

ראובן ג'. קנדל / תורה ומדע: אבולוציה ושאר ירקות

ראובן ג'. קנדל

תורה ומדע

אבולוציה ושאר ירקות

ראובן ג'. קנדל
תורה ומדע: אבולוציה ושאר ירקות

מוקדש לאמי היקרה,
שטיפחה בצאצאיה את אהבת הידע
והטמיעה בנו את האמון בעצמנו

© תשע"ג - 2013 כל הזכויות שמורות למחבר

toraumada@yahoo.com
www.toraumada.org.il
www.facebook.com/toraumada

תוכן

7	פתיחה
12	פרק 1 כמו דג במים
15	פרק 2 אבולוציה מעשה ידי אדם
21	פרק 3 דִּי־אָן־אֵי ותרשה
40	פרק 4 המוטציה ברמת האוכלוסיה
54	פרק 5 מיקרו־אבולוציה ומאקרו־אבולוציה
72	פרק 6 גיל העולם
91	פרק 7 הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה
153	פרק 8 סוף דבר (כמעט)
159	פרק 9 על ההתנגדות לתורת האבולוציה
200	פרק 10 האבולוציה של האדם
224	פרק 11 שאלות ותשובות
232	ציונים ביבליוגרפיים
246	מילון מונחים
261	אינדקס
262	רשימת איורים

פתח דבר

לְלַמֵּד בְּנֵי יִהוּדָה קִשְׁת הַנָּה כְּתוּבָה עַל סֵפֶר הַיָּשָׁר

(שמואל ב, א יח)

צבוע זכר לאחר שבע שנים נעשה [נקיבה, נקיבה לאחר שבע שנים נעשה עטלף],¹ עטלף לאחר שבע שנים נעשה ערפד, ערפד לאחר שבע שנים נעשה קימוש, קימוש לאחר שבע שנים נעשה חוח, חוח לאחר שבע שנים נעשה שד. שדרו של אדם לאחר שבע שנים נעשה נחש.

(ברייטא בבבלי, בבא קמא טז א)

המעבר מתווה ובוהו, מן ההיולי, להתגבשות החומרים שבטבע, ואחר כך, היווצרות כל היצורים הבאים אחריהם, הכל היה בתהליכים ממושכים, שעשויים להימשך אלפי ומיליוני שנים.

כל שינוי בטבע לוקח הרבה מאד זמן, בצעדים קטנטנים. **כך היא פעולתו של הקב"ה.**

בריאת האדם בצלם אֱלֹהִים זהו סופו של תהליך ארוך, שראשיתו ביצור לא־שכלי, השייך לקטיגוריה של בעלי החיים, ההולך ומתקדם עד שניתן לו השכל האנושי, ובמקביל, [ניתנת לו] גם הצורה הפיסיולוגית של האדם המוכרת לנו.

(הרב גדליה נדל, מבכירי תלמידיו של החזון אי"ש, **בתורתו של ר' גדליה**, עמ' צב, צה, ק)

תורת ההתפתחות ההולכת וכובשת את העולם כעת, היא מותאמת לרזי עולם של הקבלה יותר מכל התורות הפילוסופיות האחרות... אבל ההמון לא הסכין להבין את ההתפתחות ברעיון שלם ומקיף, ולא יכול לקשור על פיו את עולמו הרוחני.

לא הכבדות שיש בהתאמה של פסוקי תורה או מאמרים מסורתיים אחרים לרעיון ההתפתחות מכבידה היא [על] העמדת המחשבה ההמונית על מכונה, מלאכה זו נוחה היא מאד. הכל יודעים, שהמשל, החידה והרמז שולטים בענינים הללו שהם כבשונו של עולם בכל מקום...

על כן הזמן מכריח להפצת הדעה, הדעה היותר רוממה, יותר רחבה ואידיאלית. אי אפשר לצורה הגסה של האמונה, אחרי אשר ירדה ירידה אחר ירידה ונתלבשה בלבושי שקים עבים מאד, להחזיק מעמד.²

(הראי"ה קוק, **אורות הקודש ב'**, עמ' תקלז, תקמב)

בא וראה כשהשמש נוטה לבא למערב והוא רוחץ במי אוקיאנוס, כאדם שהוא רוחץ את נרו בתוך המים, כך מימי אוקיאנוס מכבין שלהבותיו של שמש ואין נוגה לו. ואין שלהבת של שמש מאיר כל הלילה בעולם עד שיבא למזרח. וכשיבא למזרח - רוחץ בנהר של אש, כאדם שהוא מדליק את נרו בתוך האש, כך השמש מדליק את נרותיו ולובש שלהבותיו ועולה להאיר על הארץ.

(פרקי דרבי אליעזר, פרק נ)

2 דבריו של הרב קוק נכתבו בין השנים תרס"ד-תרע"ד, כארבעים-חמישים שנה אחרי פרסום ספרו של צ'רלס דארווין "מוצא המינים". תורפם של דברים: דווקא תורת האבולוציה ("ההתפתחות") מתאימה במיוחד לחכמת הקבלה, תורת הסוד היהודית. הסיבה שהעם אינו מקבל את תורת האבולוציה אינה נובעת מכך שיש סתירה בין הפסוקים ומאמרי חז"ל לבין תורת האבולוציה, שכן הכול יודעים שאין להבין את הפסוקים ואת מאמרי חז"ל העוסקים בנושאי הבריאה כפשוטם, באופן מילולי, אלא כמשל וכרמז וכסתרי תורה. אלא שעל מנת להפנים ולהטמיע את תורת האבולוציה צריכים "הזרחת אורה מרובה" (שם, עמ' תקמב). אחר דבריו אלה, שתורת האבולוציה מתאימה והולמת לתורתנו וכי ההתנגדות לה אינה אלא טעות, מוסיף הרב וכותב **שחובה** עלינו בזמן הזה להפיץ את הדעה הזו "היותר רוממה, יותר רחבה ואידיאלית", משום שהאמונה "הגסה" לא תחזיק מעמד. דבריו אלה נכונים שבעתיים בזמננו, עת בה האבולוציה הפכה ליסוד מוצק העומד בבסיסם של תחומי מדע מגוונים וטכנולוגיות מתקדמות.

המקורות שהבאתי מדברים בעד עצמם.

הדעה הרווחת בעם היא שתורת האבולוציה סותרת את האמונה. המסקנה הנובעת מכך אצל אמוני ישראל היא שתורת האבולוציה אינה אמת. מסקנה זו מובילה בין השאר לתחושת החובה ללחום מלחמת קודש נגד תורת האבולוציה, שהרי היא משרתת את הכפירה ומערערת את יסודות האמונה. לוחמי הקודש יוצאים למערכה כשהם חמושים בהעדד הבנה בסיסית, מצליחים לשכנע את עצמם ואחדים מזולתם אך באותו הזמן הם מפילים חללים רבים מבני עמנו: כל מי שמתמצא בחומר ויודע מה נכון ומה לא. הללו מסיקים את המסקנה ההפוכה: אם האבולוציה היא אמת, כי אזי האמונה אינה אמת, חלילה.

למרבה השמחה, דעה זו רחוקה מאד מן האמת. מדוע למרבה השמחה? משום שכפי שנראה תורת האבולוציה היא אמת, כמעט אמת המתבקשת מאליה אחרי שמתוודעים לעקרונותיה. והיות וכן, אין לנו אלא לשמוח על כך שאכן אין כל סתירה בינה לבין האמונה.

המקורות שהבאתי מהראי"ה קוק ומהרב גדליה נדל מלמדים אותנו כי לפי שיטתם של שני אדירי תורה אלה אין כל פסול בטענה כי הקב"ה בחר לברוא את עולמו בדרך "טבעית", בדרך הדרגתית של התפתחות. אין פסול בטענה שהקב"ה בחר לברוא גם את האדם עצמו באותו האופן. כמו כן אין פסול בטענה שהעולם קיים מיליוני שנה. על החתום? שני עדים נאמנים. בהמשך הספר ארחיב יותר בנושא זה. האויב העיקרי להפנמה של תובנה זו הוא ההרגל. הבה נזכור שלא חלף כל כך הרבה זמן מאז האמינו כל בני האדם כי הם ניצבים על פני קרקע יציבה ושטוחה אשר השמש סובבת אותה. לא כל כך הרבה זמן חלף מאז האמינו שהשמש טובלת בים לעת ערב וכבה. מן הסתם היה קשה במיוחד להשתחרר מאמונות אלה שנתמכו בחוש הבריא ובהיגיון. קשה להשתחרר מהראיה הפשטנית בה הורגלנו לראות את המציאות אך זה לא בלתי אפשרי.

רבינו בְּחַיִּי בן יוסף אבן פקודה, בספרו הידוע "חובות הלבבות" (שער הבחינה, פרק ב) מורה כי חובה עלינו להכיר ככל יכולתנו את מי שאמר והיה העולם, וכי עלינו להתעמק בבריאה לצורך כך. בלשונו: "הבחינה בברואים והבאת ראיה מהם לחכמת הבורא יתברך, אנו חייבין בה מן המושכל, מן הכתוב ומן הקבלה", ובהמשך הוא כותב: "וכשהאדם חושב ומתבונן בסודי החכמה ובוחן סימניה, יהיה יתרונו על הבהמה כפי הבנתו. ואם יתעלם מהם, לא יהיה דומה לבהמה, אך יותר גרוע ממנה".

בעל חובות הלבבות כתב את דבריו לפני כאלף שנה, בעת שהידע אודות העולם כמעט לא היה קיים. בימינו, מי שנחשף לשמץ ממה שידוע כיום על הבריאה אינו יכול שלא להתפעם, אם לב לו. ומידת ההתפעמות והכרת גדולתו ורוממותו של הבורא - כמידת ההבנה וההתבוננות בבריאה. כמעט ניתן לומר שבימינו, מי שאינו פוקח עיניו ונחשף לידע, אינו חס ואינו חש לכבוד בוראו חלילה.

בספר זה אבקש להראות מדוע אין סתירה בין האבולוציה לבין האמונה, ומדוע האבולוציה נכונה בסופו של דבר, וכי רצוי מאד להסיר מעליה את קרדומי המלחמה. נוסף לכך, אבקש להקנות ידע בסיסי בכמה מן הנושאים המרתקים הקשורים בקשר זה או אחר לאבולוציה, כשמקום של כבוד שמור לנושא גיל העולם, נושא שאף בו נטושה מלחמת שוא המסבה את עיקר הנזק לכוחותינו.

ברצוני לציין כי בין פרקי הספר, יש פרקים קלים ומרתקים (בעיניי), ויש פרקים הדורשים ריכוז והעמוסים בפרטים. חוששני שחלק מהם מרוכזים דווקא בחלקו הראשון של הספר, בפרט בהסבר על תהליכי התורשה וחלוקת התא. אני מציע לקורא לגוון את קריאתו, ואם הוא "נתקע" בפרק בעייתי, להשאיר את קריאתו לזמן שבו הוא רענן יותר ולדלג לפרק אחר.

וטרם החילי במעשה הספר עצמו, ברצוני להביא ציטוט נוסף מדברי רבותינו, והפעם מהנשר הגדול, הרמב"ם:

מה רב עוורון הבורות! וכמה הוא מזיק!

אילו אמרת לאיש, מאלה הטוענים שהם חכמי ישראל, שהאלוה שולח מלאך הנכנס אל בטן האשה ומעצב שם את העובר, היה הדבר יפה בעיניו והיה מקבלו וחושב שזאת גדולה ויכולת מצד האלוה וחכמה מלפניו יתעלה, אע"פ שהוא מאמין שמלאך הוא גוף מאש שורפת אשר מידתו כמידת שליש העולם כולו (ב"ר סח יב), ויחשוב כל זאת אפשרי לגבי האל.

אבל כאשר ייאמר לו שהאל שם בזרע כוח מעצב הצר את האיברים האלה ומתווה אותם **והוא המלאך**, או שהצורות כולן מעשה השכל הפועל **והוא המלאך** והוא שרו של עולם אשר מזכירים אותו החכמים תמיד, יירתע מכך כי אין הוא מבין את משמעותה של הגדולה והיכולת

האמיתית הזאת, דהיינו הבאתם לידי מציאות של הכוחות הפועלים בדבר אשר אינם מושגים בחוש.

(מורה נבוכים, חלק ב פרק ו)

הרמב"ם קובע קביעה חשובה במיוחד. חז"ל אומרים שהקב"ה צר צורה בתוך צורה, ומטיל בה רוח ונשמה קרביים ובני מעיים (מגילה יד ע"א). התפיסה הפשוטה מניחה שהקב"ה עושה זאת בעצמו או על ידי מלאך. אומר הרמב"ם: כוחות הטבע הם בעצם אלה שמעצבים את העובר. אלא שכוחות טבע אלה, קבע אותם הבורא. עוד קובע הרמב"ם כי התפיסה הזו שלפיה הבורא קבע חוקי טבע וכוחות טבע אשר מסוגלים לחולל את הדברים המופלאים שאנו עדים להם, מרוממת את הבורא הרבה יותר מאשר התפיסה הפשטנית לפיה הבורא נזקק להתערב "ידנית" בכל אירוע ואירוע.

בעת העתיקה ייחסו כמעט כל תופעה למעשיו של הבורא. הם לא הכירו כמעט את האופן בו פועל העולם. כל "חוק טבע" שמתגלה דוחק כביכול את השכינה מהארץ. אם אני שומט את העט מידי, הוא יפול בגלל כוח הכבידה. גם גרמי השמים מצייתים לכוח הכבידה ושומרים על מסלולם בהתאם למתימטיקה המדויקת המבטאת את היחסים ביניהם. כאשר אני לוחץ על מתג החשמל נוצר מעגל חשמלי ומופץ אור. גם הברקים מצייתים לכללים הקובעים את התנהגותם של המטענים החשמליים. אין זה נכון לומר שבכל פעם שאני לוחץ על המתג, הקב"ה שולח מלאך שיפעיל את הנורה, או שהוא מתערב בעצמו בדבר. הקב"ה יצר "טבע", ואין זה מוריד מגדולתו, אלא נהפוך הוא, מעצים אותה לאין שיעור. כך גם בהתפתחות העובר, בה השתמש הרמב"ם כדוגמא. תהליכי האבולוציה אינם שונים מכל תהליך ביולוגי אחר, ובפרט הם דומים לתהליך התפתחותו של העובר מתא בודד, חומרי, חסר חישה וחסר נשמה - לאדם בוגר אשר נשמה באפו. הקביעה כי קיים תהליך כזה אינה שונה מהותית מהקביעה כי תהליך התפתחות העובר קיים. הטענה שתהליך התפתחות המינים אינה סותרת את האמונה אינה שונה מהטענה שתהליך התפתחות העובר אינו סותר אותה.

1 כמו דג במים

חדשות מרעישות: נתגלה דג בעל אצבעות שאינו יכול לנשום במים!

סליחה?

לא, אין כאן טעות ואף לא מתיחה. לפני שנים רבות נתגלה דג שאינו יכול לנשום במים. איך הוא מסתדר? ב"ה בסדר. הוא צף מפעם לפעם אל מעל לפני המים ונושם. אחרת, הוא פשוט יטבע...

לדג הזה יש כמובן סנפירים, אבל בניגוד לדגים אחרים, בתוך הסנפיר שלו נמצאות חמש האצבעות המוכרות לנו מכף ידינו. ולא רק האצבעות, אלא גם עצמות שורש כף היד, ועצמות היד: הזרוע, החישור והגומד המוכרים.

מה לגבי רגליים אחוריות? הבה לא נהיה מגוחכים, בסופו של דבר מדובר בדג. אבל בכל זאת, לדג אכן יש עצמות רגליים אחוריות בחלל גופו, אלא שהללו מנותקות מהשדרה ולא מתפקדות. הן פשוט "תקועות" בתוך גוף הדג באפס מעשה. אמנם, לעתים נדירות מוצאים דגים שכאלה שרגליהם האחוריות "מחוברות" כמו שצריך ומסוגלות לנוע. רגליים אלה אף בולטות מהגוף. כמה מוזר.

אך בזאת לא מסתיים הסיפור: נקבת הדג הזה לא מטילה ביצים אלא ממליטה וולדות ומניקה אותם בחלב. העוברים של דג זה מגדלים כסות שיער בעודם ברחם אמם אלא שזו נעלמת (נספגת בגוף) לפני הלידה.

ולקינוח, דג זה מצויד במאות קולטנים המיועדים לקלוט ריח הנישא - באויר! (ליתר הדגים יש קולטני ריח המותאמים לקליטת ריח הנישא במים). הרוב המכריע של קולטנים אלה פגום ואינו מתפקד. הרי אין בהם שימוש לבעל חיים ימי.

אין המדובר כמובן בדג בודד. הדג הזה נפוץ ברחבי האוקיינוסים והימים, ועצמות אבותיו פזורות בשפע במדבריות העולם, כלומר, במדבריות שהיו בעבר מקוי מים.

אני מניח שהקורא מבין כבר במה המדובר. כוונתי כמובן ללויתן (ובאופן כללי, לעשרות המינים השונים של הלויתנים והדולפינים).³

אמנם העובדה שאנו מכירים את בעל החיים הזה אינה משנה בעצם דבר מהפלא שבתופעה זו.

הלויתן נמנה על קבוצת בעלי החיים היונקים כמו הסוס והאריה - דבר זה ניכר הן מהמאפיינים שציינתי (כגון בלוטות החלב וכסות השיער) והן ממבנה עצמותיו. אם נתבונן במאפייניו בעין בלתי משוחדת, נראה מול עינינו בעל חיים שנועד במקורו לחיות על פני היבשה, כיתר חבריו היונקים. כיום, הלויתן אינו מסוגל לחיות על פני היבשה, הן משום שעורו אינו מגן עליו בפני התייבשות, והן משום שריאותיו יקרוסו תחת משקלו העצום, אולם לא ניתן להבין את מאפייניו ללא ההנחה שעברו נעוץ ביבשה. החוקרים יטענו שאבות אבותיו של הלויתן היו בעלי חיים שחיו בעבר הרחוק על פני היבשה, ועברו אט אט לחיים בים. בחלוף הדורות "איבדו" בעלי חיים אלה איברים ותכונות שלא סייעו להם בחייהם החדשים (גפיים אחוריות, שיער, קולטני ריח ועוד) ו"פיתחו" תכונות אחרות שכן סייעו להם (גפיים דמויות סנפיר ועוד) וכך התהווה הלויתן בן ימינו: בעל חיים ימי בעל תכונות ומאפיינים ששרדו מעברו היבשתי.

[הלויתנים אינם היחידים שעברו שינוי שכזה, כמובן. בעלי חיים ימיים נוספים עברו תהליך דומה: כלבי הים (גם הם יונקים) שרגליהם הקדמיות הפכו לסנפירים (בעלי חמש אצבעות), הפינגווינים (עופות) שכנפיהם הפכו לסנפירים, ועוד. אלא שהלויתן עבר בבירור כבר דרך ארוכה מהם].

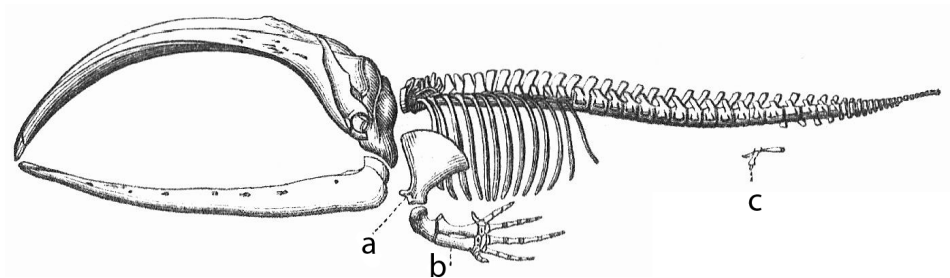
לו טענה זו היתה נכונה היינו מצפים למצוא שרידים של אבות אבותיו של הלויתן המדגימים את השינויים ההדרגתיים הללו מחיי היבשה לחיי הים. ואכן שרידים אלה נמצאו ואנו נדון בהם בהמשך.

לו טענה זו היתה נכונה היינו מצפים למצוא קרבה בין הלויתן לבין חיות יבשה אחרות. גם כאן אין מקום לדאגה: בדיקות גנטיות של הלויתן הראו באופן חד־משמעי שהלויתן הוא שאר בשרו הקרוב ביותר של ההיפופוטם, אותו יונק

3 כיום איננו משתמשים בביטוי "דג" לתיאור בעלי חיים כמו הלויתן והדולפין, אולם בפי חז"ל נקראים גם יתר יצורי הים "דגים". כך או כך, השם אינו מעלה ואינו מוריד לענייננו.

גדל-מידות המבלה את מרבית זמנו במים ואשר צאצאיו נולדים גם הם מתחת למים.

האם האבולוציה היא אכן תופעה הקיימת בטבע, והיא המגגון בו בחר הקב"ה ליצור את המגוון העשיר של החי והצומח - זאת יוכל הקורא להחליט לעצמו אחר שיתוודע לממצאים שבספר זה. וכמעט ניתן לומר שדי בסיפורו של הלויתן שלעיל.



שלד של לויתן קשות-ראש

עצמות הרגליים האחוריות המסומנות באות c הן בתוך הגוף ואינן בולטות החוצה. בסנפירים הקדמיים המסומנים באות b נמצאות עצמות היד: האצבעות ויתר עצמות היד המוכרות לנו מיתר בעלי ארבע הגפיים.

2 אבולוציה מעשה ידי אדם

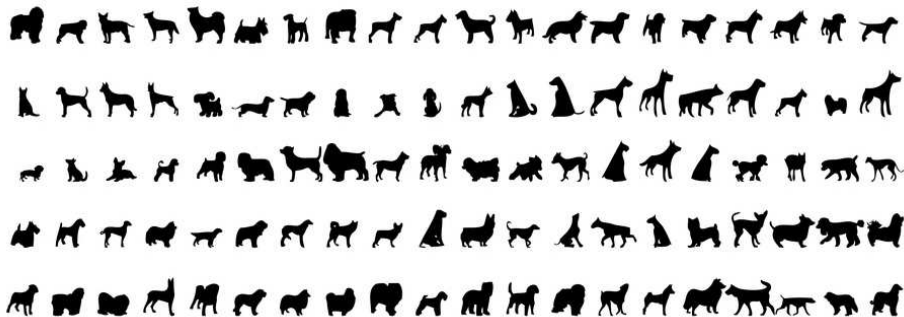
למעשה, אבולוציה בקנה מידה מסוים מתבצעת על ידי בני אדם כבר אלפי שנים והיא ממשיכה אף בימינו אנו, והיא נוגעת לכל בעלי החיים והצמחים שהאדם טיפח.

ניקח לדוגמא את הכלב:

למעלה משלוש מאות גזעים שונים של כלבים ידועים כיום:⁴

כלבים בגודל של סוס פוני וכלבים בגובה כמה סנטימטרים, כלבים שכוחם באפם, וכלבים שכוחם בנשיכתם, כלבים המיועדים לרעיית צאן, לשמירה, לשעשוע, לציד צבאים, לציד ארנבות, אפילו לציד זאבים ודובים. כל גזע עם המאפיינים הפיזיולוגיים המיוחדים לו, ועם תכונות האופי המיוחדות לו.

כל אותם גזעים פותחו בידי אדם (בתהליך שנמשך גם בימינו) בהתאם למטרות ולגחמות שונות שעמדו בפניו.



100 מגזעי הכלבים

4 נכון לכתיבת שורות אלה, רשומים בהתאחדות העולמית לכלבנות (FCI) 343 גזעים (מבוסס על נתוני 2010). אולם מספר זה רחוק ממספר הגזעים הקיים בעולם, ובמובן מסוים גזעים חדשים נוצרים כל הזמן.



(© Elf en.wikipedia 2004)

דני ענק וצ'יוואווה
מבט מבפנים ומבחוץ



דוגמות אלה נכונות גם לגבי כל בהמות המשק - הפרות, הכבשים, התרנגולים וכו' - האדם פיתח מאות גזעים מבעלי חיים אלה בהתאם לצרכיו השונים (לדוגמא: מגדלי הכבשים פיתחו כבשים שמיועדים לצמר לעומת כבשים המיועדים לתעשיית הבשר או החלב; וכמו כן זנים המתאימים לתנאים הגיאוגרפיים השונים: תנאי האקלים, תנאי השטח, סוגי המזון וכו').

וכן הוא הדבר לגבי צמחי המאכל: האדם פיתח זנים שונים לפי התכונות שעניינו אותם: פירות גדולים יותר, טעימים יותר, עמידים יותר - בפני מחלות, מזיקי צמחים, תנאי אקלים ושטח וכו'. לדוגמא, אחת המשפחות ה"מפוארות" של צמחי מאכל כוללת את הכרוב, הכרובית, הברוקולי, כרוב הניצנים והקולרבי. צמחי מאכל אלה הם בני משפחה אחת, וכולם טופחו בידי אדם מצמח אחד: כרוב הבר ⁵(*Brassicaoleracea*).

יש לפעמים חילוקי דעות לגבי קרבת המשפחה המדויקת של זנים שונים, אבל העיקרון: טיפוח זנים שונים בידי בני אדם - היא עובדה שאין עליה עוררין ואשר מתרחשת בכל עת **לנגד עינינו**, בדרכים עתיקות וחדשות.

5 פואה ודגלס, ברסיקה, עמ' 4.

כיצד מטפחים זנים שונים?

בימינו קיימות טכניקות מתקדמות מאד המבוססות על **הנדסה גנטית**, והמאפשרות התערבות ישירה במטען הגנטי של בעל החיים או הצמח. אולם, כפי שציינתי, פעילות זו, של השבחת זנים ויצירת זנים חדשים ושונים, מתקיימת כבר אלפי שנים לפני שמדע הגנטיקה נולד. כיצד נעשה הדבר?

העיקרון הוא די פשוט:

שונות בין פרטים

בכל אוכלוסיה יש **שונות בין הפרטים**. אם ניקח לדוגמא עדר של פרות נמצא שיש הבדלים בין פרה לפרה: יש פרות גדולות ויש קטנות, שמנות ורזות, בעלות תנובת חלב גבוהה ותנובה נמוכה, עקשניות וצייתניות, עמידות לחום ועמידות לקור, עמידות למחלות מסוימות ועמידות פחות וכו'.

אלו רק חלק מן המאפיינים שבהם שונה פרה אחת מאחרת. וכך בכל חיה וצמח.

ומה לגבי **צאצאיהם** של הפרות הללו?

אנו יודעים מנסיונו שגם בקרב משפחה אנושית אחת אין זהות בין בני המשפחה. אנחנו יכולים להניח באופן כללי שצאצאים להורים בגובה 180 ס"מ יהיו גבוהים יותר בממוצע מצאצאים להורים בגובה 160 ס"מ, אך גם במשפחת הגבוהים וגם במשפחת הנמוכים, האחים עצמם לא יהיו זהים בגובהם: יש מי שיהיה גבוה יותר ויש מי שיהיה גבוה פחות.

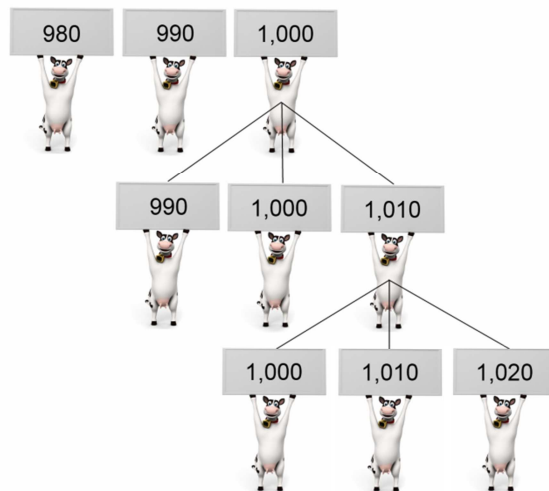
נשוב אפוא לפרות:

אם ברצוני לטפח זן של פרות המיועדות לחליבה, אני אבחר מתוך עדר הפרות את הפרות שהניבו הכי הרבה חלב, (נניח אלף ליטר חלב בשנה), ואשתמש בהן לצורך העמדת דור ההמשך, ולא בפרות שהניבו פחות חלב.

"דור ההמשך" של הפרות דומה כמובן לדור ההורים: יש מהן שמניבות **כמו** הדור הקודם, יש מהן שמניבות **פחות** (נניח 990 ליטרים) ויש שמניבות **יותר** (נניח 1,010 ליטרים).

כעת, אקח את אותן פרות "דור ההמשך" שמניבות הכי הרבה חלב (כלומר, את אלה שמניבות **יותר** מבנות הדור הקודם), ואשתמש **רק בהן** לצורך העמדת דור ההמשך השני.

אם אתמיד בכך, הרי שכעבור כמה "דורות" של פרות אעמיד עדר של פרות שתנובת החלב שלו גבוהה מהתנובה של העדר המקורי. (יש לזכור שפרה ממליטה כבר בגיל שנתיים, כך שתוך עשור, אנו נמצאים כבר במרחק כמה דורות מהפרות המייסדות!).



ברירה מלאכותית בפרות לחלב

תנובת החלב כעבור שלושה דורות אם בוררים את הפרות המניבות ביותר לצורך העמדת הדור הבא של הפרות.

כמובן, ללא התערבות זו, יהיו עדרי הנכדים והנינים דומים בתנובתם לעדר המקורי, שכן גם הפרות בעלות התנובה הנמוכה יעמידו צאצאים הדומים להן.

זהו תיאור פשטני מעט, אבל הרעיון הכללי הוא שיש הבדל בין הפרטים באוכלוסיה, ואני, המטפח, בורר לי את הפרטים (כלומר את בעלי החיים או הצמחים) המתאימים ביותר לתוכניותי, ומקפיד על כך שדור ההמשך יצא מאותם פרטים שהביעו בצורה הטובה ביותר את התכונות שאני מחפש.

באופן זה אני יוצר לי עדר פרות, או פרדס עצים, המתאים לתוכניותי,⁶ ובאופן זה נוצרו מאות גזעים שונים של כלבים, בהמות בית, עופות בית, צמחי מאכל ועוד.

ניצול מוטציות

הדרך שתיארתי לעיל מבוססת על השונות ה"רגילה" בין פרטים שונים באוכלוסיה: זה שמן יותר וזה עמיד יותר וכו'.

לפעמים בא לעזרתנו מנגנון נוסף המצמיח תכונה שלא היתה יכולה להופיע בצורה שתיארתי לעיל. מנגנון זה הוא המוטציה.

נניח שאני מנהל גן חיות ומעוניין לגדל טיגריסים לבנים ותכולי-עניים, אשר הביקוש להם הוא רב בקרב המבקרים. הטיגריסים בטבע הם בעלי גוון כתום-צהוב. כיצד אפתח טיגריס לבן?

ובכן, התשובה היא שלא ניתן לפתח טיגריס לבן מטיגריס כתום או צהוב באמצעים שתיארתי לעיל.

אולם, במקרה זה באה לעזרתנו המוטציה, כלומר תקלה בתהליך יצירת העובר, אשר בגללה נולד טיגריס לבן.⁷ אם מתמזל מזלי ונופל לידי טיגריס שאירעה בו תקלה כזו, אני יכול להשתמש בטיגריס זה ולרבות רק אותו ואת צאצאיו, על מנת ליצור לי בסופו של דבר אוכלוסיה של טיגריסים לבנים. (כיום קיימים בגני החיות כמה מאות טיגריסים לבנים כתוצאה מטיפול מבוקר שכזה).

6 אם להתייחס למספרים אמיתיים: פרות החליבה בישראל נותנות את תנובת החלב הגבוהה בעולם. בין השנים 2000 ל-2010 תנובת החלב הממוצעת בישראל עלתה בכמעט 1,000 ק"ג חלב! (במדויק: מרמה של 11,181 ק"ג לשנה לפרה - עד 12,062 ק"ג לשנה, ע"פ אופק, תנובת החלב). אמנם גורמי העליה אינם נעוצים בהשבחת הגזע באופן בלעדי, אולם ההשבחה היא חלק חשוב מתהליך זה, ומגדלי הבקר משתמשים בטכניקות חדשניות על מנת לאתר את הפרות בעלות המטען הגנטי המתאים ביותר למטרותיהם. ברירת הפרות מורכבת יותר מהמתואר כאן, משום שהתכונות התורשתיות מגיעות כמובן גם מן הפר, והרי שיש לקחת בחשבון את השילובים השונים שבין המטען הגנטי של הפרה לבין המטען הגנטי של הפר. מגבלה נוספת היא קיומו של "גבול עליון" ליכולת בעל החיים. מגבלות פיזיולוגיות ושונות אינן מאפשרות בדרך כלל הגדלה או הקטנה **אינסופיים** של מאפיינים מסוימים.

7 טיגריס לבן אינו לבקן. לטיגריס לבקן אמיתי לא יהיו כלל פסים.

כמובן, המוטציה אינה בשליטתנו (בתנאים הרגילים). אמנם, ההנדסה הגנטית מספקת כלים להתערב במטען הגנטי ולחולל שינויים מרחיקי לכת בבעל החיים או בצמח,⁸ אבל איננו עוסקים בכך כאן). הטיגריס הלבן הראשון שנולד, לא "הוזמן מראש", הוא פשוט נולד כך, וכתוצאה מכך אנו יכולים להשתמש בתופעה החדשה הזו ולטפח גזע של טיגריסים לבנים. איננו יכולים באותה המידה "להזמין" טיגריס ללא פסים, או טיגריס שחור, ואם רצוננו באחד כזה, נאלץ לחכות - אולי לנצח.

מטפחי גזעים משתמשים במוטציות כשהללו נופלות לידיהם. (אחת הדוגמות המפורסמות הוא גזע הכבשים האנקוני (Ancon) שפותח כולו מטלה זכר בודד, בעל רגליים קצרות ועקומות וצוואר ארוך שנולד במסצ'וסטס בשעה טובה ומוצלחת בשנת 1791. תכונותיו אלה עברו לדור ההמשך בדיוקנות רבה וללא מצבי ביניים.⁹ כך ניתן לטפח גזעי כלבים ננסיים, גזעי ארנבות "ענקיים",¹⁰ וגזעי כלבים וחתולים חסרי השיער, ועוד כל מיני מרעין בישין שמטפחי הגזעים הוציאו תחת ידיהם.

ניתן אמנם להבין בקווים כלליים את האמור לעיל, אולם על מנת שנבין טוב יותר את **מקור** השונות בין הפרטים ואת המוטציות (כלומר, מדוע באמת יש שונות בין אחים בני אותה המשפחה ומדוע יש מוטציות?), אתאר בקצרה כיצד פועלת התורשה, ולפני כן, הערה: הפרק שלפנינו עשוי להיות "מייגע" יותר מיתר הפרקים, הן מבחינת המושגים הכלולים בו, אשר עשויים להיות חדשים לחלק מן הקוראים, והן מבחינת תוכנו. לגבי המושגים החדשים: חלקם יתבארו בפרק עצמו, ולגבי רובם ככולם ניתן להעזר במילון שבסוף ספר זה. אני ממליץ בכל זאת על קריאת הפרק, ואולם מי שהקריאה מייגעת ומייאשת אותו, מוזמן לדלג לפרקים שאחריו הנוחים יותר לקריאה.

8 דוגמות לכך הם חזיר המכיל רמות גבוהות של חומצות שומן מסוג אומגה 3, שפותח מטעמי בריאות (מדיקל ניוז, חזיר משובט), אורז המכיל ויטמין A (יה וחב', אורז מהונדס), וסלמון הגדל במשך כל השנה ומגיע לגודל "הרצוי" במחצית הזמן (בלומנטל, סלמון מהונדס).
9 ראה דוגמות נוספות אצל וול, היסטוריה של תורת האבולוציה, עמ' 189.
10 כמו גזע ארנבות הענק שפיתח קרל סמולינסקי (ושינגטון פוסט, מאבק ברעב).

3 דִּי־אָן־אֵי וְתוֹרָשָׁה

א. המידע התורשתי שבגופנו¹¹

כידוע, כולנו מתחילים את קיומנו כתא בודד אחד (הוא תא הביצית הנמצא ברחמה של האם ואשר הופרה על ידי תא־זרע). בתוך התא הבודד הזה (שקוטרו כעשירית המילימטר) נמצא החומר התורשתי: מולקולת דִּי־אָן־אֵי (להלן: דנ"א)¹² שהיא מולקולת ענק העשויה מכשלושה מיליארד זוגות בסיסים.¹³ מולקולה זו כוללת את כל המידע הנחוץ ליצירת אדם שלם ואת המידע הנחוץ לתפעול השוטף שלו, מידע זה הוא המידע התורשתי / המטען הגנטי, ובמלה אחת: הגנום. (המולקולה "מחולקת" למקטעים הנקראים "גנים"¹⁴ ואשר בהם ניתקל בהמשך). מידע זה נמצא בתוך התא בשני עותקים: עותק אחד שהיה בתא־הזרע ואשר הגיע מהאב, ועותק שני שהיה בביצית ואשר הגיע מהאם. התא הבודד הזה מתחיל להכפיל את עצמו¹⁵ עד שתוך זמן קצר גופנו, שהחל את קיומו כתא בודד, מונה מיליארדים רבים של תאים. כל אחד ממיליארדי התאים הללו מכיל בקרבו את שני העותקים הללו של מולקולת הדנ"א.¹⁶ המטען הגנטי החדש הזה, פרי הרכבת שני העותקים הללו, הוא הקובע את תכונותיו המולדות של הצאצא (כלומר, שלנו).¹⁷

11 התיאור שלהלן נכון לכל בעלי החיים ולכל הצמחים המקיימים רבייה מינית. המספרים הנקובים, עם זאת, מתייחסים לדוגמא של האדם. מבחינת כל המספרים הנקובים בדוגמא, אציין רק שיש בעלי חיים וצמחים שיש להם "פחות" (כרומוזומים, גנים וכו') מהאדם, ויש כאלה שיש להם "יותר", כך שהערך המספרי כשלעצמו אינו מבטא את "מעלתו" או "מורכבותו" של היצור שאליו מתייחס ערך זה.

12 DNA - קיצור של Deoxyribonucleic Acid - חומצה דאוקסיריבונוקלאית. מבנה הדנ"א פוענח בשנת 1953 על ידי החוקרים ווטסון וקריק בעקבות עבודתה של החוקרת היהודיה רוזלינד פרנקלין.

