



LYNN MARGULIS DORION SAGAN

MICROCOSMOS  
FOUR BILLION YEARS OF EVOLUTION  
FROM OUR MICROBIAL ANCESTORS

Copyright © 1986 by Lynn Margulis and Dorion Sagan

ההפצה: הוצאת מאגנס, ת"ד 39099, ירושלים 91390, פקס 02-5633370

©

כל זכויות המהדורה העברית שמורות  
להוצאת ספרים ע"ש י"ל מאגנס  
האוניברסיטה העברית  
ירושלים תש"ס

מסת"ב 8-052-493-965 ISBN

נדפס בישראל  
סדר: "ארט פלוס", ירושלים

לזכר מוריס אלכסנדר  
(24 בדצמבר 1909-3 בנובמבר 1994)  
אב וסב, ולזכר אהבת החיים שלו



## תוכן העניינים

9	הקדמה מאת לואיס תומס
13	פתח דבר
21	שלמי תודה
23	מבוא: המיקרוקוסמוס
31	פרק ראשון: מתוך הקוסמוס
37	פרק שני: ההחייאה של החומר
45	פרק שלישי: שפת הטבע
51	פרק רביעי: המיקרוקוסמוס נכנס לתמונה
61	פרק חמישי: המיניות והחילופים הגנטיים הכלל-עולמיים
70	פרק שישי: שואת החמצן
80	פרק שביעי: תאים חדשים
88	פרק שמיני: לחיות בצוותא
95	פרק תשיעי: המוח הסימביוטי
107	פרק עשירי: חידת המיניות
115	פרק אחד עשר: פריחה מאוחרת: חיות וצמחים
130	פרק שנים עשר: האדם האגוצנטרי
157	פרק שלושה עשר: הסופרקוסמוס לעתיד לבוא
183	מפתח



## הקדמה

מאת ד"ר לואיס תומס (1913-1993), לשעבר נשיא  
המרכז לחקר הסרטן על שם סלואן-קטרינג

יש הקדמות שתפקידן להודיע לקוראים מראש על הצפוי להם. קוראי הספר הזה, למעט אלה המתמצאים היטב בהתפתחויות החדשות במיקרוביולוגיה, בפליאונטולוגיה ובביולוגיה אבולוציונית, צפויים להיתקל בהפתעות גדולות בזו אחר זו, ואולי אפילו בהלם אחר הלם. זה ספר על הקשירות לבלי הפרד בין כל היצורים על הפלנטה הזאת, אלה שחיים עכשיו והרבים מספור שהיו לפנייהם. מרגוליס וסגן מציעות כאן דרך חדשה להשקיף על העולם, נקודת מבט שונה מזו שהיתה משותפת לרובנו לפני עשרים-שלושים שנה. ההשקפה החדשה מבוססת על מחקר סולידי, שביצעו מדענים רבים מטעמים שונים במעבדות מסביב לעולם. ממצאיהם, לאחר שנאספו ונקשרו זה לזה, מוליכים למסקנה כי לפירוד אין מקום בטבע. הביוספרה כולה עשויה מקשה אחת, מערכת חיה ענקית ומשולבת, אורגניזם.

לפני שנים רבות השתתפתי בסמינריון שנערך בקמפוס אוניברסיטאי, ונשא את השם הפורמלי "מקומו של האדם בטבע". הנושא המרכזי של רוב ההרצאות היה איך יכול האדם לתקן את הטבע, לשפר אותו כדי שהעולם יתנהל בדרך יותר נעימה; איך למצות יותר ממשאבי האנרגיה של הטבע, איך לשמר אזורים מסוימים של נופי בר למען העונג שלנו, איך למנוע זיהום של נתיבי המים, איך לפקח על גידול האוכלוסייה האנושית, דברים מסוג זה. התחושה הכללית היתה שהטבע הוא נכס, ירושה, בבעלותו ובתפעולו של המין האנושי, מעין פארק משולב, גן חיות וגן ירק.

זו עדיין הדרך הקלה להשקיף על העולם, בתנאי שלא מניחים למחשבות להתפרע. אין ספק שכלפי חוץ אנחנו נראים כמין השליט. כמין שמנהל את העסק, כמעט לאורך כל התקופה מאז בואנו. בהתחלה אולי היינו יצורים פגיעים ומועדים לטעויות, שירדו זה עתה מהעצים, ללא ייחוד חוץ מהאגודלים הנגדיים ואונות המצח הגדולות ביתר, הסתתרו במערות וחקרו את האש. אבל אחר כך השתלטנו על העולם והיום דומה שאנו נמצאים בכל מקום, מנהלים כל דבר, מקוטב אל קוטב, מפסגות ההרים עד למצולות הים, מיישבים את הירח וחוקרים את מערכת השמש. המוחות של כדור הארץ בכבודם ובעצמם. פסגת האבולוציה, ההצלחה הביולוגית המדהימה ביותר, שתישאר כאן לעד.

