות ניצבת בעיה עקרונית: כדי להכליל במדגם צורת חיים מלאכותית כזאת או אחרת, נחוצים מדדים שיאפשרו לקבוע אם הגדרת החיים חלה עליה, במילים אחרות - האם צורה זו נכללת בהיקף (באקסטנציה) של חיים. נוצרת אפוא בעיה מעגלית: אנו מחפשים צורות חיים נוספות על זו המוכרת לנו כדי להכליל מהם את אפיוני החיים, אך כדי לכלול את הצורות הללו בקבוצת החלות של החיים, עלינו לדעת מה הם אפיוני החיים. הלוגיקה המתמטית החדשה מציבה במקום תוכנו של המושג את חלותו במטרה לסלק את הקושי הכרוך במשמעות הרופפת והעמומה של תוכן המושג. ואולם, סילוק הקושי הוא רק למראית עין משום שאינו פותר אותנו מן החובה לחפש את הקווים המשותפים לפרטים הכלולים בחלות, כלומר - את תוכן המושג, וזאת כדי שבהיתקלנו בפרט נוסף, נדע אם לשייכו לקבוצה או לא. דיון זה מעלה קושי עקרוני המתבטא בשאלה כיצד נוצרה הקבוצה המיועדת לשמש להגדרת המושג: כדי שאפשר יהיה לצרף את היחידות לקבוצה וליצור חלות, נחוץ מדד שעל-פיו תיעשה ההכרעה, והמדד הזה הוא בעצם תוכן המושג (ברגמן, 1953, עמ' 88).

פריי (Fry 2000, p.240) נדרשת לבעיה זו ישירות בנושא הגדרת החיים. היא מגיבה על הטענה המוזכרת לעיל, שאי אפשר להבחין בין תכונות קונטינגנטיות לתכונות הכרחיות על-פי דוגמה אחת של חיים. גם לדעתה טענה זו היא מעגלית אלא אם כן מדברים על צורות חיים אחרות שהן לפחות ואריאציות על החיים בכדור הארץ:

For how can we identify, not only practically but even theoretically, a specimen of extraterrestrial life as such if we do not have a clue what we are looking for? In other words, it is contended that without another example of life we cannot formulate a general definition of life, but without such a definition how can we find a completely alien life-form? It thus seems that relying in some way on "life as we know it" in dealing with alternative living systems is an inevitable procedure.

ביטוי לבעיה זו, של ניסיון למצוא הגדרה לחיים שתאפשר למיין דוגמאות נוספות של תופעות שנראות כחיים, ניתן למצוא בספרות בוויכוח בין המחזיקים בהגדרת החיים כמערכת אבולוציונית (כגון בידאו), הגדרה הכוללת בהכרח רבייה, שונות ותורשה, לבין אלה הדורשים גם קיום מטבוליזם כדי לקבל שמערכת מסוימת היא חיה (כמו בודן ומיינרד-סמית). בידאו סבור שחשיבותה של האבולוציה בביולוגיה תיאורטית מחייבת אותנו להתייחס אליה כאל מהות

14 מערכות כאוטיות מצייתות אמנם למשוואות מתמטיות, ולפיכך הן מוגדרות כמערכות דטרמיניסטיות; אבל בתנאים מסוימים, עקב שינויים קטנים במצבן ההתחלתי, המערכות האלה עוברות ממצב מסודר יחסית למצב חסר סדר לכאורה ובלתי ניתן לחיזוי לחלוטין. לדוגמה: מערכות אקלים (פריי, 1997 עמ' 142).

החיים. אם האבולוציה היא אכן מהות החיים, ואפשר לוותר על הדרישה למטבוליזם, אזי בהינתן התוצאה האמפירית שהיצורים הווירטואליים בהדמיות מחשב עוברים אבולוציה, יוצא מזה שניתן לכנות את היצורים האלה "חיים". בודן (Boden, 1999) מבחינה בין שלושה מובנים של מטבוליזם. מטבוליזם במובן החלש ביותר מציין תלות באנרגיה כתנאי לקיומם של דברים חיים, ומתיישב עם ייחוס חיים ל-*strong A-Life* - יצורים וירטואליים המאכלסים עולמות וירטואליים (זיכרון של מחשב). מטבוליזם במובן השני מתייחס לחבילת אנרגיה אינדיווידואלית המנוצלת להתנהגויות שונות, כולל איסוף אנרגיה.¹⁵ מטבוליזם במובן הזה אינו מתיישב עם *strong A-Life*, אך מאפשר למיין רובוטים לא-ביוכימיים כחיים. מטבוליזם במובן השלישי והחזק מדגיש את בניית הגוף העצמית באמצעות תקצוב אנרגיה למשימות שונות וויסותה, ואינו מתיישב לא עם *strong A-Life* ולא עם רובוטים לא-ביוכימיים. המסקנה של בודן (1999 p.246) היא, שמטבוליזם במובן החזק הוא דרישה בסיסית לארגון העצמי המאפיין חיים, אי אפשר להוציאו מהגדרת המושג "חיים", ולפיכך *strong A-Life* אינו אפשרי.