13 מה זה "בסיסים"? לענייננו זה לא ממש משנה. מדובר בתרכובות כימיות. במולקולת הדנ"א יש ארבעה סוגי בסיסים: אדינין, תימין, גואנין וציטוזין.

14 כל "מקטע" בדנ"א שיש בו "הוראות" ליצירת חלבון הנחוץ לגוף האדם, וכדומה, נקרא "גן". באדם יש כ־20,000 - 25,000 גנים בקירוב החולשים על יצירתם של עשרות עד מאות אלפי חלבונים שונים.

15 בתהליך שנקרא "מיטוזה". בתהליך זה כל אחד משני עותקי הדנ"א שבתא מכפיל את עצמו, כך שבתא יש שני עותקי "אב" ושני עותקי "אם". אח"כ מתפצל התא לשני תאים וכל תא מקבל שני עותקים (אחד שמקורו באב ואחד שמקורו באם) כבראשונה, וחוזר חלילה.

16 בין אם מדובר בתא עור, תא שריר, תא כבד וכדומה (ולמעט כדוריות הדם האדומות). בכולם יש אותו מטען גנטי, אותו מידע הנחוץ לבניית יצור שלם. ניתן בעיקרו של דבר למצות את

וכאן הבן שואל:

אם כך, מדוע אינני זהה לאחי? הרי שנינו קיבלנו עותק אחד מהאב, ועותק אחד מהאם? ואם כך, המטען הגנטי שלנו אמור להיות זהה, כמו במקרה של תאומים זהים?

עוד שואל הבן: וכי מאחר ולפי התיאור שלעיל, בכל תא מתאי גופנו יש **שני** עותקים של המטען הגנטי, אחד שקיבלנו מאבינו ואחד שקיבלנו מאמנו, כיצד אנו מעבירים לדור הבא רק עותק **אחד**? הרי הדור הבא היה אמור לקבל מאיתנו את **שני** העותקים שבתאי גופנו, ומבט זוגנו את **שני** העותקים שבתאיה, וליצור תא בן **ארבעה** עותקים?

התשובה לשתי השאלות הללו נעוצה בתהליך המיוחד שבו נוצרים תאי הרבייה (תאי הזרע והביציות), תהליך המכונה "מיוזה" (Meiosis, חלוקת הפחתה) ואשר הבנתו חשובה לענייננו.

המידע הזה מכל תא, וליצור ממנו יצור שלם, הוזה מבחינה גנטית למקור ממנו נטלו את התא (בדומה לתאום-זהה). במלים אחרות, ניתן לקחת תא כלשהו מחתול, לדוגמא, וליצור באמצעותו חתול חי שלם שיהיה דומה לחתול הראשון כפי ששני חתולים תאומים-זהים דומים זה לזה. דבר זה נקרא "שיבוט מלאכותי". כבר בשנת 1952 הצליחו המדענים ליצור בדרך זו ראשנים של צפרדע, ואילו בשנת 1996 הצליחו לראשונה לשבט יונק ("הכבשה דולית"), ומאז שובטו בהצלחה מינים נוספים.

17 כגון: כמה אצבעות יהיו לו, מה יהיה צבע עורו, האם יהיה זכר או נקבה, וכן כל פרט ופרט ביצירת הגוף. מובן שביטוי תכונות אלה בפועל כרוך גם בתנאים חיצוניים: ב"סביבה", שהרי אם במזונו של העובר יחסרו מרכיבים חשובים, או שהוא ייחשף לרעלים לדוגמא, ייפגע תהליך יצירתו, גם אם המטען הגנטי עצמו תקין. גם תכונות נפש שונות תלויות בתורשה ומקנות לצאצא נטיות מולדות וכישורים מולדים לצד זה או אחר. מובן שהשפעתה של הסביבה / תולדות חייו של האדם על התפתחותו בפועל של נטיות וכישורים אלה עשויה להיות מכרעת. אמנם, חשוב לזכור שאנו עוסקים בתכונות הטבועות **בתורשה**. פעולות שהאדם עושה במהלך חייו אינן משפיעות על המטען התורשתי שהוא יעביר הלאה, וכך אם אדם יגע כל ימיו ופיתח את כושרו הגופני, או את יכולת הציור שלו, או את יכולת הלימוד שלו - דבר מהישגיו אלה לא יעבור **בתורשה** לצאצאיו. אמנם, נטיית לבו וכישוריו הטבעיים עשויים בהחלט לנבוע ממטענו הגנטי ולעבור לצאצאיו.

ב. מיוזה - הבסיס לשונות בין אחאים

תאי הרבייה נוצרים מתאים מיוחדים הנקראים "תאי נבט". תאים אלה מכילים אף הם את המטען הגנטי בשני עותקים, עותק מהאב ועותק מהאם, אלא שבסופו של תהליך המיוזה, נוצרים מכל תא נבט - ארבעה תאי רבייה, המכילים כל אחד **עותק אחד בלבד** של המטען הגנטי, ועותק זה הוא עותק **מעורב** המורכב בחלקו מחומר שמקורו באב, ובחלקו מחומר שמקורו באם.

כרומוזומים ושחלוף

על מנת להבין את התהליך, יש לציין מושג נוסף: **כרומוזומים**. ציינתי לעיל שהחומר התורשתי הוא מולקולת ענק (מולקולת הדנ"א). מולקולה זו מחולקת לכמה "אריזות", הנקראות "כרומוזומים".¹⁸ בתא האנושי מדובר ב־23 כרומוזומים. (כלומר, 23 כרומוזומים המשקפים את המטען הגנטי שמקורו מהאב, ו־23 כרומוזומים המשקפים את המטען הגנטי שהגיע מהאם, ובסך הכול 46 כרומוזומים).¹⁹ למה הדבר דומה? לאנצקלופדיה בת 23 כרכים, ובמקרה שלנו, אנצקלופדיה המופיעה בשתי מהדורות, שכל אחת מהן היא בת 23 כרכים: האחת מהדורה "אבהית" והאחרת "אמהית", ושתיהן שוכנות בשלום זו לצד זו בתוך כל תא).

בקיצור נמרץ, מה שקורה בתהליך יצירת תאי הרבייה הוא ששתי המהדורות מתערבבות, ואנו מקבלים תא רבייה שיש בו מהדורה אחת מעורבת: חלק מהכרומוזומים ממקור אבהי, וחלק ממקור אמהי (או בדוגמא של האנצקלופדיה: אנצקלופדיה שחלק מכרכיה הם מהמהדורה האחת ואילו החלק האחר מכרכיה הם מהמהדורה השניה).

וכמה אפשרויות ערבוב שונות יש? הרי אפשר לערבב את הכרומוזומים באופן שכרומוזומים מס' 3, 5, 21 יהיו ממקור אבהי, וכל היתר ממקור אמהי. אפשר לערבב אותם באופן שכרומוזומים 4, 8, 12, 18 יהיו ממקור אמהי, וכל היתר ממקור

18 למעשה, המולקולה לא נמצאת במשך כל הזמן במצב זה בו היא מחולקת ל־23 הכרומוזומים. אולם כאשר התא מתחיל בהכנות להכפלת החומר ולחלוקת התא, מתארגן החומר ו"נארז" ב־23 הכרומוזומים.

19 כאשר התא מכיל את הצורה הכפולה הזו של הכרומוזומים, הוא נקרא "דיפלואידי", ואילו כאשר התא מכיל רק סדרה אחת של 23 כרומוזומים, הוא נקרא "הפלואידי".

אבהי וכו' וכו'. למעשה יש מעל שמונה מליון צירופים שונים! שכן 23 בחזקת 2 = 8,388,608 (בדקו והיווכחו!).

זאת אומרת שהסיכוי שלי להיות זהה לאחי (שאינו תאום־זהה שלי) הוא אחד ל־8,388,608. לחלופין: בני זוג יכולים תיאורטית להוליד מליוני צאצאים שלא יהיו זהים זה לזה...

יתר על כן, מעבר לערבוב וליצירה של "מהדורה" המורכבת מכרומוזומים משני המקורות, קיים מנגנון ערבוב נוסף הגורם לזה שגם כל כרומוזום כשלעצמו עשוי להיות מעורב בחומר שמקורו בכרומוזום המקביל, מהמקור האחר. הרי זה כאילו לא הסתפקנו באנצקלופדיה המורכבת מכרכים מעורבים, אלא גזרנו פרקים מכל כרך וכרך, והעברנו פרקים אלה לכרכים המקבילים שבמהדורה האחרת. למנגנון זה קוראים "שחלוף", והוא מבטיח שהתוצר הסופי: תא הרבייה, יהיה מעורב כדבעי משני המקורות.

כולי תקווה שהקורא אינו חש בראשו בעקבות הפרטים שלעיל (הסבר מפורט ומאור של תהליך המיזוג מופיע כמאמר מוסגר בשלושת העמודים הבאים). מתוך תקווה זו ברצוני להוסיף כאן מושג נוסף ולא מסובך שישמש אותנו בהמשך ושמו בישראל: אָלֶל.

ג. אָלֶלִים

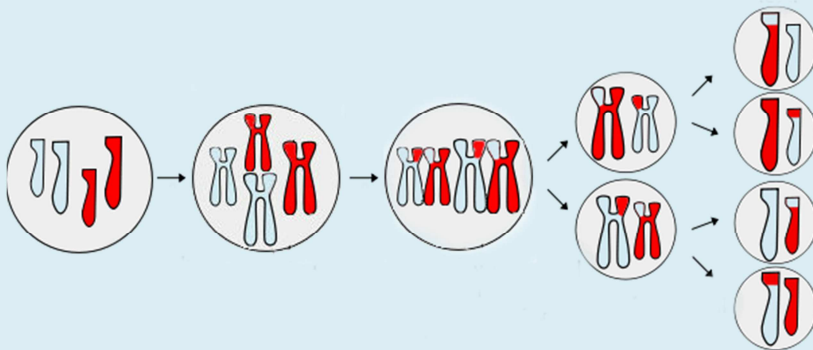
ציינתי לעיל שהמטען הגנטי מחולק לאלפי גנים, שכל אחד ממלא תפקיד מוגדר ביצירת הגוף ו/או בתפקודו השוטף. כאשר באוכלוסיה יש שתי גירסאות (או יותר) של אותו הגן, אנו קוראים לגירסאות אלה אָלֶלִים. לדוגמא, לגן הקובע את סוג הדם בבני האדם יש שלושה אללים (שלוש גירסאות שונות), והם האחראיים לשלושת סוגי הדם העיקריים: A, B, O. גם לגנים הקובעים את צבע עיניהם או עורם של בני האדם יש כמה אללים.

מה קורה כאשר העותקים שקיבל הצאצא מהוריו מכילים אללים שונים? גירסאות שונות של הגן? לאיזו גירסא "יציית" גופו של הצאצא?

העשרה: מיוזה בהרחבה

להשלמת הנושא, אתאר בצורה קצת יותר מפורטת את תהליך המיוזה. התהליך כשלעצמו מסובך ומורכב בהרבה, וכאן נסתפק בקויו העיקריים. על מנת לפשט את העניין, נעסוק בתא שהחומר התורשתי שלו "ארוז" בשני כרומוזומים בלבד (ולא ב־23 כתא האנושי), כלומר תא המכיל שני כרומוזומים ממקור אבהי, ושני כרומוזומים ממקור אמהי. או בדוגמא שלנו: התא מכיל שתי מהדורות של אנצקלופדיה, כאשר כל מהדורה היא בת שני כרכים בלבד.

בתרשים שלהלן הכרומוזומים שהגיעו מהאב הם תכולים והכרומוזומים שהגיעו מהאם אדומים. מכל מקור (הן מהאב והן מהאם) יש בדוגמא שלנו כרומוזום אחד גדול וכרומוזום שני קטן. ("כרך א" ו"כרך ב" ב"אנצקלופדיה").



מיוזה

1. בשלב הראשון יש בתא־הנבט שני עותקים של הדנ"א: אחד מהאב ואחד מהאם. כל עותק מחולק בדוגמא שלנו לשני כרומוזומים - גדול וקטן. סך הכרומוזומים שבתא: ארבעה.
2. כל כרומוזום יוצר עותק מדויק של עצמו. הכרומוזום והעותק המדויק שלו מחוברים כעת זה לזה. החיבור נקרא **צנטרומר** ואילו הכרומוזום והעותק נקראים **כרומטידות אחיות**. החומר התורשתי נמצא בשלב זה בתא בארבעה עותקים המחולקים לשמונה כרומוזומים.
3. כעת, כל צמד כרומטידות־אחיות נצמד לצמד המקביל לו, כלומר: הצמד של הכרומטידות־האחיות הקטנות והתכולות (מהמקור האבהי) נצמד לצמד הקטנות האדומות (מהמקור האמהי), והצמד של הכרומטידות הגדולות נצמד לגדולות. אנו אומרים שכל צמד כרומטידות נצמד לצמד ה"הומולוגי" שלו (המקביל לו). בשלב זה מתרחש השחלוף עליו דיברנו, כלומר: קטעים מתוך הכרומוזומים עוברים מכרומוזום הומולוגי אחד לשני, כלומר מהכרומוזום האבהי לכרומוזום האמהי המקביל לו ולהיפך. כל כרומוזום עשוי "לאבד" את טהרת הגזע שלו, ולהיות מעתה ואילך **מעורב** בקטעים שמקורם בכרומוזום המקביל, ההומולוגי. בתרשים מיוצג הדבר בכרומוזומים תכולים שיש בהם קטעים אדומים ולהיפך.
4. כעת מתכונן התא להתחלקות לשניים. בכל אחד מהתאים החדשים יהיה צמד כרומטידות־אחיות גדולות וצמד כרומטידות־אחיות קטנות. אולם כאשר התא מתארגן לקראת ההתחלקות, הוא אינו "מתעקש" שבכל תא יהיו כרומטידות מאותו המקור. זאת אומרת,

התא שיקבל את צמד־הכרומטידות הגדולות והתכולות (מהמקור האבהי) עשוי לקבל את צמד הכרומטידות־האחיות הקטנות האדומות (מהמקור האמהי). בתא שיש בו בסך הכול שני כרומוזומים (שני צמדים של כרומטידות־אחיות) אין הרבה אפשרויות ערבוב (כלומר, או שיש בתא שני צמדי כרומטידות ממקור אחד, או שיש משני מקורות), אבל בתא המכיל 23 כרומוזומים יש מיליוני אפשרויות שונות.

5. בשלב הסופי והאחרון מתנתקות הכרומטידות זו מעל זו והתא שב ומתחלק לשניים. כעת בכל תא יש כרומוזום אחד גדול, וכרומוזום אחד קטן. כאמור, גם מקור הכרומוזומים עשוי להיות מעורב (כלומר, כרומוזום גדול מהאב, וכרומוזום קטן מהאם), וגם הכרומוזומים עצמם עשויים להיות מעורבים באופן שהכרומוזום מהאב מכיל קטעים מהכרומוזום האמהי ולהיפך. אנו מקבלים אפוא ארבעה תאים נפרדים: תאי־הרבייה (תאי זרע במקרה שהם מתפתחים בגופו של זכר, וביציות במקרה שמדובר בנקבה) אשר מכילים כל אחד **עותק אחד בלבד** מהחומר התורשתי: עותק בודד ומעורב. אם יתמזל מזלו של עותק זה והוא יפגוש ויפרה עותק בן המין השני יתחיל הסיפור מההתחלה: ייווצר תא ובו שני עותקים, אחד מהאב ואחד מהאם וההמשך ידוע.

ובכן התשובה היא שיש כמה סוגי יחסים בין הגנים השונים, ובעיקר:

1. דומיננטיות / רצסיביות:

בגנים מסוימים, אחד האללים הוא "דומיננטי" (שלטן) והאחר הוא "רצסיבי" (נסגן). משמעות הדבר היא, שאם עותק אחד מכיל אלל דומיננטי, והעותק השני מכיל אלל רצסיבי - האלל הדומיננטי הוא זה שיבוא לידי ביטוי. אלל רצסיבי יבוא לידי ביטוי רק אם שני העותקים שהצאצא קיבל הם מסוג זה.

דבר זה מסביר כיצד תכונה עשויה "לקפוץ" מסב לנכד, ו"לדלג" על ההורה שביניהם. ניקח לדוגמא את הגן לעיניים כחולות: גן זה הוא רצסיבי, כלומר, על מנת שלאדם יהיו עיניים כחולות - עליו לקבל את הגן הזה הן מאביו והן מאמו. אם הוא קיבל גן זה מאחד מהוריו, אך מההורה השני הוא קיבל גן של עיניים חומות, לדוגמא, עיניו יהיו חומות (שכן הגן לעיניים חומות הוא דומיננטי ביחס לגן לעיניים כחולות). הבה נראה מה קורה כששני בני זוג מעורבים כאלה נישאים זה לזה. כאמור, לכל אחד משני בני הזוג יש עותק אחד שמקודד לעיניים כחולות, ועותק אחד שמקודד לעיניים חומות. שני בני הזוג מתהדרים אפוא בעיניים חומות למהדרין. אולם כאשר אנו עוסקים בדור הצאצאים, המצב הוא שונה. אנו רואים בטבלה שלהלן שיש בעצם ארבע אפשרויות: או ששני בני הזוג העבירו לצאצא את הגן לעיניים כחולות, או ששניהם העבירו את הגן לעיניים חומות, או שאחד מבני הזוג העביר גן לעיניים כחולות והאחר העביר גן לעיניים חומות. והתוצאות בהתאם:

התקבל מהאב	התקבל מהאם	תוצאה בצאצא
כחול	כחול	כחול
כחול	חום	חום (נשא ²⁰ של כחול)
חום	כחול	חום (נשא של כחול)
חום	חום	חום

20 כלומר הוא נושא בתוכו את הגן לעיניים כחולות, אולם בו עצמו גן זה אינו בא לידי ביטוי משום שהוא נסוג בפני הגן הנוסף שהוא נושא: הגן לעיניים חומות.

בלשון אחרת, מסתבר שרבע מצאצאיהם יהיו כחולי עיניים, רבע - חומי עיניים למהדרין, ואילו מחצית יהיו דומים להוריהם: חומי עיניים במראה, אך נשאים של עותק אחד לעיניים כחולות.

☞ **מושג נוסף:** אדם שבו שני עותקים זהים של גן מסוים נקרא **הומוזיגוטי** לאותו הגן, ואילו אדם שבו עותקים שונים נקרא **הטרוזיגוטי** לאותו הגן.

תופעה דומה וכאובה בהרבה ידועה מעולם המחלות התורשתיות. אלו הם ליקויים גנטיים המועברים מהורה לצאצא והגורמים לפגמים ולמחלות. לדוגמא, מחלת הטאי זאקס:²¹ מחלה זו נגרמת מאלל רצסיבי. משמעות הדבר היא שאם אדם קיבל עותק אחד הנושא את האלל הפגום הגורם למחלה, אך מההורה השני הוא קיבל עותק תקין, הוא לא יחלה במחלה. אמנם, הוא נחשב "נשא" של המחלה, שכן הוא עשוי להעבירה לצאצאיו.

אם אותו נשא יתחתן עם אשה שהיא גם כן נשאית (כלומר, שגם לה יש עותק אחד של אלל פגום הגורם למחלה, ועותק אחד תקין), יש לצאצא שלהם סיכוי של 25% להיות חולה במחלה (שהוא הסיכוי לקבל גם מהאב וגם מהאם את העותק הפגום דווקא), וסיכוי של 50% להיות נשא למחלה (שהוא הסיכוי לקבל מהאב או מהאם עותק פגום).

על מנת למנוע מצבים אלה, ניתן לערוך בדיקות דם לפני הנישואין על מנת לברר ששני בני הזוג אינם נושאים את הגן הפגום. כאמור, רק אם שני בני הזוג הם נשאים - קיים סיכון לצאצאיהם. כיום ניתן לבצע מגוון של בדיקות על מנת לשלול את האפשרות ששני בני הזוג נשאים למחלות תורשתיות מסוימות. ההחלטה איזו בדיקה לבצע, תלויה במוצאם של שני בני הזוג, שכן פגמים גנטיים מסוימים שכיחים בעדות מסוימות יותר מבעדות אחרות.

21 המחלה גורמת לנזק מוחי קשה הגורם למוות בדרך כלל בשנים הראשונות לחיי הילד. למתעניין: הפגם הגנטי גורם להפחתה בפעילות או לחוסר פעילות מוחלט של אנזים בליזוזום בשם β -הקסוזאמינידאז-A (או בקיצור Hex A), שתפקידו לזרז פירוק של נגזרות חומצות שומן בשם גנגליוזידים. אובדן הפעילות של האנזים גורר הצטברות של הגנגליוזידים בתאים, בפרט במוח ובעמוד השדרה.

2. קורדומיננטיות

באללים המקיימים יחסי קורדומיננטיות, יש **לשני** האללים ביטוי.

לדוגמא: הזכרתי מקודם את שלושת סוגי הדם הנקבעים על ידי שלושה אללים שונים.

מסתבר שהאללים של סוגי הדם A ו-B הם **קורדומיננטיים** זה לזה, ולכן אם אדם יקבל אלל אחד ל-A ואלל אחד ל-B, אזי סוג הדם שלו יהיה AB, שכן **לשני** האללים יהיה ביטוי. לעומת זאת, ביחס לאלל הקובע את סוג הדם O, האללים של A ו-B הם **דומיננטיים**. ולכן, אם אדם מקבל אלל אחד ל-A ואלל אחד ל-O, סוג הדם שלו יהיה A. אם הוא מקבל אלל אחד ל-B ואלל אחד ל-O, סוג הדם שלו יהיה B.

לצד שני סוגי יחסים אלה, יש סוגי יחסים נוספים בין האללים השונים (דומיננטיות חלקית, תכונות מורכבות) ובחלק גדול מן המקרים היחסים בפועל הם אכן מורכבים יותר ממה שמתואר כאן, ובפרט היות וחלק מן התכונות הן פועל יוצא של מערך שלם של גנים, ולא של גן בודד.

ד. מוטציה - המקור הראשוני לשונות

נשוב כעת למוטציות שדיברנו עליהן מקודם.

הזכרתי מקודם את העובדה שלפעמים מתרחשת "מוטציה" הגורמת לשינוי בצאצא, כגון הולדת טיגריס לבן. מהי בעצם ה"מוטציה" הזו שאנו מדברים עליה?

נקודה נוספת למחשבה: תיארתי זה עתה את השונות בין בני המשפחה כנובעת מתמהילים/צירופים שונים של המטען הגנטי מהאב והמטען הגנטי של האם. בבסיס ההסבר הזה עומדת העובדה שהמטען הגנטי של האב **שונה** מהמטען הגנטי של האם, שאם לא כן, כלומר, אילו המטען הגנטי של כל העולם היה זהה, כי אזי לא היה בסיס גנטי לשונות (לגיוון), אלא כל העולם היו "תאומים זהים", ולא היתה כל משמעות לכך שהכרומוזומים מהאב מתערבבים עם הכרומוזומים של האם, מאחר והם זהים!

מהו אפוא **המקור** לשונות במטען הגנטי של בני העולם?

ובכן, גם המקור הראשוני לשונות ולגיוון שיש בין בני האדם הוא במוטציות. המוטציות, שטיבן יבואר בסמוך, גורמות לכך שהמטענים הגנטיים של בני האדם יהיו שונים זה מזה. תודות לכך שהמטענים הגנטיים של האב והאם שונים, יש משמעות ל"ערבוב הגנטי" שבהפריה, המפיק צירופים גנטיים חדשים ומגוונים.

ומהי אפוא המוטציה?

ובכן, כפי שכבר ראינו, הצאצא מתחיל את קיומו כתא בודד - ביצית מופרית. מהתא הבודד הזה נוצרים כל מיליארדי התאים של גופנו, ובכללם תאי הנבט (שיהפכו בבא הזמן לתאי הרבייה שעומדים בבסיס הדור הבא). בכל פעם ממיליארדי הפעמים שהתא משכפל את עצמו, הוא נדרש לשכפל גם את המטען הגנטי האצור בתוכו - מולקולת הדנ"א בת שלושה מיליארדי זוגות הבסיסים.²² תהליך השכפול הוא מורכב ביותר ובמהלכו עלולות ליפול תקלות מסיבות שונות ומסוגים שונים. תקלות אלה, טעויות/שינויים אלה בהעתקה, מכונות **מוטציות**.

מוטציות עשויות להתרחש ממגוון של סיבות: חשיפה לחומרים כימיים מסוימים, חשיפה לקרינה ולחומרים רדיואקטיביים, או בשל מגוון תקלות "טבעיות" באחד מהתהליכים המורכבים הכרוכים בשכפול. התוצאות האפשריות לתקלות אלה מגוונות אף הן: החלפה של בסיס בבסיס אחר (מתוך הרצף בן שלושת מיליארד הבסיסים); הכפלה של קטעי דנ"א, היפוך של קטע (כלומר מטען גנטי שהוראותיו נקראות כעת בצורה הפוכה, ומניבות תוצאות אחרות), שינוי מקומו של קטע בדנ"א, שינוי במספר הכרומוזומים ועוד.

בתא מצויות מערכות בקרה שתפקידן לבקר את איכות ההעתקה ולתקן את התקלות הנופלות בה. מערכות אלה מטפלות ברוב התקלות, אולם למרות זאת אחדות מצליחות "לחמוק" מתחת עיניהן הפקוחות ובסופו של דבר, מוטציות קורות, והן אף שכיחות למדי. כמו כן, כאשר היצור החי או הצומח נמצא במצוקה,

22 המספר מתייחס לתא אנושי, אך אינו שונה בעיקרון מתאים לא אנושיים. השיא שמור בינתיים לאמבה בשם *Amoeba dubia*, אשר לה 670 מיליארד זוגות בסיסים!

קיימת פגיעה במערכות הבקרה הללו, והתוצאה היא שיעור מוטציות גבוה עשרות מונים על פני השיעור הרגיל.²³

מוטציה שעוברת לדור הבא

אם המוטציה אירעה באחד מתאי הגוף "הרגילים", נניח שתא עור הועתק שלא כראוי, כי אזי גם אם תהיה לארוע זה משמעות, היא תצטמצם לאדם בו אירעה המוטציה ולא תהיה לכך כל השפעה על צאצאיו.²⁴ אולם אם מוטציה גרמה לשינוי בתא רבייה, ואותו תא רבייה שימש ליצירת צאצא, תתבטא המוטציה בכל תאי גופו של הצאצא,²⁵ ויהיה לנו עסק עם אדם שהמטען הגנטי שלו שונה במעט מה"נורמה". אם המוטציה פגעה באחד מהגנים ושינתה אותו, נוצרה גירסא חדשה של הגן - אלל חדש.

מה בעצם בכוחה של מוטציה לחולל?

הרבה מאד, ולא כלום. תלוי היכן בדיוק פגעה המוטציה ומה הוא טיבה.

1. לא כלום

מרבית השינויים הללו מסתכמים בסופו של דבר בלא-כלום, על כל פנים בטווח הקצר. מרבית החומר הגנטי הוא אזור בלתי פעיל, ששינויים משינויים שונים

23 יש חוקרים הסבורים שתקלה זו במערכות הבקרה היא "מכוונת", על מנת להעלות את הסיכוי שתתרחש מוטציה שמשפרת את סיכויי של בעל החיים לשרוד בתנאים החדשים שנוצרו. (יבלונקה, אבולוציה בארבעה ממדים, עמ' 94 ואילך). אגב, בעקבות מנגנוני הבקרה הקפדניים כמות הטעויות במהלך שכפול דנ"א של אדם היא כאחת לכל עשרה מיליארד בסיסים. מעריכים שללא מנגנוני הבקרה, שיעור הטעויות היה אחד למאה (שם, עמ' 101).

24 אחת המשמעותיות המצערות של מוטציות בגוף האדם היא התפתחותו של גידול סרטני: הצטברות מוטציות (שנגרמות כאמור גם מחשיפה לקרינה ולרעלים שונים שנמצאים בין השאר במזוננו) עלולה לפגוע במנגנון הבקרה של התא ולגרום לו להתפצל ולהתרבות ללא פיקוח.

25 אין מדובר דווקא במקרה שאותו תא רבייה מסוים עבר מוטציה, אלא גם אם מוטציה שאירעה בהורה גרמה לכך שכל תאי הרבייה שלו יהיו שונים מהרגיל.

מצטברים בו מבלי להשפיע על התפקוד²⁶ כמו כן, מרבית השינויים הם שינויים קטנים שאינם באים לידי ביטוי.

2. שינויים הגורמים לנזקים

אולם יש גם מוטציות הגורמות לנזקים כבדים. נכון להיום, אנו מכירים ארבעת אלפים סוגים שונים של מחלות תורשתיות, זאת אומרת, ארבעת אלפים פגמים שונים שאנשים שונים נושאים במטען הגנטי שלהם ואשר גורמים למחלות להם ו/או לצאצאיהם. דוגמא של מחלה תורשתית היא מחלת הטאי זאקס הפוגעת בעיקר בבני העדה האשכנזית שחלק מחבריה נושא את הפגם הגנטי הזה. דוגמות נוספות הן מחלת הסיסטיק פיברוזיס, אנמיה חרמשית, פולידקטיליה ואוליגודקטיליה (מספר אצבעות גדול או קטן מחמש) ואכונדרופלזיה (גמדות תורשתית).

הזכרתי לעיל את האפשרות למנין לא תקין של כרומוזומים (עודף או חוסר בכרומוזום מסוים), תופעה המתרחשת בעיקר כתוצאה של תקלה בתהליך המיזוג. תקלות אלה הן בדרך כלל הרסניות בכל הנוגע לבני האדם. לדוגמא, תסמונת דאון נגרמת מעותק עודף של כרומוזום מס' 21. (מעניין וחשוב לדעת כי שכיחותה של תסמונת זו תלויה בין השאר בגיל היולדת: סיכוייה של אשה בת 25 להוליד ילד עם תסמונת דאון הם 1 ל-1,400, ואילו בגיל 45, עולים הסיכויים ל-1 ל-19). תקלות מסוג זה בדרך כלל אינן עוברות לדור הבא משום שהצאצא הפגוע הוא בדרך כלל עקר. לא תמיד עודף של כרומוזומים מהווה קללה. בעולם הצומח נפוץ מצב שבו יש הכפלה של כל המטען הגנטי בתא (מצב הנקרא פוליפלואידיות), והוא מקנה לצמחים עמידות רבה יותר. בארץ מגדלים כמה גידולים שהושבחו גנטית באמצעות טכניקות מתקדמות ואשר המטען הגנטי שלהם הוכפל. הצמחים

26 אני משתמש כאן בהגדרה הרחבה של המונח מוטציה, לפיה כל שינוי ברצף הגנטי הוא מוטציה. לפי הגדרה צרה יותר, משמש המונח מוטציה רק לתיאור שינוי ברצף הגנטי שיש לו משמעות מעשית: שינוי פעילותו של גן וכדומה. מובן שכאשר מדובר על קצב המוטציות ושיעור המוטציות חשוב לוודא באיזו הגדרה נעשה שימוש.

המושגים חסונים ובריאים יותר, ומניבים תנובה הגבוהה פי כמה מגידולים רגילים.²⁷

3. שינויים "נייטרליים" וחיוניים

לפעמים המוטציה גורמת לשינויים ממשיים אלא שהללו אינם משפיעים בהכרח לרעה, ויש מהם שמשפרים את מצבו של מושא המוטציה.

דוגמות לכך הן ההבדלים בסוג הדם, בגון העור, בצבע העיניים ועוד. דוגמא בולטת למוטציה "חיובית" היא המוטציה המאפשרת סבילות ללקטוז. מסתבר שבקרב היונקים, היכולת לעכל את הלקטוז שבחלב הולכת ונעלמת כאשר בעל החיים נגמל מהניקה. מצב זה מאפיין גם את מרבית האנושות (כ-75% בערך מן הבוגרים מתקשים לעכל לקטוז). אולם ישנו הבדל חד בין בני הקבוצות השונות, כאשר בקרב עמים אפריקאיים ואסייתים שונים הרגישות ללקטוז נפוצה בכ-90% מקרב הבוגרים, בעוד אשר בקרב הצפון-אירופים הרגישות היא רק בקרב 5% מהאוכלוסיה! ההבדל הזה נעוץ במטען גנטי שונה, במוטציה שאירעה והתקבעה בקרב אוכלוסיות שעסקו בגידול בהמות מגיבות חלב. נקל לשער את היתרון הרב שמוטציה כזו העניקה בכך שפתחה מקור מזון נוסף בפני מגדלי המקנה. בעצם אין קץ לדוגמות של מוטציות חיוביות, שכן כל תכונה חיובית שמעוגנת במטען הגנטי ואשר לא היתה חלק מהמטען הגנטי קודם לכן היא דוגמא של מוטציה חיובית. דוגמות נוספות יפורטו להלן בהמשך הספר.

האם המוטציות יכולות לגרום לשינויים יותר "מרשימים"?

ובכן, קודם כול, גם ההבדלים שמנינו הם די מרשימים. קחו לדוגמא הולנדי גבה קומה ובהיר והשוו אותו לפיגמי שחור עור ושיער שגובהו מטר וחצי ותראו שההבדלים די מרשימים. אלו הם הבדלים במטען הגנטי. אם נגדל את תינוקו של ההולנדי בכפר פיגמי ואת תינוק הפיגמים בכפר הולנדי הדבר לא ישנה את ההבדלים הללו הטבועים בכל תא מתאי גופם. הבדלים מסוג זה אינם נוצרים בבת

27 כגון גידולי קיקיון (לתעשייה) המניבים פי ששה עד עשרה יותר מהממוצע. מקור באתר החברה המפתחת: www.kaiima.com.

אחת ובמוטציה יחידה. פרקי זמן ארוכים שבהם הצטברו מוטציות שונות בעמים שונים אלה הביאו לשוני הרב שבין שתי הקבוצות הללו.

אולם, לפעמים יש בכוחה של מוטציה בודדת לחולל שינוי מרחיק לכת. בעיקר אמורים הדברים במוטציות הפוגעות בגנים הנקראים **גנים רגולטורים**. תפקידם של הגנים הרגולטורים הוא **לווסת** את מידת הביטוי של הגנים האחרים ואת משכו. מוטציה בגן רגולטורי עשויה לגרום לעצירה / האטה / האצה / פיתוח של מבנה מסוים או התנהגות מסוימת בפרט, ובכך לגרום לתוצאות מרחיקות לכת.

לעצירה / האטה בתהליך, קוראים **נאוטניה**, ואילו להאצה / פיתוח של תהליך קוראים **היפרמורפיזם**.

נאוטניה

כאמור, כאשר מוטציה גורמת לתהליך מסוים להעצר או להאט קוראים לכך נאוטניה. הכוונה היא שמבנה או תהליך מסוים המאפיין שלב מוקדם בחייו של בעל החיים, ממשיך ללוות אותו גם בשלבי החיים המאוחרים שלו, בעוד השינוי וההתפתחות מעוכבים.

דוגמא לכך היא נטייתם של כלבים בוגרים לקשקש בזנבם, תכונה המאפיינת גורי זאבים. דוגמא נוספת היא כנפיהם של העופות הלא־מעופפים: הפרופורציות של כנפיים אלה מאפיינות בדרך כלל את הפרופורציות של כנפי הגוזלים. על מנת "להפיק" כנפיים לא־מעופפות כמו שיש ליען די בכך שהגן המווסת את צמיחת הכנפיים יעבור מוטציה ויעצור את צמיחת הכנף בטרם עת - ישאיר אותה במצב הילדותי. מובן שעל מנת שהתקלה הזו תתקבע ותהפוך לגורמה באוכלוסיה עליה להיות תקלה שאינה פוגעת בסיכויי ההישרדות של העוף, כגון בעוף חזק וגדול דוגמת היען או בעוף שחי באזור נטול סכנה כמו הדודו. גם באדם יש מרכיבים של נאוטניה, כגון: הסבילות ללקטוז שבחלב (המאפיינת את גורי היונקים אך הנעלמת בדרך כלל בקרב יונקים בוגרים), ואף מבנה הגולגולת (הדומה דמיון מפתיע לגולגולת של שימפנזה עובר...) ואף ההליכה על שתיים. נשים מגלות תכונות נאוטניות ביחס לגברים במידת שיעור הגוף, גוון הקול ותכונות נוספות.

נאוטניה מסוג "מרשים" יותר היא זו שמאפשרת לבעל חיים להיות בוגר מינית ולהעמיד צאצאים מבלי להגיע לבגרות פיזיולוגית (פרוגניזיס). דוגמא בולטת לכך

מספק האקסולוטל המקסיקני (Axolotl). בעל חיים זה שייך למחלקת הדו־חיים (בדומה לסלמנדרות ולצפרדעים). כידוע, בשלב החיים הראשון של הדו־חיים הם חיים במים ונושמים באמצעות זימים ואף מזכירים דגים במראיהם החיצוני. בשלב הבוגר של חיהם הם מפתחים ריאות וחיים אף מחוץ למים תוך איבוד הדמיון לדגים. בשלב זה הם בוגרים מינית ומעמידים צאצאים. בתנאים רגילים, האקסולוטל נשאר בשלב הראשון שלו כל ימי חייו ונעשה בוגר מינית באותו שלב ראשוני. הסיבה לכך שהאקסולוטל נשאר כל חייו בשלב הראשון נעוצה בחוסר בהורמון המעורר את בלוטת התריס (כתוצאה ממוטציה). מעניין לציין שהמידע הגנטי הנחוץ למעבר לשלב הבוגר קיים עדיין אצל האקסולוטל, וכאמור, רק "תקלה" שהפסיקה את ייצור ההורמון היא זו שגורמת לו להישאר ראשון. ניתן לגרום לאקסולוטל להתפתח ולעבור לשלב הבוגר־פיזיולוגית שלו על ידי החדרת יוד או החדרת ההורמון החסר תירוקסין. אקסולוטלים אלה מפתחים ריאות ומקבלים מראה דמוי לטאה.²⁸

היפרמורפיזם

בעוד שבנאוטניה מתחולל עיכוב/עצירה של התפתחות איברים ותכונות מסוימות, הרי שבהיפרמורפיזם מתחולל ההיפך: פעילות יתר העשויה לגרום להתפתחות מואצת של איבר או תכונה מסוימים.

דוגמות להיפרמורפיזם הן התפתחות של שיער והפיכתו לחלק גוף שאינו מוגדר עוד כשיער, כגון קרן הקרנף, קוצי הקיפוד והדרבן ושערות החוש בשפמם של יונקים מסוימים. ניתן לראות את מוחו המפותח של האדם כהיפרמורפי ביחס למוחם של קופי האדם.