אבל יש דרך אחרת להשקיף עלינו, והספר הזה הוא המדריך להשקפה הזאת. במושגים אבולוציוניים, הגענו הנה זה מקרוב. אולי יש מינים צעירים יותר מהמין שלנו, פה ושם, אבל אין שום מין בסקלה שלנו, ובוודאי לא בשלב כה מוקדם של התפתחותו. אם נתחקה על התפתחותנו כמה אלפי שנה לאחור, לא נגלה עוד את הדברים הנראים לנו כסימני היכר האמתיים של האדם, שפת דיבור, שירים, התקנת כלים, חימום באש, מלחמות. כמין הננו צעירים, אולי רק מתחילים להתפתח, לומדים עדיין להיות בני אדם, ילדים לא בוגרים של מין. ועדיין פגיעים ומועדים לשגיאות, ועולים להיעלם ולהשאיר רק שכבה דקה של מאובנים רדיואקטיביים.

השושלת שלנו היא אחד הדברים שעלינו להבהיר למען הפרספקטיבה שלנו. בעבר חשבנו שהגענו יש מאין, שההשגחה העליונה שיבצה אותנו במקום הנכון, אולי לא לבושים עדיין אבל מוכנים ומזומנים לתת שמות לכל החיות. אחר כך, אחרי דרווין, נאלצנו להתמודד למרבה המבוכה עם הכנסת קופי האדם לאילן היוחסין שלנו; השימפנזים נעשו לדודנינו.

ילדים רבים עוברים תקופה קשה בתחילת ההתבגרות, כשהוריהם מעוררים בהם מורת רוח. הם היו מעדיפים אב ואם דומים יותר להורים של חבריהם. מי שהוריו הם הומונידים מוזרים למראה אין לו למעשה סיבה להתבייש, ובכל זאת רוב האנשים, אילו היתה הברירה בידם, היו מעדיפים לגלות בעברם שושלות טהורות של מלכים ומלכות, לעצור שם ולא להסתכל לאחור, מעבר לכך.

נבחן את הבעיה שלנו. היצור הראשון משלנו, הראשון בשושלת שלנו, הופיע אי-אז לפני 3.5 מיליארד שנה, תא בקטריאלי יחיד, קדם האב הקדמון של כל החיים לעתיד לבוא. אנחנו חוזרים אליו, זו ההתחלה האמתית שלנו.

יתר על כן, למרות כל ההדר והרהיטות של המין שלנו, למרות אונות המצח הכבדות שלנו, למרות המוסיקה שלנו, לא התקדמנו הרחק מעבר לאבות אבותינו המיקרוביאליים. הם נמצאים עדיין אתנו, הם חלק מאתנו. לשון אחר, אנחנו הננו חלק מהם.

הסיפור שלפנינו הוא סיפור אדיר, אפוס מופלא, הנמצא עדיין בעיצומו וסופו מי ישרנו. זו הסאגה של החיים עלי אדמות.

לין מרגוליס הקדישה את רוב חייה המקצועיים ללימוד פרטי הסיפור הזה והוסיפה פרטים חשובים מהמחקר המדעי שלהעצמה. היא ודוריון סגן שיבצו את כל החלקים יחדיו, פשוטו כמשמעו, בספר המרהיב הזה, שאינו דומה לשום חיבור על האבולוציה לקורא הכללי שפגשתי לפני כן. זה תיאור מרתק של השלב הארוך ביותר באבולוציה של הביוספרה, פרק זמן של 2.5 מיליארד שנה שבמהלכו קבעו אבותינו המיקרוביאליים, לבדם, את רוב החוקים והתקנות של הבין-חיים, הרגלים שאנו בני האדם צריכים ללמוד עכשיו כדי לשרוד.

רוב התיאורים הפופולריים של האבולוציה ובעיותיה פותחים בתקופה שראשיתה רק לפני כמה מאות מיליוני שנה, חולקים כבוד בקצרה לצורות הראשונות של אורגניזמים רב-תאיים ואחר כך עוברים מהר להמצאה המהוללת של הצורות החולייתניות. הרושם המתקבל הוא שכל הזמן שעבר קודם היה מאוכלס בתאים "פרימיטיביים" ו"פשוטים" שלא עשו שום



דבר ורק חיכו לתחילת ההצגה האמתית. מרגוליס וסגן מתקנים את התפיסה המוטעית הזאת ביחס לעובדות האמתיות של החיים. הן מוכיחות שהחידקים הראשונים למדו כמעט כל מה שצריך לדעת על החיים בתוך מערכת, וזה, בעיקרו של דבר, מה שאנו יודעים היום. אולי הייתה לנו נבואת לב עתיקת יומין משותפת על מוצאנו האמתי. היא קיימת כמאובן לשוני, טמונה בשורש הקדום שממנו לקחנו את שם המין שלנו. המילה לאדמה, בראשית הלשון ההודו-אירופית לפני אלפי שנה (איש אינו יודע אל נכון מתי בדיוק) הייתה dhghem. מהמילה הזאת, שפירושה פשוט אדמה, באה המילה שלנו humus, מעשה ידם של חידקי הקרקע. ועוד, כדי ללמדנו לקח, human, humane, humble. \* לפנינו חידה פילולוגית; הספר הזה משלים כמה מן הפרטים.