15 איסוף אנרגיה הוא מצב ביניים בין תלות מוחלטת באספקת אנרגיה מן הסביבה (כמו במקרה של בעלי חיים פויקילותרמיים - בעלי טמפרטורת גוף משתנה - שאינם מתפקדים בימים קרים) לבין מצב שבו היצור מסוגל לייצר אנרגיה בעצמו.

שאלות

(הערה: שאלות המסומנות בריבוע מופיעות כאן בלא תשובה)

שאלה 1

האם יכולתנו לתפוס בחושינו ולהבין בשכלנו משהו כחי (בתוספת כלים או מכשירים המרחיבים אותם, כגון טלסקופ, מיקרוסקופ וכדומה) היא תנאי הכרחי להגדרת החיים?

שאלה 2

כיצד יכול המחקר בתחום "מוצא החיים" לסייע להגדרת החיים?

■ שאלה 3

אילו מאפיינים מופיעים בדרך כלל בהגדרת החיים?

■ שאלה 4

עמוד על ההבדלים בין המושגים *כוונה* (intention) *לחלות* (extension).

■ שאלה 5

ציין את חמשת הכללים הבסיסיים להגדרת מושג.

■ שאלה 6

הבהר לעצמך מה הם שלושת סוגי החיים המלאכותיים.

שאלה 7

מהו A-Life strong?

■ שאלה 8

מה מניע את החוקרים המנסים לבנות מערכות שישמשו כמודלים של מערכות ביולוגיות, ולאיזה מלכוד מוביל המניע הזה?

תשובות

תשובה 1

כל הגדרה, בעצם, כוללת במרומז את יכולתנו לקלוט בחושינו ולתפוס בשכלנו את העצם המוגדר, שאם לא כן לא היינו יכולים להגדירו. אם להשתמש בהבחנה של קאנט, כל הדברים המוגדרים הם בתחום ה-phenomena, כלומר - עצמים של הניסיון המכוננים על-ידינו והניתנים לידיעה אנושית, וזאת בניגוד לתחום ה-noumena של הדברים כשלעצמם, מעבר לניסיון האנושי. החיים על פני כדור הארץ הם בתחום ה-phenomena, אך האם זהו תנאי הכרחי להגדרת חיים באשר הם?

הגדרות חיים מצומצמות כמו זו של בידאו (1996), המגדירה מערכת חיה כבעלת אדפטציה גמישה, אינן כוללות את הדרישה שהמוגדר יהיה בתחום הנתפס בניסיון האנושי. אם זה נכון, פירוש הדבר שקבלת הגדרת חיים כמו זו של בידאו מאפשרת צורות חיים שלעולם לא נכיר, דבר המעביר אותנו באחת לתחום המדע הבדיוני (ראה למשל הסרט "Predator" בבימויו של John McTiernan ובכיכובו של ארנולד שוורצנגר). לעומת זאת, מה שמוגדר בתחום המדע הבדיוני לגבי הוגה אחד יכול להיכלל בתחום הריאליה של הוגה אחר, כפי שאומר למשל תומס נייגל:

To deny the reality of what we can never describe or understand is the crudest form of cognitive dissonance¹⁶ (Nagel, 1974/1988, pp. 170-171).

תשובה 2

אישוש אמפירי למוצא החיים יבהיר את התנאים ההכרחיים והמספיקים לחיים המבוססים על שרשרות פחמן על פני כדור הארץ. ואולם, אישוש כזה לא יסייע בהכרח להגדרת החיים באשר הם. ראוי לשים לב, כי הגדרת החיים שחוקר בתחום זה מחזיק בה יכולה להשפיע על כיוון המחקר שלו. כך, למשל, פרימן דייסון (Dyson) סבור שהמאפיין הבסיסי ביותר של תאים חיים הוא ההומאוסטזה - היכולת לקיים איזון כימי בסביבה משתנה. מסקנתו זו מתבטאת במודל "המוצא הכפול" של החיים שהציע ב-1985 (ראה פריי 1997, עמודים 139-142).