היפרמורפיות וניאוטניה יכולות אפוא לשכון בכפיפה אחת, כאשר מוטציות שפוגעות בגנים מסוימים גורמות לגנים מסוימים לפעול באופן נאוטני ולגנים אחרים לפעול באופן היפרמורפי.

די־אן־איי ותורשה



אקסולוטל

היצור החביב שבתצולם סובל מפגם בפיגמנטציה ולכן הוא ורוד. ששת ה"קישוטים" שלראשו הם הזימים, המאפשרים לו לנשום מתחת למים. בתנאים רגילים, יישאר האקסולוטל כל ימיו בצורה זו.



אקסולוטל יבשתי (Terrestrial Axolotl. © Henk Wallays)

אקסולוטל שייחשף ליוז, יעבור התפתחות בדומה למיני סלמנדרה אחרים, ויהפוך לבעל חיים יבשתי. בין השאר הוא יאבד את הזימים המעטרים אותו.

ובכל זאת, כמה כבר אפשר להשתנות?

רגע לפני שנמשיך, ברצוני להסב את תשומת הלב לנקודה חשובה:

ברצוני להציג בפניכם שני יצורים שונים למדי, ולשאול אתכם על הסבירות שהאבולוציה חוללה תמורה כה משמעותית באחד מהם, עד שבסופו של דבר הוא הפך ליצור האחר, השונה ממנו מאד.

היצור הראשון, נקרא לו א', הוא יצור החי בתוך המים, נושם רק בתוך המים באמצעות זימים, חסר גפיים אך בעל זנב ארוך ומרשים ונראה כמו סוג של דג. האחר, ב', בעל חיים קצר ונטול זנב, בעל ארבע רגליים ובעל ריאות מפותחות עמן הוא נושם מחוץ למים,

המחקר טוען כי יצור א' התפתח ליצור ב'.

האם אין הדבר מופרך?

ומנגד, טענה זו מזכירה את דברי חז"ל שצוטטתי בתחילת הספר:

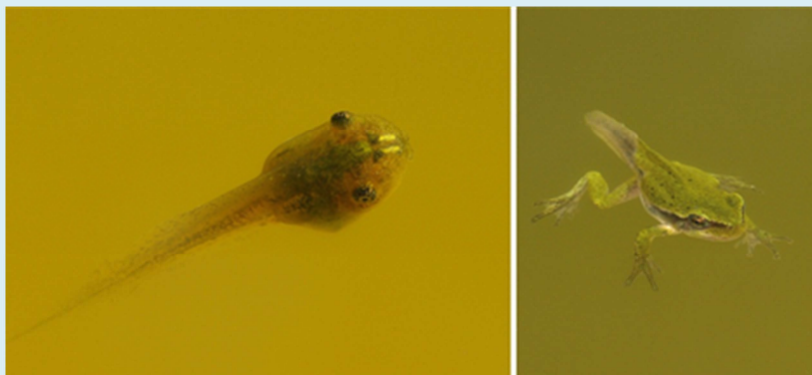
צבוע זכר לאחר שבע שנים נעשה נקיבה, נקיבה לאחר שבע שנים נעשה עטלף, עטלף לאחר שבע שנים נעשה ערפד, ערפד לאחר שבע שנים נעשה קימוש, קימוש לאחר שבע שנים נעשה חוח, חוח לאחר שבע שנים נעשה שד (ברייתא בבבלי בבא קמא טז א, וראה מימרא דומה בשם ר' זביד בירושלמי שבת א, ג).

הברייתא טוענת שבעלי חיים עשויים לעבור תמורות משמעותיות ולהפוך מבעל חיים אחד למשנהו.

דעה ידועה נוספת בחז"ל היא שהכנים אינן נוצרות מפריה ורביה (שבת ק"ז ע"ב) וכי לכן ההורגן בשבת פטור. וכתב על כך בתחילת המאה הקודמת בעל המשנה ברורה (שטז ס"ק לח) שהכניה אינה באה מזכר ונקבה אלא נוצרת מן הזיעה לעומת הפרעוש שהייתו מן העפר. לפי דעה זו, יצורים חיים ורוחשים עשויים להתפתח מחומר דומם.

אולם כשבא המחקר וטוען בפנינו שיצור א' הפך ליצור ב', אנו מתייחסים אליו בחוסר אמון מופגן, בגלל הרגלי החשיבה שניטעו בנו.

ובכן, לגבי היצורים א' וב', אולי כבר ניחש הקורא שמדובר בתהליך הקורה מידי יום ביומו בעולמנו: תהליך הגלגול של הראשן לצפרדע, תהליך שבו מתחולל מהפך של ממש בבעל החיים המופלא הזה. יכולתי כמובן להביא כדוגמא את הגלגול שעובר הזחל הארוך והשמן כשהוא הופך לחרק מעופף עדין שנראה שדבר אין לו במשותף עם קודמו. אולם אני סבור שהמופלא מכול הוא תהליך שכל אחד מהיצורים החיים עובר במהלך חייו: תהליך שבו תא אחד בודד, ביצית מופרית, מתחלק, מתרבה ומתמיינ והופך לבעל חיים. תהליך של אבולוציה מתרחש בכל אחד מאתנו, והוא מהווה הוכחה שאכן יצור חי ובעל נשמה יכול להתפתח מיצור שאינו אלא תא אחד.



צפרדע כמעט־בוגרת לעומת ראשן (© Christian Fischer 2008)

כאשר הצפרדע תשלים את התפתחותה, היא תאבד גם את הזנב הקצר שבתמונה. הצפרדע היא בת למחלקת הדו־חיים, אותה היא חולקת עם הקרפדות, התולענים, הסלמנדרות הידועות ועוד.

4 המוטציה ברמת האוכלוסיה

עד כה דנו במשמעותה של מוטציה בבעל חיים בודד וצאצאיו, אולם ענייננו כאן הוא בעיקר באוכלוסיות של בעלי חיים ובזאת נעסוק בפרק זה.

שכיחות האַלֵּלים השונים באוכלוסיה

כפי שצינתי לעיל לגנים מסוימים יש יותר מגירסא אחת, וגירסאות שונות אלה נקראות: אַלֵּלים. ציינו לעיל את האללים השונים הקובעים את סוג הדם. אללים אנושיים ידועים אחרים הם האללים הקובעים את צבע עיניו של האדם, את צבע עורו ותכונות אחרות. אללים שיש להם חשיבות מיוחדת הם אלו הקשורים לפגמים גנטיים: ציינתי לעיל את העובדה שידועים עד כה כ־4,000 גנים שיש להם גם אלל פגום הגורם למחלות וליקויים תורשתיים כגון: סיסטיק פיברוזיס, טיי זאקס, עיוורון צבעים, המופיליה ועוד.

השכיחות של הגירסאות השונות הללו, של האללים הללו, אינה מתפזרת בהכרח באופן שווה באוכלוסיה, כמו כן, שיעור שכיחותה באוכלוסיה אחת אינו זהה בהכרח לשיעור שכיחותה באוכלוסיה אחרת. גם באוכלוסיה נתונה אחת, שכיחות זו עשויה להשתנות במשך הזמן, כאשר גירסה חדשה של אלל עשויה להפוך לגירסא השכיחה באוכלוסיה ולדחוק את רגליה של הגירסא המתחרה. (במקרה שאלל מסוים דוחק לחלוטין את האלל המתחרה ונמצא בקרב כל בני הקבוצה, אנו אומרים שהאלל עבר "קיבוע" (Fixation), והוא "אלל מקובע").

לדוגמא, האלל הפגום הגורם למחלת הטיי זאקס שכיח בעיקר בקרב יהודים ממוצא אשכנזי. באוכלוסיית ארצות הברית, נמצא את האלל הזה אצל אחד מכל 27 יהודים אשכנזים (זאת אומרת, בקרב כ־3.7% מכלל האוכלוסיה), ולעומת זאת בקרב האוכלוסיה הנוצרית נמצא את האלל הזה אצל אחד מכל 300 (כשליש האחוז מכלל האוכלוסיה).²⁹ אנשים אלה הנושאים אלל פגום אחד אינם חולים במחלה, שכן העותק השני והתקין שיש להם הוא דומיננטי ומחפה על העותק הפגום. אמנם, אם שני אנשים הנושאים עותק פגום יינשאו זה לזו וכל אחד יוריש את העותק הפגום שלו לצאצא, יהיה הצאצא חולה במחלה. הסיכוי לנישואי שני נשאים באוכלוסיה

היהודית הוא אחד ל-729 (27X27), ואילו בקרב האוכלוסיה הנוכרית הסיכוי הוא אחד ל-90,000 (300X300). מה שמדגים את הצורך של בני זוג מהאוכלוסיה האשכנזית לעבור בדיקת התאמה גנטית לפני הנישואין.

דוגמא נוספת מתחום סוג הדם: לאינדיאנים בני פרו, לבני הבורובו בברזיל ולשומפנים בניקובר (הודו) יש סוג דם אחד בלבד: O (גם בקרב שבטים אינדיאניים נוספים יש שכיחות גבוהה מאד של סוג דם זה). 82% מבני שבט בלקפוט, מאידך, נושאים דם מסוג A דווקא, בדומה ללפים הסקנדינביים (63%). 5% מהיהודים ממוצא מערב-אירופי נושאים סוג דם AB, לעומת 8% בקרב יהודים ממוצא מזרח-אירופי. שיאני סוג הדם AB הם בני האיינו ביפן (18%). טבלאות מפורטות ניתן למצוא ברחבי האינטרנט.³⁰

מה משפיע על שכיחותם של האללים השונים? יתר על כן, כיצד נוצר מצב בו אלל אחד נעשה הגורם השכיח באוכלוסיה מסוימת בעוד האלל המתחרה נעשה שכיח באוכלוסיה אחרת? בנושא זה נעסוק כעת.

שינוי שיעור השכיחות באוכלוסיה על ידי ברירה מלאכותית וברירה טבעית

ראינו לעיל כיצד התערבות האדם יכולה להשפיע על התפתחות זנים שונים של בעלי חיים וצמחים. האדם בוחר מבין מגוון הפרטים השונים של בעלי החיים והצמחים שעומדים לרשותו - איזה מהם יעמיד את הדור הבא של הצאצאים, ובכך הוא מעלה את שכיחותן של התכונות הרצויות לו, בדור הבא, על חשבון התכונות המתחרות ששכיחותן הולכת ופוחתת. כאשר אדם בורר, דור אחר דור, את הפרות בעלות תנובת החלב הגבוהה ביותר, מה שהוא בעצם עושה זו ברירה של אלל מסוים (האלל המכתיב תנובת חלב גבוהה), והעדפתו על פני האלל המתחרה (המכתיב תנובת חלב נמוכה יותר). בכך, שכיחותו של האלל המועדף והנברר עולה ביחס לשכיחותו של האלל הדחוי. נמצא שבמשק האנושי לא לכל האללים יש הזדמנות שווה לשגשג ולעבור לדור הבא.

אולם, מה קורה בטבע? האם בטבע יש הזדמנות שווה לכל האללים? לכל הגירסאות השונות?

30 נתונים אלה נלקחו מהאתר: <http://www.bloodbook.com/world-abo.html>.

ובכן, מסתבר שגם הטבע הוא בררני למדי, אולי אפילו יותר מדי... בעלי חיים רבים נולדים בטבע, אולם רק מיעוט שבמיעוט זוכה להעמיד צאצאים, ורק מיעוט שבמיעוט מצאצאים אלה זוכה לשרוד ולהעמיד צאצאים גם הוא. צא וראה שאפילו "מלך החיות", האריה, זוכה לכך שרק **חמישית** מצאצאיו ישרדו את השנתיים הראשונות לחייהם!³¹ וכמובן, לא כל גורי האריות שהגיעו לגיל שנתיים יזכו להעמיד ולדות. אין צורך להכביר במלים על מינים שונים של דגים המטילים מיליוני ביצים מידי שנה, ואשר רק מתי מעט מהם שורדים.

ומה מעיב על סיכוייהם של בעלי החיים לשרוד ולהעמיד צאצאים?

מגוון סיבות: טורפים, מחלות, רעב, צמא ותאונות הם גורמים הגודעים את חייהם של **רוב** בעלי החיים הנולדים בטבע לפני הגיעם לבגרות ולפני שהעמידו צאצאים משלהם.

גם כאשר בעל חיים זכה והגיע לבגרות, אין זה אומר שהוא יזכה להעמיד צאצאים. בקרב מינים רבים התחרות על הרבייה היא תחרות קשה ורחוקה מלהיות שוויונית. בעלי חיים מסוימים יזכו להפרות נקבות רבות, ובעלי חיים אחרים לא יזכו לכך כלל. בחלק מן המינים הדבר תלוי במאבקים שונים שמנהלים ביניהם הזכרים על עמדת השליטה (בחלק מן המינים רק מנהיג הקבוצה הוא המפרה), ובחלק מן המינים הדבר תלוי פשוט במידה בה בעל החיים נושא חן בעיני הנקבות.

על פי מה נקבע מי ישרוד ומי לא?

הדעת נותנת שבקרב אוכלוסיה של בעלי חיים שחשופים תדיר לסכנות האמורות, ייטיבו לשרוד אלו שמתאימים יותר לאתגרים שמציבה סביבת החיים שלהם. "התאמה" עשויה לשקף כל תכונה שהיא, כאשר תכונה המתאימה לסביבה מסוימת עשויה להיות לרועץ בסביבה אחרת. תכונות אלה יכולות להיות: מהירות, חוזק, עמידות בפני מחלות מסוימות או בפני טפילים מסוימים, אומץ, פחדנות, גודל, כסות פרווה סמיכה/דלילה יותר, צפורניים ארוכות יותר וכדומה.

חשוב גם להבין שלכל תכונה יש גם מחיר, ולכן גם גבול עליון. ניקח לדוגמא עדר של זברות המתמודדות עם טורפים דוגמת אריות. הדעת נותנת שככל שהזברה תהיה מהירה יותר, כן היא תשרוד טוב יותר מחברותיה (הזברה לא צריכה

31 מקדונלד, יונקים, עמ' 31.

להיות מהירה יותר מהאריה, כי אם מהירה יותר מחברותיה הנמלטות...). לזברה בעלת רגליים קלות וארוכות יהיה אפוא סיכוי טוב יותר לשרוד ולהעמיד צאצאים, ואנו נצפה לראות במהלך הדורות זברות בעלות רגליים ארוכות יותר וקלות יותר. (כלומר, כשם שהאיכר בורר לו את הפרות בעלות תנובת חלב גבוהה ביותר, וכעבור כמה דורות אנו מגלים עדר עם תנובת חלב גבוהה מדור המייסדות, כן נסיבות חייהן של הזברות בוררות את הזברות בעלות הרגליים הקלות והמהירות, ואנו נצפה לראות מדור לדור זברות מהירות יותר ויותר). אולם הדבר אינו כה פשוט, משום שלרגליים קלות וארוכות יש גם מחיר כבד: חשיפה גבוהה יותר לפציעה ולשבירים לעומת רגליים חסונות וקצרות, סיכון שמשמעותו מבחינת הזברה גזר דין מוות (בפי הטורפים). מה מסוכן יותר מבחינת "ניהול הסיכונים" של הזברה להיטרף בגלל מהירות בלתי מספקת או להיטרף בגלל רגל שנשברה? אין לכך תשובה חד משמעית משום שהתשובה תלויה גם בסביבה: האם מדובר בעדר זברות קטן יחסית הנמצא באזור השורץ אריות (במקרה זה עדיף להיות מהיר מיתר הזברות), או שמא מדובר בעדר גדול יותר הנמצא באזור שאין בו אריות רבים (במקרה זה עדיף להיות חסון). דבר זה יקבע מי בסופו של דבר יהפוך להיות הנפוץ יותר בעדר הזברות בדור הבא: הזברות קלות הרגליים והמהירות או הזברות איתנות הרגליים.

וכך בכל דבר: השריון העבה של הצב גורם לו להיות איטי ומסורבל. האם עדיף שריון כבד ומגן יותר או שריון קל ומגביל פחות? תלוי בסביבה ובסכנותיה.

לעתים ה"מחיר" הוא מסוג אחר: ידוע ש"אין ארוחות חינם", וכל תכונה שבעל החיים מתהדר בה "עולה כסף": האנרגיה שבעל החיים משקיע בבניית האיבר ובהחזקתו, האנרגיה שהוא משקיע בהפעלת האיבר. אנרגיה זו מקבל בעל החיים ממזונו, והמזון הוא מצרך מוגבל וגם מסוכן (אם הוא אוכל־עשב, הרי הוא חושף את עצמו במשך שעות רבות לטורפים. גם אם הוא נמנה על הטורפים, יש לזכור שפעולת הציד עצמה מסוכנת גם לטורף). נוסף על כך, האנרגיה שצורכת בניית גופו של בעל החיים והפעלתו מתחרה באנרגיה הנדרשת לתהליך ההריון והמלטת הצאצאים, תהליך הדורש כמויות עצומות של אנרגיה. מה עדיף? להשקיע בבניית גוף חסון וגדול או להשקיע ביצירת צאצאים? ואם בצאצאים עסקינן: האם להשקיע במספר רב של צאצאים קטנים, או במספר מועט של צאצאים גדולים? האם להמליט כמה פעמים בשנה או פעם בכמה שנים? (מדובר כאן בהשקעה כפולה:

האנרגיות העצומות הכרוכות בתהליך ההריון עצמו וההשקעה הרבה הנדרשת על מנת לשמור ולהאכיל את הצאצאים).

מובן שהעדיפות היא להמליט כמה שיותר פעמים, כמה שיותר ולדות, ושיהיו כמה שיותר גדולים וחסונים. אבל אלו הן מותרות שאינן ניתנות חינוך בטבע, ובעל החיים נדרש לשמור על איזון בין כמות הצאצאים שהוא מסוגל להביא לעולם, לבין יתר התכונות הדרושות להישרדותו כמו פיתוח גוף חסון ומהיר. שכן כמות האנרגיה המוגבלת משמשת לשני הדברים הללו גם יחד ומגבילה את שניהם גם יחד.³²

הוא אומר, כשאנו מדברים על התכונות שיגרמו לכך שבעל חיים מסוים יזכה להוריש את תכונותיו במידה רבה יותר מחבריו, בגלל התאמתו לסביבה התורמת להישרדותו - אנו מדברים על **התאמה לסביבה**. לא על חוזק או מהירות או גודל כשלעצמם.

הגיוני, הלא כן? ובכל זאת אביא כמה דוגמות מהטבע שמדגימות את הברירה הטבעית בפעולה:

1. ברירה טבעית: דגי גופי 1

דגי גופי הם דגים קטנים וססגוניים החיים בנהרות דרום-אמריקה. דגים אלה שונים זה מזה במידת ססגוניותם ובכתמים שעליהם. לססגוניות ולבולטות של דגים אלה יש יתרון וחסרון: הבולטות מושכת את תשומת לבן של נקבות דגי הגופי, ודגים אלה זוכים להתרבות יותר מהדגים הבולטים פחות. מצד שני, בולטות זו מושכת גם את תשומת לבם של הטורפים ובכך היא גורמת להתמעטותם של הדגים הבולטים.

במחקר שנערך על דגי גופי³³ חולקו דגי גופי מכל הסוגים למספר בריכות מלאכותיות:

32 מובן מאליו שבעל החיים לא "שואל את עצמו" מה עדיף, האם עדיף להמליט צאצאים גדולים או קטנים וכדומה. כשם שאיש מאיתנו לא שואל את עצמו האם כדאי לו לגדל אזניים גדולות או קטנות. השאלה והתשובה ניתנות על ידי נסיבות חייו של בעל החיים. בקרב בעלי החיים קיים מגוון/שונות. חלק מהזברות, לדוגמא, יולדות צאצאים רבים וקטנים וחלק מעטים וגדולים. באזור ובזמן שאסטרטגיית הקיום היעילה יותר היא המלטת צאצאים רבים וקטנים, ישרדו יותר זברות (או מה שלא יהיה) הנושאות בגופן את התכונה הזו מאשר זברות הנושאות את התכונה ההפוכה, ואילו כשישתנו התנאים תשתנה המגמה ותתהפך על פיה.

33 אנדלר, דגי גופי.

בריות בעלות חלוקי נחל גדולים (בהן דגים בעלי כתמים גדולים בולטים פחות) ובריות בעלות חלוקי נחל קטנים (בהן דגים בעלי כתמים קטנים בולטים פחות). כמו כן, בחלק מן הבריות הוכנסו דגים טורפים ובחלק לא.

כעבור כ־15 דורות של דגי גופי נבדקה שוב אוכלוסיית כל הבריות. הטבלה שלהלן מציגה איזו אוכלוסיה נמצאה בכל בריכה כעבור 15 דורות אלה:

בריות עם דגים טורפים	בריות עם דגים טורפים	בריות ללא דגים טורפים
בריות עם חלוקי נחל גדולים	דגים בעלי כתמים גדולים	דגים בעלי כתמים קטנים
בריות עם חלוקי נחל קטנים	דגים בעלי כתמים קטנים	דגים בעלי כתמים גדולים

כלומר: בבריות בהן היו דגים טורפים, "נעלמו" הדגים הבולטים ואוכלוסיית הדגים שנשארה היתה מורכבת מהדגים שלא בלטו בסביבה ושזכו לחמוק מעיניהם של הטורפים. ואילו בבריות בהן לא היו דגים טורפים, "נעלמו" הדגים שלא בלטו, ואוכלוסיית הדגים שנשארה היתה מורכבת מהדגים שבלטו בסביבה ולכן זכו הם למשך את תשומת לבן של נקבות הגופי. בכך הודגמה כוחה של הברירה על ידי טורפים, והברירה על ידי נקבות.

זו דוגמא פשוטה במיוחד המדגימה את עקרונות היסוד של הברירה. דוגמא מאלפת בהרבה נובעת מהמחקר הבא על דגי הגופי:

2. ברירה טבעית: דגי גופי 2

מחקר מעניין נוסף³⁴ נערך בחיק הטבע. דגי גופי הועברו לשני אזורים שונים בנהר: אזור אחד בו אין נוכחות של דגים טורפים ואזור שני בו קיימת נוכחות של טורפים.

כעבור שמונה שנים (כשלושים דורות במונחים של דגי גופי) שבו החוקרים ומצאו ששתי האוכלוסיות נבדלו זו מזו בצורה מעניינת למדי:

באזור שבו לא היו דגים טורפים, דגי הגופי השריצו צאצאים גדולים ובמספר מועט יחסית לדגי הגופי שחיו באזור בו היו דגים טורפים, שהשריצו צאצאים קטנים יותר ובמספר מרובה.

34 גורדון וחב', דגי גופי.

הסיבה להבדלים אלה היא שבמקום שבו יש דגים טורפים קיים סיכון שהצאצאים ייטרפו או שהאם תיטרף ולא תינתן לה הזדמנות נוספת להשרצה, ולכן יש עדיפות לדגים המשריצות בכל פעם מספר רב של צאצאים.

מצד שני, בסביבה בה אין סכנה מצד טורפים, יש עדיפות לצאצאים גדולים יותר, שיוכלו להתמודד טוב יותר בתחרות על משאבי מזון, לדוגמא.³⁵

המחקר על דגי הגופי מהווה הדגמה נאה לאופן בו תכונות הנמצאות באוכלוסיה בשכיחויות שונות (כתמים גדולים/קטנים; השרצת דגים קטנים ורבים / גדולים ומעטים) מושפעות מקיומם של טורפים, מסיכויי רבייה, ומסיכויים למצוא מזון. כל התכונות הללו היו מצויות בשכיחות זו או אחרת בקרב דגי הגופי, אולם כעבור שלושים דורות עלתה שכיחותן של תכונות מסוימות שהתאימו יותר לסביבת הדגים ככל שירדה שכיחותן של תכונות שלא התאימו יותר, ובכך נוצרו אוכלוסיות שונות מאותה אוכלוסיה מקורית.

3. ברירה טבעית: לטאות

דוגמא מאלפת נוספת להיווצרות של זנים שונים בפרק זמן זעום הודגמה במחקר שהתמקד בלטאות מסוג *Italian wall*.³⁶ בשנת 1971 הועברו חמשה זוגות של לטאות מסוג זה מאי אחד בים האדריאטי לאי שכן. שלושים ושש שנים לאחר מכן נבדקה אוכלוסיית הלטאות שהועברה ונמצא כי התחוללו בה שינויים מפליגים. השינויים כללו הבדלים בגודל ובצורת הראש, בעוצמת הנשיכה, ולמרבה הפלא, בפיתוח מבנים חדשים בדרכי העיכול (מסתמים צקאליים: מחיצות במעי הגורמות להאטה במעבר האוכל ומאפשרות לחיידקים לפרק את החלקים הצמחיים הקשים לעיכול). גם הבדלים התנהגותיים נצפו. המקור לכל השינויים הללו היא העובדה שהאי שממנו הגיעו הלטאות הוא אי צחיח יחסית ובו תזונת הלטאות מושתתת על חרקים, ואילו האי שהלטאות הועברו אליו עשיר בצמחיה אשר מספקת כשני שלישים

35 על מנת שלא להשאיר מקום לספק, ולהוכיח שהתכונות שהתפתחו הן אכן התכונות המתאימות בצורה הטובה ביותר לסביבה בה הן התפתחו, לקחו החוקרים דגים משתי האוכלוסיות והעבירו אותם לאזור האחר: כלומר, דגים מסביבה נטולת טורפים הועברו לסביבה עם טורפים, ולהיפך. כצפוי, נמצא שסיכויי ההישרדות של הדגים שהיו מותאמים למקומם היו גדולים ב-59% מסיכוייהם של הדגים שהובאו מהסביבה השונה.

36 סאיינס דיילי, אבולוציה מהירה בלטאות.

מתצרוכתן של הלטאות. בעקבות המעבר לתזונה צמחית, התפתחו מבנים שאפשרו התמודדות טובה יותר עם מזון צמחי. כל זאת בפרק זמן שנחשב זעום במיוחד.

4. ברירה טבעית במוטציה אחת: חלזונות

מקרה מעניין המדגים כיצד מוטציה בודדת עשויה לגרום להתפצלות של מינים: חלזונות מסוג *Sastuma* חשופים לאיומי נחש קטן מסוג *Pareas iwasaki*. לנחש זה מערכת שיניים המותאמת במיוחד לשליפת החלזונות מקונכיותם, אלא ששיניו מותאמות לקונכיות שהפיתול שלהן הוא בכיוון השעון, כמרבית הקונכיות. מסתבר שמוטציה בודדת גורמת לכך שחלק מן החלזונות יגדלו קונכיה עם פיתולים ההפוכים לכיוון השעון. מוטציה שכזו גוזרת בדרך כלל כליה על החלזונות שלקו בה, היות וצורת הקונכיה קובעת גם את מיקום איברי הרבייה של החלזון והפיתול ההפוך מקשה מאד על רבייתו של חילזון מוטנטי כזה עם יתר החלזונות שבקבוצה. למרות זאת, מסתבר שמספר החלזונות "ההפוכים" הולך ורבה במקומות בהם חשופים החלזונות לאיומי הנחש היות והקונכיה ההפוכה מקנה יתרון הישרדותי לחילזון. הקושי ברבייה בין חילזון "רגיל" ל"הפוך" עשויה להוות ברבות הימים חייך בין שני סגנונות אלה של חלזונות ולהוביל ליצירת שני מינים שונים, כל זאת בגלל מוטציה בגן בודד.³⁷

עליה בשכיחות של גנים שאינם מקנים יתרון (לכאורה)

להרחבת ההבנה, אני מביא בשני ה"מאמרים המוסגרים" שלהלן שתי תופעות נוספות העשויות להשפיע על עלייה בשכיחות של אלל שבמבט ראשון אינו מקנה כל יתרון. שתי התופעות הללו מעניינות ומלמדות, אולם אינן חובה לצורך הבנת יתר חלקי המאמר.

37 הוסו וחב', גן כיוון הקונכיה.

מוטציה מזיקה שמועילה

לעתים מוטציה מסוימת גורמת לנזק, ולמרות זאת שכיחות האלל הפגום עולה, מכיון שבסופו של דבר טמונה בנזק הזה תועלת הישרדותית.

אנמיה חרמשית היא מחלה תורשתית אשר גורמת לייצור לא תקין של המוגלובין. שמה של המחלה נובע מעיוות כדוריות הדם לצורה דמוית חרמש.

(למעוניינים במידע נוסף: במחלת האנמיה החרמשית קיימת מוטציה בגן המוגלובין B (HBB) המקודד פרוטאין בטא גלובין. בעוד שאלל נורמלי מקודד חומצה גלוטמית במקטע השישי של הבטא גלובין, המוטציה גורמת לקידוד ולין. שינוי זה מחומצת אמינו הידרופילית לחומצת אמינו הידרופובית מעודד היקשרות בין מולקולות ההמוגלובין. עם פלמור ההמוגלובין נגרם עיוות לתא הדם האדום והוא מקבל צורה "חרמשית". תאים כאלה מפונים במהירות ממחזור הדם, במיוחד בטחול, שם הם נהרסים).

אדם שנושא שני אללים פגומים של גן זה, ילקה במחלה וחייו יתקצרו משמעותית. אנו נצפה ששיעור השכיחות של אלל זה ילך ויפחת שהרי בדרך הטבע אנשים הנושאים את האלל הפגום הזה יעמידו פחות צאצאים מחבריהם. ואכן אלל זה כמעט שאינו קיים ברחבי העולם. כמעט - למעט אפריקה השחורה, שם - לא זו בלבד שהאלל קיים, אלא ששיעורו גבוה מאד: בין 10% ל-40% מכלל האוכלוסיה (ארגון הבריאות העולמי, אנמיה חרמשית).

מסתבר שאנשים הנושאים את האלל הפגום הגורם לאנמיה חרמשית פגיעים **פחות** למחלת המלריה, מחלה הנפוצה בעיקר באפריקה השחורה ואשר גורמת ל**כחצי מליארד חולים** ולשני מליון מתים מידי שנה בשנה.

מאחר ונשאים של אנמיה חרמשית מחוסנים באופן יחסי בפני המלריה, נמצא שלמרות שהחולים במחלה (קרי, הנושאים את שני העותקים הפגומים) ישרדו פחות מהבריאים, הרי שאותם אנשים הנושאים עותק אחד בלבד של האלל הפגום, שורדים טוב יותר מאנשים בריאים לחלוטין ששני העותקים שלהם תקינים ואשר לכן הם חשופים יותר למחלת המלריה. בכך באופן טבעי גדל שיעורם של הנושאים את האלל הפגום ביחס לאלו שלא נושאים אותו (וולמס ושות, מלריה).

פליאוטרופיה

כאשר אנו רואים שתכונה מסוימת הולכת ונעשית שכיחה יותר ויותר באוכלוסיה אנו מחפשים את היתרון ההישרדותי שלה ביחס לתכונות המתחרות. אולם לא תמיד נובע הדבר מיתרון הישרדותי של התכונה המסוימת הזו. לפעמים יש לנו עסק עם **פליאוטרופיה**. פליאוטרופיה היא תופעה בה גן בודד משפיע על **מספר תכונות במקביל**, מבלי שיהיה בין תכונות אלה קשר גלוי לעין. כתוצאה מכך, אם אחת מהתכונות הקשורות לגן זה תגלה עדיפות בהישרדות ותהפוך להיות התכונה הנפוצה באוכלוסיה, דבר זה יגרור אף את יתר התכונות הקשורות לאותו גן, אף אם להן עצמן אין יתרון ידוע ביחס לתכונות המתחרות. הדבר יהיה מובן יותר בדוגמא שלהלן:

בסיביר נערך מחקר מאלף בן ששים שנה בניסיון לביית שועלי כסף, מחקר שהחל במאמציו של החוקר בליאייב (Dmitry K. Belyaev, ראה: שמני, בליאייב). בליאייב הגדיר את "מרחק המנוסה" כמדד ל"ביות". הוא בחר את השועלים הכי "מבויתים" והעמיד מהם את דור השועלים הבא, והמשיך לברור בכל דור את השועלים ה"מבויתים" ביותר.

("מרחק המנוסה" הוא המרחק שבו בעל החיים מפסיק מעיסוקיו ו"מחליט" שעליו לנוס כתוצאה מאיום כלשהו. ככל שמרחק המנוסה גבוה יותר, כלומר, שבעל החיים חש מאיום פחות מקרבתו של האדם ומוכן להתקרב לאדם, בעל החיים נחשב כמבוית יותר).

למרבה הפלא, למרות שהברירה התייחסה תמיד רק לשאלת הביות, התברר כעבור כמה דורות שהשועלים השתנו בכמה מאפיינים נוספים, והלכו ונעשו דומים בכמה מאפיינים לכלבים: פיתחו אזניים שמוטות, חרטום קצר יותר וכתמים על הגוף, ואף החלו לנבוח ולהשמיע קולות הדומים לקול שמשמיעים הכלבים.

מסתבר אפוא שהגן שאחראי להתנהגותם ה"מבויתת" של השועלים, אחראי באותה המידה גם לתכונות האחרות של השועל שהשתנו. (מחקר זה שפך אור על ביותם של הכלבים, שהרי בכלבים, שמוצאם מהזאב, אירע גם כן השינוי ההדרגתי הכרוך בביות).

תופעה זו היא חשובה במיוחד. משום שפעמים רבות אנו נתקלים בתכונה שהשתנתה ואנו שואלים את עצמנו מדוע השתנתה תכונה זו, או: מדוע תכונה זו הלכה והפכה לנורמה באוכלוסיה למרות שאיננו רואים את היתרון שיש בתכונה זו על פני התכונות המתחרות.

ומסתבר אפוא שלא תמיד עלינו לחפש את היתרון של כל תכונה ותכונה בפני עצמה, אלא לבדוק אם היא אינה קשורה בקשר פליאוטרופי לתכונה אחרת בעלת יתרון הישרדותי.

סיכום ביניים

ראינו אפוא שהגנים, החורצים את המאפיינים שלנו ושל כל חי וצומח, מופיעים בכמה גירסאות (אללים), בעקבות המוטציות הקורות בתהליך העתקת המטען הגנטי. ראינו כמו כן שרק מיעוט מן הצאצאים שורדים ומגיעים לבגרות, ופחות מהם מעמידים צאצאים. מי זוכה במירוץ הזה לחיים? הן ההיגיון והן המחקר מראים שזוכה לכך **מי שמתאים במידה הרבה ביותר לסביבתו**, מבין אחאיו הרבים ומבין חבריו לעדר/להקה. לתהליך ההגיוני והטבעי הזה קוראים "ברירה טבעית" והוא בורר מידי דור את המותאמים ביותר לסביבתם כשם שב"ברירה מלאכותית" בורר האדם את אלה המותאמים ביותר לצרכיו. כשם שצרכיו השונים של האדם גורמים לפיתוח זנים שונים של בעלי חיים העונים על דרישותיו, כן נסיבות החיים השונות והמשתנות של בעלי החיים בוררים ומפתחים זנים שונים המותאמים כל אחד לדרישות סביבתו.

אולם, קיימים בטבע מנגנונים נוספים הפועלים לצד הברירה הטבעית ולפעמים מאפילים עליה. ועל כך להלן.

סחף גנטי

סחף גנטי הוא כינוי לתהליך הקורה באוכלוסיות קטנות והגובר לעתים על תהליך הברירה הטבעית שתיארת לעיל. אחת מצורותיו נקראת "אפקט המייסד".

אפקט המייסד

נניח שקבוצה מצומצמת של עשרה אנשים מתיישבת במקום מבודד ומתרבה במקום.

מספרם הזעום של חברי הקבוצה גורם לכך שהם אינם מייצגים בדיוק את שיעורי השכיחות שהיו באוכלוסיה ממנה הם הגיעו.

נניח לדוגמא שבאוכלוסית המקור ממנה הגיעו האנשים יש אללים ששכיחותם נמוכה מאד: אחד לעשרת אלפים. אין כמובן מניעה לכך שאחד מבני הקבוצה ישא בגופו את האלל הנדיר ההוא. אם כן הוא המצב, אזי בעוד אשר באוכלוסיית המקור אנו מדברים על שכיחות של אחד לעשרת אלפים, הרי שבאוכלוסייה החדשה מדובר על שכיחות של אחד לעשרה! (או אחד לעשרים, אם הוא נושא רק עותק אחד של אלל זה...). כשתפתח אוכלוסיית הא, שיעור השכיחות של אלל זה יהיה אפוא גבוה לאין שיעור משיעור השכיחות ה"רגיל" באוכלוסיית המקור, ולא משום שאלל זה מתאים במיוחד לחיים באי ההוא, אלא משום שבמקרה אחד האבות המייסדים של האוכלוסיה נשא בחובו אלל זה.

יתר על כן, באוכלוסיה כה קטנה, יד המקרה (או יד ההשגחה) עלולה להכחיד בנקל אללים שהיו שכיחים יותר באוכלוסיית המקור ולגרום לכך שרק אותם אבות מייסדים שהיו במקרה בעלי אלל נדיר יותר ישרדו, ויהפכו את האלל הנדיר לאלל השכיח באוכלוסיה.

תופעה דומה עשויה לקרות גם בלא הגירה. קורה לא אחת שגם אוכלוסיה מגוונת נכחדת ברובה בעקבות מחלה או אסון טבע אחר, ושורדת רק קבוצה קטנה ולא מייצגת של האוכלוסיה. גם במקרה זה, הקבוצה הקטנה לא תשקף בהכרח את השכיחויות שהיו באוכלוסיה המקורית. הצאצאים של אותה קבוצה קטנה ישקפו את השכיחויות, המקריות לפעמים, של הקבוצה ששרדה את האסון.

דוגמא לכך היא מה שאירע באי פינגלאפ (Pingelap, מאיי מיקרונזיה): בשנת 1775 בקירוב, הכחידה סערת טייפון את רוב תושבי האי ונותרו בו רק עשרים נפש. אחד השורדים נשא אלל של עיוורון צבעים. כיום, אחוז עיוורי הצבעים באי עומד על 5%, ואחוז הנשאים הוא 30%. לשם השוואה: בארצות הברית רק 0.003% מהאוכלוסיה הם עיוורי צבעים.³⁸

נישואים אנדוגמיים

אחד הגורמים החשובים לעלייה בשכיחות של אללים בקבוצות קטנות הוא נישואים בתוך הקבוצה ובידוד מקבוצות זרות. (זוהי גם הטכניקה שמשתמשים בה על מנת לטפח גזעים שונים של בעלי חיים).