\* שפל רוח, אדם, אנושי.



## פתח דבר

מה היחס בין בני אדם ובין הטבע? השם הליניאי, או המדעי, של המין שלנו הוא Homo sapiens – "אדם נבון, נבון". אנו סבורות כי ראוי לנו להצניע לכת ולשנות את השם ל-Homo insapiens – "אדם חסר תבונה ונטול בינה". נעים לנו לחשוב שאנו שליטי הטבע – "האדם הוא המידה לכל הדברים", אמר פרוטגורס לפני 2,400 שנה – אבל לאמתו של דבר אנו מלכותיים פחות מכפי שנדמה לנו. הספר 'מיקרוקוסמוס: ארבעה מיליארד שנה של אבולוציה מאבותינו החיידקים' (שפורסם לראשונה ב-1986) מסיר את הגלימה המוזהבת המשמשת כדימוי העצמי של המין האנושי ומגלה כי מאחורי תמונת עצמנו המנופחת מסתתר השוטה של הפלנטה. בני האדם היו מזמן המקבילות הפלנטריות או הביוספריות של האנו הפרוידיאני ש"משחק בתפקיד המגוחך של המוקיון בקרקס שתנועותיו מיועדות לשכנע את הקהל כי כל השינויים על הבמה מתחוללים בפקודתו". אנו דומים למוקיון כזה, אבל בשונה ממנו, יהירותנו ביחס לחשיבותנו בטבע היא נטולת הומור. פרויד ממשיך, "אבל הוא מצליח לשכנע רק את הילדים שבקהל"<sup>1</sup>. אפשר שנכונותו של האדם ללכת שולל ביחס לאקולוגיה הפלנטרית גם היא תולדה של נעורינו – אי הבגרות הקולקטיבית שלנו כאחד המינים הרבים החולקים בכדור הארץ. אבל אפילו אם הננו הילד המחונו של הטבע, אין שחר ליוהרה המדעית הקוראת לנו "המין בדרגת ההתפתחות הגבוהה ביותר". מנקודת המבט הרוויזיוניסטית של 'מיקרוקוסמוס', ולעניות דעתן של המחברות, ה"מלך" האנושי ערום.

רבישיח ב'*Harper's Magazine*, תחת הכותרת "רק נוכחות האדם יכולה להציל את הטבע"<sup>2</sup> מדגים את השקפתו הגרנדיוזית הטיפוסית, הכמעט סוליפיסיסטית, של המין האנושי על עצמו. חוקר הכימיה האטמוספרית ג'יימס לבלוק מדבר על היחס בין בני האדם ובין הטבע כ"מלחמה" תלויה ועומדת; הפונדמנטליסט האקולוגי דייב פורמן מצהיר כי האדם אינו לא מערכת העצבים המרכזית ולא המוח של גאיה; אדרבה, האדם הוא סרטן המכרסם בה; ואילו הפרופסור למדעי הרוח מאוניברסיטת טקסס פרדריק טרנר מבטיח לנו בנימה טרנסצנדנטית כי המין האנושי הוא הגלגול החי של התשוקה בת מיליארד השנה של הטבע. אנו מבקשות לבחון את כל ההשקפות האלה. אחד האבורים המעניינים של הליצן בימי הביניים, נוסף על

1 מצוטט בספר W. Kaufman, 1980, *Discovering the Mind*, Vol. 3, *Freud versus Adler and Jung* (New York: McGraw-Hill), p. 467

2 Forum, *Harper's Magazine*, Vol. 280, No. 1679 (April 1990), 37-48

הבועה המתנוצצת וסכין העץ, היה הגלובוס. תארו לכם את הדמות הזאת – ליצן כרסתני חבוש כובע, מטלטל את תנוכי אוזניו כשהוא שם לצחוק את כדור הארץ – כתמצית חגיגית יותר, אך לא פחות נכונה, של מצב היחסים בין Homo sapiens ובין הטבע. סוקרטס מדבר, באמצעות אפלטון, על האיווולט שעושה מי שמעלה את דעותיו על הכתב: השקפותיו של אדם עשויות להשתנות, אבל המילים שנכתבו נשארות. סוקרטס לפחות לא כתב, ומה שידע, בראש ובראשונה, היה שאינו יודע. אנחנו, מכל מקום, כן כתבנו. הפכנו את הדימוי המנופח הרגיל של המין האנושי על פיו, וכתבנו על Homo sapiens כמין פרמוטציה מאוחרת באבולוציה הקדמונית והנמשכת של התושבים הקטנים ביותר של כדור הארץ, העתיקים ביותר והמגוונים ביותר מהבחינה הכימית, לאמור החיידקים. כתבנו כי המערכת הפיסיוולוגית של החיים על כדור הארץ, גאיה, תשרוד בנקל את אבדן המין האנושי, ואילו המין האנושי לא ישרוד בלי החיים האלה. המאמרים על 'מיקרוקוסמוס' היו חיוביים בדרך כלל, הגם שחלקם מתחו עליו ביקורת מכמה כיוונים, ועיקר הזעם הופנה אל הזלזול שהפגנו לגבי המין שלנו. עוררנו את חמתם של כמה מבקרים בטענה שאפילו מלחמה גרעינית לא תהיה אפוקליפסה גמורה, משום שהחיידקים החסינים המצויים ביסוד החיים בקנה מידה פלנטרי ישרדו ללא ספק. בשונה ממילים מדוברות הצפות ללא התחייבות לתוך הרוחות ההפכפכות של דעות והשקפות, המילים שלנו היו כתובות שחור על גבי לבן, אז כעתה, והציבו לפנינו בעקשנות דוגמה ודידקטיות במקום השקפה מאולתרת. למרבה השמחה, ההופעה של 'מיקרוקוסמוס' בכריכה רכה מספקת לנו הזדמנות, אם לא לשכתב ולתקן, לפחות להרהר בספר ובעניינים המרכזיים הנידונים בו.