תשובה 7

במונח strong A-Life הכוונה לישויות וירטואליות הנמצאות בזיכרון המחשב. לישויות כאלה יש קיום פיזיקלי באלקטרוניקה של המחשב, אך אין להן גוף. קבלתן או דחייתן של ישויות וירטואליות כישויות חיות תלויה בהגדרת החיים שמאמצים. אם מגדירים את החיים כאדפטציה גמישה, אפשר להגדיר ישויות וירטואליות כחיות. ואולם, אם מוסיפים להגדרה את התנאי של מטבוליזם חזק, המאפשר בנייה עצמית של הגוף, נשללת תכונת החיים מישויות וירטואליות.

16 דיסוננס קוגניטיבי - אי-נוחות מנטלית שאדם חש עקב אמונות או גישות סותרות שהוא מחזיק בהן בעת ובעונה אחת.

ביבליוגרפיה

איסר, א"ש (1989). "על היקום, על האנטרופיה ועל התבונה". אלפיים: כתב עת בינתחומי לעיון, הגות וספרות 1, 9-28.

ברגמן, ש"ה (1953). מבוא לתורת ההיגיון: המדע העיוני של הסדר (מוסד ביאליק, ירושלים).

וינצ'סטר, ס' (2000). הפרופסור והמשוגע (כנרת, ישראל).

מילנר, נ' (1997). הכימיה - אתגר: פולימרים סינתטיים - חומרים כבקשתך (מהדורת ניסוי). (המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט מיסודם של משרד החינוך והתרבות, האוניברסיטה העברית בירושלים ומכון ויצמן למדע, רחובות).

פריי, א' (1997). מוצא החיים: מסתורין או בעיה מדעית? (משרד הביטחון, תל-אביב).

Abelson, R. (1967, 1996) "Definition". In Edwards, P. (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy* (Macmillan, New York), Vol. 2, pp. 314-324.

Bedau, M. A. (1996). "The nature of life", in: Boden, M. A. (ed.). *The Philosophy of Artificial Life*. (Oxford University Press, Oxford), pp. 332-357.

Boden, M. A. (1999). "Is metabolism necessary?". *British Journal of Philosophy of Science* **50**, 231-248.

Fry, I. (2000). *The Emergence of life on Earth*. (Rutgers University Press, New Brunswick).

Ghieselin, M. (1974). "A radical solution to the species Problem". *Systematic Zoology* **23**, 563-544.

Hull, D. (1976). "Are species really individuals?". *Systematic Zoology* **25**, 174-191.

Langton, C. G. (1989/1996). "Artificial Life", in Boden, M. A. (ed.). *The philosophy of Artificial Life*. (Oxford University Press, Oxford), pp. 39-94.

Matthews, G. B. (1992/1996). "Aristotle on life", in Boden, M. A. (ed.). *The Philosophy of Artificial Life* (Oxford University Press, Oxford), pp. 303-313.

- Maynard Smith, J. (1986). *The Problem of Biology* (Oxford University Press, Oxford), Chapter 1: The Definition of Life, pp.1-8.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought* (Harvard University Press, Cambridge), pp. 51-67.
- Nagel, T. (1974/1988). "What is it like to be a bat?", in his *Mortal Questions* (Cambridge University Press, Cambridge), pp. 165-180.
- Nauta, W. J. H. and Feirtag, M. (1979). "The organization of the brain". *Scientific American* **241**(3), 78-105.
- Pirie, M. A. (1937). "The meaninglessness of the terms Life and Living", in Needham J. and Green D. E. (eds.). *Perspectives in Biochemistry* (Cambridge University Press, Cambridge), pp. 11-22.
- Ray, D. S. (1992/1996). "An approach to the synthesis of life", in Boden M. A. (ed.). *The Philosophy of Artificial Life* (Oxford University Press, Oxford), pp. 111-145.
- Robinson, D. S. (1924). *The Principles of Reasoning: An Introduction to Logic and Scientific Method*. (D. Appleton and Company, USA), Chapter 5: Definition and Division, pp.52-71.
- Taylor, C. and Jefferson, D. (1995). "Artificial life as a tool for biological inquiry", in Langton, C. G. (ed.), *Artificial Life: an Overview* (The MIT Press, Cambridge), pp.1-13.
- The World Book Encyclopedia* 1986. Entry: life. (World Book. Chicago), p. 242.
- Yagisawa, T. (1995). "Definition", in Audi, R. (ed.), *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. (Cambridge University Press, Cambridge), pp. 185-186.

אינטרנט

- Stretton, T. (1999). "Noncrystalline Solids".
<http://www.ucdsb.on.ca/tiss/stretton/chem2/arch21.htm>