כאשר נישואים מתבצעים בעיקר בין בני המשפחה, אזי במקום שהצאצא יקבל עותקים שונים ממקורות שונים, גדל הסיכוי שהוא יקבל עותקים דומים (ולעתים: עותקים דומים פגומים), וממילא גדלים הסיכויים גם לעליה בשכיחות מחלות תורשתיות.

זוהי הסיבה לכך שכיום נמנעים בדרך כלל מנישואים בין דודנים, מאחר ונישואים כאלה מעלים את הסיכוי להולדת צאצאים בעלי פגמים תורשתיים.

את התוצאה של נישואים אנדוגמיים אנו מכירים כיום היטב בדמות המחלות התורשתיות הפוגעות בפרט בעדות מסוימות. כך לדוגמא מחלות כמו תסמונת בלום תוארה רק אצל יהודים אשכנזים, ניוון שרירים מסוג 2B שכיחה במיוחד בקרב יהודים טריפוליטאים, מטכרומטיק לאוקודיסטרופי שכיחה בעיקר בקרב יהודים תימנים מאזור חבן, ותסמונת קוסטף פוגעת בעיקר ביהודים עירקים. מחלות אלה נגרמות כתוצאה ממוטציות שיצרו אללים פגומים, ואשר שכיחותן בקרב העדות הללו עלתה בעקבות נישואים חוזרים ונשנים בתוך העדה.

דוגמא "פיקנטית" יותר היא של בני שבט הוואדומה (Vadoma)³⁹ בזימבבואה. לחלק ניכר מבני שבט זה יש רק **שתי אצבעות בכף הרגל**. פגם זה נקרא

38 הסלס ומורטון, פינגלאפ. הערכות עדכניות יותר מדברות על שיעור של 10% עיוורי צבעים באי. כך לפי דיווחם של רופאים ישראלים שיצאו לאי בשליחות משרד החוץ בשנת 2002. ראה מלמד, פינגלאפ.

39 נקראים גם: Wadoma/Doma במקורות שונים.

'אקטרודקטיליה' (Ectrodactyly)⁴⁰ והוא פגם נדיר באוכלוסייה העולמית. במקרה של בני השבט, בידודו של השבט וגודלו הקטן יחסית גרמו לכך שפגם זה יתפשט בקרב בני השבט עד שדבק בו הכינוי "שבט כף-רגל-היען".⁴¹



אקטרודקטיליה (©)

נישואים חוזרים ונשנים בתוך קבוצה מצומצמת מגדילים את הסיכון להולדת צאצאים בעלי פגמים גנטיים, דוגמת האקטרודקטיליה המודגמת בתצלום זה. נישואים כאלה מצריכים משנה זהירות ובדיקות גנטיות מוקדמות של בני הזוג. זוהי הסיבה מדוע נישואים בין דודנים הם בעלי סיכון גבוה יותר מאשר נישואים בין זרים.

40 אקטרודקטיליה הוא מקרה מיוחד של אוליגודקטיליה (כף יד או רגל שיש בה מספר אצבעות קטן מהרגיל). באקטרודקטיליה חסרה/ות האצבע/ות שבמרכז הכף, מה שמקנה לכף היד או הרגל צורה המזכירה צבת.
41 פרל, ואדומה.

5 מיקרו־אבולוציה ומאקרו־אבולוציה

א. היווצרות המינים

עד כה ביססנו את ההבנה לכך שקיימים בטבע מנגנונים של שינוי (הלא הם המוטציות היוצרות אַלֵלים - גירסאות שונות לגנים, וה"ערבוביה" המתחוללת בתהליך ההפריה). ראינו כמו כן שקיימים מנגנונים הגורמים לכך שחלק מהשינויים יהפכו לנורמה באוכלוסיה בעוד אשר הגירסאות המתחרות שהיו עד אז השכיחות באוכלוסיה ילכו ויפחתו. מנגנונים אלה יכולים להיות מלאכותיים, כגון: ברירה בידי אדם של התרנגולת שמטילה הכי הרבה ביצים או בעלת הבשר הרב ביותר, או ברירה של הכלב הכי מהיר או הכי צייתן. מנגנונים אלה יכולים להיות טבעיים: ברירה של בעל החיים או הצמח המתאים ביותר לסביבתו, בכל מאפיין העולה על הדעת (גודל, חוזק, מהירות, מספר ולדות, גודל הולדות וכו'). יתר על כן, כמעט כל בעלי החיים הקיימים היום, קיימים בכמה "גירסאות" שונות: כמעט כל מין מתהדר בכמה תתי־מינים/זנים שונים.

עד כה דיברנו על דברים שבעצם הם מובנים מאליהם, ואף ללא הדוגמות שהבאתי וללא הסבר המנגנונים העומדים מאחורי תופעות אלה הם גלויים לכל המתבונן, שהרי כולנו רואים את המגוון והשוני שיש בכל מין של בעלי חיים ואף בקרב בני האדם. וארחיב במעט את הדוגמא הזו האחרונה לפני שנמשיך:

כולנו מכירים את ההלצה על יהודי, וְאָדומי וּבְמִבּוּתִי שנכנסים למסעדה...

ובכן, יהודי - אנו יודעים מה זה. על הָאָדומי קראנו זה עתה - אותו שבט שבכף רגלו שתי אצבעות במקום חמש. בבמבּוּתִי עוד לא פגשנו, ומן הסתם גם לא ניפגש, אך לצורך ענייננו: הכוונה לבן עם אפריקאי נמוך קומה השייך לקבוצת הפיגמים המפורסמים, שגובהו לא עולה על מטר וארבעים ס"מ. (שזה די נמוך, אם כי לא נמוך כמו בני האדם הננסיים שגובהם כמטר אחד, אשר כתריסר משלדיהם נמצאו באי האינדונזי פלורס - Flores).

ובכן, השאלה העולה היא: מה הקשר ביני לבין הוּאָדומי והבמבּוּתִי? (המעוניין בכך רשאי להוסיף גם סיני לתמונה). ומה הקשר ביני לבין אחיי ואחיותיי? או ביני לבין יהודים אחרים בני עדתי?

הבה "נעשה קצת סדר" בתמונה:

נניח שנותנים לי רשימה של בני אדם ואני אמור לסדר רשימה זו לפי מידת קרבתם אלי.

קרבתם אלי? אכן, כידוע "כולנו בני איש אחד נחנו" (בראשית מב יא), בני אדם הראשון, וממילא, כשם שאני ואחיי קרובים זה לזה, כך גם אני והסיני או הבמבתי קרובים זה לזה. כמובן, לא באותה המידה, אך עדיין קיימת בהכרח קרבה משפחתית ביני לבין כל אדם שעל פני האדמה אם נחזור לראשית האנושות.

ובכן, הבה נבחן את הרשימה הבאה: אח, דודן, יהודי אשכנזי, יהודי סורי, נוכרי בן הגזע הלבן, סיני ואפריקאי.

כיצד אני אמור לסדר רשימה זו?

ובכן, קיימות שלוש אפשרויות ושלושתן מתלכדות לאותן התוצאות:

1. סידור לפי ההיסטוריה המשפחתית:

הכרת ההיסטוריה המשפחתית מאפשרת לי לקבוע בנקל שמתוך רשימה זו: אחי הוא הקרוב אלי ביותר, ושני לו הוא דודני. הכרת ההיסטוריה של עדות ישראל מביאה אותי למסקנה שהיהודי האשכנזי בן עדתי הוא קרוב משפחה רחוק שלי, וכי היהודי הסורי גם הוא קרוב משפחה (שהרי שנינו בני יעקב) אם כי הוא רחוק ממני קצת יותר מאשר האשכנזי. גם הנוכרים הם שארי בשרנו, כמובן. מסתבר שמגילות יוחסין בנות אלפי שנים היו מגלות לנו שנוכרי המשתייך לגזע הלבן קרוב אלינו במידה מסוימת יותר מאשר נוכרי המשתייך לגזע הצהוב או השחור, וכי בסופו של דבר כולנו קרובי משפחה, בני אדם אחד.

2. סידור על סמך סממנים חיצוניים:

מאחר ואין לנו מגילות יוחסין ארוכות כל כך, מנין לי שכך הם הדברים? זאת משום שאני מסתמך גם על שיטת סידור אחרת: סידור על סמך מאפיינים פיזיים. שיטה זו תגלה לי לאלתר שאני קרוב לנוכרי בן הגזע הלבן, יותר מאשר לסיני. הגיוני. גם בלי מידע מוקדם על המשפחה, חדי העין שבינינו יוכלו לקבוע שאני קרוב יותר ליהודי אשכנזי באשר הוא, מאשר ליהודי סורי. וכמו כן, ניתן לקבוע על סמך טביעת עין זו מיהו אחי ומי לא.

3. סידור על סמך המטען הגנטי:

השיטה השלישית והמדויקת מבין השיטות היא השיטה הבודקת באופן ישיר את ההבדל הממשי ביני לבין הזולת: את המטען הגנטי שלי ביחס למטען הגנטי של הזולת.

שימוש בשיטה זו יראה לנו בדיוק את הסדר שגילינו תוך שימוש בהיסטוריה המשפחתית ותוך שימוש בהשוואת המאפיינים החיצוניים. המטען הגנטי שלי ושל אחי הם הדומים ביותר מבין המנויים ברשימה הנ"ל. הדמיון בין המטען הגנטי שלי לשל דודני מגיע למקום השני, ואחריו הדמיון למטען הגנטי של היהודי האשכנזי, של היהודי הסורי, של הנוכרי הלבן, ואחרי כן למטען הגנטי של הסיני והאפריקאי.

מידת הדמיון החיצוני בין האנשים שמניתי לעיל אינה מקרית, היא נובעת מדמיון במטען הגנטי שנובע בתורו מההיסטוריה הגנטית שעברה משפחת האדם הנבדק.

כולנו בני "אדם הראשון", כל בני האדם הם בני משפחה אחת, אולם משפחה זו נחלקת לקבוצות ותתי-קבוצות רבים: "גזעים", עמים, שבטים, משפחות-מורחבות ומשפחות-גרעיניות.

האדם נפרד לקבוצות שונות החיות בבידוד יחסי זו מזו. בקרב בני קבוצות אלה מתרחשים שינויים במטען הגנטי שלהם (כלומר, נוצרים אללים שונים באוכלוסיות השונות), וככל שחולף הזמן נעשות הקבוצות שונות אלו מאלו. מטען גנטי של קבוצה אחת מכתוב צבע עור בהיר, ואילו מטען גנטי של קבוצה אחרת מכתוב צבע עור שחור. מטען גנטי מסוג אחד מכתוב גובה ניכר והאחר - ננסות, חמש אצבעות בכף הרגל - לעומת שתי אצבעות, נטייה לאנמיה חרמשית לעומת העדרה ועוד.

קח אדם בעל צבע עור לבן, עיניים תכולות, סוג דם A, והשווה אותו לאדם בעל צבע עור צהוב, עיניים שחורות, סוג דם B. ההבדלים ביניהם אינם ניתנים למחיקה, הם נעוצים במטען הגנטי השונה שלהם. אולם מוסכם על כולנו ששני בני אדם אלה יצאו מאותו "אדם" הראשון. עובדה. וזאת למרות שאין "חוליות ביניים" בין סוג דם A וסוג דם B.

תהליך זהה גורם להיווצרות זנים שונים של בעלי חיים:

זנים שונים של זכרות בעלות מתכונת פסים שונה, דובים שחורים לעומת דובי קוטב לבנים, קרנפים אסייתיים בעלי קרן אחת לעומת קרנפים אפריקאיים בעלי שתי קרניים, גמל בעל דבשת אחת לעומת גמל בעל שתי דבשות. תהליכים זהים מתרחשים בעולם הצומח והפטריה.

אני מניח שברור לכולם שכשם שהאדם הצהוב והשחור והלבן יצאו מאותו אדם קדום (שכמובן היה בעל צבע אחד), כך גם הדובים השחורים והחומים והלבנים יצאו מאותו דב קדום, וכך גם הזכרות השונות.

עד כה אני מניח, ומקווה, שאין קביעות אלה מהוות בעיה כלשהי.

אך מה בין כל זה לבין אבולוציה?

ובכן, זוהי גם כן אבולוציה, והיא נקראת "מיקרואבולוציה", אבולוציה שבתוך המינים עצמם. ה"רעש הגדול" נסוב (לשוא) על ה"מאקרו־אבולוציה",⁴² שמתארת אותו התהליך עצמו כשהוא ממשיך ומביא להתפתחותם של **מינים** חדשים, לא רק **זנים** חדשים.

קבענו שגם בני האדם בעלי חמש האצבעות בכף הרגל וגם בעלי שתי האצבעות מוצאם מאדם משותף (שהיו לו חמש אצבעות...). גם שחורי העור מקורזלי השיער וגם צהובי העור חלקי השיער יצאו מאדם משותף קדום (שהיה בעל שיער מקורזל? חלק? גלי? תלוי במאייירים השונים של ספרי התנ"ך). גם הזברה המפוספסת וגם הקואגה - זברה שמפוספסת רק בחלקה הקדמי - יצאו מאותה זברה משותפת קדומה.

קבוצות בני־האדם/הזכרות האלה היו מבודדים אלה מאלה, וכל קבוצה וזן צברו שינויים במטען הגנטי שלהם, שינויים שגרמו למאפייניהם השונים.

האם יש **גבול** להצטברות השינויים? האם יש רגע כלשהו שבעל החיים אומר לעצמו: זהו, יותר אינני משתנה? מה קורה אם עובר עוד ועוד ועוד זמן? האם ייתכן מצב שבו שתי קבוצות שנפרדו זו מזו והפכו ל"זנים" שונים, השתנו עד כדי שהם איבדו את היכולת להתרבות זה מזה (במקרה זה אנו קוראים להם "מינים" שונים)? מדוע לא?

42 ההבחנה בין מאקרו ומיקרו אבולוציה היא מלאכותית ביסודה, ומשקפת את ההבדל בין הבדלים קטנים לבין הצטברותם של הבדלים אלה לכלל הבדלים גדולים.

דיברנו על זנים שונים של זברה. אנו מכירים בעלי חיים אחרים שדומים דמיון מופלג לזברה: הסוס והחמור. הסוס, החמור והזברה הם **מינים** שונים. למרות שהם מינים שונים, הם דומים דמיון מופלג זה לזה. הם אפילו יכולים להתרבות זה מזה: כולנו מכירים את הפרד - פרי כלאיים של חמור וסוסה.⁴³ גם הכלאה של זברה עם סוס או עם חמור תניב יצור כלאיים. עם זאת, הזברה, הסוס והחמור נחשבים כבני מינים נפרדים, מאחר ובאופן כללי צאצאי התערובת שלהם הם עקרים, בניגוד לצאצאים של בני אותו המין.

מנין נובע הדמיון המופלג בין בעלי חיים אלה? ומנין נובע כושרם להתרבות זה מזה? (לא ניתן להכליא זברה או סוס עם בעלי חיים "רחוקים" יותר, כמו פרה או זאב ערבות, לדוגמא). מנין נובע הדמיון **במטען הגנטי** של הזברה, הסוס והחמור?

התשובה לכך היא שבעלי חיים אלה הם אכן קרובי משפחה. כשם שזני הזברה השונים יצאו כולם מזברה אחת קדומה, וכשם שזני הסוס השונים יצאו מסוס קדום, כן יצאו הסוס והזברה והחמור מבעל חיים קדום שהיה אביהם המשותף. קרבת המשפחה שלהם חקוקה במטען הגנטי הדומה שלהם, במבנה גופם הדומה, וביכולתם (המוגבלת אמנם) להתרבות זה מזה.

האם תיאור כזה הוא **בלתי אפשרי**? האם יש הבדל **עקרוני** בין ההבדלים שבין גזעי בני האדם, או הזנים השונים של הזברה, לבין ההבדלים שבין הזברה לסוס?

אנו יכולים להעלות בדעתנו מוטציה שתתרחש בבני שבט מבודד, ואשר תמנע מהם את היכולת להתרבות בהצלחה עם יתר בני האדם. כלום בשל כך נאמר שבני שבט זה אינם חולקים עמנו אב משותף אחד? ובהתאם לכך, אם בעל חיים "סוסי" קדום, הוציא מקרבו בעלי חיים מפוספסים וקצרי רעמה, ובעלי חיים חדגוניים וארוכי רעמה, שאינם מתרבים בהצלחה זה עם זה, האם בשל כך נאמר שאין הוא אביהם הקדמון המשותף?

תורת האבולוציה טוענת שהמגוון העצום של בעלי חיים וצמחים שאנו רואים סביבנו, לא היה כך מאז ומעולם, וכי מגוון זה התפתח ממספר מצומצם יותר של בעלי חיים וצמחים קדומים.

43 פרד זה נקרא באנגלית Mule, והוא הפרד השכיח. פרד שכיח פחות הוא בן סוס ואתון ושמו באנגלית Hinny.

הבה ונזכור שוב שהאדם הלבן, השחור והצהוב לא היו כך מאז ומעולם, והם התפתחו מאדם אחד. נזכור גם שמאות גזעי הכלבים לא היו כך מאז ומעולם, אלא התפתחו והיו למאות גזעים שונים, ואזי ניווכח בכך שהעיקרון עצמו מקובל עלינו על כרחנו.

האם הצלחתי לשכנע שייתכן, ואף מסתבר, שהזברה, הסוס והחמור נובעים מאב משותף, כשם שזני הזברה השונים נובעים מזברה משותפת?

בין אם כן ובין אם לאו (ההוכחות לטענה זו יידונו בהמשך), ברצוני להמשיך ולהציג תמונה מקיפה יותר של תורת האבולוציה:

ב. טקסונומיה על קצה המזלג

לעיל ערכתי רשימה של בני אדם שונים, וסידרתי אותם לפי מידת קרבתם אליי. קירבה זו הושתתה על היסטוריה משפחתית, על דמיון חיצוני ועל דמיון במטען הגנטי. שלושה מרכיבים הקשורים הדוקות זה לזה.

גם עולם החי מגלה סדר שכזה.⁴⁴ גם את עולם החי ניתן לסדר לקבוצות ולתתי־קבוצות על פי דמיון במאפיינים השונים של היצור ועל פי דמיון במטען הגנטי.

כולנו יודעים (אני מקווה...) את עיקרי המיון הזה אף מבלי שנבין את מקורו.

הבה נראה, לדוגמא, מהו יוצא הדופן בכל שורה מהשורות הבאות:

- סוס, זברה, חמור, אריה.
- אריה, נמר, טיגריס, זאב.
- סוס, אריה, זאב, נשר.
- סוס, אריה, נשר, מדוזה.
- סוס, אריה, מדוזה, זית.

אני מניח שזה היה קל. מטעמי נוחות מיקמתי את יוצאי הדופן במקום האחרון.

מה בעצם עולה מפתרון "חידה" זו?

44 בביטוי "עולם החי" אני מתייחס הן לעולמם של בעלי החיים, הן לעולמם של הצמחים, והן לעולם הפטריות, ולכל מה ש"חי". הדוגמות, עם זאת, נטולות מעולמם של בעלי החיים.

עולה שסוס, זברה וחמור מהווים קבוצה אחת, אשר האריה אינו חלק ממנה. גם האריה, הנמר והטיגריס מהווים קבוצה אחת אשר הזאב אינו חלק ממנה. אמנם, בשורה השלישית מתברר לנו שגם הסוס, האריה והזאב (בני שלוש קבוצות נפרדות) נמנים על קבוצה אחת ביחס לנשר.

ובשורה הבאה אנו רואים שגם הסוס והנשר (שלפני רגע הפרדנו אותם לקבוצות נפרדות) נמנים באותה הקבוצה ביחס למדוזה.

ואילו בשורה האחרונה אנו רואים שגם הסוס והמדוזה הרחוקים כל כך זה מזה, נמנים באותה הקבוצה ביחס לעץ הזית.

אנו מסוגלים לבצע בכוחות עצמנו את ה"סדר" שהדגמתי בקטע שלעיל ללא הכשרה מיוחדת, אולם מה עומד מאחורי סדר זה, על פי מה בעצם אנו מסדרים וממיינים את בעלי החיים השונים?

ובכן, מיון עולם החי הוא עסקו של מדע הטקסונומיה, מדע שאת התשתית שלו הניח החוקר השבדי קרולוס ליניאוס (Carolus Linnæus) בשנת 1735. ליניאוס עמד על כך שניתן לסווג את עולם החי לקבוצות ולתת לקבוצות על סמך מאפייניהם של היצורים השונים: מבנה גופם, עצמות השלד שלהם, איבריהם הפנימיים ועוד. לדוגמא: חיות בעלות שלד שייכות לאותה הקבוצה ביחס לחיות נטולות שלד, חיות בעלות פרסות שייכות לאותה הקבוצה ביחס לחיות בעלות כפות רגליים, וכדומה.

הרעיון הזה הוא בעצם מה שאיפשר לנו לפתור בקלות את "חידת יוצאי הדופן" שבראש דבריי, גם מבלי לדעת על עבודתו של ליניאוס, מאחר והדוגמות הציגו מקרים בהם הדמיון בין הפרטים בלט לעומת השוני של יוצאי הדופן.

לינאוס קבע חלוקה לחמש קבוצות זו למטה מזו: ממלכה, מחלקה, סדרה, סוג ומין. כיום נוספו עוד כמה חלוקות, והעיקריות מבחינתנו הן: **ממלכה, מערכה, מחלקה, סדרה, משפחה, סוג ומין.**⁴⁵

מה בין סוג למין?

45 באנגלית: Kingdom, Phylum, Class, Order, Family, Genus, Species.

המין מוגדר כ"יחידה הבסיסית ביותר למיון בעולם הטבע".⁴⁶ האריה הוא מין בפני עצמו, הנמר הוא מין בפני עצמו, הזברה היא מין בפני עצמו וכו'.

הסוג, לעומת זאת, משקף קבוצה הכוללת כמה מינים של בעלי חיים הקשורים זה לזה בקשר הדוק, כגון האריה, הנמר והטיגריס - שלושתם נמנים על אותו הסוג: הסוג פנתר.

ליניאוס קבע שכל יצור יקבל שם כפול: השם הראשון משקף את הסוג אליו הוא שייך, והשם השני הוא שם ייחודי למין.

בדוגמא שהבאתי, שמו המדעי של האריה הוא *Panthera leo*, ואילו שמו של הנמר הוא *Panthera pardus*, ואילו הטיגריס מתהדר בשם הצפוי *Panthera tigris*. (השם נכתב תמיד באותיות נטויות. **הסוג** מתחיל באות גדולה, וה**מין** באות קטנה).

מה לגבי גזעים שונים של אריות? הללו נחשבים כ"**תת־מין**", וכאשר אנו מתייחסים ל"תת־מין" (= "זן" בעולם הצומח) אנו רושמים את שמו **אחרי** הסוג והמין. לדוגמא: תת־המין אריה־אסייתי נקרא *Panthera leo persica*, ואילו תת־המין אריה־קלהרי נקרא *Panthera leo verneyi*.

ומה בדבר הברדלס? ומה בדבר החתול? קל לנו לראות את הקשר ואת הדמיון בין בעלי חיים אלה לבין האריה והנמר, אלא שהדמיון בין בעלי חיים אלה לאריה ולנמר אינו הדוק כמו הדמיון השורר בין האריה והנמר עצמם. הברדלס והחתול אינם נמנים על הסוג פנתר. הברדלס מהווה סוג בפני עצמו שכולל היום מין אחד בלבד: ברדלס־הערבות (בעבר היו מינים נוספים של ברדלס אלא שהם נכחדו), ואילו חתול־הבית המוכר לנו הוא תת־מין של חתול־הבר, שהוא עצמו אחד ממשנה מינים הכלולים בסוג "חתול".

נמצא אפוא שהחתול, הברדלס והאריה הם לא רק **מינים** שונים, אלא אף שייכים ל**סוגים** שונים. אולם, שלושתם נמנים על אותה **משפחה**: משפחת החתוליים (Felidae). משפחה הכוללת סוגים רבים נוספים. [תן דעתך להבדל שבין

46 כיום מקובלת ההגדרה לפיה מינים הם קבוצות של אוכלוסיות טבעיות היכולות לקיים ביניהן קשרי רבייה ומבודדות רבייתית מאוכלוסיות דומות אחרות. כלומר, בני בעלי חיים שמתרבים בטבע זה מזה שייכים לאותו המין, ואילו שני בעלי חיים שאינם מתרבים זה מזה אינם שייכים לאותו המין. בין שני מינים קרובים קיימים לפעמים בני תערובת, דוגמת הפרד, אלא שהללו בדרך כלל עקרים.

"חתול־הבית" - שמו של **תת־מין** המתייחס לחתולים המוכרים לנו כל כך, לבין "חתול" (*Felis*) - שהוא שם **סוג** הכולל ששה מינים (כגון חתול חולות, חתול ביצות, חתול בר), ולבין "חתוליים" (*Felidae*) - שהוא שם **משפחה** הכוללת סוגים ומינים רבים, כמו האריות, הברדלסים, חתולי הבית וכו'.

משפחה אחרת שכולנו מכירים היטב היא משפחת הכלביים (*Canidae*). **משפחה** זו מונה כמה **סוגים**, כגון הסוג כלב (*Canis*) והסוג שועל (*Vulpes*). הסוג כלב כולל כמה **מינים**, כמו כלב הבית, התן הזהוב, זאב הערבות, הזאב המצוי ועוד. כל אלה כלולים בסוג כלב. הסוג שועל כולל גם הוא כמה **מינים**, כמו שועל החולות, השועל המצוי, הפנק ועוד.

לשתי משפחות אלה, החתוליים והכלביים, מאפיינים שונים למדי אשר מאפשרים גם להדיט להבדיל ביניהם מבלי שיעמוד על היקף השוני בין בעלי חיים אלה. אולם גם שתי המשפחות הללו חולקות במאפיינים משותפים ונמנות לכן על אותה **הסדרה**. קל לעמוד על כך אם נשווה בעלי חיים אלה לבעלי חיים מסדרה אחרת, כמו הסוס או העכבר. האריה והזאב (וכל יתר בעלי החיים הכלולים במשפחת החתוליים ובמשפחת הכלביים) נמנים על **סדרת הטורפים**. הסוס שייך לסדרה שונה לגמרי: **סדרת מפריטי הפרסה** (סדרה המונה גם את משפחת הקרנפיים ומשפחת הטפיריים), ואילו העכבר נמנה על **סדרת המכרסמים** (סדרה המונה מעל אלפיים מינים שונים של בעלי חיים כגון הבונה, הסנאי, הדרבן ועוד). ההבדלים ביניהם אינם מתמצים רק בדמיון החיצוני. הם נבדלים במערך השיניים, במערכת העיכול, בצורת הגפיים, בסגנון החיים ועוד.

הגיע הזמן לעלות רמה: לרמת **המחלקה**. נפתח בשאלה: אלו ארבעה בעלי חיים יוצאים דופן ברשימה הבאה?

אריה, סוס, עכבר, קנגורו, עטלף, לויתן, כבש, היפופוטם, כלבים, סלמון, תנין, נשר, סלמנדרה.

זה כבר קצת יותר מבלבל. לפי מה אנו אמורים לקבץ את בעלי החיים הללו לקבוצות: חיות־יבשה לעומת חיות־ים? מעופפים לעומת שוכני־קרקע? טורפים לעומת צמחוניים?

ובכן, התשובה היא שארבעת בעלי החיים האחרונים ברשימה הם יוצאי הדופן. תשעת בעלי החיים הראשונים שייכים כולם לאותה **המחלקה**: מחלקת היונקים,

ולמרות השוני העצום שנראה לעינינו בין בעלי חיים כמו עטלף לוייתן וסוס, הם חולקים בתכונות רבות המשותפות להם.

קודם כול התכונה המגדירה את בני המחלקה הזו: **לכל** נקבות היונקים יש בלוטות חלב אשר באמצעותן הן מניקות את צאצאיהן (כן, גם העטלף והלוייתן מניקים את גוריהם).

תכונה אופיינית נוספת ליונקים היא כסות השיער/פרווה אשר להם (לעומת כסות של קשקשים, נוצות ושאר ירקות). גם ליונקים שאינם **מכוסים** בשיער (כמו הפיל) יש מעט שיער. אפילו היונקים הימיים חושפים תכונה זו: עובר הלוייתן מצמיח כסות שיער אשר נעלמת לפני הלידה. אגב תופעה זו נכונה גם לגבי עוברי אדם!

להלן כמה מן התכונות הנוספות בהן רוב היונקים חולקים:

- שבע חוליות צוואר. בין לג'ירף ארוך הצוואר ובין ללויתן "חסר הצוואר" ובין לבעלי חיים קטנים כעכבר יש שבע חוליות צוואר (באורך שונה, כמובן...).
- קשת עורקים יחידה הפונה לצד שמאל של הגוף. לזוחלים יש קשתות בשני הצדדים ואילו אצל העופות הקשת פונה לצד ימין.
- סרעפת החוצצת בין חלל בית החזה לחלל הבטן.
- שלוש עצמות שמע באוזן התיכונה, לעומת עצם אחת בקרב זוחלים ועופות.
- כדוריות הדם האדומות חסרות גרעין (בבוגרים).
- שיניים בעלות התמחות לצורות שונות: חותכות, ניבים, טוחנות וכו', לעומת שיניים מסוג אחד בקרב הזוחלים, או העדר שיניים בקרב העופות.

רוב תכונות אלה משותפות לכ־4,700 מינים שונים של בעלי חיים הנמנים על מחלקה זו: מעטלף עד לויתן, מסוס ועד דרבן. אלו כמובן אינן התכונות **היחידות** המשותפות בין בעלי חיים אלה, הרי בעלי חיים אלה חולקים ביניהם אותו השלד, ואותם איברים פנימיים ואינספור תכונות נוספות. לא מניתי כאן אלא תכונות המשותפות לבעלי חיים אלה **בלבד** לעומת בעלי חיים אחרים שאינם יונקים.

ואנו מתקרבים לסיום.

טִּטְרָפוּדָה (בעלי ארבע רגליים)

מנתי לעיל רשימה של שלושה עשר בעלי חיים: תשעה יונקים, דג, זוחל, עוף ודור-חיים. אם נוציא את הדג מן הרשימה, מה משותף לכל יתר החיות המנויות בה?

מתברר שהרבה מאד.

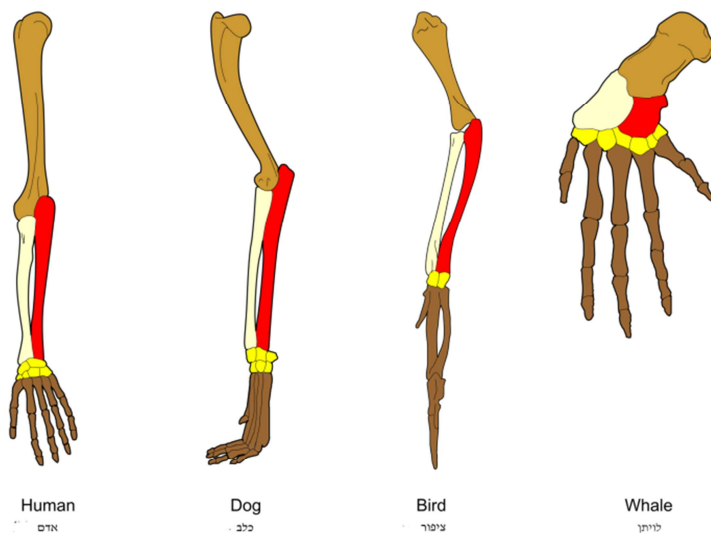
אם נתבונן בשלד של יונק, ציפור, זוחל או דור-חיים, נופתע לראות **אותו המבנה** בכל אחד מבעלי החיים הללו: שדרה בעלת חוליות, צלעות, גולגולת בעלת מבנה בסיסי דומה, איברים פנימיים דומים. המבנה הפנימי מפתיע ומהמם לעומת הצורה החיצונית השונה. בעיניי, המפתיע מכול הוא מבנה הגפיים: הגפיים בנויות לפי אותה מתכונת בסיסית (עצמות הזרוע, חישור וגומד, שורש כף היד, עצמות כף היד) בין אם מדובר ביונק (כמו אריה, עטלף ולוייתן) ובין אם המדובר בעוף (כמו נשר ופינגווין), בזוחל (כמו תנין ולטאה) ובדור-חיים (כמו צפרדע וסלמנדרה). בין אם המדובר בבעל חיים מעופף, צולל או הולך יבשה. ההבדלים בין בעלי החיים באים כמובן לידי ביטוי במבנה השלד שלהם: באורך העצמות השונות, בעוביין, בזוית החיבור וכדומה. מאפיינים אלה שונים מבעל חיים לבעל חיים בהתאם לסגנון חייו, גודלו, תנועתו וכו', אולם המבנה הבסיסי - אחד הוא.

יתר על כן, אפילו השוני מצביע על דמיון. ציינתי לעיל שליונקים יש שלוש עצמות שמע ואילו לעופות ולזוחלים יש רק עצם שמע אחת. אולם גם לעופות ולזוחלים יש את שתי העצמות היתירות אלא שהן משמשות כחלק מעצמות הלסת. עצמות לסת אלה "עברו דירה" אצל היונקים ומשמשות כיום כעצמות שמע.

ואכן, היונקים, העופות והזוחלים גם יחד שייכים גם הם לקבוצת-על: קבוצת ה**טטרפודה** (= בעלי ארבע רגליים). גם הם אפוא קרובי משפחה רחוקים, הקרובים זה לזה יותר משהם קרובים לבעלי חיים אחרים כגון הדגים.

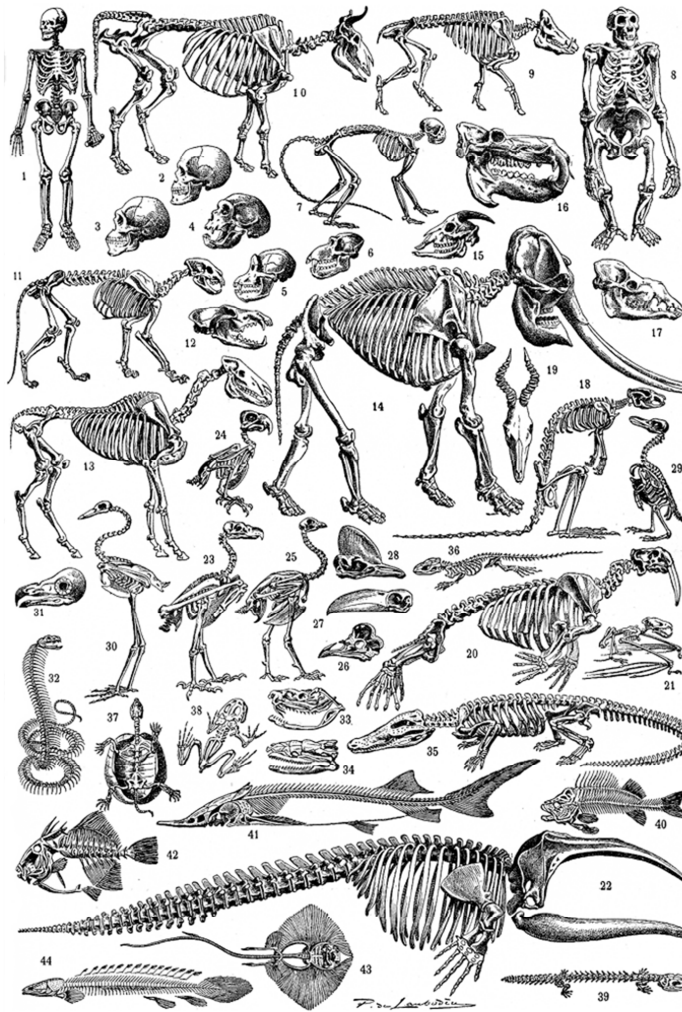
אך אם נתקדם עוד צעד נראה שגם לבעלי חיים אלה יש כמה מאפיינים משותפים עם הדגים: לאלה ולאלה יש עמוד שדרה (ועוד כתריסר מאפיינים משותפים אחרים), וביחד הם מרכיבים קבוצת-על הנקראת "**חולייתנים**" על שם חוליות השדרה המשותפות לבני הקבוצה, ובניגוד לבעלי חיים נעדרי חוליות, כמו הסרטנים, החרקים, כוכבי הים ועוד. דמיון זה בא בין השאר לידי ביטוי בעובדה שבשלבי חייו הראשונים של העובר, לא ניתן כמעט להבדיל בין עובר של דג, דו-חיים, זוחל, עוף ויונק.

מיקרו־אבולוציה ומאקרו־אבולוציה



סנפיר/כנף/רגל־קדמית/יד

ארבעה בעלי חיים השונים מאד באורח חייהם: לוייתן, ציפור, כלב ואדם. מביניהם, הציפור אפילו אינה משתייכת למחלקת היונקים. עם זאת, המבנה הבסיסי זהה: עצם הזרוע, עצמות הגומד והחישור, עצמות שורש כף היד, האצבעות. בפרט בולט הדמיון בין "כף ידו" של הלווייתן לכף ידינו.



שלדים

באיור זה, הכולל שלדים וגולגולות מארבעים וארבעה חולייתנים שונים, ניתן לראות בנקל את הדמיון הבסיסי בין החולייתנים, בין אם זה לוייתן (מס' 22), עיט (23), ניבתן (סוס ים, 20), קנגרו (18), חזיר בר (9), קוף קולובוס (7), גורילה (8) או אריה (11), לכולם אותו מבנה עצמות בסיסי, המותאם בכל בעל חיים לתנאי חייו.