בחמש השנים שחלפו מאז הופעתו של הספר בכריכה קשה התחוללו דברים רבים, במדע ובעולם. בפרק התשיעי, "המוח הסימביוטי", תיארו את הספקולציה שהזנבות של תאי הזרע של הגברים, המניעים את תאי הזרע אל הביציות של הנשים, התפתחו באמצעות סימביוזה. טענו כי הזנבות של תאי הזרע והאנדוליפודיה של צינור הביצים (בין שאר מבנים לא נראים) התפתחו מחיידקים ספירוכטים שנעשו לשוטוני תא קדמונים. ב-1989 פרסמו שלושה מדענים מאוניברסיטת רוקפלר דוח מופלא על די־אן־אי תאי חדש מיוחד. הממצא שלהם עדיין אינו מוגמר,<sup>3</sup> אבל הדי־אן־אי האמור (די־אן־אי צנטריוליקניטוסום), הנמצא על כרומוזום משלו ודחוס

3 J. L. Hall, Z. Ramanis and D. J. L. Luck, Basal body/centriolar DNA: Molecular genetic studies in *Chlamydomonas*, *Cell* 59 (1989), 121–132. די־אן־אי זה אמנם נראה בעזרת מיקרוסקופיה פלואורוסצנטית כבסיס הצנטריוליקניטוסום פעמים רבות מאז המאמר שלהם מ-1989, אבל John L. Hall and David J. L. Luck (1995 *Proceedings of the National Academy of Sciences* 88:8184–8188) הגיעו עכשיו למסקנה שהדי־אן־אי האמור נמצא בתוך קרום הגרעין ונודד במהלך המיטוזה, ארוז בתוך כרומוזום "המוטיליות" שלו, על הכישור המיטוטי. הכרומוזום המתגלה בטכניקות גנטיות (עד כה נמצא כי הדי־אן־אי שלו יוצר לפחות 19 גנים, המשפיעים על התנועה האנדוליפודיאלית) נקרא קבוצת קישור יחיד. לפירוש של המחקר החשוב הזה, ראה המאמר "Swimming Against the Current", in the New York Academy of Science's magazine *The Sciences*, pp. 20–25, January/February 1997 issue by L. Margulis and M. F. Dolan

בבסיסו של כל שוטון תא (אנדוליפורדיום) הוא התגלית המדעית החשובה ביותר לגבי התאוריה הסימביוטית של אבולוציית התא מאז הגילוי של הדי־אן־אי עצמו ב־1953. 'מיקרוקוסמוס', בניגוד להשקפה הרגילה של האבולוציה הנאודרוויניאנית כסכסוך חסר פשרות שרק החזקים שורדים ממנו, ממריץ במשנה תוקף לחקור חלופה יסודית: תמונה סימביוטית אינטראקטיבית של תולדות החיים עלי אדמות. וחרף האיזולת בטענה כי מאבקי כוח תחרותיים על מרחב מוגבל ועל משאבים מוגבלים לא מילאו תפקיד באבולוציה, הראינו כי כך בדיוק יש איזולת בהתעלמות מהחשיבות המכרעת של האסוציאציה הפיסית בין אורגניזמים ממינים שונים, הסימביוזות, כמקור חשוב של התחדשות אבולוציונית. ומאורעות והלכי רוח בחמש השנים האחרונות מדגישים את החשיבות של הסימביוזה ושל האסוציאציה הרבה מעבר למיקרו־עולם של החיידקים המתפתחים.

הנפילה של חומת ברלין וסיום המלחמה הקרה ממחישים כי איזולת היא שלא להחיל את לקחי האבולוציה והאקולוגיה על הממלכה האנושית והפוליטית. החיים אינם רק משחק רצחני שבו מבטיחות מרמה והריגה להחדיר את הגנים של הנבל לדור הבא, אלא גם יוזמה סימביוטית, משותפת, המביאה ניצחון לכל השותפים. אדרבה, למרות המעטת ערכו של המין האנושי, שחייבת להתרחש כאשר בוחנים את *Homo sapiens sapiens* מנקודת ראות של מיליארדי שנה של אבולוציה תאית עלי אדמות, יש בכוחנו להציל משהו מהתפארת האבולוציונית הישנה שלנו כאשר אנו רואים את המין שלנו לא כאדון אלא כשותף: יש לנו שותפות אילמת, גמורה, עם האורגניזמים הפוטוסינתטיים שמאכילים אותנו, עם יצרני הגז המספקים חמצן, ועם הפטריות והחיידקים ההטרורופיים שמסלקים ומעבדים את הפסולת שלנו. שום רצון פוליטי ושום קדמה טכנולוגית אינם יכולים לפרק את השותפות הזאת.