מיון על פי המטען הגנטי

כפי שציינתי לעיל, הבסיס למדע הטקסונומיה הונח בשנת 1735, ובמהלך שתיים וחצי המאות הראשונות בוצעו מיונים טקסונומיים בהסתמך על מאפיינים אנטומיים ומורפולוגיים של בעלי החיים. כיום קיימת דרך ישירה ומדויקת בהרבה לצורך המיון הטקסונומי: בדיקת המטען הגנטי עצמו, או החלבונים שבעל החיים מייצר (ואשר משקפים בעקיפין את המטען הגנטי שאחראי על ייצורם). שלא במפתיע, התגלה כי המיון שנערך על סמך המאפיינים השונים תואם גם למיון שמתבצע על ידי בדיקת המטען הגנטי / החלבונים. מינים שונים של בעלי חיים הכלולים באותו הסוג מגלים דמיון גנטי רב יותר ממינים השייכים לסוגים שונים. בעלי חיים מסוגים שונים הכלולים באותה המשפחה מגלים דמיון גנטי רב יותר מאשר בעלי חיים שאינם כלולים במשפחה אחת, וכן הלאה. מובן שהשיטה החדשה מאפשרת הבנה מדויקת יותר של היחסים המדויקים שבין בעלי חיים שונים (כמו גם פתרון בעיות טקסונומיות שהשיטות הישנות לא הצליחו להכריען כגון בעיית הפנדה).⁴⁷

ג. מה לזה ולאבולוציה

כעת, משטעמנו טעמה של טקסונומיה, נוכל להבין מה טוענת האבולוציה. וקודם כול נשאל את עצמנו על בסיס האמור לעיל:

מהי משמעות הדמיון הרב שבין האריה לנמר, ובין הזאב לשועל? מהי משמעות הדמיון המסוים שיש בין האריה לזאב? או לדמיון שיש בין הכבש והעז? מדוע גם ללוייתן וגם לעז, גם לעטלף וגם לאריה יש אותו מבנה שלד, אותן עצמות גפיים, אותן שבע חוליות צוואר דווקא? מהי משמעות הדמיון בין שלד העכבר לבין שלד היונה ושלד הלטאה?

מדוע המטען הגנטי של בעלי חיים אלה דומה כל כך?

47 בעבר ניטשה מחלוקת בין החוקרים האם הפנדה שייך למשפחת הדוביים או למשפחת הראקוניים. בדיקות הדנ"א הכריעו לטובת משפחת הדוביים (לינדבורג וברגונה, פנדה).

טעגת האבולוציה היא שהבסיס לכל זה הוא קרבת משפחה ממשית. זאת אומרת: ככל שהקרבה רבה יותר, מבחינה חיצונית ומבחינה גנטית, כך אנו נניח שלשני בעלי החיים הדומים היה אב משותף קדום המיוחד להם.

אם נשוב לדוגמא של בני האדם: לי ולאחיי יש אב משותף אחד המשותף רק לנו ולא לאחרים. בה בעת, לי ולדודני יש גם אב משותף: הסבא, המשותף לי ולדודני אך לא לאחרים. לי ולכל היהודים אב משותף: יעקב; ולי ולישמעאלים אב משותף: אברהם; ולי ולכל בני האדם מכל הגוונים אב משותף: האדם הראשון. (דבר זה מכונה: "אב קדמון משותף", MRCA, most recent common ancestor).

ובחזרה לנושא שלנו: אנו מניחים שלשתי זברות בנות **אותו הזן**⁴⁸ יש זברה שהיא האב המשותף לשתיהן, ושאינו האב המשותף לזברות בנות הזן האחר. אולם גם לזברות אלה ולזברות מהזן האחר יש אב קדמון המשותף לאלה ולאלה, שהרי ככלות הכול, אלה ואלה זברות, אלא שבמשך שנים של חיים בתנאים שונים השתנו שתי קבוצות של זברות והיו לשני זנים. אותו זברה קדום חי לפני ההתפצלות לשני הזנים האמורים והוא "אביהם" של בני הזן הזה כמו גם של בני הזן האחר. אם נרחיק עוד יותר בזמן, נגיע לבעל חיים שהוא אב משותף לזברות ולסוסים. זאת אומרת, לבעל חיים שיש לו מאפיינים "סוסיים" הדומים לסוס ולזברה, מעין "מכנה משותף", ואשר צאצאיו התפצלו לשתי קבוצות אשר מאוחר יותר הפכו לסוסים החדגוניים ולזברות המפוספסות. אם נמשיך ונצעד אחורה, נגיע לבעל חיים שמשותף לסוסיים ולקרנפים, אך **לא** משותף לטורפים בעלי כפיים כמו הנמרים. (קרנפים?? אכן, היום נראים לנו הקרנפים שונים לחלוטין מהסוסים והזברות, והם אכן שונים ורחוקים. אולם, אם "נקלף" את המעטה החיצוני, נגלה שהם חולקים ביניהם בכמה מאפיינים משותפים. הטענה שהקרנף והסוס הם דודנים רחוקים בני אותה **הסדרה** לא צריכה להתמיה אותנו יותר מהטענה, שכולנו מודים בה, שכלב דני ענק וכלב צ'וואווה הם בני אותו **המין** עצמו). נצעד עוד יותר אחורה, **הרבה** אחורה, ונגלה בעל חיים המשותף למפריטי הפרסה הללו ולטורפים - בעל חיים יונק שהיו לו כבר המאפיינים העיקריים של היונק, אך לא התפצל עדיין לשתי הקבוצות הרחוקות הללו. (האם הוא פסע על כפות רגליים או על פרסות? כפות הרגליים הם המבנה ה"טבעי" והקדום יותר. הפרסות הן תוצאה של פיתוח מופרז

48 מטעמי נוחות אני משתמש בביטוי זן במובן של תת־מין למרות שזה לא מקובל בהתייחסות לבעלי חיים.

של אצבע או שתיים על חשבון ניוון האחרות). אולם איננו נעצרים שם. אם נצמד עוד יותר אחורה, נגיע לבעל החיים שהוא אביהם המשותף של הטטרפודים (= בעלי ארבעת הגפיים), אביהם של היונקים והעופות והזוחלים, ובו נמצא כבר את התכונות המשותפות לשלוש מחלקות אלה של בעלי חיים. אם נמשיך, נגלה את האב הקדמון המשותף לטטרפודים ולדגי הגרם: יצור שהיה בעל עמוד שדרה המורכב מחוליות. כל עוד נמצא תכונות משותפות, נוכל לצעוד אחורה ואחורה ולמצוא את האב הקדמון המשותף אשר בו התגלו כבר תכונות אלה לפני שנפוצו בקרב המינים שונים.

הטענה הזו נשמעת מטורפת לחלק מן האנשים, דבר משולל אפשרות והיגיון או תרגיל מחשבתי גרידא. אולם, אנו נראה להלן שהיא עובדה שאינה המוטלת בספק. **כל הראיות מצביעות על כך שאכן, כך בדיוק אירע הדבר.**

לפני שאפתח בעדויות התומכות בתהליך אותו תיארתי כעת בתמצות, ברצוני להדגיש שדווקא כמאמינים הרבה יותר קל לנו לקבל תיאור זה. הבעיה המיוחדת שיש לנו כמאמינים נובעת מהתפיסה שהתיאור הזה סותר לכאורה את המתואר בתורה או בדברי חז"ל. אולם, מעבר ל"בעיה" זו, קבלת האבולוציה כעובדה - **קלה יותר דווקא למאמין**. ומשום מה? משום שאין שום בעיה לתפוס את מעשה הבריאה באופן הדרגתי. להניח שהבורא כיוון את ההתפתחות באופן מסוים. האם הבורא **מנוע** מלברוא את עולם החי בדרך של התפתחות הדרגתית? האם **אנו** נאמר לו כיצד יש לברוא יצורים? (וברצוני להזכיר לקורא את הציטוטים בהם פתחתי ספר זה). התפיסה ה"רגילה" סבורה שהבורא ברא יצורים בוגרים ומפותחים. זוהי תפיסה מאד בעייתית וקשה להבנה. האם אריה וכבש נבראו במצב בוגר? מה היה אורך כסות השיער שלגופם? מה היה מצב גופם, זכרונם, מיומנותם? האם נבראו כבר עם המיומנויות ונסיון החיים שיש לבעל חיים בוגר? באיזה "גיל" הם נבראו? טענה זו היא די מוזרה, אם להתבטא בהמעטה, ובוודאי שהיא אינה רמוזה בתורה עצמה. לא נאמר לנו כיצד ברא הבורא את יצוריו. מאחר ואנו רואים כיצד כל פרט ופרט באוכלוסיה נולד שונה מחבירו, וכיצד כל מין ומין מתפצל לתתי־מינים (ושוב, די לנו לראות כיצד צאצאיו של האדם הראשון התפצלו לקבוצות כה שונות) שוב אין לנו מניעה הגיונית לשים גבול למגמת ההשתנות וההתפצלות.

למען הסר ספק, המדע אינו זקוק לסיוע בנושא זה, והוא מיטיב להסביר כיצד השינויים הללו אכן קורים, וכיצד המבנים השונים התפתחו. רצוני היה רק להסב את

תשומת הלב לכך, שכמאמינים, איננו זקוקים אפילו להסברים הללו, מאחר ואנו מאמינים ביד המכוונת את הבריאה.

ד. כיצד נוצר המגוון הזה של בעלי החיים?

כיצד נוצרו קבוצות שונות של בני אדם? מחסומים. קבוצות שונות של בני אדם התפתחו בנפרד ו/או בנסיבות חיים שונות, מבלי שיתערבבו אלה עם אלה. בין אם משום שחיו באזורים מרוחקים ומבודדים: הסינים חיו בסין והאירופים באירופה, לדוגמא. בין אם משום שלא אבו להתערבב (היהודים, לדוגמא). כפי שראינו, מוטציות קורות כל הזמן ויוצרות גירסאות חדשות של גנים (אללים). קבוצות המתפתחות בנפרד עשויות להיות חשופות למוטציות שונות ולאללים שונים, וכך ברבות הימים ייווצרו הבדלים גנטיים משמעותיים בין הקבוצות השונות. נוסף על כך, תנאי החיים השונים של הקבוצות השונות עשויים להשפיע על שכיחותם של האללים השונים. כלומר, גם אם אותן המוטציות קרו בקרב כל אוכלוסיות האדם ויצרו אותם אללים, הרי שבאוכלוסיה אחת עשוי האלל החדש להיות בעל יתרון הישרדותי ולשגשג, בעוד שבאוכלוסיה אחרת הוא עשוי להיות מזיק ושכיחותו תרד. (דוגמות חריגות לכך ראינו במקרה של האנמיה החרמשית הנפוצה רק בקרב אפריקאים, כמו גם בגנים הקובעים את גון עורו של האדם והמותאמים לאזור מגוריו). כזכור, גם ל"אפקט המייסד" יש לפעמים מה לומר בנושא זה.

דבר זה לא שונה בקרב בעלי החיים:

מחסום טבעי יכול להיווצר בין פרטים שהשתייכו קודם לכן לאותה הקבוצה: מפולת או רעידת אדמה או הטיית אפיק של נהר עשויה לגרום בנקל להפרדה בין חברי הקבוצה.

לחלופין, לפעמים פרטים בודדים נוטשים את הקבוצה ומוצאים לעצמם אזור מחיה חדש, כשם שהאדם נדד עד שהגיע לכל קצוות תבל.

בפרט עדים אנו לתופעות כאלה בכל הנוגע לאיים: רוחות סערה ושיטפונות עשויים לסחוף בעלי חיים וצמחים ממקומות רחוקים לאיים נידחים בהם הם מוצאים תנאי חיים חדשים מצד אחד, וניתוק מיתר בני מינם מאידך.

מה קורה משעה שיש ניתוק?

המוטציות ממשיכות לנחות באין מפריע על האוכלוסיה האם ועל האוכלוסיה הפורשת. אולם, אין יותר ערבוב בין אלה לאלה. מה שיקרה כאן, לא יקרה כאן. כל קבוצה מתפתחת בדרכה שלה. ראינו לעיל את השינויים שקרו לדגי הגופי וללטאות בפרק זמן של שנים. מה עשוי לקרות כעבור אלף שנה? מאה אלף? מליון? מאה מליון? **מיליארד שנים?**

אך כאן הבן שואל: מיליארד שנים? רק לספור עד מיליארד ייקח לנו עשרות שנים.⁴⁹ אמת, מיליארד שנים הוא פרק זמן שאינו נתפס, ואנו עשויים לצפות לשינויים מרחיקי לכת כעבור פרק זמן שכזה. הרי אפילו אירוע שמתרחש "פעם במיליון שנה" יקרה אלף פעם בפרק זמן של מיליארד שנה! אבל מה לעשות, והעולם קיים פחות מששת אלפים שנה?

ובכן, זו אינה בעיה גדולה. כמאמינים, לו נאלצנו להאמין שהעולם קיים כששת אלפים שנה, יכולנו לפתור את הבעיה בטענה שהקב"ה זירז את ההתפתחות בצורה דרסטית, אבל עדיין זה לא היה פותר אותנו מלקבל את העובדה שעולם החי נברא בצורה של התפתחות, של אבולוציה, משום שכל הראיות מצביעות על כך.

אולם, היות והאמת היא שהעולם אכן קיים מיליארדי שנים (צר לי לאכזב את מי שעובדה זו מצערת אותו משום מה), ושבאמת התפתחותם של בעלי החיים והצומח התנהלה לאורך מיליארדי שנים, אבקש לשפוך מעט אור על נושא גיל העולם.

למרות שבמובן מסוים אנו "נוטשים" את הנושא העיקרי, אני מאיץ בקורא הנכבד לקרוא את הפרק שלהלן על גיל העולם, מאחר והוא כולל בתוכו פרטים הקשורים קשר הדוק להתפתחות החי והצומח בעולמנו, ומלבד זאת הוא כולל כמה נתונים די מרתקים בעיניי.

49 אם נקדיש שניה אחת לכל מספר, יחלפו כשלושים ושתים שנה עד שנגיע למיליארד.

6 גיל העולם

א. אלפים או אלף אלפי אלפים?

אפתח קודם כול בטענה שכדור הארץ אכן קצת יותר מבוגר מששת אלפי שנים. למעשה, גילו המוערך הוא 4.54 מיליארדי שנה.

כיצד מתיישב הדבר עם מקורותינו? דבר זה יידון בחלקו השני של הספר. לעת עתה, אני מרשה לעצמי לשוב ולצטט מדברי הראי"ה קוק ומדברי ה"ר גדליה נדל, שבדבריהם פתחתי ספר זה.

וכך כותב הראי"ה קוק (שמונה קבצים, אות תקצד):

להשוות סיפור מעשה בראשית עם החקירות האחרונות הוא דבר נכבד. אין מעצור לפרש פרשת אלה תולדות השמים והארץ, **שהיא מקפלת בקרבה עולמים של שנות מליונים**, עד שבא אדם לידי קצת הכרה שהוא נבדל כבר מכל בעה"ת, וע"י איזה חזיון נדמה לו שצריך הוא לקבע חיי משפחה בקביעות ואצילות רוח, ע"י יחוד אשה שתתקשר אליו יותר מאביו ואמו, בעלי המשפחה הטבעיים. התרדמה תוכל להיות חזיונית, **וגם היא תקפל איזה תקופה**, עד בישול הרעיון של עצם מעצמי ובשר מבשרי. והודיע הכתוב שקדושת המשפחה קדם להבושה הנימוסית בזמן, וכן במעלה...

ואילו ה"ר גדליה נדל כותב (בתורתו של ר' גדליה, עמ' צב):

גם לגבי קביעת גיל העולם אין סיבה לחשוב שהמדענים משקרים. ובאמת, גם הסברה הפשוטה נותנת כך... האמונה בבריאת העולם היא האמונה שהיתה התחלה. שהזמן התחיל פעם, אבל כמה זמן עבר מההתחלה - אין שום הבדל עקרוני בין מספר קטן לגדול. אלא מה, בתורה כתוב "ששת ימים"? - בשביל זה כתב הרמב"ם את ספרו, בשביל שתדע שאפשר לפרש ביטוי בתורה לא כהוראתו המילולית... אין אתה יכול, ואסור לך, להשליך את השכל מאחורי גוך.

וברצוני להתעכב מעט על הנקודה הזו, שרבים ממאנים לקבלה מתוך מחשבה שגויה שהיא סותרת את המקורות.

(ואגב כך ברצוני להעיר שתי הערות על מנין השנים היהודי: מנין השנים "לבריאת העולם" אינה מסורת יהודית קדומה. בתורה, בנביאים ובכתובים מעולם לא נמנו שנים "לבריאת העולם", וגם בימי חז"ל והגאונים מנו את השנים לפי "מנין השטרות", כלומר לשנת היווסדה של ממלכת סלוקוס בשנת 312 לפני הספירה. אשר לחשבון עצמו (שהוא כאמור חשבון שאינו מבוסס על מסורת חיה אלא על חישובים), רגליים לדבר שבכל הנוגע לימי בית שני הוא אינו תואם להיסטוריה, וכי חסרות בו כ-160-170 שנה, כפי שכבר נוכח לדעת רבי עזריה מן האדומים בספרו "מאור עיניים". כך או כך, לפי הדעות ששטת ימי המעשה אינם מבטאים ימים כפשוטם, נמצא שהמנין שאנו מונים בו אינו מונה את השנים מבריאת העולם, אלא מימיו של אדם אבי שת).

ב. ראיות לגיל העולם

מנין לנו באמת שהעולם קדום?

קיימות שיטות שונות לבדיקת גילו של העולם. העולם עבר במהלך מליארדי שנות קיומו תהפוכות רבות שהותירו את חותמן הברור על פני כדור הארץ. השיטות השונות בהן ניתן למדוד את גילו של העולם ואת גיל התופעות שאירעו בו מחזקות זו את זו ומתלכדות לכלל עדות אחת עקבית, ומאפשרות כוונן עדין ומדויק יותר של המדידה.

1. תיארוך רדיומטרי

בראש ובראשונה, נעשה שימוש ב**תיארוך רדיומטרי** ("תיארוך רדיואקטיבי"). הרעיון הכללי הוא כזה: בטבע קיימים חומרים רבים שהם רדיואקטיביים. חומרים אלה מתפרקים במהלך הזמן והופכים לחומרים אחרים [יש סוגים שונים של התפרקות רדיואקטיביות, ובמהלכן נוסף או נגרע פרוטון (או מספר פרוטונים) מגרעין האטום והוא הופך בכך ליסוד אחר]. לחומרים רדיואקטיביים שונים יש קצב התפרקות שונה. קצב זה מבוטא על ידי **זמן מחצית החיים**. הכוונה בביטוי נאה זה, שבחלוף הזמן הנקוב כ"זמן מחצית החיים" של חומר רדיואקטיבי מסוים, תישאר ממנו מחצית הכמות שהיתה בתחילה.

ולדוגמא: אם בחומר מסוים היו בתחילה 1,200 אטומים רדיואקטיביים שזמן מחצית החיים שלהם הוא שעה, אזי בחלוף שעה נצפה למצוא רק 600 אטומים כאלה. כעבור שעה נוספת, נצפה למצוא 300 אטומים כאלה, ובחלוף שעה נוספת נצפה למצוא 150 אטומים כאלה, וכן הלאה.

קיימים עשרות חומרים רדיואקטיביים שונים, בעלי שיעור "זמן מחצית החיים" שנוע בין חלקיקי שניה לבין מיליארדי שנים.

הרעיון הוא למדוד את מספר האטומים הרדיואקטיביים שנמצאים בחומר המסוים שאנו בודקים, ולהשוות אותו עם הכמות שהיתה אמורה להיות בו בהתחלה. היחס בין כמות האטומים הרדיואקטיביים כיום לבין כמותם בנקודת ההתחלה, מאפשרת לנו לדעת כמה זמן חלף מנקודת ההתחלה.

כמובן, לצורך המדידה עלינו לדעת מהו היחס הראשוני של החומר הרדיואקטיבי אותו אנו מודדים, וכמו כן עלינו לוודא שהחומר הנמדד אינו מושפע מגורמים שונים, כמו טמפרטורה, מגנטיות וחשמל ותהליכים כימיים. לכן לא כל חומר רדיואקטיבי יכול לשמש לצורך מדידה. נוסף על כך, החומר הרדיואקטיבי צריך להיות מותאם לסדר הגודל של הזמן שאנו מתכוונים למדוד. לא ניתן למדוד מרחק של עשרות שנים באמצעות חומר שמחצית החיים שלו היא מיליארד שנה, ולא ניתן למדוד מרחק של מיליארד שנה בחומר שמתפרק לחלוטין כעבור שניות אחדות. אולם למרות מגבלות אלה קיימים לא מעט חומרים המאפשרים מדידה רדיומטרית.

לצורך בדיקות גיאולוגיות נעשה בדרך כלל שימוש בבדיקת אשלגן-ארגון. והסיפור הוא כדלהלן:

מרבית סלעי היסוד (כלומר, סלעים שנוצרו ישירות מהמגמה, שהיא החומר הסלעי המותך שמתחת לפני הקרקע), מכילים את היסוד אשלגן. שיעור קטן מהאשלגן בטבע (0.0117% מכלל האשלגן) הוא האיזוטופ הרדיואקטיבי ^{40}K (אשלגן 40). כלומר, גירסא של אשלגן עם 19 פרוטונים ו-21 נייטרונים, במקום הגירסא הנפוצה שהיא בעלת 19 פרוטונים ו-20 נייטרונים). איזוטופ רדיואקטיבי זה מתפרק בשתי דרכים: באחת מהן, נוצר החומר סידן ^{40}Ca , ואילו בשניה נוצר החומר ארגון 40. ההתפרקות לארגון מתרחשת ב-10.72% מן המקרים, ואילו זמן מחצית החיים של ההתפרקות הזו עומד על 1.27 מיליארד שנה. כל זמן שהמגמה המותכת

נמצאת מתחת לפני הקרקע, כל חלקיקי הארגון 40, שהוא גז, מבעבעים ועושים את דרכם החוצה. אולם, משעה שהמגמה פורצת אל פני השטח (כגון בהתפרצות של הר געש) והופכת לסלע מוצק, כל הארגון 40 שנוצר בסלע נותר כלוא בו.

כיצד מבצעים את הבדיקה? (בקווים כלליים, כדי שלא תתפתו לנסות את זה בבית): המודד נוטל סלע ומחשב את כמות האשלגן אשר בתוכו. אזי, המודד מתיך את הסלע ומשחרר את גז הארגון הכלוא בו. גז הארגון מבודד ונמדד. כעת מחושב היחס בין כמות הארגון שנמצאה לבין כמות האיזוטופ הרדיואקטיבי של האשלגן (^{40}K), וכך ניתן לדעת לפני כמה זמן החל תהליך ההתפרקות של ^{40}K והפיכתו לארגון. כלומר, מתי בקעה המגמה מתחת לפני השטח ויצרה את הסלע.

הסלעים הקדומים ביותר שתוארכו על פני כדור הארץ (בינתיים) הם מקוויבק, קנדה, והם תוארכו כבני 4.28 מליארד שנה (בשיטת תיארוך אחרת המתאימה במיוחד לפרקי זמן ארוכים שכאלה: סמרים-ניאודימיום). אין הכוונה בכך שקודם לכן לא נוצרו סלעים, כמובן, אלא שהסלעים שנוצרו קודם לכן עברו תהליכי בלייה וריסוק ואינם נמצאים עוד על פני השטח.

2. תיארוך קרקע האוקיינוס ופליאומגנטיות

בהתחשב בתהליכי הבליה להם נחשף סלע שעל פני היבשה, היינו מצפים למצוא את הסלעים העתיקים ביותר על קרקעית הים, מקום בו הם שמורים יחסית מפגעי מזג האוויר. אולם למרבה הפלא דווקא קרקעית פני הים צעירה בהרבה מסלעי היבשה, והסלעים העתיקים ביותר על פני קרקעית הים הם כבני מאתיים מליון שנה "בלבד".

הסיבה לכך נעוצה בתהליך מעניין המתרחש במעמקי הים, ומאחר והוא קשור גם לנושא תיארוך הקרקע וגם לנושא אחר השופך אור על תורת האבולוציה, אתאר אותו:

מתברר שבמעמקי האוקיינוס האטלנטי יש רכסי הרים היוצרים את שרשרת ההרים הארוכה בעולם - 80,000 ק"מ אורכה (!). רכסים אלה נוצרים כתוצאה מפעילות געשית וזרימת מגמה (סלע מותך) לאורך ציר הרכס. הסיבה לפעילות הגעשית הזו נעוצה בכך שהמעטפת החיצונית של כדור הארץ, הליתוספירה, שבורה, ועשויה מכמה לוחות עצומים המשתרעים מתחת ליבשות ולקרקע

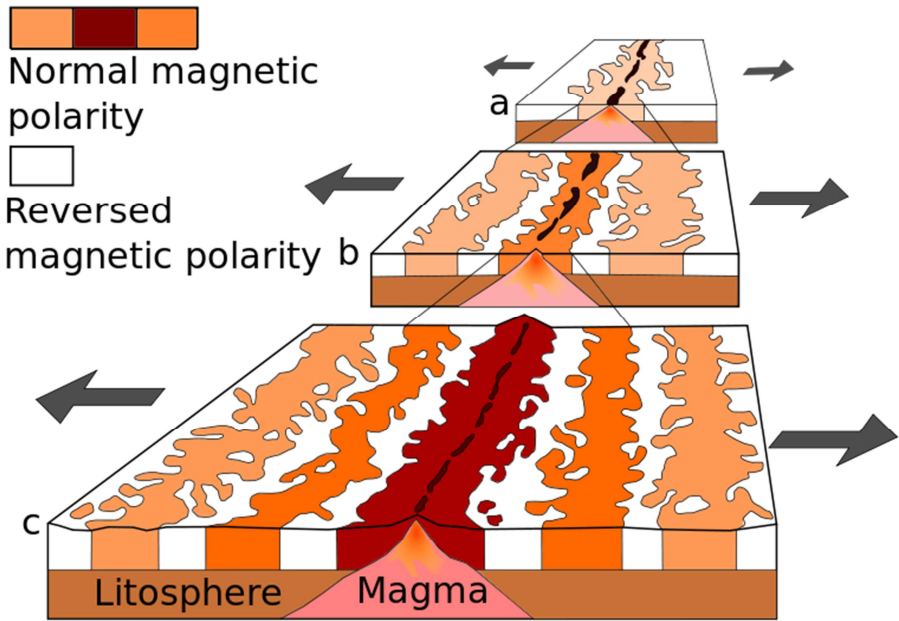
האוקיינוס. במקום המפגש בין שני לוחות, יש מקום לסלע המותך (המגמה) לעלות אל פני השטח. הסלע המותך עולה, מתקרר ויוצר רכס. כאשר עולה עוד מגמה, היא דוחקת את הסלע הקיים ממקומו לכאן ולכאן.

התוצאה היא שבמקום המפגש בין הלוחות, במעמקי האוקיינוס, נמצא רכסי הרים העשויים סלע "טרי", ואילו ככל שנתרחק מהרכס לכיוון היבשות כן נמצא סלעים יותר ויותר זקנים.

מעבר לבדיקה רדיומטרית של סלעים אלה, שמגלה לנו את הגיל ההולך ומזדקן של הסלע ככל שאנו מתרחקים מהרכס, צופנת לנו תופעה זו הפתעה מעניינת מתחום המגנטיות.

בדיקות מגנטיות על קרקעית האוקיינוס גילו תופעה מעניינת: קרקעית האוקיינוס מגלה דפוס של רצועות חוזרות ונשנות (שוב "זברה") בעלות קיטוב מגנטי הפוך! למה הכוונה? ובכן, אנו יודעים שלכדור הארץ יש שדה מגנטי, בעל קוטב צפוני וקוטב דרומי. אמנם, הכיוון והעוצמה המגנטיים אינם קבועים. ממצאים מעידים על כך שהקטבים המגנטיים של כדור הארץ התחלפו כמה פעמים - מצפון לדרום (כלומר, "הקוטב הצפוני" של השדה המגנטי של כדור הארץ, שכיום הוא בצפון, היה בזמנים שונים בדרום, ואילו "הקוטב הדרומי" היה בצפון). שינויים אלה מוצאים את חותמם בסלעים. הכיצד? בסלעים רבים יש קורטוב של מינרלים מגנטיים. כל עוד הסלע הוא במצב מותך, "מסתדרים" מינרלים אלה בהתאם לשדה המגנטי של כדור הארץ. בשעה שהמגמה המותכת מתקררת והופכת לסלע, מתקבע כיוונו של מינרלים אלה, והם מעידים לנצח על כיוונו של השדה המגנטי שהיה באותה העת בה הפכו לסלע מוצק. מה שקורה בקרקעית האוקיינוס הוא, שמאחר וקרקעית האוקיינוס פורסת בפנינו היסטוריה של מאתיים מיליון שנה, החל בסלעים החדשים ביותר הנמצאים ברכס וכלה בישינים ביותר הנמצאים בשפת היבשה, ומאחר ובאותם מאתיים מיליון שנים התהפך השדה המגנטי של כדור הארץ כמה פעמים, אנו מוצאים את העקבות האלה בדמות רצועות קרקע המשקפות שדה מגנטי מסוים, ואשר לפניהן ואחריהן יש רצועות המשקפות שדה הפוך (שהרי הרצועות שלפני ואחרי, נוצרו בתקופה שונה, בה השדה המגנטי היה הפוך). כמוכן, הסלעים שברכס, שהם החדשים ביותר, משקפים את המצב הקיים כיום. התבנית הזו של הרצועות נכונה **משני** צדדי הרכס, ומצביעה על כך שקצב ההתפשטות של קרקע האוקיינוס הוא אחיד לשני הכיוונים.

יש לנו כאן שילוב נאה של תיארוכים רדיומטריים עם טכניקות של הפליאומגנטיות.



a - לפני כחמשה מיליוני שנה. b - לפני שניים/שלושה מיליוני שנה. c - הווה

התפשטות קרקע האוקיינוס

מגמה פורצת החוצה והופכת לקרום סלעי חדש, בו בזמן שהקרום הישן יותר נדחק לצדדים. השטחים הצבעוניים נוצרו בתקופות שהמגנטיות היתה כמו בימינו, ואילו השטחים הלבנים נוצרו בתקופות שהמגנטיות היתה הפוכה.

3. טקטוניקת הלוחות ו"נדידת היבשות"

ציינתי לעיל שמלבד נושא התיארוך, נודעת משמעות נוספת להתפשטות קרקע האוקיינוס, ועל כך להלן.

ייתכן והקורא שאל את עצמו: אם כל הזמן נוצרת קרקע חדשה באוקיינוס, והקרקע הישנה נדחפת לכיוון היבשות, לאן נעלמת כל הקרקע הישנה? הרי בסופו של דבר היא מתנגשת ביבשה ואינה יכולה להמשיך להידחף לעד?

ובכן, אנו מגיעים כאן לאחת התגליות הגדולות של המאה הקודמת: טקטוניקת הלוחות.

ראשיתה של תגלית זו היא בתהייה מדוע זה דומה כל כך החוף המערבי של אפריקה לחוף המזרחי של אמריקה הדרומית? המעיין במפה יווכח לראות שהן נראות כמו שתי פיסות בתצרך ("פאזל"). אולם זו אינה השאלה העיקרית. השאלה המעניינת יותר היא: מדוע דומה כל כך המבנה הגיאולוגי, שכבות האדמה וסוגי הסלעים - בשני החופים הללו. מדוע אנו מגלים אותם סוגי מאובנים - בשני המקומות הללו דווקא. והדבר אינו מסתיים בסיפורם של אפריקה ואמריקה הדרומית. דמיון כזה אנו מוצאים גם בין אוסטרליה, הודו ודרום אפריקה. אפילו באנטארקטיקה הקפואה תדיר, המקום הכי קר על פני כדור הארץ בימינו, אנו מוצאים מאובנים של צמחים ובעלי חיים (של אזורים חמים!) אשר דוגמתם אנו מוצאים באוסטרליה ודרום אמריקה דווקא.

מה פשר הדבר?

ובכן, התשובה לכל זה נעוצה בתנועת הלוחות הטקטוניים. ציינתי לעיל שמעטפת כדור הארץ - הליתוספירה - שבורה, ועשויה לוחות לוחות, אשר הם הבסיס שמתחת ליבשות ולקרקע האוקיינוס. לוחות אלה "צפים" ונעים על פני האסתנוספירה הצמיגית (היא השכבה שמתחת לליתוספירה). ותנועתם זו מגדילה את שטחו של האוקיינוס האטלנטי, ומרחיקה את יבשת אמריקה מאירופה ואפריקה.

רעיון זה הוצע בתחילה לפני כמאה שנה, על ידי החוקר הגרמני אלפרד וגנר (Alfred Lothar Wegener), אלא שהוא סבר שהיבשות עצמן נעות. חלפו עשרות שנים עד שהצטברו הראיות וההבנה שלא היבשות עצמן זזות כי אם הלוחות שמתחתיהן הם אלו שזזים ונושאים עמם את היבשות.

כיום אין זו "תיאוריה" אלא עובדה תצפיתית, הנמדדת באמצעות לווייני מערכת האיכון העולמית (GPS).⁵⁰ מבדיקה זו עולה כי הלוחות אינם נעים בקצב זהה, ולא באותו הכיוון. קצב תנועתם נע בין שש עשירות הסנטימטר לעשרה סנטימטרים בשנה.⁵¹

הלחצים והמתחים הנגרמים בין הלוחות השונים בעקבות תנועות אלה, גורמים בין השאר להתפרצויות הרי געש, להתרוממות רכסי הרים ולרעידות אדמה. [רעידת האדמה האיומה שפקדה את יפן במרץ 2011, הזיזה את האי הגדול ביפן (הונשו, Honshu) למרחק 2.4 מטרים מזרחה].⁵²

ההסבר לשלל התופעות שציינתי לעיל (ולתופעות רבות שלא ציינתי) נעוץ בכך שבעבר הרחוק, לפי המחקר מדובר בתקופה שלפני מאתיים מיליון שנה, היו כל היבשות מחוברות לכלל יבשת אחת גדולה, המכונה "פנגיאה".⁵³ לפני כמאתיים מיליון שנה קרעה תנועת הלוחות את יבשת העל הזו לשתי יבשות עיקריות: לאורסיה (שכללה את אמריקה הצפונית, אירופה ואסיה - למעט הודו), וגונדוונה (שכללה את אמריקה הדרומית, אפריקה, אוסטרליה, אנטארקטיקה והודו). לפני כ- 140 מיליון שנה אירע פיצול בין אמריקה הצפונית לבין ארואסיה, ונוצר האוקיינוס האטלנטי, ואילו לפני כ- 65 מיליון שנה התפצלה גונדוונה לחמשת החלקים שמנתי.

החיבור בן עשרות מיליוני השנים בין היבשות השונות מסביר מדוע אנו מוצאים אותם מאובני חי וצומח באזורים שהיו מחוברים בעבר הרחוק, ומדוע התצורות הגיאולוגיות של נקודות המפגש זהות זו לזו.

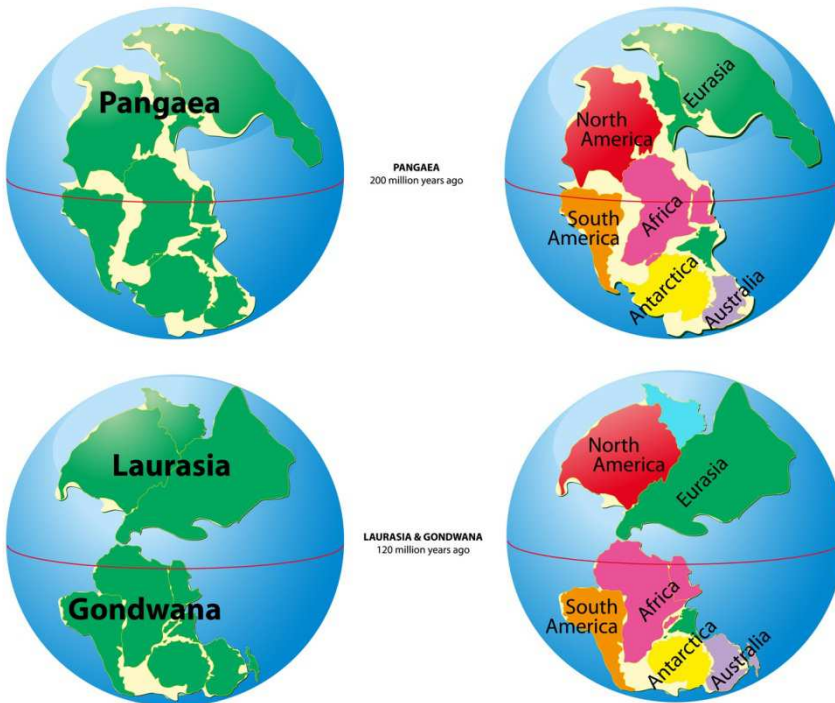
50 המכון הטכנולוגי של קליפורניה, ג'פיאס.

51 אלרט, מהירות הלוחות היבשתיים.

52 דויטשה וולה, רעידת אדמה ביפן.

53 Pangaea. המונח נטבע בשנת 1927 ומשמעו ביוונית: כל האדמה. פנגיאה לא משקפת בהכרח את המצב הראשוני בעולמנו. החוקרים סבורים שלפני כמיליארד שנה היתה יבשת-על אותה הם מכנים "רודיניה", והיא התפצלה לפני כ- 750 מיליון שנה. אחרי כן היתה יבשת-על המכונה "פנוטיה", אשר נוצרה לפני כ- 600 מיליון שנה והתפצלה כעבור חמישים מיליון שנה.

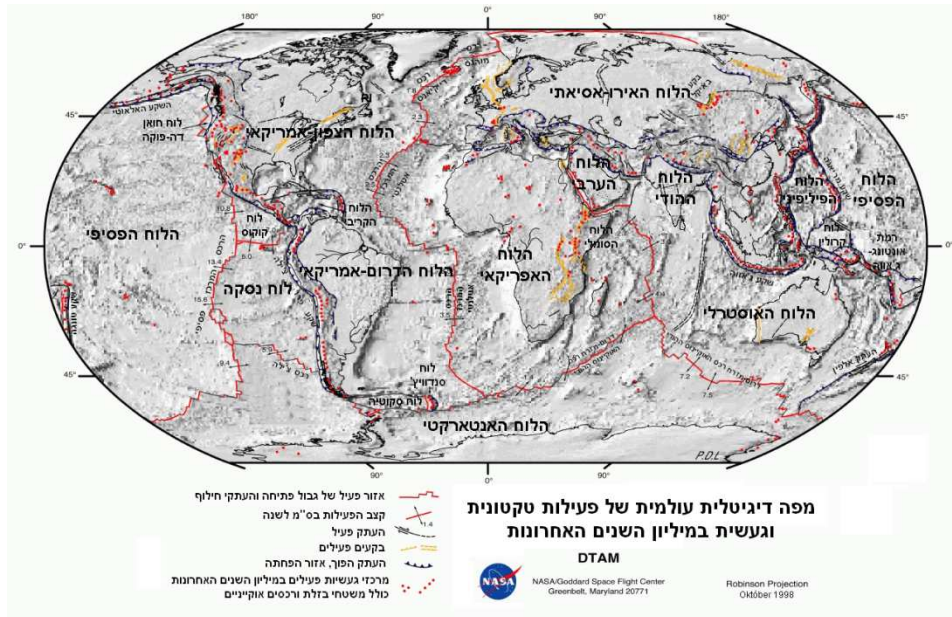
תורה ומדע



פנגיאה, גונדוונה ולאורסיה

המפה העליונה מציגה את פנגיאה: יבשת העל היחידה. מטעמי נוחות שורטטו גבולות היבשות כפי שאנו מכירים אותן כיום. המשולש הירוק ה"תקוע" בין אפריקה לאנטארקטיקה הוא תת-יבשת ההודית, שהתחברה מאוחר יותר ליבשת אסיה בתהליך שהרים את רכסי ההימלאיה ורכסים נוספים. תהליך זה נמשך עדיין בימינו והוא תורם להגבהת רכס ההימלאיה במחצית הסנטימטר בשנה ולרעידות אדמה. במפה התחתונה: היבשות לאורסיה וגונדוונה. באותו זמן, אמריקה הצפונית נתלשת ומתרחקת מאמריקה הדרומית, ואילו זו מחוברת לאפריקה כשתי פיסות תצריך.

גיל העולם



סימני הגרירה של הקרחונים

עדות מעניינת לחיבור הקדום של היבשות ניתן למצוא בין השאר בסימני השחיקה והגרירה שהותירו קרחונים שהחליקו להם על פני יבשות אלה. כאשר בוחנים סימנים אלה כיום, מוצאים כי כיוון גלישת הקרחון הוא מהים לעבר היבשה, דבר שלא ייתכן. אולם כאשר מחברים בחזרה את פיסות הפאזל - היבשות - כפי שהיו בעבר, מגלים שהקרחונים גלשו להם ממרכז אנטארקטיקה לצדדים, כאשר הצדדים הללו כללו כמובן גם את אפריקה ואמריקה הדרומית.

מגנטיות בשירות שחזור מצב היבשות

יתר על כן, היבשות המחוברות הללו לא היו בדיוק במקום שהם היום. מצבן המשוער של היבשות ניתן לשחזור בין השאר תודות לפליאומגנטיות שהזכרתי לעיל. כפי שציינת, הסלעים מעידים על כיוון השדה המגנטי שהיה בתקופה שהם

נוצרו. מאחר והיבשות נעו ולא היו במקום שהן נמצאות בו כיום, בדיקת סלעים שלפני מאות מליוני שנים מראה מגנטיות שמשקפת את מצבן של היבשות בעבר הרחוק, מגנטיות שלא מתאימה למצב הנוכחי של היבשות. אחרי שמחשבים ומקזזים את השפעת ההיפוכים המגנטיים שכדור הארץ עבר, ניתן לחשב ולשער היכן היו היבשות השונות בשעה שהסלעים הנבדקים נוצרו.

מיקום מאובנים ומחצבים

אגב, תזוזת היבשות הזו היא הסיבה לכך שאנו יכולים למצוא באנטארקטיקה ובצפון קנדה מאובנים של חי וצומח המתאימים לאזורים חמים ולא לאזורי הקטבים הקפואים, שכן לא תמיד היו היבשות הללו היכן שהן כעת.

תזוזת היבשות היא גם הסיבה לכך שמצבורי הפחם נמצאים בעיקר באותם אזורים שהיו בעבר גדות האוקיינוס - ימים רדודים, שכן הפחם נוצר משרידים של צמחים ששקעו לקרקעית הים ועברו במשך מאות מיליוני שנים תהליכים שהפכו אותם לפחם. מצבורי הנפט והגז הנוצרים משרידים של חיים ימיים, נמצאים בעיקר באזורים שהיו עמוקים יותר.

(סרטונים המציגים שחזור של היבשת פנגיאה ותהליך היפרדות היבשות, וכן סרטונים המראים כיצד צפוי להיראות עולמנו בעוד מליוני שנים, זמינים ברשת האינטרנט).⁵⁴

מאחר וכבר דיברנו על תמורות במעמקי ים, אציין מאורע שקשור לים הקרוב לארצנו וללבנו והמדגים כיצד פני נוף עשויים להשתנות לבלי הכר:

4. התייבשות הים התיכון

אירוע מעניין מאזורנו הוא התייבשות הים התיכון לפני כ־5.96 מליוני שנה ("האירוע המסיני").⁵⁵ עדויות שונות מעידות על כך שבאותה התקופה נחסם מיצר גיברלטר

54 ראה לדוגמא: <http://www.scotese.com>. ראה גם: <http://www.ods.de/ods/services/paleomap/paleomap.html>.

המחבר בין הים התיכון לאוקיינוס האטלנטי. כתוצאה מכך החל הים התיכון להתייבש ונותרו בו רק כמה אגמים מלוחים.

בקרקעית הים התיכון, בעומק של קילומטרים, ניתן לאתר את החופים של אותם אגמים עתיקים. ניתן גם לאתר קניונים בגובה קילומטרים, שנחצבו בידי נהרות קדומים בים התיכון המתייבש, וכמו כן נמצאו בקרקעית הים סדקים מאובנים שנוצרו בקרקעית כתוצאה מיובש. קידוחים בקרקע הים התיכון גילו סלעי משקע עשויים מלח בישול ומינרלים אחרים המעידים על כך שהים התייבש. יתר על כן, נמצאו שכבות מאובנים ימיים ושכבות מלח לסירוגין, מה שמעיד על כך שהים התייבש והוצף חליפות במשך קרוב ל-700,000 שנה.

גם הים התיכון מעיד אפוא על גילו של העולם: בין אם נקבל את התיארוך כמדויק ובין אם לאו, הראיות שהים התייבש מדברות בעד עצמן. כך או כך, על מנת שים בסדר גודל כזה יתייבש, נחוצים יותר מכמה אלפי שנים (ובכל מקרה, אירוע זה לא אירע באלפי השנים האחרונות, בהן הים התיכון מוכר וידוע כים פעיל).

5. שוניות אלמוגים וסטרומטוליטים: היממה המתארכת והולכת

אחת ההוכחות האלגנטיות לעתיקותו של העולם נובעת משילוב בין עולם האלמוגים לבין התארכותה של היממה.

ואפתח בעניין התארכות היממה: כולנו יודעים שיש 24 שעות ביממה, ו-365 יממות בשנה. היממה נקבעת כמובן לפי משך סיבוב כדור הארץ על צירו. אולם, מסתבר שאין הדבר פשוט כל כך, שכן מהירות סיבובו של כדור הארץ אינה קבועה, והיא מושפעת ממגוון גורמים, כגון כוחות הגאות של הירח הגורמים להאטה של כאלפית השניה ביממה. בטווח הקצר, ההשפעה המצטברת של גאות הירח והגורמים הנוספים עשויה להצטבר לכמה שניות בשנה לכאן או לכאן, וביום האחרון בשנה (ולעתים גם באמצע השנה) מתבצע "תיקון" - הוספה או גריעה של שניות מ"הזמן האוניברסלי המתואם"⁵⁶, על מנת לפצות על ההפרשים הללו. בטווח הארוך, גורמת האטה הסיבוב להתארכות היממה בשיעור של שתי שניות בפרק זמן

Messinian Salinity Crisis (MSC) 55
Coordinated Universal Time (UTC) 56

של 100,000 שנה. מאחר ותנועת כדור הארץ מסביב לשמש אינה מושפעת מתופעה זו, ולכן מספר השניות בשנה הוא קבוע, משמעות הדבר היא שבעתיד הרחוק (מאד) יהיו פחות יממות בשנה. (לדוגמא: בעוד 360 מליוני שנים, יתוספו 7,200 שניות ליממה, במילים אחרות: היממה תהיה בת 26 שעות, ולא 24. היות ובשנה שלמה יש כ־8,765 שעות, אזי אם נחלק אותן ביממות של 26 שעות נקבל שנה בת 337 יום, הקצרה ב־28 יום מהשנה בימינו). משמעות נוספת היא, שאם נשוב לעבר הרחוק (מאד), נגלה שהיממה היתה קצרה יותר, וממילא נגלה ששנה מנתה **יותר** מ־365 יממות. (לפי הדוגמא שלעיל, לפני 360 מליוני שנה, היתה היממה קצרה בשעתיים, ומנתה 22 שעות, וממילא השנה ארכה 398 יום!).

כיצד כל זה קשור לאלמוגים?

ובכן, כולנו מכירים את טבעות העצים: מידי שנה נוספת לעץ טבעת גדילה אחת. גם באלמוגים יש טבעות גדילה, אלא שבניגוד לעצים, לאלמוגים יש גם טבעות המשקפות את מספר השנים שחלפו על האלמוג, וגם טבעות יומיות, המשקפות את מספר הימים שחלפו עליו.⁵⁷ היות והאלמוג מתעד הן את הימים והן את השנים, אנו יכולים למנות את מספר הימים שיש בכל שנה משנותיו של האלמוג, ולדעת כמה ימים היו באותן שנים בהן האלמוג חי.

לפיכך, לו נבדוק אלמוג שחי לפני מאות מליוני שנים נצפה לגלות שבאותן השנים היה מספר הימים רב יותר מאשר 365.

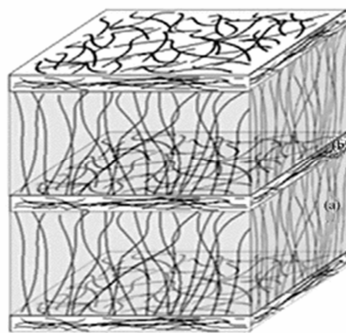
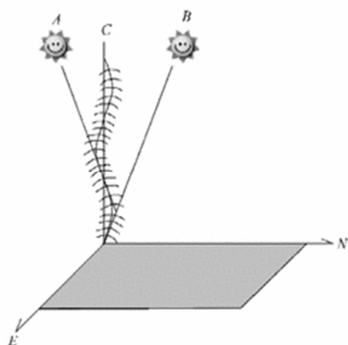
ואכן, חוקרים בדקו אלמוגים מאובנים שונים אשר גילם (לפי התיארוך הרדיומטרי) נע בין 180 עד 400 מליון שנה, וגילו, בהתאם לניבוי, שמספר הימים בשנה שהיתה בתקופת חייהם של אלמוגים אלה היה גבוה ממספר הימים כיום: החל ב־381 יום בשנה בקרב האלמוגים ה"צעירים" יותר, וכלה ב־410 יום בשנה בקרב האלמוגים העתיקים יותר.⁵⁸

אלמוגים אינם תופעת הטבע היחידה המאפשרת בדיקות מסוג זה. תופעה נוספת (אך לא יחידה) היא הסטרומטוליטים (Stromatolite). סטרומטוליטים הם תצורות של משקעים הנוצרים בעקבות פעילות של מיקרואורגניזמים (בעיקר

57 הטבעות נוצרות בעקבות גדילה איטית בלילה לעומת גדילה מהירה באור יום. (גולד, בוהן הפנדה, עמ' 302).

58 אייכר, זמן גיאולוגי.

"אצות כחוליות" ומינרלים. במשך היום צומחות האצות לכיוון השמש, ובמשך הלילה הן צומחות בצורה אופקית, ובכך הן מתעדות את הימים שחלפו עליהן. נוסף על כך, בעקבות מיקומה השונה של השמש במהלך עונות השנה, הגורם לכך שהאצות יצמחו בכל עונה לכיוון אחר, נוצר מבנה דמוי האות S מידי שנה בשנה. (גם את השפעת הירח - קרי, החודשים - ניתן למצוא במשקעים אלה). ממחקר שנערך על סטרומטוליט בסין, עולה שלפני כמיליארד שנה, בעת שסטרומטוליט זה נוצר, מנתה השנה כ-516 יום (פלוס מינוס 20), כאשר כל חודש מנה 40 יום, ובכל יום היו כ-17 שעות.⁵⁹



סטרומטוליט (© Qu Yuangao 2004)

הפרוסות העבות משקפות את הצמיחה המואצת והאנכית במשך היום, והפרוסות הדקות משקפות את הצמיחה המועטת והאופקית במשך הלילה. מיקומה המשתנה של השמש בעונות השנה משפיע על כיוון הצמיחה: לכיוון דרום או לכיוון צפון, וגורם לצמיחה בצורת האות S.



סטרומטוליט (© Didier Descouens)

איני חש צורך להמשיך בראיות נוספות, כי נדמה לי שהראיות מדברות בעד עצמן. עם זאת, אסיים בתיאור הבדיקה הרדיומטרית באמצעות פחמן-14, שהיא אחת הבדיקות השימושיות והידועות.

6. פחמן-14 ודנדרוכרונולוגיה

הפחמן הוא כידוע מרכיב הקיים בכל חי וצומח. רוב הפחמן בעולמנו הוא "פחמן-12", זאת אומרת, פחמן שהאטום שלו מורכב מ-6 פרוטונים ו-6 נייטרונים. אולם, טריליונית מן הפחמן הוא החומר הרדיואקטיבי פחמן-14 (שבאטום שלו יש 8 נייטרונים במקום 6). כלומר, על כל מיליון מיליוני אטומים של פחמן-12, יש אטום אחד של פחמן-14. פחמן-14 אינו יציב, והוא מתפרק לחנקן-14. מאחר והצומח קולט פחמן מהאוויר ובונה ממנו את גופו, ומאחר והחי ניזון בסופו של דבר מהצומח, היחס בין פחמן-12 לפחמן-14 בבעלי החיים ובצומח שווה ליחס בין שני חומרים אלה באוויר. כלומר, הן בחי והן בצומח אנו נמצא אטום אחד של פחמן-14 על כל טריליון אטומים של פחמן-12.

אולם, דבר זה משתנה כאשר הצמח או בעל החיים מת, ומפסיק לקלוט פחמן נוסף. משעה זו ואילך, פוחתת והולכת כמותו של פחמן-14 בגופו של הצמח או בעל החיים ככל שהוא מתפרק והופך לחנקן-14.

זמן מחצית החיים של פחמן-14 הוא "קצר" יחסית: 5,730 שנה. זאת אומרת שאם אנו בודקים שרידים של בעל חיים או צמח ומוצאים רק מחצית מהכמות המצויה באויר, הרי שעברו 5,730 שנה מאז מת בעל החיים או הצמח ההוא. אם אנו מוצאים רק רבע מהחומר, הרי שעברו כ-11,460 שנה וכן הלאה.

בדיקה זו מבוססת על ההנחה שריכוז פחמן-14 באויר הוא קבוע. על מנת להגיע לרמת דיוק גבוהה במיוחד, ולהמנע מסטייה שעשויה להיגרם כתוצאה מרמות שונות במעט של פחמן-14 בתקופות שונות, נעזרים ב"עקומות כיול" המבוססות על תיארוכים בשיטות אחרות, והשוואת תיארוכים אלה לתיארוך באמצעות פחמן-14.

אחת השיטות המעניינות והמדויקות לתיארוך בטווח של אלפי שנים, היא באמצעות הדנדרוכרונולוגיה (Dendrochronology): תיארוך על פי טבעות עצים. כידוע, ניתן לעמוד על גילו של עץ על פי מספר טבעותיו: כל טבעת משקפת שנה. הטבעות אינן אחידות בעוביין והן מושפעות מכמות המשקעים ומתנאים נוספים אליהם חשוף העץ. עצים מאותו המין הצומחים באותה סביבה גיאוגרפית ישקפו דפוס דומה של טבעות. באמצעות השוואת דפוסי טבעות חופפים של עצים חיים ועצים מתים, הצליחו החוקרים לבנות כרונולוגיה בת 11,000 שנה ברמת דיוק של

שנה אחת. (אגב, העץ החי הזקן ביותר שהתגלה בינתיים הוא עץ מסוג "אשוחית נורווגית", שגילו כ-9,550 שנה (!) והעונה לשם "Old Tjikko".⁶⁰ בארה"ב חי לו עדיין עץ שגילו כ-4,800 שנה, ואשר נושא את השם "מתושלח" בגלל שנבט בערך בזמן שמתושלח נולד. בשנת 1964 נכרת בארה"ב עץ עתיק יותר, שהיה אז בן 4,844 שנה).

תיארוך על פי עצים הוכן באופן עצמאי בהתבסס על כמה סוגים של עצים באירופה ובארצות הברית, ותוצאות הבדיקות השונות מאוששות אלה את אלה, כמו גם את בדיקת פחמן-14, ושיטות שונות אלה מביאות לאותה התוצאה.

בהתבסס על הדנדרכרונולוגיה ועל תיארוך באמצעות משקעים ימיים, יש כיום עקומת כיוול (לצורך דיוק מירבי בנתונים) עד ל-26,000 שנה לפני זמננו.⁶¹



טבעות מספרות (© Stefan Kuhn, 2004)

דוגמית המאפשרת הערכת גילם של עצים מלפני שלוש מאות שנה. שימו לב לטבעות הצרות בסביבת שנת 1695 ושנת 1709.

60 אוניברסיטת אומאה, העץ החי הזקן ביותר. גזע העץ הוא בן כמה מאות שנים, אולם מערכת השורשים החיה שלו היא כמעט בת עשרת אלפים שנה, והיא מצמיחה גזע חדש כאשר הגזע הנוכחי מת. החוקרים מצאו עוד כעשרים עצים בסביבה שגילם מעל 8,000 שנה.

61 ריימר וחב', כיוול.

ג. סיכום

העבר המופלג של כדור הארץ חקוק בו וביצוריו בדרכים רבות נוספות, בין העבר ה"קרוב" בן עשרות אלפי השנים, ובין העבר הרחוק הנמדד במאות מיליוני שנים ובמילארדי שנים. העבר הארוך בא לידי ביטוי בהתפרקות עשרות חומרים רדיואקטיביים שונים, בתצורות הנוף, בנדידת היבשות, במגנטיות, בקצב השינויים הגנטיים ועוד כהנה תופעות שלא הועלו כאן על הכתב. על כל צעד ושעל אנו מוצאים עוד ועוד ראיות עצמאיות אשר רק מחזקות ומאשררות את מה שידוע מתחומי מחקר אחרים. ה"סתירה" מכתבי הקודש היא סתירה מדומה. אורכו המופלג של הזמן מסביר אינספור תופעות בעולמנו אשר בהינתן זמן מספיק הן הופכות להיות אפשריות ואף מחויבות המציאות. יתר על כן, גילו המופלג של העולם מחייב גישה אחרת לשאלת ההסתברות שמאורע מסוים יקרה. כאמור, אם יש מאורע שהסיכוי שלו לקרות הוא "אחד למיליון", הרי שההסתברות שמאורע זה אכן יקרה בעולם שגילו נמדד ב**אלפי** מיליונים אינה כה קטנה. הסיכוי להאמין בכך אינו אלא מכשול פסיכולוגי הנובע מהיצמדות לתמונת העולם שהיינו רגילים לה מילדותנו.

עוד הערה לסיום נושא זה: בעבר הרבו לנופף במבול כמאורע שהפך סדרי בראשית ואשר בגללו לא ניתן להסתמך על תיארוך שמעבר לתקופת המבול. אני מקווה שאיני צריך להסביר שטענה זו משוללת כל בסיס לאור הנתונים שהבאתי בפרק זה, אבל על מנת לצאת ידי חובה אזכיר ששיטות התיארוך שמשמשות בהם הן שיטות שנבדקו ושאין מושפעות מתנאים קיצוניים בהרבה ממבול, ולו גם ממבול של רותחים. התיארוך הדנדרוכרונולוגי (טבעות העצים) מאפשר, כאמור, כיול מדויק של בדיקת פחמן-14 אלפי שנים לפני המבול (שאירע בסך הכול לפני כארבעת אלפים שנה, ואשר לא הותיר את חותמו אפילו על העצים העתיקים החיים מלפני המבול ועד ימינו). יתר על כן, מגוון ה**שיטות השונות** לתיארוך, המתבסס על **סוגים שונים** של בדיקה (כגון תיארוך על פי אלמוגים וסטרומטוליטים) ומגוון הבדיקות הרדיומטריות השונות שניתן לבצע ואשר מגיעות לאותה התוצאה, שם לאל את טענות המתנגדים.

ובחזרה לענייננו

אנו מתקרבים לסופו של סיפור, ולעיקרו של סיפור. אם הקורא הנכבד עקב והפנים את הנתונים שפרסתי בפניו עד כה, אזי הוא מבין כבר שהיצורים החיים עוברים במהלך ההיסטוריה הארוכה שלהם שינויים לא מעטים (האם עלי להזכיר שוב את גזעי בני האדם ולהבדיל את גזעי הכלבים השונים?). הקורא נחשף גם למנגנונים העיקריים שבאמצעותם מתחוללים שינויים אלה (היווצרות גירסאות חדשות במטען הגנטי, העדפת הגירסאות החדשות על פני הישנות עקב התאמה טובה יותר לסביבה, או פשוט במקרה - אם מדובר באבות המייסדים של קבוצה מבודדת). ראינו גם שהיה ממש מספיק זמן להרבה תהליכים, ארוכים ככל שיהיו. ברמת העיקרון, אין סיבה מיוחדת לשלול את האפשרות שהמינים עצמם אכן נוצרו בתהליך זהה, יתר על כן, תהליך זה הוא בעצם המשך הגיוני לתהליך ההשתנות המתמיד הפוקד את עולם החי, בין בידי אדם ובין בטבע. אבל, אין בכך די. שהרי לא כל מה שיכול לקרות, אכן קרה. מנין לנו שזה באמת מה שקרה? שבאמת המינים השונים של היצורים החיים התפתחו מאותם אבות משותפים?

בפרק הבא אציג את הראיות לכך שאכן - כך בדיוק זה קרה. וברצוני לשוב ולהדגיש שדווקא לנו כמאמינים, אמור להיות קל יותר להפנים את הראיות שלהלן ולהבין שכך ברא הבורא את עולמו. ובע"ה, יזכה כל אחד מאיתנו אחרי מאה ועשרים להזדמנות להעמיק את ידיעותיו ולשאול בישיבה של מעלה מדוע בחר הבורא בדרך טבעית זו ולא בדרך של "הוקוס פוקוס".

7 הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה

א. מאובנים:

סוג חשוב (אך לא בלעדי) של ראיות נובע מהמאובנים הנמצאים בשכבות הקרקע השונות.

אך קודם לכן, מה הם בכלל מאובנים?

ובכן, "מאובנים" הם שרידים של יצורים חיים ש"הפכו לאבן". מבחינים בין כמה סוגים שונים של מאובנים:

1. **מאובן גלעין:** בעל חיים (או צמח) מת בסביבה מימית (בקרעית הים או בביצה לדוגמה) ונקבר תחת המשקעים. בדרך כלל, החלקים הרכים של הגוף (הבשר והאיברים הפנימיים) נרקבים במהירות ומתפרקים, בעוד החלקים הקשים (השלד, הקונכיה, השיניים) נשמרים למשך זמן רב בהרבה. אולם גם חלקים אלה מתפרקים אט אט, והמולקולות המקוריות של חלקים אלה מוחלפות אחת לאחת במולקולות של מינרלים אחרים, יציבים יותר, המצויים במים. התוצאה הסופית היא העתק מושלם של השלד או הקונכיה המקורית, כאשר הוא אינו עשוי עוד מהחומרים המקוריים אלא ממינרלים לא־אורגניים. במקרים נדירים, מתאבנות גם רקמות רכות.

2. **מאובן דפוס** (חיצוני או פנימי): גם בבמקרים אלה מדובר ביצור שנלכד בין שכבות משקעים שהתקשו. אלא שבמקרים אלה, אחרי שהתקשו המשקעים שסביב היצור, התפרק היצור לחלוטין ונעלם (כתוצאה מתחמוצות המחלחלות בסלע) בהותירו אחריו חלל בסלע בדמותו (הדפס חיצוני). לפעמים מתמלא חלל זה בחומרי משקע המתקשים ויוצרים דגם תלת ממדי של היצור. ייתכן, כאמור, גם דפוס פנימי. קונכיה (או גולגולת) יכולה להתמלא במינרלים אשר יתקשו בתוכה ויקבלו את צורתה. הקונכיה עצמה (או הגולגולת) עשויה להתפורר ולהיעלם, ואנו נישאר עם ההדפס הפנימי: דגם תלת ממדי של הקונכיה שנוצר מבפנים.

3. **מאובן חותם:** מאובנים מסוג זה הם טביעות חותם על הסלע. כגון טביעות רגל באדמה רכה שהתקשתה ושימרה את הטביעות, או טביעות של צמח שהשאיר את חותמו.

4. **השתמרות החומר המקורי:** במקרים נדירים אלה נשמר החומר המקורי של היצור ולא הוחלף במינרלים. על מנת שיווצר מצב שכזה נדרשים תנאים מיוחדים, כמו השתמרות בסביבה צחיחה במיוחד, קפיאה מהירה, קבורה באספלט, וכן (במקרה של חרקים) - הילכדות בשרף של עצים שהתאבן לאחר זמן (ענבר). מאובנים אלה הם אפוא יצורים **שהתקשו** כאבן, בעוד המאובנים מהסוג הראשון הם יצורים ש"**הפכו** לאבן".

על מנת שיצור יתאבן נדרשים אפוא כמה וכמה תנאים, ובראש ובראשונה שהוא יהיה מוגן מפגעי מזג האוויר והבליה עד שיושלם תהליך ההתאבנות. דרישה מחמירה זו "קלה" יותר לביצוע במעמקי ים או ביצה, כאשר היצור שוקע לקרקעית ומתכסה בשכבה של משקעים המגנה עליו, מאשר ביבשה. ואכן, הרוב המוחלט של המאובנים מגיע מן הים (או ממקומות שהיו בעבר ים). כמו כן, רוב המאובנים הם של החלקים הקשיחים של הגוף: שלד פנימי או חיצוני, ומיעוטם משקף גם רקמות רכות.

נוסף על כך, על מנת שהמאובן יגיע לידינו, צריך שהוא ייחשף. דבר זה יכול להתבצע על ידי חפירות יזומות או חפירות לצורך בניה, או על ידי התרוממות טבעית של הסלע, או חשיפת השכבות העליונות של הקרקע על ידי תהליכי בלייה. במקרים אלה, האחרונים, עשוי המאובן להחשף ולהתפורר בשל אותם כוחות בלייה, לפני שיודע דבר קיומו. מובן אפוא שרק מיעוט שבמיעוט מהיצורים שהיו קיימים על פני האדמה הגיעו לידינו, ושתיעוד המאובנים אינו משקף אלא מדגם ממה שהיה.

למרות כל זה, נמצאו עד כה אינספור מאובנים. הערכה היא שמספר **המינים השונים** שנמצא להם תיעוד בממצאים המאובנים עומד על **כרבע מיליון**! מספר לא מבוטל.

מסתבר שהמאובנים ממש מספרים לנו את סיפורה של האבולוציה. הכיצד?

ובכן, האדמה, כאמור, עברה הרבה במהלך חייה, והיא עשויה שכבות שכבות. ארכיאולוג המתעניין בערים עתיקות עשוי לחפור שרידים של עיר, ומתחת לשרידים אלה למצוא שרידים של עיר עתיקה יותר, ומתחת לה - שרידים עתיקים

עוד יותר, כשבין עיר לעיר יש שכבת אדמה שהצטברה על חורבות העיר הקדומה והפכה אותה ל"תל". ארצנו משופעת בערים עתיקות שכאלה, בנות אלפים רבים של שנים. אולם איננו מתעניינים פה בשכבות בנות אלפי שנים, אלא בשכבות עתיקות עוד יותר. וכאשר אנו בודקים את השכבות העתיקות יותר, ואת המאובנים שאנו מוצאים בהן, אנו מגלים סדר מופתי בממצאים התואם בדיוק מה שהיינו מצפים למצוא לפי מיון בעלי החיים שדיברנו עליו לעיל, והתואם בדיוק את מה שהיינו מצפים למצוא לפי האבולוציה וניבוייה.



מאובני אדם

המוזיאון לאוסטאולוגיה (חקר העצמות) של אוקלהומה סיטי

כיצד יודעים אנו שאנו "חוזרים בזמן"?

ההבנה שאנו חוזרים בזמן מבוססת על שני גורמים. ראשית, בדרך כלל שכבות מצטברות אחת על השניה בסדר כרונולוגי, זאת אומרת: ככל שהשכבה עליונה יותר - היא צעירה יותר, וככל שהיא עמוקה יותר - היא עתיקה יותר. הגיוני.

אמנם, מלבד ההיגיון שבדבר, עומדות לרשותנו שיטות של תיארוך ישיר של השכבות באמצעים שמנתי לעיל, כאשר הראשית שבהן היא התיארוך הרדיומטרי. העובדה שבכל רחבי העולם אנו מוצאים סדר דומה: כלומר, השכבות מסודרות לפי אותו הסדר, מאובנים דומים נמצאים בשכבות דומות ברחבי העולם, שינויים בשדה המגנטי שמתועד בסלעים מופיעים בצורה מתואמת ברחבי העולם ועוד, מקילה על התיארוך המדויק של השכבות. למעשה, המתאם בין סוגי השכבות לבין הממצאים המאובנים הוא כה גדול, עד שעל מנת להקל על זיהוי מהיר של שכבות, משתמשים ב"מאובנים מנחים", זאת אומרת, מאובנים שהם בעלי תפוצה רחבה וכלל עולמית, ואשר התקיימו פרק זמן "קצר" כמו מיליון שנה (זה נחשב קצר במונחים גיאולוגיים). גילוי מאובנים כאלה בשכבת אדמה מצביעה על זיהוייה של השכבה הזו (זיהוי שניתן לאימות סופי על ידי השיטות הנוספות, כאמור).

למותר לציין שהבדיקות הללו אינן "אקדמיות" גרידא, והן משמשות בפועל לצורך מציאת מחצבים יקרי מציאות, כמו נפט, פחם ומחצבים אחרים. (ואם כבר הזכרנו את הנפט והפחם, תן דעתך למשמעות שיש להימצאותם של נפט ופחם בעולמנו: כמה זמן נדרש על מנת להפוך שרידים של יצורים ימיים לנפט, וכמה זמן נדרש על מנת להפוך שרידים של צמחי יבשה לפחם).

ומה מגלים לנו המאובנים? הבה ונעקוב אחר קבוצה אחת מוכרת: החולייתנים (בעלי החוליות).

עד לפני כחצי מיליארד שנים איננו מוצאים אף חולייתן בין כל המאובנים. אנו כן מוצאים שלל מאובנים של חסרי חוליות דווקא: טביעותיהם של מיקרואורגניזמים ותולעים (המאובנים הקדומים ביותר נכון לעכשו הם סימנים שהותירו אחריהם חיידקים באבן חול באוסטרליה מלפני 3.49 מיליארד שנה).⁶² עם זאת, איננו מוצאים בשכבות אלה אפילו לא עצם או שן אחת לרפואה, למרות שאלה הם השרידים שמשתמרים בצורה הטובה ביותר, בוודאי יותר טוב מתולעת. אדלג על התולעים הראשונים והמיתרניים ואקפוף ישר לשכבות "צעירות" יותר, בנות 420 מיליון שנה. בשכבות אלה אנו מוצאים כבר בעלי חיים בעלי עמוד שדרה - דגים. אך איננו מוצאים אף בעל חיים בעל רגליים. בשכבות שזמנן כמה עשרות מיליוני שנים מאוחר יותר, אנו מוצאים כבר יצורים בעלי ארבע גפיים דמויי דר-חיים. שכבות מאוחרות יותר מראות בעלי חיים המותאמים בשלמות לחיים על היבשה: זוחלים מסוגים שונים. ועדיין, שום סימן ליונקים ולעופות. לפני כמאתיים ושלשים מיליון שנה מתחיל עידן הדינוזאורים והללו משגשגים וממלאים את הארץ עד שרובם נכחדים לפני כששים וחמשה מיליון שנה, ואז אנו כבר פוגשים בעופות, וביונקים (שהופיעו אמנם על הבמה כבר לפני כן, אלא שרק בעקבות העלמות הדינוזאורים החלו לשגשג ולמלא את פני תבל).

זאת אומרת, יש לנו כאן תמונה מוזרה לפיה בתחילה לא היו בעולמנו יצורים בעלי עצמות, אחרי כן התקיימו כאן דגים, אחרי כן דרחיים, אחרי כן זוחלים, אחרי כן דינוזאורים ויונקים ועופות.

האבולוציה פירשה את הממצאים האלה כך: היצורים השונים שאנו רואים בתקופות השונות, שעשרות מיליוני שנים מפרידות ביניהם, לא "נחתו" סתם כך בעולם, ולא נבראו בצורתם זו, אלא **התפתחו** אלה מאלה. זאת אומרת, בעלי החיים הראשונים שהיו בעלי ארבע גפיים אך עדיין חיו בעיקר בים - התפתחו מדגים; בעלי החיים הראשונים שחילקו את זמנם בין הים ליבשה - התפתחו מיצורים אלה; בעלי החיים שעברו בשלמות לחיים על היבשה ("זוחלים") - התפתחו מאלה האחרונים; מאותם זוחלים שפרו ורבו על פני האדמה התפתחו הדינוזאורים - מחד, והיונקים - מאידך. ומן הדינוזאורים התפתחו העופות. (כמובן, חלק מהזוחלים

62 פוול, המאובן העתיק ביותר.

נשארו "בתוך הקבוצה", והתפתחו לסוגים שונים של זוחלים, כגון תנינים, לטאות ונחשים).

נשמע הזוי? האם דג קם בבוקר יום אחד והפך ליצור ההולך על ארבע? האם זוחל השכים קום והחליט שהוא יונק?

ובכן, ציינתי בדבריי שבין הקבוצות השונות מפרידות לפעמים **עשרות מיליוני שנים**. השינוי הוא **הדרגתי**, ומתפרס לפעמים על מיליוני דורות של בעלי חיים שמשתנים בהדרגה במאפיין זה או אחר, עד שכעבור מיליוני שנים השינויים המצטברים מאפילים על המוצא הראשוני.

ב. איה החוליות החסירות???

אך, אם כך הוא הדבר, האם לא היינו אמורים למצוא **יצורי ביניים**? יצורים שהם במחצית הדרך: בין דג - להולך על ארבע, בין זוחל - לדינוזאור, בין דינוזאור - לעוף, בין זוחל - ליונק? היכן הם יצורי הביניים הללו, "החוליות החסירות"? אנו זועקים. ואכן, טענה זו הופרחה לחלל האויר מאז פורסם ספר "מוצא המינים" לפני כמאה וחמשים שנה. אולם, הקורא ישמח לשמוע שבעיה זו, שאנו שומעים את הדיה גם בימינו אלה, נפתרה מזמן, ואכן, בהתאמה מושלמת לתיאור העולם על פי האבולוציה - נמצאו "החוליות החסירות" זה מכבר. המאובנים בכללם מציגים תמונה הדרגתית ומגוון עשיר מאד של דרגות ביניים, בין אם המדובר בדרגות ביניים שבין מחלקות שונות של בעלי חיים: דג - להולך על ארבע, דינוזאור - למעופף וכדומה, ובין אם המדובר בדרגות ביניים באותה המחלקה עצמה, כגון דרגות ביניים בין יונקים קדומים ליונקים בני זמננו. (ברצוני לציין שגם אלמלא התגלו חוליות הביניים לא היתה הזעקה והטענה מוצדקת, שכן תיעוד המאובנים הוא חלקי מעצם טיבו, וכפי שנראה להלן, נדרשו שש שנים של מאמץ מכוון וממוקד על מנת לחשוף את יצור הביניים שבין הדג למהלכים על ארבע, כך שגם אלמלא היה נמצא, לא היה הדבר מהווה בעיה וטענה. אלא שבפועל אנו נהנים כיום מפירות המאמץ העולמי ויכולים להציג לעין כול את "החוליות החסירות" שאינן חסירות עוד).

ואציג כמה דוגמות, לספקנים שבינינו:

1. דג - מהלך על ארבע

יצור שחציו דג וחציו הולך על ארבע? "רעיון" זה נשמע מופרך בראשיתו, שהרי הדג אינו יכול לנשום ולהתקיים על האדמה, ואילו יצורי היבשה אינם יכולים לנשום ולהתקיים בים. מעבר לכך, לדג יש סנפירים, וליצורי היבשה - גפיים. כיצד ניתן לגשר על פניהם?

ובכן, הדבר קל בהרבה ממה שזה נראה. אכן, דג מצוי אינו יכול לנשום ולהתקיים על פני האדמה. אבל דג ריאות יכול. דגי ריאות הם בעלי חיים שקיימים עדיין בימינו, ונפוצו הרבה יותר בעבר (לבעלי חיים מסוג כזה קוראים "מאובן חי", כי קל יותר למצוא מאובנים שלו מלמצוא את בעל החיים החי בימינו...). דגים אלה מצוידים **גם בזימים** - המאפשרים להם לנשום במים, **וגם בריאות** (ריאה אחת או שתי ריאות, קיימים כמה סוגים של דגי ריאות). ה"פיתוח" הזה מאפשר לדג לחיות במקורות מים העניים בחמצן, ולהשלים את תצרוכת החמצן שלו בנשימה מהאוויר. יתר על כן, דג הריאות האפריקאי והדרום-אמריקאי מסוגלים אפילו לשרוד **ביבשה** בעונת היובש. תכונה נוספת של דגים אלה (שאמנם לא ייחודית להם) היא יכולתם להשתמש בסנפירים על מנת לזחול על קרקעית האגמים הרדודים בהם הם חיים.

אמנם, דגי הריאות אינם יחידאים. ידועים כיום אחד עשר סוגים שונים של דגים המסוגלים לנשום ולהתקיים פרקי זמן מסוימים מחוץ למים, חלקם מסוגל לזחול ו/או לנתר על האדמה. דגים אלה נושמים אוויר באמצעות טכניקות ואיברי נשימה מגוונים.⁶³

לא קשה לנו לדמיין יצורים הדומים לדגי ריאות, המתחילים להתאים יותר ויותר לסגנון החיים של דוחיים: חיים הן בים והן ביבשה.

אולם, אין לנו צורך לאמץ את דמיונו במיוחד, שכן צוות חוקרים עשה בעבורנו את העבודה, ובמאמץ שנפרס על פני שש שנים הצליח לאתר את בעל החיים שהיה הגשר למעבר בין הים ליבשה: הטיקטאליק.⁶⁴

ואתאר בקצרה את סיפורו של הטיקטאליק, מאחר ויש בכך לקח חשוב, שכן מעבר לעובדה שייצור הביניים הזה אכן נמצא, הרי שהדבר בה הוא נמצא התבססה על הידע המצטבר ועל תמונת העולם של האבולוציה.