סימן נוסף לתפארת מהסוג שאנו ראוים לה הוא מעורבותנו בפריקט שיתכן מאוד כי יאריך ימים יותר מהמין שלנו כפי שאנו מכירים אותו: ההכנסה של ביוספרות' לפלנטות אחרות ולחלל החיצוני. הפעילויות המרהיבות האלה דומות יותר מכול להתרבות של מערכת החיים הפלנטרית – הדבק הפיסילוגי האמתי של כל החיים עלי אדמות. ההתפשטות וההתרבות של הביוספרה, הייצור של אקוסיסטמות סגורות במובן החומרי, פתוחות במובן האנרגטי על הירח, על מאדים, ומעבר להם, תלויים במין האנושי במובנו הרחב ביותר כתופעה פלנטרית טכנולוגית. דייויד אברם, פילוסוף באוניברסיטה של מדינת ניו יורק, דיבר על המין האנושי כ"מדגרה" לטכנולוגיה. גישה אנוכית והערכה מוגזמת של חשיבותנו העצמית עלולות להמריץ אותנו להרחיב את הטכנולוגיה ואת האוכלוסייה האנושית על חשבונם של אורגניזמים אחרים. אבל עכשיו, לאחר "שלב הדגירה", מתגלה המשמעות הגאיאנית של הטכנולוגיה: כתופעה מתוכת

---

*Slanted Truths: Essays on Gaia, Symbiosis and Evolution* by Lynn Margulis and Dorion Sagan (New York: Copernicus Books, Springer Verlag, 1997)

D. Sagan, *Biospheres: Metamorphosis of Planet Earth* (New York: McGraw-Hill, 1990; 4 paperback edition New York: Bantam Books)

על ידי האדם אבל לא כתופעה אנושית, שיישומיה עומדים להרחיב את ההשפעה של כל החיים עלי אדמות, לא רק של המין האנושי.

ב'מיקרוקוסמוס' תיארונו את תולדות האבולוציה מנקודת המבט החדשה של החיידקים. החיידקים חדי-תאיים ורב-תאיים, קטנים בגודל וענקים בהשפעה הסביבתית, היו התושבים היחידים של כדור הארץ מראשית החיים לפני כמעט ארבעה מיליארד שנה ועד לאבולוציה של תאים בעלי גרעינים כעבור שני מיליארד שנה. החיידקים הראשונים היו אנאירוביים: החמצן שמקצתם יצרו כפסולת הרעיל אותם. הם נשמו בתוך האטמוספירה שהכילה תרכובות אנרגטיות כמו מימן גופרי ומתן. מנקודת המבט המיקרוקוסמית, חיי צמחים וחיי חיות, כולל האבולוציה של המין האנושי, הם תופעות חדשות וחולפות בתוך עולם מיקרוביאלי עתיק בהרבה ויותר יסודי. מיקרואורגניזמים אוכלים, נעים, מיקרואורגניזמים עוברים מוטציות ושחלופים מיניים, מיקרואורגניזמים מטמיעים, מתרבים, גדלים-ביתר, טורפים, ומיקרו-אורגניזמים סימביוטיים מכלי-אנרגיה קדמו לכל החיות ולכל הצמחים לפחות בשני מיליארד שנה.