63 לפרטים נוספים ראה כאן: http://en.wikipedia.org/wiki/Amphibious_fish

64 סיפורו של הטיקטאליק מתואר בפרוטרוט בספר "הדג שבתוכנו" מאת ניל שובין.

החוקר שהוביל את המחקר ושם לו למטרה למצוא את צורת הביניים הזו, ידע, על סמך תגליות קודמות, שבסלעים בני 365 מיליון שנה אנו מוצאים כבר בעלי חיים בעלי גפיים החיים על היבשה. כמו כן, הוא ידע שבסלעים שגילם 385 מיליון שנה נמצאו רק דגים. (בפרט, בשכבות סלע בנות 380 מיליון שנה, נמצא הדג *Eusthenopteron*, שבסנפיר שלו הופיע כבר המבנה של עצם אחת המחוברת לשתי עצמות, בדומה לעצם הזרוע המחוברת לכישור ולגומד, אמנם בלי ה"המשך" של אצבעות). בעקבות הפרשנות האבולוציונית, הרואה את בעלי הגפיים כבעלי חיים שהתפתחו מדגים, הסיק החוקר שיצור הביניים שאותו הוא מחפש, ואשר מהווה גשר בין עולם הדגים לעולם יצורי היבשה, חייב להסתתר בסלעים שגילם נע בין 365 ל-380 מיליון שנה בערך.

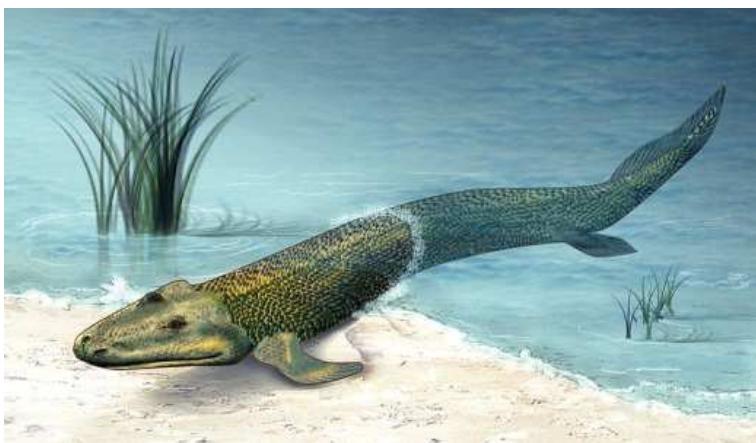
השלב השני היה למצוא אזור בעולם שבו נמצאים סלעי משקע בני הגיל הזה באופן החשוף לפני הקרקע, וזאת על סמך מפות גיאולוגיות העוסקות בנתונים אלה. משנמצא המקום: בקנדה הארקטית, החל איסוף הממצאים, ובסופן של שש שנות חיפושים התגלו שרידיו של יצור הביניים, שקיבל את השם טיקטאליק.⁶⁵

יצור זה, שנשמר בצורה מצוינת, היה דג בעל סנפירים עם קרומי שחיה וקשקשים על הגב, אך מצד שני היו לו ראש שטוח וצוואר (בדומה קצת לתנין. לדגים "רגילים" אין צוואר, והם אינם יכולים להרים את ראשם), ובתוך הסנפיר היו עצמות המקבילות לעצמות הזרוע, האמה ולחלקים מפרק כף היד. גם מפרק הכתף, המפרק וכף היד נכחו - בתוך סנפיר מצויד בקרומים. היצור נמצא בתוך סלעים שנוצרו בנהרות קדמוניים לפני 375 מיליון שנה. מסתבר שהוא השתמש בסנפיריו גם כדי "לזחול" על הקרקע הרדודה של הנהרות, והשתמש בצווארו על מנת להרים את הראש מעל למים ולנשום אויר.

כפי שציינתי, לא זו בלבד שיצור הביניים בין שתי הצורות השונות כל כך, נמצא, אלא שהוא נמצא **בדיוק בזמן ובמקום** שבו ניבתה האבולוציה שהוא יימצא.

65 משמעות השם "דג גדול של מים מתוקים" בשפת האינזקטיטוט של בני חבל הנונגאוט אשר בו נמצא הדג. (שובין, הדג שבתוכנו, עמ' 38).

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה



טיקטאליק

הממצא, ושחזור אמנותי. (© Esv 2010, derivative work: Petter Bøckman)

2. דינוזאור - עוף

מה לגבי המעבר בין דינוזאור לעוף?

כמה מילים על דינוזאורים: כשמזכירים את השם "דינוזאור" עולה לנגד רוחנו יצור ענק ואימתני, כפי שמורה שמו (ביוונית: דינוס זאורוס - לטאה נוראית). ואכן, חלק ממיני הדינוזאורים הגיעו למימדי ענק [הדינוזאור השלם הארוך ביותר שבידינו הוא הדיפלודוקוס (Diplodocus) בן 27 המטרים], אם כי אף אחד מהם לא הגיע למימדי הלווייתן הכחול בן זמננו. אולם, הדינוזאורים היו קבוצה מגוונת מאד של בעלי חיים, ששגשו בהצלחה במשך כמאה וששים מיליון שנה (פלוס מינוס). מלפני כ-230 מיליון שנה עד ל-65 מיליון שנה לפני ההווה), ומילאו גומחות רבות על פני היבשה. מאות רבות של מיני דינוזאורים תוארו בפרוטרוט וניקבו בשמות, ועוד מאות מינים נמצאים עדיין בתהליכי בדיקה (מתן שם מדעי מצריך ידיעה מדויקת על קרבתו המשפחתית של המין המסוים ליתר המינים הקרובים לו). מיני הדינוזאורים השונים מקובצים לשתי סדרות, וכל סדרה מחולקת לכמה קבוצות. (ראה איור בעמוד הבא).

מה כל זה קשור לעופות?

ובכן, מסתבר שמבנה השלד של העופות דומה במאפיינים רבים מאד למבנה השלד של הדינוזאורים [מקבוצת התרופודים (Theropods), קבוצה שמנתה גם דינוזאורים בגודל של יונה!]⁶⁶ נוסף על כך, התגלו מעל לעשרים מינים שונים של דינוזאורים שהיו להם נוצות (שהוא המאפיין המגדיר כיום את העופות: הוא קיים רק בעופות, ובכל עשרת אלפים מיני העופות). ברוב המקרים, נוצות אלה לא שימשו לתעופה, אך נמצאו גם דינוזאורים קטני מימדים שלהם נוצות-כנף בגפיים הקדמיות והאחוריות (וניתן להחשיבם אפוא כבעלי ארבע כנפיים).

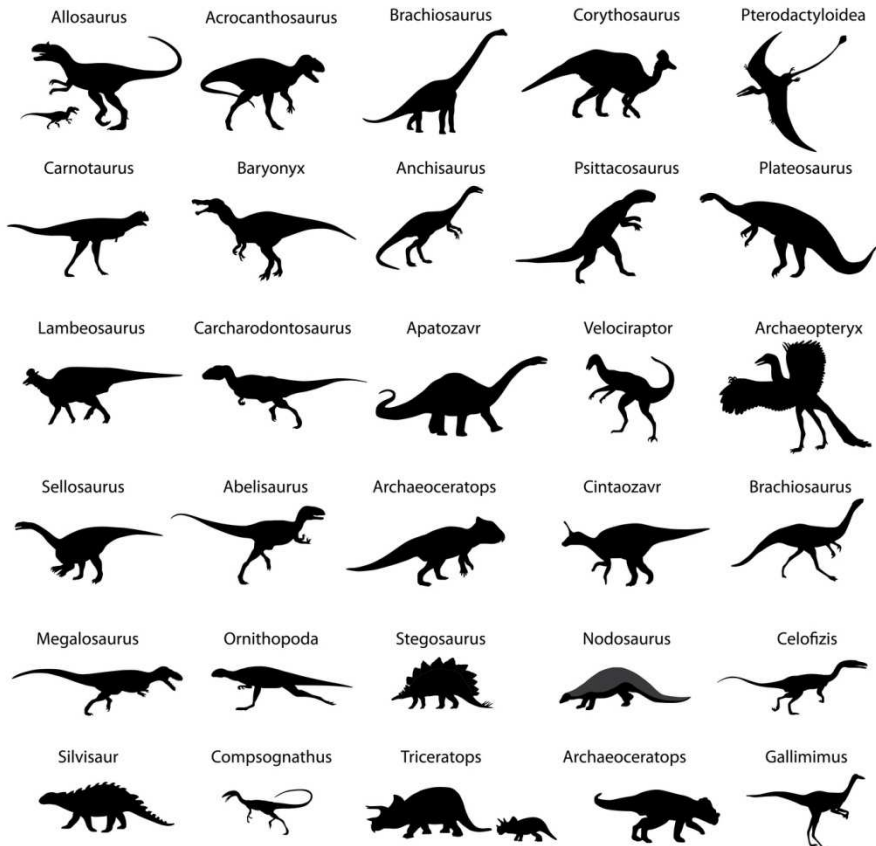
הדמיון בין הדינוזאורים לעופות אינו "מתמצה" בדמיון שלהם בשלד ובנוצות, אלא בא לידי ביטוי גם במבנים אחרים בגוף, וגם בהתנהגות, כגון צורת הקינון והשינה.

ממצא מרתק במיוחד נבע מגילוי שרידים של הדינוזאור מטיל האימה *Tyrannosaurus rex* שאיפשרו השוואה של האנטומיה של התא והשוואת רצף החלבונים. השוואה זו לימדה שהעופות הם שארי בשרו הקרובים ביותר של

66 זאנג וחב', מנירפטורה.

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה

דינוזאור זה כיום, אף יותר מאשר התנינים (שהם שארי הבשר השניים במעלה). השוואה של רצפים שהופקו מדינוזאור מסוג אחר הניבו אף הן תוצאות איתנות על הקשר בין הדינוזאורים לעופות.⁶⁷



עולמם המגוון של הדינוזאורים

67 הקרן הלאומית למדע, הקשר בין דינוזאורים לציפורים.

נקודה מעניינת בנושא זה היא העדר השיניים בקרב העופות. לפי הטענה שהעליתי זה עתה, מוצא העופות בדינוזאורים, שהיו בעלי שיניים. (יתר על כן, גם יצורי הביניים שתיארתי עתה, הדינוזאורים המנוצים ובעלי הכנפיים, היו בעלי שיניים). ובכן, בהתאם למצופה, נמצא שלא זו בלבד שלאבותיהם של העופות היו שיניים, אלא שאף בעופות נטולי השיניים בני זמננו קיים עדיין המידע הגנטי הנדרש ליצירת שיניים (אלא שהוא מושק, בנסיבות הרגילות). לפני שנים אחדות הבחין אחד החוקרים בכך שעובר של תרנגול אשר נבדק במעבדתו עבר מוטציה והתחיל להצמיח שיניים - ולא סתם שיניים, אלא שיניים הדומות לשיני תנין (כזכור, התנינים הם שארי הבשר החיים הקרובים ביותר לעופות, כיום). החוקר הינדס וירוס המחקר את האותות המולקולריים של המוטציה האמורה והצליח לגרום לתרנגולים רגילים להצמיח שיניים דומות.

(אגב, אין לבלבל בין עופות דינוזאורים קדומים אלה לבין יצורים מעופפים אחרים השייכים לסדרת הפטרוזאורים. לפי הידוע כיום, יצורים אלה, שהתפתחו מהזוחלים לפני כ־220 מיליון שנה, הם החולייתנים הראשונים שפיתחו כישורי תעופה. הם לא היו מנוצים, והם עפו באמצעות קרומי עור שהיו מתוחים בין ארבעת גפיהם).



פטרזאור

לעומת הדינוזאורים המנוצים, עף הפטרזאור באמצעות קרומי עור המתוחים בין גפיו, באופן המזכיר במידת מה את כנפי העטלף.

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה



ארכיאופטריקס (© H. Raab, 2009)

גם בתצלומים ניתן לראות בקלות את הנוצות, ואת הזנב המנוצה דמוי העלה



יען ודינוזאור - ההבדל אינו תהומי

מה ההיגיון בפיתוח חצי כנף?

בקטע הקודם הובאה הטענה שהעופות התפתחו מדינוזאורים, וכי ראשוני הדינוזאורים ש"פתחו" במסלול זה היו מנוצים אך לא מעופפים. לאור זאת, נשאלת השאלה: לשם מה היו לדינוזאורים הקדומים נוצות? מה תועלת יש בנצות שמאפשרות "כמעט תעופה"? התשובה פשוטה למדי: נוצות משמשות לצרכים נוספים, לא רק לתעופה. ביבשת אנטארקטיקה, לדוגמא, נמצא את הפינגווינים, שהם עופות לא מעופפים, המצליחים לשרוד במקום הכי קר על פני האדמה בין השאר בזכות הבידוד המעולה שמעניקה להם כסות הנוצות. יונקים בעלי פרווה לא הצליחו לכבוש את היעד הזה למרות שהם חיו בו בעבר הרחוק כאשר אנטארקטיקה לא היתה קפואה.

נוצות ארוכות יותר ומבנים דמויי כנף משמשים בהצלחה רבה לצורך דאיה וניתור באויר. עשרות מינים של בעלי חיים – יונקים, זוחלים, דוחיים ואפילו דגים⁶⁸ (!) משתמשים במגוון אמצעים על מנת לדאות ממקום אחד למשנהו (חלקם דואים למרחק של מאות מטרים!). בין אם המדובר בקרומים המתוחים בין רגליהם, בין אצבעותיהם, מסביב לצווארם ועוד. הדאיה נפוצה מאד בעולם החי, וגם נוצות שאינן מקנות תעופה אמיתית מסייעות מאד לכישורי דאיה.



(© Patrick Coin, 2007)



דגים מעופפים

דוגמות אחרות:

לא ארחיב בדוגמות נוספות על מעבר ממחלקה למחלקה, משום שהן הרבה פחות "מרתקות". שכן ההבדלים בין דוחיים לזוחל, בין זוחל לדינוזאור, בין זוחל ליונק, אינם באים לידי ביטוי בתופעות הבולטות לעינו של הקורא שאינו עוסק בתחום. ההבדלים בין בעלי חיים אלה באים לידי ביטוי במבנה העצמות כגון: עצמות הפנים הקטנות על צורתן ומיקומן המדויק; מבנה האגן, מבנה מפרקי הגפיים, מבנה

68 דגים ממשפחת הדאונים (Exocoetidae) מצוידים בסנפירים ארוכים המשמשים אותם גם ככנפי דאיה. הם מסוגלים לקפוץ ולדאות עד גובה של 6 מטרים (פין, סנפיר, עמ' 4-7) ולהגיע למהירות של 70 קמ"ש (קוצ'רה, דגים דואים, עמ' 59-77). ראה ערך "תעופת בעלי חיים" בויקיפדיה למידע נוסף.

השיניים וכדומה. אסתפק בציון העובדה שגם בין מחלקות שונות אלה של בעלי חיים נמצא מגוון של צורות ביניים ("חוליות שאינן חסירות") המדגימות את צורות המעבר: יצורים שהם באמצע הדרך בין דוחיים לזוחל, בין זוחל ליונק וכו'. כנגד זה, אביא שתי דוגמות על התפתחות ברמה של המין.

3. התפתחות הסוס

ניקח לדוגמה את הסוס: כולנו מכירים את סוס־הבית בן ימינו. בעל חיים גדול זה מותאם באופן מושלם לריצה בשטחים פתוחים על אצבעו הגדולה האחת המוגנת בפרסה, ושיניו מותאמות לאכילת עשב. לסוס יש בעצם שלוש אצבעות: אצבע אמצעית אחת מפותחת וגדולה (אצבע מספר שלוש), ושתי אצבעות מנוונות אשר נותרו מהן רק שרידים. מאחר וכף היד "הבסיסית" מכילה חמש אצבעות (בין אם זו כף ידו של צפרדע, עטלף, לוייתן, אדם או לטאה), אנו יכולים כבר לשער שלא תמיד היו לסוס רק אצבע אחת מתפקדת ועוד שני בדילי אצבעות. מה גם שבדילי האצבעות מרמזים לנו על עבר מפואר יותר.

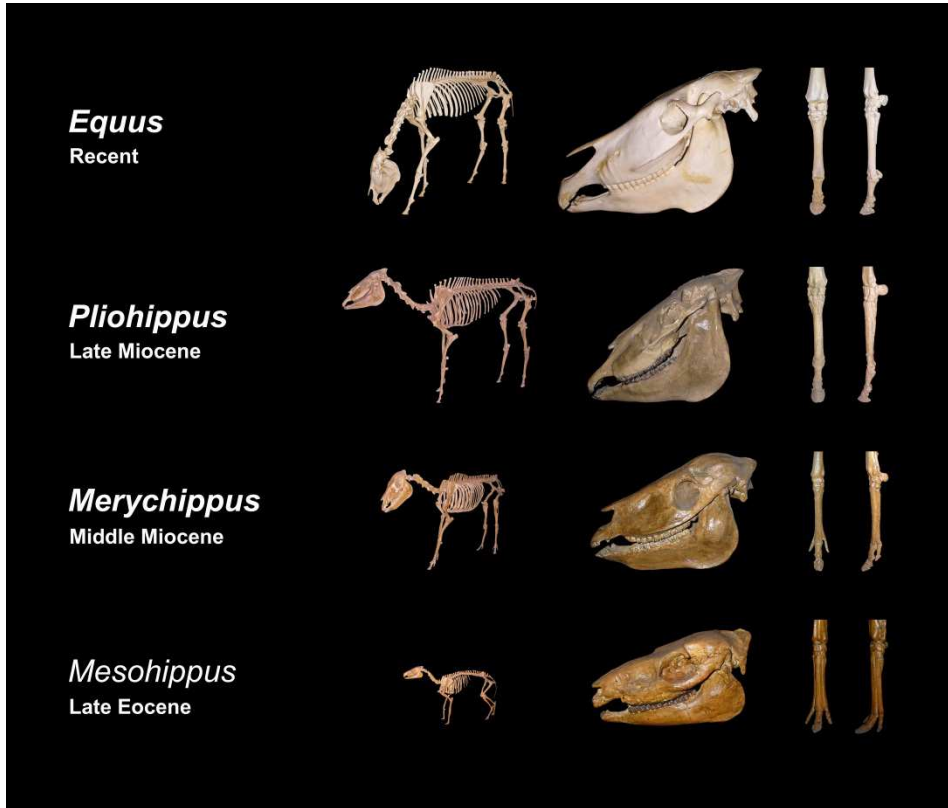
ואכן, ככל שאנו מרחיקים אחורה בזמן ובודקים את אבות אבותיו של הסוס, אנו מגלים רצף של בעלי חיים דמויי־סוס, אשר ככל שחולף הזמן הולכים ונעשים דומים יותר ויותר לסוס של ימינו. הם נעשים גדולים יותר, שיניהם עוברות שינויים ותהליכים הדרגתיים ככל שהם עוברים מתזונה צמחית טרופית לתזונה המבוססת על עשב, ובד בבד הם הולכים ומאבדים את אצבעותיהם, מאריכים את רגליהם ונעשים מותאמים יותר לריצה בשטחים פתוחים.

כמות הממצאים מרשימה מאד, שכן אבותיהם של הסוסים שגשגו בעולם הקדום. לפני למעלה מחמישים מיליון שנה הם נפוצו בעיקר ברחבי אמריקה הצפונית, והותירו בה את חותמם בדמות אלפי שלדים מאובנים. בעל החיים הראשון שניתן לזהויו כאביו הקדום של הסוס הוא האיוריהפוס (*Eohippus*), שם מדעי: (*Hyracotherium*), שחי לפני חמישים ושניים מיליון שנה. האיוריהפוס היה בעל חיים בגובה 40 ס"מ, והיה בעל ארבע אצבעות מפותחות ברגלים הקדמיות (ו"אצבע מספר 1" מנוונת), אף שנשא את משקלו על אצבע מספר שלוש דווקא. תוך שני מיליוני שנים, משתנה האיוריהפוס בהדרגה והופך לאוריהפוס

(*Orohippus*)⁶⁹ לבעל חיים זה ארבע אצבעות בכפות הרגליים הקדמיות, ושלוש באחוריות. האצבעות המנוונות - נעלמו. ההבדל העיקרי בין האיוריהפוס לאורוהיפוס הוא בשינויים שחלו בשיניים והתאמתן הגוברת והולכת לרעייה. המשכן, האפיהיפוס (*Epihippus*), לפני כ-47 מיליוני שנה, ממשיך את מגמת השינויים בשיניים. לפני 30-40 מיליון שנה השתנה האקלים באמריקה הצפונית ונעשה יבש יותר, ובעקבות כך פני השטח הפכו דומים יותר לערבות של ימינו. באותו זמן אנו פוגשים את המזוהיפוס (*Mesohippus*), המותאם יותר מאבותיו לריצה בשטח פתוח ולרעייה של צמחים נוקשים. גובהו היה כ-60 ס"מ, והיו לו שלוש אצבעות בלבד, ושריד מנוון וזעיר של אצבע מס' 5. וכך ככל שעובר הזמן אנו נתקלים ב"דמויי סוס" שונים: מיוהיפוס, קלובטיפוס, פרהיפוס ועוד כהנה וכהנה. אדלג עליהם למען הקיצור ואגיע סמוך לזמננו. לפני כשלושה וחצי מיליוני שנה חי האב הקדום של הסוג סוס⁷⁰ (*Equus*), אביהם של הסוסים, החמורים והזברות של ימינו (נוסף על מינים נוספים שנכחדו). אגב, עצמותיו של האב הקדום הזה התגלו על ידי בוקר בעיר הגרמן, איידהו. בעקבות חפירות שנערכו במקום נמצאו חמשה שלדים כמעט שלמים של בעל חיים זה, ומעל מאה גולגולות. הדעה הרווחת היא שעדר סוסים טבע בניסיון לחצות נהר שעלה על גדותיו, ונקבר בקרקע הנהר.

69 מק'פדן, ניתוח קלדיסטי.

70 באופן מבלבל, אין בעברית הבחנה מספקת בין הביטוי "סוס" כשם הסוג הכולל כאמור גם את החמורים והזברות, לעומת בעל החיים הידוע בשם זה שנקרא ליתר דיוק "סוס הבית" (*Equus ferus caballus*). החמור, סוס הבית והזברה הם כמובן מינים שונים, אלא שכולם שייכים לסוג *Equus*, הנקרא בעברית "סוס". להרחבה בנושא השמות המדעיים וסיווג בעלי החיים, ראה לקמן בפרק על הטקסונומיה.



שלבים בהתפתחות הסוג סוס (© H. Zell, 2010)

4. התפתחות הלוויתן

ומה לגבי הלוויתן? הזכרתי בראש דבריי שקיימת סדרה של מאובנים המדגימה את שלבי הביניים של יצור מרהיב זה.

הלוויתן, מלבד העובדה שהוא נעדר רגליים אחוריות (בדרך כלל), נבדל מיתר היונקים בכמה תכונות, וביניהן: גפיים קדמיות המעוצבות כמשוטים, נחיר במעלה הראש, צוואר קצר, שיניים פשוטות דמויות חרוט, מבנה מיוחד של האוזן המאפשר שמיעה מתחת למים, ועמוד שדרה התומך בשרירי השחיה החזקים של הזנב.

כזכור, הלוויתן הוא יונק לכל דבר. בראשיתו של ספר זה ציינתי כמה מן המאפיינים המובהקים המשייכים אותו למחלקה זו (ביניהם: אי יכולת לנשום במים, יניקת חלב, הצמחת שיער, קולטני ריח של בעל חיים יבשתי ואולי המרשים מביניהם: הצמחה, מפעם לפעם, של רגליים אחוריות). אבות אבותיו של הלוויתן חיו על היבשה והם שארי בשר של יונקים אחרים. אולם, למי הם קרובים יותר מכל?

כבר לפני ששים שנה זיהו חוקרים את הקשר בין הלוויתן לבין מכפילי הפרסה דווקא, וזאת, עוד לפני שעמד לרשותם הידע הגנטי, אולם הם לא יכלו להצביע על הקרבה המדויקת. כיום, בעקבות השוואת המטען הגנטי ובעקבות מאובנים נוספים שנמצאו נעשתה התמונה ברורה יותר, וניתן לעקוב אחר התפתחותן של כל התכונות המיוחדות הללו שציינתי כאן. ואציג כאן חלק מהנתונים:⁷¹

בתקופה שלפני 53 מיליון שנה, מוצאים אנו את הפקיצטוס (*Pakicetus*), יצור בעל פרסות בגודל של כלב. יצור זה לא היה לווייתן, אך היו לו מאפיינים מסוימים ששרדו כיום רק בלוויתנים (בין חיים ובין מאובנים), בעיקר במבנה האוזן הפנימית ובמבנה השיניים. מלפני 50 מיליון שנה אנו מוצאים כבר את האמבולוצטוס (*Ambulocetus*, משמעות שמו: "לוויתן מהלך"), יונק שנראה כמו תנין, ואשר רגליו האחוריות היו מותאמות לשחיה בים, יותר מאשר להליכה על פני היבשה. עם זאת, רגלי השחיה הללו הסתיימו עדיין בפרסות (!) והסגירו את מוצאו הקדום. מין דומה לו הוא הרמינגטונוצטוס (*Remingtonocetus*). הרודוצטוס (*Rodhocetus*), בעל חיים שחי לפני כ-46 מיליון שנה ואשר מאובניו נפוצים ברוב היבשות, הלך צעד אחד קדימה. מלבד המאפיינים הלוויתניים שהיו כבר אצל קודמיהם, נוסף אצלו מבנה קרסול שקיים רק בלוויתנים. עמוד השדרה והגפיים הותאמו עוד יותר לשחיה, והנחיריים כבר אינן נמצאות בקצה האף, כמו ביתר היונקים, אלא במעלה החרטום, בערך במחציתו (תכונה שמסייעת לבעל החיים לנשום מבלי שיצטרך להוציא את קצה החרטום מהמים). הבזילוזאורוס (*Basilosaurus*) והדורודון (*Dorudon*) חיו בערך לפני 38 מיליון שנה. הראשון היה בעל חיים גדול, באורך 18 מטרים, והשני באורך 5 מטרים. בעלי חיים אלה היו כבר יונקים ימיים "גמורים", ורגליהם האחוריות היו זעירות ביחס לגופם, והחיבור ביניהם לעמוד השדרה היה רופף עוד יותר מאצל קודמיו. גפיים אלה לא יכלו לשמש לתנועה. אמנם יצורים

71 בעקבות קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 100-102.

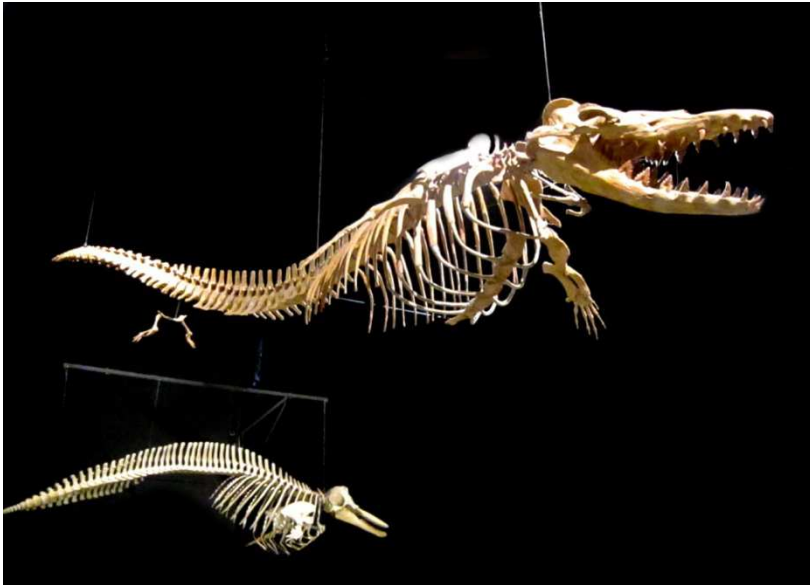
אלה שונים בכמה מאפיינים מהלווייתנים, כגון במוחם הקטן, ובאי יכולתם להפיק את הקולות המיוחדים המופקים על ידי הלווייתנים המודרניים, וייתכן שהם נפרדו בשלב מסוים מאילן היוחסין שמוליך ללווייתנים המודרניים והתפתחו בכיוון עצמאי. הסקולודון (*Squalodon*) שחי בתקופה שבין 33 ל-14 מיליון שנה בעבר, היה כבר דומה מאוד לדולפינים של ימינו, והנחיר שלו היה כבר במעלה הראש (הנחיר הוא אותו נקב מפורסם שיש ללווייתנים ולדולפינים במעלה ראשם ואשר ממנו פורץ אותו סילון אדי מים כשהלווייתן מרוקן את ריאותיו).

הלווייתנים עצמם התפצלו לפני כ-35 מיליון שנה לשתי קבוצות עיקריות: לווייתני המזיפות (שאיבדו את שיניהם ואשר ניזונים באמצעות סינון פלנקטון מהמים) ולווייתני שיניים, והם כוללים כיום עשרות מינים שונים.⁷²

צינתי לעיל שלפני ששים שנה הוערך שהלווייתנים הם שארי בשר של מכפילי הפרסה. כאמור, השוואות גנטיות עדכניות העלו ששאר הבשר הקרוב ביותר של הלווייתנים הוא ההיפופוטם (שאכן כלול בסדרת מכפילי-הפרסה).⁷³ לפי ההערכות הקיימות כיום, חולקים הלווייתנים וההיפופוטמים אב קדום שהתפצל מיתר מכפילי הפרסה לפני כ-60 מיליון שנה, והתפצלו זה מזה לפני כ-54 מיליון שנה.

72 בנוגע למעבר משיניים רגילות למזיפות, מעניין לציין את כלב הים הנמרי (*Hydrurga leptonyx*), אשר עושה שימוש בשתי טכניקות הציד. כלב הים הנמרי הוא מצד אחד טורף-על הניחן בניבים מרשימים בהם הוא צד פינגווינים וכלבי ים, ומצד שני הוא מצויד בשיניים טוחנות היוצרות חומה צפופה והמשמשות אותו לסינון קריל. תופעה זו שופכת אור על הדרך האפשרית ש"פסעו" בה לווייתני המזיפות. (הוקינג, כלב ים נמרי. ראה גלילאו גיליון 173).

73 סיינס דיילי, לווייתן והיפופוטם.



דורודון (© by Ellen, 2010)

שלד שלם של דורודון (*Dorudon atrox*) שנחשף בחולות מצרים (Wadi Hitan). הגפיים האחוריות זעירות ומנוונות.

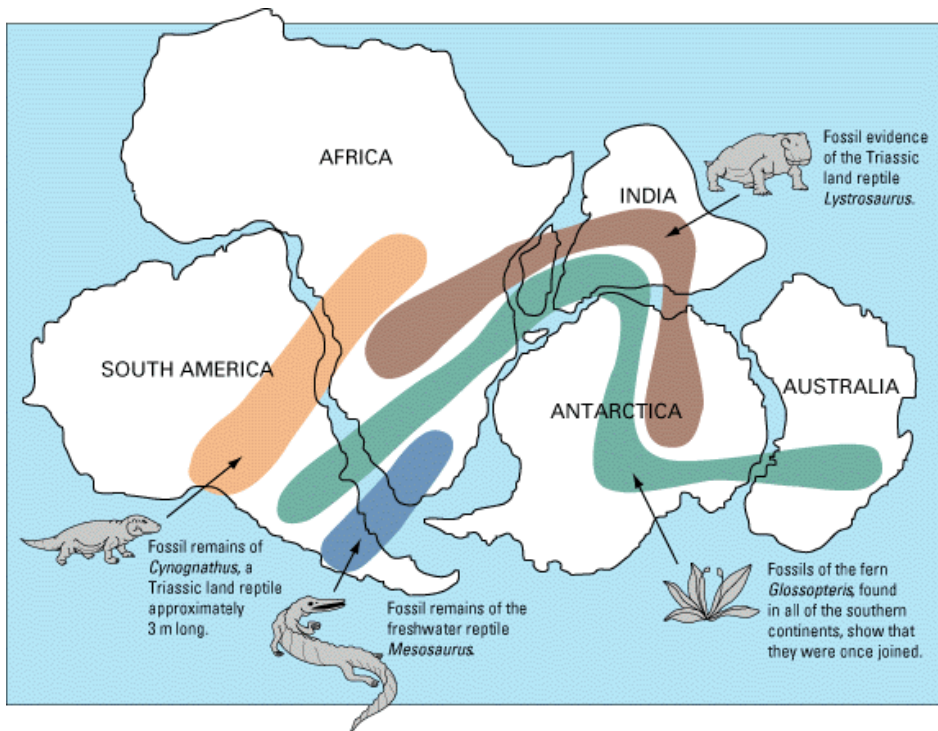
כמה פרטים נוספים הקשורים לנושא המאובנים:

5. תפוצת מאובנים ביבשות הקדומות

ציינתי לעיל את העובדה שכאשר אנו בודקים את המאובנים שנמצאים באמריקה הדרומית ובאפריקה מהתקופה שיבשות אלו היו עדיין מחוברות ליבשת אחת - אנו מוצאים בהן אותם המאובנים. כאשר אנו בודקים את המאובנים מהתקופות שאחרי כן, מעת שיבשות אלה הופרדו כבר על ידי האוקיינוס, אנו מוצאים מאובנים **שונים** בכל יבשת, משום שבכל יבשת התפתחו בעלי החיים בכיוונים שונים.

תופעה זו אינה מוגבלת ליבשות אלה. ברחבי העולם אנו מוצאים מאובנים זהים במקומות שונים שהיו מחוברים בעבר הרחוק. בין הבולטים במאובנים אלה ניתן למנות את ה־*Cynognathus*, זוחל שנפוץ במרכז אמריקה הדרומית ובאפריקה; את ה־*Lystrosaurus*, זוחל גם הוא, שנפוץ באזור דרומי יותר באפריקה, במדגסקר, בהודו ובאנטארקטיקה; הצמח *Glossopteris*, שנפוץ באזור עוד יותר דרומי באמריקה הדרומית, באפריקה, מדגסקר, הודו, אנטארקטיקה ואוסטרליה; וזוחל ימי בשם *Mesosaurus*, שנפוץ בקצה הדרומי של אמריקה הדרומית ואפריקה.

תפוצתם של בעלי חיים וצמחים אלה מחזקת את מה שידוע לנו על התהליכים הארוכים והתמורות שעברו היבשות במהלך מאות מיליוני השנים שעברו.



תפוצת המאובנים ביבשות הקדומות

קחו לדוגמא את החיבור בין אמריקה הדרומית לאפריקה: שני בעלי החיים והצמח שבמפה כאילו "תופרים" את שתי היבשות במדויק.

6. חיות הכיס

כולנו מכירים את הכיס המיוחד של הקנגרו בו שוכן צאצאו הרך. תכונה זו אינה ייחודית לקנגרו והוא חולק אותה עם עוד כשלוש מאות מינים שונים של חיות כיס (כגון הקואלה). בקרב בעלי חיים אלה, משך ההריון הוא קצר במיוחד, והולדות נולדים לא מפותחים, והם משלימים את התפתחותם במשך שהות של כמה חודשים בכיס המיוחד להם, ואשר בו בלוטות חלב המיועדות להזנתם.

כמאתיים מהמינים השונים של חיות הכיס מצויים באוסטרליה ובאיים השוכנים צפונה לה, וכמאה מינים נמצאים באמריקה (הדרומית, בעיקר).

לפי הממצאים כיום, המאובן הקדום ביותר של חית כיס מוצאו מסין בתקופה שלפני 125 מיליון שנה. מבדיקת המאובנים ברחבי העולם עולה ההערכה הבאה: חיות הכיס התפתחו באסיה; עברו משם לאמריקה הצפונית בזמן שהיתה עדיין מחוברת לאירואסיה; משם עברו לאמריקה הדרומית (שהיתה עדיין מחוברת לאמריקה הצפונית עד לפני 65 מיליון שנה. יצוין שאחר כך היא נפרדה, וכיום היא שוב מחוברת); משם עברו חיות הכיס לאוסטרליה דרך אנטארקטיקה לפני כ-50 מיליון שנה.

חיות הכיס הפסידו בתחרות עם יתר היונקים ונכחדו מרוב המקומות שנכחו בהם. (גם מאה המינים שנמצאים באמריקה הם כאין וכאפס לעומת מגוון היונקים האחרים המצויים בה). דווקא באוסטרליה המבודדת והמנותקת אליה הגיעו "באחרונה", מצאו חיות הכיס מקום לתקוע בו יתד שכן הם היו היונקים היחידים שהגיעו ליבשת זו, ואכן הם התפתחו למגוון צורות וגדלים, ומילאו את כל התפקידים והגומחות שממלאים יתר היונקים בשאר רחבי העולם: קנגורים כממלאי תפקיד האנטילופות, קואלות במילוי תפקיד העצלן, זאב טסמני כטורף (הזאב הטסמני, המכונה גם נמר טסמני, היה יצור בעל מבנה דומה לזאב ופספוס כשל טיגריס על מחציתו האחורית. נכחד ככל הנראה בשנות השלושים של המאה הקודמת) ועוד.

הטענה שחיות הכיס הגיעו לאוסטרליה מאמריקה הדרומית דרך אנטארקטיקה התבססה על תיארוך המאובנים שנמצאו ועל הנתונים שיש בידינו על מיקומן של היבשות לפני עשרות מיליוני שנה. בהתאם לטענה זו ניבו החוקרים בעבר שאם יושקע המאמץ הנחוץ יימצאו מאובנים של חיות כיס באנטארקטיקה.

ואכן, בעקבות ניבוי זה נערכו חיפושים ביבשת הקפואה והניבו לפני כשלושים שנה מאובנים של חיות כיס. מאז ועד היום הולכים ונחשפים מינים שונים של חיות כיס מאובנות ביבשת זו.