מהו המין האנושי? מהו כדור הארץ? היחס בין השניים, אם אכן הם שניים? 'מיקרוקוסמוס' מטפל בשתי השאלות הגדולות האלה מנקודת הראות המסוימת של פלנטה שהאבולוציה שלה הייתה בעיקרה תופעה בקטריאלית. אנו סבורות כי נקודת המבט הזאת שזולו בה בעבר היא קיוו מועיל מאוד, אפילו חיוני, הדרוש לאיזון ההשקפה האנתרופוצנטרית המסורתית שהחניפה למין האנושי בלי מחשבה וללא הצדקה. בסופו של דבר אולי קיוונו יתר על המידה. בשיטה הפילוסופית הנקראת דקונסטרוקציה, ניגודים מדרגיים חזקים נהרסים בעזרת תהליך דואלי שזק דרידה מתאר במדויק או בקריקטורה כ"מהפך והעתקה". התהליך הזה פועל ב'מיקרוקוסמוס': המדרג המסורתי – בני האדם שהתפתחו לאחרונה למעלה, אורגניזמים "ירודים", ותיקים יותר מבחינה אבולוציונית, למטה – נהפך על פיו. 'מיקרוקוסמוס' מסלק את האדם מהפסגה ומראה את החשיבות האקולוגית והאבולוציונית העצומה של היצורים הקטנים, החיידקים. אבל מנקודת הראות של השיטה הדקונסטרוקטיבית, 'מיקרוקוסמוס', שהופך את המדרג על פיו, אינו ממשיך אל השלב הבא של ההעתקה: האדם מסולק מהפסגה של הטבע ומוצב בתחתית. הדבר שאנו פוסלות בסופו של דבר הוא לא המקום שבני אדם ייחסו לעצמם בניגוד אדם מול טבע אלא העיוותים הניגודיים שכופה המדרג עצמו. (נושא יותר מצומצם לדקונסטרוקציה, המעניין כנראה את דרידה עצמו, הוא המדרג אנושיות-חיייתית). אילו באנו לשכתב את 'מיקרוקוסמוס' בשלמותו, היינו מנסות לתת לבוש חדש לתמימות של ההיפוך הזה, שבדומה להפרכתו של המלך לשוטה מערער את המוסכמות שלנו, אבל רק באופן ראשוני בלי לערער אותן באמת. כמעט כל קודמינו יצאו מן ההנחה שבני האדם יש להם איזו חשיבות כבירה, חומרית או מטפיסית. אנו מתארות את המין האנושי כתופעה אחת בין תופעות מיקרוביאליות אחרות, ומשתמשות ב-Homo sapiens ככינוי שנועד להזכיר לעצמנו להדוף את הפנטסיה החוזרת ונשנית כי אנשים שולטים (או יכולים לשלוט) בגאיה. התמונה

המיקרוביאלית היא בסופו של דבר זמנית; אין דיכוטומיה מוחלטת בין בני אדם וחיידקים. *Homo insapiens*, השם היותר צנוע שלנו, נראה יותר מתאים, יותר "סוקרטי" איכשהו. לפחות אנו יודעים, אומר השם הזה, שאיננו יודעים.

הדיון ב-*Harper's* הציג מגוון תיאורים של היחס בין "אדם" ו"טבע" ולמרות השם, "רק נוכחות האדם יכולה להציל את הטבע", העורכים הקפידו להודיע לנו כי אחת התרומות החשובות ביותר לדיון במעמדו של המין האנושי היא זו ש"הטבע נגמר". ב"מיקרוקוסמוס" אנו מתייצבות נגד הפרדה של בני האדם משאר ה"טבע". אנשים אינם נתונים בסכסוך יסודי עם האקוסיסטמה הגלובלית ואינם יסוד חיוני שלה. אפילו אם נגשים את ההתפשטות החוץ-ארצית של החיים, זה לא יקרה תודות למין האנושי כמין אנושי. זה יקרה תודות למין האנושי כמערכת שהתפתחה באופן סימביוטי, בעלת קשרים פנימיים גלובליים, קדמה טכנולוגית ובסיס מיקרוביאלית. גם רקונים שיהיה להם מספיק זמן יוכלו לייצר ולשלה את האקוסיסטמות שלהם כביוספרות חלל, לבסס את פרצופיהם השובבנים על פלנטות אחרות בתור חיל החלוץ לתטולה המזורה ודמוית הזרעים של גאיה. אולי לא רקונים שחורים-לבנים, אלא פרגמנטים שקופים של מערכת העצבים של המין האנושי, שהתפתחו עד אין הכר כרכיבים האורגניים של מכוונת רבייה, הם שישדרו מעבר לפיצוץ ולמוות הבלתי נמנעים של השמש. לתיאור המיקרוקוסמי של *Homo sapiens sapiens* כמעין רפש מהולל יש יתרון בכך שהוא מזכיר לנו את אבותינו החיידקים ואת קשרינו לביוספירה שעודנה בקטריאלית בעיקרה.

דעה קדומה מטפיסית ישנה, אקסיומה מוסתרת בדוחק של הפילוסופיה המערבית, אומרת כי בני האדם שונים ביסודם מכל האורגניזמים האחרים. דקארט טען כי לחיות לא אנושיות אין נפש. במשך דורות רבים היו המדענים פוסקים כי המחשבה, הלשון, השימוש בכלים, האבולוציה של התרבות, הכתב, הטכנולוגיה – משהו, הכול – מייחדים את האנשים ללא עוררין מצורות החיים ה"רודות". אפילו ב-1996 כתב סופר הטבע ויליאם מקיבן, "במוחות המודרניים שלנו הטבע והחברה האנושית הם דברים נפרדים... הטבע הנפרד הזה... הוא ממשי לגמרי. טוב ויפה לטעון, כדרכם של משוררים וביולוגים מסוימים, כי עלינו ללמוד להשתלב בטבע, להכיר בהיותנו רק מין אחד בקרב מינים רבים... אבל איש מאתנו אינו מאמין בכך, בלבנו פנימה".<sup>5</sup> אפשר שהתהילה העצמית האנתרופוצנטרית הזאת דרבנה את אבותינו, נתנה להם את הכוח "לפרות ולרבות" – לחוש אל סף התהום שהגענו אליו היום – על סף שינוי מקוטע באקלים הגלובלי, מלווה בהכחדות גלובליות ובתמורה ב"גאופיסילוגיה" של גאיה.

מקובל לחשוב כי דרווין, כאשר הציג ראיות לתורת האבולוציה באמצעות הבררה הטבעית, הפיל באופן דרמטי את המין האנושי מהכנ שעליו ניצב קודם, וערער את הטעון בדבר קיומו של אלוהים. הוא חשף את סוד הטאבו של מוצאנו מקופי האדם והניח אותנו בחברה הלא

5 L. Margulis and E. Dobb, "Untimely Requiem", review of *The End of Nature* by W. McKibben (New York: Random House, 1989), *The Sciences* (January/February 1990), 44-49

נעימה של החיות האחרות. רבים השוו את המהפכה של דרווין למהפכה של קופרניקוס, שהוכיח כי כדור הארץ אינו מרכז היקום אלא רק גרגר אבק בפינת רשת הקורים של גלקסיית שביל החלב. אבל מנקודת מבט פילוסופית, מסתבר כי המהפכה הדרווינית לא הרסה את מעמדנו המיוחד כצורת חיים ייחודית, כמיין נבחר שנוצר בצלמו של אלוהים ועם קשרים לקדושים ולמלאכים. אדרבה, מה שקרה בעקבות המהפכה של דרווין הוא שאנו, Homo sapiens – אדם נבון, נבון – החלפנו את אלוהים. שוב איננו שותפים ווטרים, סגני המפקד. הדרוויניזם הרס את האל האנתרופומורפי של הדת המסורתית, אבל במקום להכניס לתודעתנו את מקומנו בין הפרוטוקטיסטים וכל צורות החיים האחיות האחרות (הצמחים, הפטריות, החיידקים והחיות האחרות), הוא החדיר בנו את הרצון לתפוס את מקומו הקודם של אלוהים. נטלנו לעצמנו מעמד של דמויי אלוהים ששולטים בחיים עלי אדמות, שממציאים טכנולוגיות שאפתניות בקנה מידה פלנטרי, ובקצרה מנהלים את העולם.

להפתעתם של אלה שאינם בקיאים באורחות משוב, מסתבר כי דרכו של האדם להשתבחות עצמית על חשבונם של המינים האחרים חדלה להביא לנו תועלת. ההתמקדות העצמית הקיצונית ואכלוס היתר של הפלנטה חוללו טבח אקולוגי סיטוני, המאיים יותר מכול על עצמנו. ההשקפה הדתית המסורתית – הממשיכה לחיות, כפי שראינו, אפילו בתוך הדרוויניזם החילוני – אומרת כי בני האדם הם נפרדים, יחודיים, עדיפים. זו הגישה של השחצנות האקולוגית. ההשקפה של 'מיקרוקוסמוס' שונה במובן זה שהיא אקולוגית עומק, זן מיוחד של ההשקפה ה"רוקה". אם נחזור אל מקורות המילה human שלואיס תומס מזכיר בהקדמה, הנה 'מיקרוקוסמוס' מנסה לפתח גישה של ענווה אקולוגית. 'מיקרוקוסמוס' מספר מחדש את סיפור החיים מנקודת התצפית של המיקרובים, ותוך כדי כך הוא הופך את המדרג הרגיל על פיו: אדרבה, כאשר הצגנו את הטענה שמערכת החיים הפלנטרית ביסודה אינה זקוקה לאדם, שהמין האנושי הוא תופעת לוואי פואנטיליסטית זמנית של המיקרואורגניזמים החיוניים והמוכלאים מקדמת דנא, אולי חטאנו בהגזמה. הבעיה עם ההיפוך המציג את המיקרובים למעלה ואת האנשים למטה היא זו שהדיכוטומיזציה – חשוב לעומת לא חשוב, חיוני לעומת לא חיוני – נשאת. וודי אלן אמר פעם שהוא תמיד מציב את אשתו מתחת לכן. העימות עם השחצנות האקולוגית שלנו אינו פותר את בעיית הכן: ההנחה שאורגניזם אחד עדיף, עילאי או "מפותח יותר" ממשנהו עודנה עומדת בעינה. הדקונסטרוקציה של הגישה ההרסנית של השחצנות האקולוגית מחייבת אותנו להוריד את עצמנו מהכן. אבל ברגע שנכיר בתגובת הגומלין האנרגטית והכימית שלנו עם מינים אחרים, ובקשרים בינינו שאינם בני־היתר, נצטרך לסלק לגמרי את הכן.

בד בבד עם הניסיון להשלים את המהפכה "נוסח קופרניקוס" של דרווין, 'מיקרוקוסמוס' מטעים את ההיסטוריה הסימביוטית של החיים. מאז צאתו לאור של הספר בכריכה קשה, הצטברו עוד ראיות מרשימות המלמדות כי הסימביוזה, החיים ביחד ולפעמים ההתמזגות של מיני אורגניזמים שונים, מילאו תפקיד מכריע באבולוציה של צורות החיים עלי אדמות. הדוגמאות



החשובות ביותר של סימביוזה – הכלורופלסטים (של כל הצמחים) והמיטוכונדריה (של כל הצמחים וכל החיות) שהיו לפנים חיידקים עצמאיים – מתוארות בהרחבה ב'מיקרוקוסמוס', אבל מסתבר שהסימביוזה משמשת היום כהסבר מעולה של "קפיצות" אבולוציוניות בעלות חשיבות אקולוגית אדירה. ייתכן מאוד כי דגים תתימיים, המאירים את המים האפלים ביותר התפתחו להמוני טיפוסים, באמצעות כתם עין, או איברי אור בוושט או בפי הטבעת המחזיקים חיידקים סימביוטיים זוהרים.<sup>6</sup>

דוגמה נוספת של מחקר סימביוזה חדש טוענת כי השינוי של אצות ירוקות לצמחי יבשה נובע מהתמזגות של הגנומים (חומר גנטי) של פטריות עם אצה ירוקית ימית קדמונית. החזויות הן תוצרים ידועים של סימביוזה. כל החזויות הן סימביוזה של פטריות עם ציאנובקטריות או סימביוזות של פטריות עם אצות ירוקות. שני טיפוסים החיים – יצור פוטוסינתטי וצרכן – נשזרים זה בזה ויוצרים אורגניזם ירוק נמוך, דמוי צמח, בעל אריכות חיים מרשימה – החזויות יכולות המדהימה של החזויות להתרבות על פני סלע חשופים תלויה בסימביוזה. השותף הפטרייתי והשותף הפוטוסינתטי משתלבים יחדיו בישות של החזויות. הנפתול החדש ביותר הוא זה המלמד כי ייתכן מאוד צמחים בעלי צינורות הובלה – כולל עשבים ושיחים וכל העצים – היו בראשיתם "חזויות חשופות-קרבניים". ייתכן שהאבולוציה שלהם כללה שותפות חדשה בין מינים שונים מאוד מממלכות שונות של החיים. אם התאוריה של פרופסור פיטר אסטס<sup>7</sup> נכונה, היוזמה המשותפת של שני טיפוסים אורגניזמים, פטריות ואצות ירוקות פרוטוקטיסטיות, אחראית לא רק להופעתה של איזו ישות מינורית בירכתי האבולוציה אלא לכל האבולוציה הכבירה של הממלכה Plantae, של היערות עצמם.

האשליה בדבר הניתוק של בני האדם מהטבע היא בערות מסוכנת. רצף לא-ינקטע של חיים קיים היום כפי שהתקיים מראשית החיים – במרוצת הזמן הדרוויני (ארבעה מיליארד שנה) והמרחב הוורנדסקי (טבעת של 25 ק"מ הנמשכת 10 ק"מ כלפי מטה אל המצולות ו-15 ק"מ אל פסגת הטרופוספרה).<sup>8</sup> כולנו משובצים בתוך המערכת החיה הזאת: להימלט ממנה

6 M. McFall-Ngai, "Luminous Bacterial Symbiosis in Fish Evolution", Chapter 25 in L. Margulis and R. Fester, eds., *Evolution and Speciation, Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991), pp. 380–409

7 P. Atsatt, "Fungi and the Origin of Land Plants", Chapter 21 in L. Margulis and R. Fester, eds., *Evolution and Speciation: Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991), pp. 301–316

8 יותר מ-70 שנה לאחר הפרסום המקורי ברוסית (תרגום צרפתי, *La Biosphere*, הופיע ב-1929), אנו מצפים להופעת התרגום האנגלי של יצירת המופת של ולדימיר איונוביץ' ורנדצקי (1863–1945), 'הביוספרה'. הספר שהופיע לראשונה בהוצאת Nauchnoe Khimikotekhnicheskoe Izdatelstvo מלנינגרד 1926, התפרסם מחדש בהוצאת Nauka ממוסקבה, ב-1967; הנוסח השלם עדיין לא הופיע באנגלית. הספר תורגם בידי דיוויד לנגמור ול' מרגוליס כתבה את המבוא. מדענים משתים עשרה ארצות אימצו אותו. הפרופסורים מרק א' מקמנמן וזאק גרינוולד מכינים מהדורה מוערת של הספר שתכלול אסמכתאות חדשות.

משמע למות. אמילי דיקינסון שהזכירה "איזה מסתורין מחלחל לבאר" תיארה ברוב קסם אותנו ואת הטבע. כדאי לצטט אותה לפני הירידה אל המיקרוקוסמוס.

אבל הטבע עדיין זר;  
 הנשבעים בשמו  
 לא נכנסו מעולם לביתו הקסום  
 ולא הבינו באמת את רוחו  
 ינוחמו כל האחרים בצערם של היודעים,  
 ככל שהם קרבים יותר אל הטבע,  
 כך הם מבינים אותו פחות.<sup>9</sup>

דוריון סגן ולין מרגוליס  
 ינואר 1991/1997

9 השורה הראשונה של פואמה 1440 (1877 בערך) מתוך T. H. Johnson, ed., *The Complete Poems of Emily Dickinson* (Boston/Toronto: Little, Brown & Co. 1890, 1960), pp. 599–600. אחרון של פואמה 1400.