7. המסקנה מהממצאים המאובנים

בניגוד למה שמקובל לחשוב, ההוכחה לאבולוציה אינה מבוססת על הממצאים המאובנים דווקא, אלא על יסודות אחרים שיפורטו להלן. אמנם המאובנים מהווים חיזוק ואישור משמעותי לאבולוציה בכך שהם שוטחים בפנינו את מהלך ההתפתחות כפי שהיא אמורה להיות לפי האבולוציה: שינוי וגיוון הדרגתיים של עולם החי, מצורות קדומות לצורות מאוחרות יותר, בהתאם לתנאי השטח המשתנים. כאשר השינויים הללו "מצייתים" לסדר שתיארה האבולוציה (דגים ואח"כ הולכי על ארבע; זוחלים ואח"כ דינוזאורים ואח"כ עופות; זוחלים ואח"כ יונקים; יונקי יבשה ואח"כ יונקים ימיים וכו'). כאמור, סדר זה נשמר **בכל רחבי העולם**, וניתן להסיק על פי סדר זה - באיזו שכבה עלינו לחפש על מנת למצוא בעל חיים מסוים. (וראה מה שכתבתי לעיל בעניין הטיקטאליק).

האם יש הסבר חלופי לתופעה זו?

בעבר, היו מי שרצו לתלות ממצאים אלה במבול שהיה בימי נח. טענו שהדינוזאורים היו יצורי תערובת שיצרו בני דור המבול ולכן הם לא ניצלו בתיבה והושמדו יחד עם בני דור המבול.

למותר לציין שהדינוזאורים לא היו בני תערובת וכי מעולם לא שזפתם עין אדם, שכן הללו נכחדו עשרות מיליוני שנה לפני שהאדם עלה על הבמה. (אמנם, ברור שהאדם נתקל פעם בפעם בעצמותיהם של בעלי חיים אלה, מבלי לדעת הרבה על טיבם, והיתקלויות אלה עשויות להיות הבסיס לאגדות רבות העוסקות ביצורי ענק).

כמו כן, אין מדובר כאן רק בדינוזאורים, אלא במגוון רחב מאד של יצורים - ביניהם יצורים שהתקיימו מאות מיליוני שנים לפני הדינוזאורים, וביניהם כאלה שהתקיימו עשרות מיליוני שנים אחריהם. קשת רחבה של בעלי חיים וצמחים אשר את חלקם מופיעים לעינינו **ברבבותיהם ובתפוצה כלל עולמית**, והמתארים מצב של השתנות תמידית והדרגתית.

טענה "הגיונית" יותר שניתן היה לטעון הוא שהבורא ברא בכל פעם מחדש מגוון עצום של בעלי חיים וצמחים, ושב והכחיד אותם, ושוב ברא מגוון עצום של בעלי חיים **הדומים להם במעט**, ושב והכחידם, ושוב ברא בעלי חיים הדומים לקודמיהם במעט, ושב והכחידם, וחוזר חלילה.

דבר זה יכול להסתמך גם על מאמר חז"ל לפיו "היה הקב"ה בורא עולמות ומחריבן" (בראשית רבה, פרשת בראשית ג ועוד). אמנם מאמר זה יכול לבאר אירועים מסוימים שאירעו בעולמנו, שכן עולמנו ידע כמה אירועים של הכחדה כלל-עולמית בהם נמחו מן הארץ רבים מן היצורים שהיו חיים בה. הכחדות אלה מתועדות היטב בממצא המאובנים (ואין הכוונה למבול שאירע לפני 4,000 שנה. אירוע ההכחדה ההמוני הגדול האחרון אירע לפני 65 מיליון שנה, ובו נכחדו לפי ההערכה כ-50% מכלל המינים, ובכללם רוב הדינוזאורים. ההכחדה הגדולה ביותר הידועה היא זו שאירעה לפני 251 מיליון שנה, ובה נכחדו כ-95% מכלל המינים הימיים, וכ-70% מהמינים היבשתיים). אולם הכחדות אלה אינן מסבירות את ההשתנות ההדרגתית של המינים אשר מתרחשת בכל העת, **בין הכחדה להכחדה**. אם נתבונן ברצף בעלי החיים שמן הדינוזאור המנוצה - לעוף, או מן דמוי-הסוס הראשון לסוס בן ימינו, או מן בעל הפרסות היבשתי - ללוייתן, נתקשה לומר שהבורא ברא בעל חיים מסוים, השמיד אותו, וברא בעל חיים **שקצת דומה לו**, והשמיד אותו, ושוב ברא בעל חיים שקצת דומה לו ושוב השמידו וכו'. מה הטעם ומה הרקע לבריאות ולהשמדות הללו? האם לא הגיוני יותר לומר שהבורא ברא את בריותיו בצורה של התפתחות ושינוי מדור לדור? וכמו שבני האדם השתנו ונעשו שחורים וצהובים ולבנים, כחולי עיניים ושחורי עיניים, בעלי חמש אצבעות כף רגל ובעלי שתי אצבעות? האם גם כאן נסבור שהקב"ה ברא **מלכתחילה** אנשים שחורים וצהובים ובעלי שתי אצבעות או עיוורון צבעים?

יתר על כן, העובדה שאנו מוצאים בבעלי החיים של ימינו **שרידים מן העבר**, מראים שהיה להם "עבר". דוגמא לכך הם שרידי האצבעות המנוונים של הסוס, שאנו יכולים לעקוב אחריהם ולראות כיצד ברצף של עשרות מיליוני שנים הלכו האצבעות היתירות והתנוונו ונעלמו עד למצבו של הסוס בן ימינו.

ומכאן אנו עוברים באופן טבעי לסוג הראיות השני שיש לאבולוציה: ראיות שנובעות מאיבריהם של בעלי החיים העכשוויים.

ב. האבולוציה: מתועדת בבעלי החיים של ימינו

כפי שציניתי, איננו זקוקים לראיות שמן הממצאים המאובנים. בעלי החיים עצמם מצביעים בגופם על עברם ועל תהליך השינוי שהתחולל בהם. אחד מגופי הראיות לאבולוציה נובע מקיומם של איברים מנוונים, זאת אומרת, איברים שניכר שהם שימשו במקור לתפקיד אחר שאינו נצרך עוד בבעל החיים הנוכחי. בחלק מן המקרים האיבר משמש גם כיום את בעל החיים אבל למטרות שונות (דוגמא לכך: כנפי הפינגווין המשמשות לשחיה), ובחלק מן המקרים האיבר אינו משמש לדבר (דוגמא לכך: כנפי הקיווי). בפרק שלהלן נבחן אחדים מהדוגמות שהטבע מציע לנו.

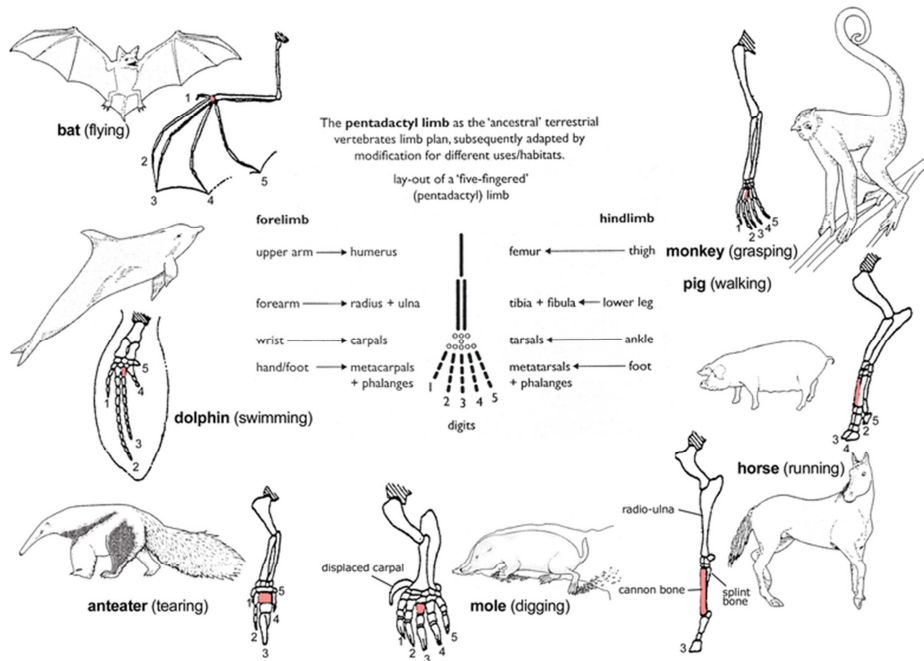
לתשומת לב, בכל המקרים בהם אנו נמצא איברים או מאפיינים מנוונים, יהיו אלו איברים ומאפיינים שהיו חלק מעברו הרחוק של בעל החיים. לעולם לא נמצא איברים מנוונים שאינם קשורים לעברו של בעל החיים. כך לדוגמא, לעולם לא נמצא סוס עם כנפיים מנוונות, לטאה עם בלוטות חלב מנוונות וכדומה. הממצאים שאנו מוצאים, כמו גם הממצאים שלעולם אין אנו מוצאים, מתאימים לעולם לראיית העולם האבולוציונית.

איברים "מנוונים"

1. גפיים

גפיים: יד, סנפיר, כנף - אחת התופעות המרתקות בנוגע לגפיים היא שאף כי המבנה החיצוני והתפקוד עשוי להיות שונה מאד בין בעל חיים אחד למשנהו, עדיין אנו עשויים למצוא "בפנים" אותה מתכונת בסיסית. בדוק את גפיהם של בעלי חיים שונים ותמצא בכולם **אותו המבנה הבסיסי** כולל חמשת האצבעות, כאשר מבנה זה מותאם בכל בעל חיים לצרכיו.

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה



גפיים קדמיות (© Jerry Crimson Mann 2005)

גפיים קדמיות המשקפות שימושים שונים ביונקים שונים: אחיזה (קוף), הליכה (חזיר), ריצה (סוס), חפירה (חפרפרת), עקירה (דב נמלים), שחייה (דולפין) ותעופה (עטלף). כל הסוגים הללו מבוססים על מבנה בסיסי אחד המאויר במרכז.

אלא שלפעמים בעל החיים אינו זקוק לחמשת אצבעותיו, ובחלק ממקרים אלה אנו נראה שלבים שונים באיבוד אצבעות: החל באצבעות מנוונות ובלתי שימושיות, המשך בשרידים של אצבעות וכלה באצבעות שנעלמו לחלוטין. לפעמים אנו מוצאים רצף של מאובנים מן העבר שמראה לנו את כל השלבים הללו (כמו במקרה של הסוס), אך גם אם לא נמצא רצף זה, כשאנו נתקלים בשרידים של אצבעות, ובאצבעות מנוונות, אנו יכולים להסיק מעצמנו שבעל חיים זה לא **נברא** עם אצבעות מנוונות ולא שימושיות, וכי אביו הקדום היה בעל אצבעות מפותחות

ורגילות "כמו כולם", ואצבעות אלה התנוונו במהלך הדורות היות ולא התאימו עוד לצרכיו של בעל החיים.⁷⁴

הבאתי לעיל דוגמא קיצונית למצב זה - רגליו האחוריות של הלויתן. בעוד שרגליו הקדמיות של הלויתן הפכו לסנפירים (שבתוכם יש, כצפוי, חמש אצבעות), רגליו האחוריות נמצאות בתוך גופו, ואינן משמשות לדבר. הן אינן מחוברות עוד לשדרה ואינן מתפקדות.

כולנו יודעים שלנחש היו רגליים, ובכן, לחלק מנחשי הפיתון נשארו עצמות אגן הירכיים, כשהן מנותקות מעמוד השדרה ואינן משמשות לדבר. בקרב נחשים אחרים נעלמו עצמות אגן הירכיים. בדומה לכך, לחלק מהלטאות יש רגליים סמויות המתחבאות מתחת לעור ואינן ניכרות מבחוץ.⁷⁵

2. כנפיים

כנפיים מנוונות הן גם כן תופעה שכל אחד מאיתנו מכיר. וכי מי לא מכיר את העופות משוללי כושר התעופה, המתהדרים עם זאת בכנפיים.

עופות אלה נחלקים לכמה סוגים: קבוצה אחת כוללת עופות גדולים וחזקים, שאינם מסוגלים לעוף מחמת גודלם, ואף אינם זקוקים לתעופה תודות למהירותם הרבה ויכולתם להגן על עצמם. עם אלה נמנים היען, האמו, הקזואר ודומיהם. קבוצה שניה כוללת עופות שעברו "הסבה" לכישורים אחרים, כגון הפינגווינים אשר משתמשים בכנפיהם לצורך שחיה וצלילה כבסנפירים. קבוצה שלישית ומעניינת במיוחד כוללת עופות שאיבדו את כושר התעופה משום שהאזור שבו הם חיו היה מוגן מבעלי חיים טורפים והפך את התעופה למיותרת. עופות אלה הם עופות שהגיעו (בתעופה!) לאיים רחוקים, אשר יונקים לא הצליחו להגיע אליהם (מאחר שלא יכלו לעוף אליהם), ומשעה שהגיעו לאיים אלה, ו"התברר להם" שאין שם

74 לחלופין, אם לא היה צורך באצבעות, הרי שתקלות חוזרות ונשנות עשויות היו לגרום לאיבוד האצבעות, מבלי שמאבד האצבעות ייעלם מהאוכלוסיה בשל כך. במקרים קיצוניים, ייתכן שהאצבעות אכן נחוצות לבעל החיים, אלא שתקלה מקרית גרמה לו לאבד אותן, ובידוד מיתר האוכלוסיה קיבע את המצב הזה, כעין מה שקרה לבני שבט הואדומה.

75 ריינוד וקן, עיכוב התפתחותי.

בעלי חיים המאיימים על קיומם (כלומר יונקים טורפים), הם איבדו את את כושר התעופה שלהם.⁷⁶

אחד מהעופות המפורסמים הללו הוא הדודו, עוף שחי באי מאוריציוס ונכחד לפני כשלוש מאות שנה על ידי המתיישבים ההולנדים. עוף זה, שרגיל היה לחיים נטולי סכנה, לא זו בלבד שאיבד את כושר התעופה שלו אלא אף איבד את חוש הזהירות שלו ודבר זה הביא להכחדתו.

בחלק מהעופות הללו הכנפיים זעירות במיוחד. את כנפיו הזעירות של הקיווי (העוף הלאומי של ניו־זילנד) לא ניתן לראות מבעד למעטה הנוצות שלו, אולם עצמות הכנפיים נמצאות במקומן.

עוף מעניין אחר בקבוצה זו הוא התוכיליל (קאקאפו), שעליו אמר דגלס אדמס שלא זו בלבד שהוא שכח כיצד לעוף, אלא גם שכח שהוא שכח כיצד לעוף... עוף מעניין זה עלול לפעמים לטפס במהירות על עץ, לקפוץ למטה ולנחות כגוש חבוט על פני הקרקע, מאחר והוא באמת אינו יכול עוד לעוף, אלא שהוא ככל הנראה לא הפנים דיו את הרעיון.

שרידי הכנפיים של הקיווי, התוכיליל שחושב עדיין שהוא יודע לעוף למרות שאינו יכול עוד, ויתר העופות הללו שאיבדו את כושר התעופה שלהם - מורים על אבות קדמונים שהיו בעלי כנפיים מעופפות.

ואם כבר נגענו בנושא הכנפיים, אציין כמה עובדות מעולם החרקים. חוקרי החרקים טענו בעבר כי מקורה של הנמלה הוא בצרעה מעופפת ש"איבדה" את כנפיה. (ואכן, "מלכת" הנמלים וזכרי הנמלים מתהדרים בכנפיים). טענה "מפתיעה" זו זכתה לאישוש כאשר נמצא יצור הביניים *Sphecomyrma freyi* משומר בענבר בן 92 מיליון שנה. חרק זה משלב מאפיינים של צרעה ושל נמלה בגוף אחד.⁷⁷

נוסף על כך, ישנם סוגים רבים של חיפושיות שאינן מעופפות, אשר להם כנפיים מושלמות מתחת לכנפי החפיה המאוחות שלהם.⁷⁸

76 ומכאן מענה למי שחושק בכושרם של העופות לעופף. התעופה גובה מחיר יקר בהגבלת גודל בעל החיים ובאנרגיה המושקעת בתעופה. אם ניתן לוותר על התעופה ולעבור לחיים על פני היבשה, זה הדבר שקורה.

77 וילסון וחב', נמלה מהמזוזואיקון.

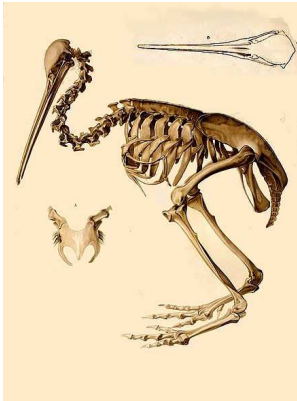
78 פוטווימה, ביולוגיה אבולוציונרית.



(© Reanimator86) *Sphecomyrma frey*



דודו (© Bazza Da Rambler, 2009)



שלד של קיווי



קיווי

גם מקומם של החרקים המוכרים לנו כל כך, הזבובים, לא נפקד: בניגוד לרוב החרקים שלהם ארבע כנפיים יש לזבובים רק שתיים בלבד (ומכאן שמה המדעי של סידרת הזבובאים: Diptera - "דוֹכְנָף"). זוג הכנפיים השני הצטמק לצמד "בוכניות" המתנועעות במהירות גבוהה ומסייעות ליציבותו של הזבוב. ומנין לנו שזוג הבוכניות הללו שימש בקרב אבות אבותיו של הזבוב ככנפיים? לזאת יש כמה ראיות: הן תופסות בדיוק את המקום שתופסות כנפי התעופה ונעות באותה תבנית כמו כנפי התעופה. התפתחותן העוברית זהה לזו של הכנפיים, והן אף נראות

(בייחוד בתהליך ההתפתחות) ככנפיים מצומקות וזעירות. יתרה על כן, יש זבובים מוטנטים שבהם לא התנהלה ההתפתחות העוברית כתקנה, והם אינם מצמיחים בוכניות אלא זוג נוסף של כנפיים כמו אצל יתר החרקים.⁷⁹

3. עיניים

העיניים הן ללא ספק כלי רב ערך לבעל החיים. ואכן, קיימות לפחות עשר גירסאות שונות של עיניים בעולם החי, וסבורים שהעיניים התפתחו בקרב עשרות מינים בנפרד.⁸⁰ עם זאת, בעלי חיים מסוימים אינם זקוקים עוד למאור עיניהם משום שהם חיים בסביבה חשוכה (מתחת לאדמה, במערה וכדומה). וכך ליצורי מערות, כמו הדג *Astyanax mexicanus*, וכמו הסלמנדרות *Typhlotriton spelaeus* ו-*Proteus anguinus* יש עיניים שאינן רואות.⁸¹ לדג האמור יש עדשה, רשתית מנוונת, עצב אופטי מנוון ולובן-עין, למרות שהוא עיוור. לסלמנדרות האמורות יש עיניים עם רשתית ועדשה, אלא שהעפעפיים מכסות אותן והן עיוורות. מצויים גם נחשים שעניהם מכוסות לגמרי בקשקשים, והחולד המפורסם שעניו מצויות מתחת לעורו. יצורים אלה, שזכו לשם מיוחד: "טרוגלוביטים", מונים גם חסילונים, סרטני נהרות, רבי רגליים, עכבישים, צרצרים ובעלי חיים רבים אחרים.⁸²

4. תוספתן

מן הראוי להזכיר גם כן איבר מעניין זה. התוספתן הוא איבר חיוני בקרב בעלי חיים אוכלי העשב. בקרב בעלי חיים אלה התוספתן גדול ומפותח, ומשמש כאיבר התססה לצורך פירוק התאית שבעלי חיים אלה צורכים. ככל שבעל החיים צורך פחות תאית, כן קטן התוספתן שלו. באדם, שאינו צורך עלים ואינו מעכל תאית, התוספתן כמעט שאינו קיים. התוספתן נחשב אפוא כשריד שנשאר מאבות קדמונים צורכי-תאית. בעבר חשבו שהתוספתן מיותר לחלוטין ואינו מביא כל

79 דוקינס, ההצגה הגדולה בתבל, עמ' 333.

80 לנד ופרנהולד, אבולוציה של העיניים.

81 ביירס וברנדון, השפעת האור; קלר וחב', עין מנוונת; ג'פרי, דג המערות; קוס וחב', סלמנדרת מערות.

82 דוקינס, ההצגה הגדולה בתבל, עמ' 338; קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 113-114.

תועלת, ואילו כיום סבורים שבמקרים מסוימים התוספתן עשוי לשמש עדיין את האדם ולסייע למערכת החיסונית.

אולם, מתברר שתועלתו זו היא משנית, וכי הנזק שהתוספתן גורם גדול לאין שיעור מהתועלת המסוימת שהוא עשוי להביא. התוספתן המצומק של האדם הוא מקור לא אכזב לדלקות. אחד מכל חמשה עשר אנשים ילקה במשך חייו בדלקת התוספתן. דלקת זו מטופלת כיום באמצעים כירורגיים, וברוב המוחלט של המקרים, האדם ניצל. אולם בעבר הלא־רחוק, כאשר לא היה עדיין פתרון רפואי מניח את הדעת, היה התוספתן המודלק גובה את חייהם של למעלה מעשרים אחוז מהחולים! במלים אחרות, קיומו של התוספתן בגוף האדם הביא למוות של למעלה מאחוז אחד מהאוכלוסיה. וזה הרבה יותר מהתועלת המשוערת שהתוספתן עשוי לגרום לה. מה שמראה בצורה ברורה שאיבר זה לא תוכנן בהתאם לגופנו ולטובתנו, אלא הוא שריד מזיק ש"נתקענו" איתו.⁸³

שאלה לעיון:

אם אכן כך הוא הדבר, מדוע נתקענו עם שריד זה, והוא לא "נעלם" מגופנו? הרי לפי הדברים הללו יש יתרון הישרדותי לאנשים שאין להם תוספתן על פני אנשים שיש להם תוספתן?

אציג שתיים מהתשובות האפשריות:

- א. כל תהליך לוקח זמן. ייתכן שלו חיכינו עוד, אזי בעתיד הרחוק היינו מוצאים שהאנשים ששרדו הם אנשים שאין להם תוספתן. אמנם, נכון לעכשו, תהליך זה נעצר ככל הנראה ואינו נמשך, שהרי הטיפול הרפואי ביטל את היתרון ההישרדותי של חסרי־התוספתן על פני בעלי־התוספתן.
- ב. ייתכן שהתוספתן הגיע לנקודת אל־מוצא. התהליך אותו היינו מבקשים לראות הוא תהליך בו התוספתן ממשיך ונעשה קטן יותר ויותר עד שהוא ייעלם. אמנם, היות ותוספתן קטן יותר משמעו סיכון רב יותר לפיתוח דלקת התוספתן ייתכן שהגענו לדרך "ללא מוצא", בה עדיף היה לנו להיות נטולי תוספתן (ואנשים נטולי תוספתן היו ללא ספק שורדים טוב

83 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 115-117.

יותר מאנשים בעלי תוספתן, כפי שציינתי), אולם הדרך להשגת יעד זה - על ידי הקטנה הולכת וגוברת של התוספתן - חסומה בפנינו, משום שבעלי התוספתן הקטן יותר - ישרדו **פחות** מבעלי התוספתן הרגיל. כך שאיננו יכולים "לדלג" ולהגיע למצב הרצוי של העדר־תוספתן.

ומאחר ועסקתי באיבר אנושי, אזכיר בכמה מילים עוד שתי תכונות שהאדם נושא עמו כזכר לעברו:

5. "עור ברווז"

כולנו מכירים את תחושת "עור הברווז" שאנו חווים כאשר קר לנו, או כשמבהילים אותנו. תחושה זו נגרמת על ידי השרירים הזעירים המחוברים לשורשי שערות גופנו. לשם מה אנו זקוקים לשרירים זעירים אלה, ולשם מה אנו זקוקים ל"עור ברווז" כאשר קר לנו או כשאנו מבוהלים?

ובכן, איננו צריכים. אבל אבות אבותינו היו צריכים. בעלי פרווה עושים שימוש חשוב בתופעה זו שגורמת לפרוותם לסמור. לפרווה הסמורה יש כמה שימושים: היא מבודדת טוב יותר בעת קרה, ובנוסף לכך כשבעל החיים מבוהל - כלומר, מאוים על ידי בעל חיים אחר - הפרווה הסמורה שלו מקנה לו מראה גדול בהרבה, שעשוי להרתיע את האויב. אנו איבדנו את כסות השיער הצפופה שלגופנו (שכזכור, צומחת על גופנו במהלך התפתחותנו כעובר, אבל נושרת מגופנו לפני הלידה), ונשארו עם עור הברווז והשרירים הזעירים המיותרים.

6. שרירי האוזניים

דוגמא נוספת של שריד מהעבר הם שלושת שרירי האוזניים המאפשרות לחלק מן האנשים להניע את אזניהם. שרירים אלה משמשים בעלי חיים רבים להזזת אזניהם לצורך איתור מקורות רעש. הזזת האוזניים מאפשרת להם לאתר טורפים או את צאצאיהם. בקרב בני אדם, גם אצל אלו שמסוגלים להזיז את אזניהם, אין לשרירים אלה כל שימוש.

ג. פסאודוגנים

לצד האיברים המנוונים אותם אנו עשויים למצוא בבעלי חיים, אנו עשויים למצוא גם גנים מנוונים/"מתים", הנקראים גם "פסאודוגנים". הכוונה לגנים שביצעו בעבר פעולה מסוימת, וכיום אינם פעילים עוד. גנים אלה עדיין קיימים במטען הגנטי כעדות אילמת לתפקיד בו הם שימשו בעבר.

קריאת המטען הגנטי מאפשרת לנו כיום לאתר ולבודד רצף גנטי המשמש כגן האחראי על פעילות מסוימת. השוואת רצפים גנטיים בין בעלי חיים שונים מאפשרת לנו לאתר את הרצף המדובר גם בבעלי חיים אחרים. כאשר אנו מוצאים רצף דומה בבעל חיים אחר ורואים שבו הוא אינו מחולל דבר, אזי איתרנו גן מושקע (פסאודוגן).

למציאת הגן המושקע יש כמה משמעותות. קודם כול, הוא מהווה עדות לעברו השונה של בעל החיים. עבר בו הוא נזקק ככל הנראה לשימושיו של הגן הזה. נוסף לכך, הגן המושקע מסייע לנו גם בקביעת קרבה בין מינים שונים, כאשר העובדה שבעלי חיים שונים חולקים ביניהם אותו רצף גנטי, גם אם הוא פעיל אצל האחד ומושקע אצל האחר, מצביעה על עבר משותף - על אב משותף שהוריש לשניהם את הגן הזה. יתר על כן, כאשר אנו מוצאים כמה בעלי חיים שבכולם מושקע אותו הגן, אזי אם אופן ההשתקה זהה ונובע מאותה מוטציה / תקלה ברצף, זה עשוי להורות לנו על קרבתם המשוערת של בעלי חיים אלה, ולמסקנה שהתקלה המדויקת הזו אירעה באביהם המשותף של שני המינים הללו.

פסאודוגנים אינם דבר נדיר. ניתן לומר שכל מין עלי אדמות נושא בחובו פסאודוגנים שעדיין פעילים בקרב בעלי חיים אחרים, שארי בשרו. אנו, בני האדם, נושאים במטען הגנטי שלנו כאלפיים פסאודוגנים, כעשירית מכלל הגנים שיש לנו.

להלן כמה דוגמות לפסאודוגנים:

1. ויטמין סי

האדם אינו מסוגל ליצור בעצמו את החומצה האסקורבית (ויטמין סי). בחוסר יכולת זו שותפים לו הפרימטים,⁸⁴ עטלפי הפירות והקביה, כל אלה בעלי חיים

84 הפרימטים הם סדרת יונקים הכוללת את הקופים, הקופיפים וקופי האדם (למעלה ממאתיים מינים שונים).

שמזונם עשיר בויטמין סי והם אינם זקוקים לייצר אותו בעצמם. היות וכל יתר היונקים מסוגלים לייצר ויטמין סי בעצמם, הנחת היסוד היתה שגם אבות אבותיהם של בעלי חיים אלה יכלו ליצור ויטמין זה, וכי יכולת זו התנוונה משום שלא היה בה צורך, ואכן המחקר הוכיח טענה זו. מסתבר שיצירת ויטמין סי היא תהליך המורכב מארבעה שלבים שכל אחד מהם "נשלט" על ידי גן אחר. לפרימטים ולקביות יש עדיין את הגנים להפעלת שלושת השלבים הראשונים של התהליך והם "נתקעים" בשלב האחרון, שכן הגן האחראי על השלב האחרון עבר מוטציה ואינו מתפקד עוד (גן זה מכונה ψGLO). אמנם, האופן בו מושבת הגן הרביעי הזה בקרב פרימטים **שונה** מהאופן בו הוא מושבת בקרב הקביות. מתברר שבקרב כל הפרימטים, כולל האדם, הגן הרביעי אינו מתפקד בגלל בסיס יחידי מסוים שנעדר ברצף הגנטי של גן זה.⁸⁵

כאמור, הרצף של ψGLO בקרב הפרימטים אינו תקין. אמנם, גם בו טמונות עוד פיסות של מידע, מכיון שהרצף משקף את מידת הקרבה של המינים זה לזה. וכך לדוגמא מידת הדמיון ברצף של גן זה בין הגירסא האנושית לבין הגירסא השימפנזית, גדולה ממידת הדמיון שיש בין שתי גירסאות אלה לבין הגירסא המקבילה של האורנג'אוטן. מובן מאליו שהרצף של הקביות שונה בהרבה ומשקף מוטציה שאירעה באופן עצמאי מהמוטציה שאירעה אצל הפרימטים.

☞ שאלה: מדוע תקלה זו לא אירעה ביתר בעלי החיים? תשובה: ייתכן ואף מסתבר שהיא אירעה, אלא שכאשר היא אירעה אצל בעל חיים אחר, שמזונו אינו עשיר בויטמין סי כמו בעלי החיים הניזונים על פירות, הוא שילם על כך בחייו ולא העביר את התקלה הזו לדור הבא, ואין צורך לומר שהתקלה לא הפכה להיות שכיחה בקרב בני מינו.

2. קולטני ריח

חלק ניכר מקולטני הריח של האדם לא פעילים. לפי נימורה⁸⁶ יש באדם ככל הנראה 802 גנים האחראיים על קולטני ריח, כאשר למעלה ממחציתם (414 ליתר דיוק) אינם מתפקדים ונחשבים כפסאודוגנים. לשם השוואה, לעכברים יש כ-1400 גנים

85 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 125-127.

86 נימורה, אבולוציה של קולטני ריח.

האחראים על קולטני ריח, ורק 25% מתוכם אינו מתפקד.⁸⁷ החוש המפותח במיוחד אצל האדם הוא חוש הראיה, ושיבושים ביצירת קולטני הריח שלו אינם משפיעים על יכולת ההישרדות של הפרט כשם שהם משפיעים על יכולת ההישרדות של העכבר.

ציינתי לעיל שבקרוב הלווייתנים המצב "גרוע" יותר, מאחר והשימוש בו הם יכולים לעשות בקולטני הריח שלהם מוגבל עוד יותר, מאחר וקולטני הריח שלהם מותאמים להרחת באויר ולא להרחת בתוך המים. שיעור הפסאודוגנים בקרבם נע בין 60%-80% (תלוי בסוג הלווייתן).⁸⁸ אצל הדולפינים המצב "חמור" עוד יותר: יש להם גנים רבים לקולטני ריח, אולם אף אחד מהם אינו מתפקד.⁸⁹

3. ביצים

לפי האבולוציה, מוצא היונקים בזוחלים מטילי הביצים. זאת אומרת שאמות אמותיהם של היונקים הטילו ביצים ובקעו מביצים. יונקי הביב, סדרה בת חמשה מינים בלבד ששרדה באזור אוסטרליה, יכולה להחשב כמעין "חוליית ביניים" - יונק שעדיין מטיל ביצים.

עבר זה מתועד אף הוא במטען הגנטי שלנו.

הזוחלים והעופות, מטילי הביצים, מספקים לעובר שקיק חלמון העשיר בחלבון המזין ויטלוגנין. גם היונקים נושאים בחובם את שלושת הגנים האחראים ליצירת חלבון זה, אלא שהם מושבתים, מאחר והיונקים אינם מזינים עוד את עובריהם באמצעות שקיק חלמון אלא ישירות באמצעות השליה. יתר על כן, היונקים עדיין מייצרים את שקיק החלמון אלא שהוא מנוון וריק מחלמון ובמהלך החודש השני להריון הוא מתנתק מהעובר.

ד. אטביזם

נושא הקשור הדוקות לאיברים המנוונים הוא האטביזם: **הופעה מחדש** של תכונה שאינה קיימת עוד באבותיו ואבות אבותיו של בעל החיים.

87 נימורה, ניתוח משווה של קולטני ריח.

88 קישידה וחב', קולטני ריח בבעלי חיים ימיים.

89 פרייטג וחב', קולטנים.

דוגמא לכך: הופעת רגליים אחוריות בלוייתנים ודולפינים. דוגמות נוספות להלן.

ההסבר שעומד מאחורי תופעה זו הוא שתכונה מסוימת שהיתה מנת חלקו של בעל חיים קדום, ואשר נעלמה במרוצת הדורות מצאצאיו, עשויה להישמר עדיין במטען הגנטי של צאצאיו כתכונה רדומה/מושקת. כלומר, ההוראה העתיקה עדיין קיימת, אלא שקיים מנגנון המשתיק את הביטוי שלה בפועל. לפעמים חל שיבוש (מוטציה) במנגנון המשתיק את הופעתה של התכונה ההיא, והתוצאה היא שבעל החיים שבו אירעה המוטציה - שב ומגלה את התכונה הזו שבה התהדרו אבותיו הקדומים, בשונה מיתר בני דורו.

כמו בנוגע לאיברים המנוונים, לא ייתכן אטביזם בתכונה שלא היתה מצויה בעברו הקדום של היצור. ולדוגמא, תופעת האטביזם לעולם לא תייצר סוס המגדל כנפיים, שכן אף אחד מאבותיו של הסוס לא הצמיח כנפיים, וזו לא תכונה שקיימת במטען הגנטי שלו. באופן זה מסייע לנו האטביזם לדעת מה טמון בעברו של בעל החיים.

דוגמות של אטביזם שמתרחשים לעתים: הופעת בהונות עודפים ברגל הסוס (אצבעות 2 ו-4, בדומה למצב שנמצא בקרב אבותיו הקדומים (*Mesohippus*) ו-*Merychippus*); הופעת בהונות נוספים ברגלי קביות וסלמנדרות; הופעת כנפיים בקרב צבתנים (חרקים נטולי כנפיים)⁹⁰, ולעיל הזכרתי את העופות שהצמיחו שיניים.

אמנם, כמדומה שהדוגמא הדרמטית ביותר היא הופעת רגליים אחוריות בקרב לווייתנים. קיימות דוגמות רבות של לווייתנים (ודולפינים) מסוגים שונים שהיו להם רגליים אחוריות הכוללות את עצמות הירך, השוקה והשוקית. עם זאת, בחלק מהמקרים נמצאו ללווייתן גם כף רגל (אחורית) עם אצבעות.⁹¹ תופעה זו אינה מפתיעה לאור ההבנה שהלווייתן, כיונק, מוצאו מיונקים יבשתיים הולכי על ארבע, כפי שראינו לעיל.

90 הול, אטביזם.

91 ברזין, לווייתן הזרע.



דולפין עם גפיים אחוריות (© Taiji Whale Museum 2006)

אטביזם בבני אדם

גם על בני האדם לא פוסחת תופעה זו. למעלה ממאה מקרים של זנב אנושי דווחו בפרוטרוט בספרות הרפואית. בפחות משליש ממקרים אלה לא מדובר בזנב אמיתי, אלא ב"תקלות" מסוימות שאירעו במקרה באיזור הזנב. עם זאת, ברוב המקרים מדובר בזנב של ממש: כולל שכבת שומן, רקמות חיבור, שרירים, כלי דם, עצבים, גנגליונים וגופיפי פצ'יני (גופיפי חישה לתחושות לחץ). הזנב מכוסה בעור, שופע בזיקי שיער ובלוטות זיעה ובלוטות חלב.⁹² אורך הזנב נע בין סנטימטרים אחדים לתריסר ס"מ (בתינוק בן יומו!), וניתן להזיזו באופן רצוני בתגובה למצבים רגשיים שונים.⁹³ בזנב עצמו נמצאות לפעמים חוליות מפותחות (עד חמש חוליות),⁹⁴ אמנם חוליות אינן מרכיב הכרחי בזנב היונקים, ולדוגמא, הקוף *M. sylvanus* מתהדר בזנב חסר חוליות.⁹⁵ בדרך כלל הזנב הזה אינו עובר בתורשה,

92 דאו ונטסקי, זנב אדם.

93 ברוכין וחב', זנב אדם.

94 בר-מאור וחב', זנב אדם; סוגומאטה וחב', זנב אדם.

95 היל, פרימטים, עמ' 616.

אולם ידועים מקרים בהם הוא עבר בתורשה. במקרה אחד הוא עבר הלאה לפחות לשני דורות של נקיבות.⁹⁶

הגן האחראי להצמחת זנב בקרב עכברים וחולייתנים אחרים זוהה, וכצפוי הוא התגלה גם במטען הגנטי של האדם.⁹⁷ כמו כן זוהה תהליך הגורם לעיכוב צמיחת הזנב בקרב עכבר מוטנטי,⁹⁸ ומסתבר שתהליך דומה מעורב בעיכוב הצמחת הזנב האנושי.

נושא הזנב האנושי גורם למבוכה בקרב המתנגדים לאבולוציה, והללו טוענים שלא מדובר בזנב אמיתי, אלא שתשובה זו נכונה לגבי פחות משליש מהמקרים המתועדים. ברוב המקרים מדובר אכן בזנב אמיתי המתפקד כזנב לכל דבר. ומעניין לציין בהקשר זה את דבריו המפתיעים של רבי יהודה: "ויהי האדם לנפש חיה - מלמד שעשה לו עוקץ (=זנב) כחיה, חזר והעבירו ממנו מפני כבודו" (בראשית רבה, בראשית פ' י"ד ד"ה ויהי).

לצד האיברים המנוונים שנמצאים בכולנו, והאיברים האטביסטיים המופיעים לפרקים אצל ברי/בישי-המזל, ההיסטוריה של ההתפתחות מתועדת בכל אחד מאיתנו במהלך ההתפתחות העוברית, ועל כך להלן:

ה. אמבריולוגיה: ההתפתחות העוברית

האמבריולוגיה (הלא היא המדע העוסק בחקר העובר והתפתחותו) מספקת לנו ממצאים מרתקים ומפתיעים.

כזכור, לפי תפיסת האבולוציה בעלי החיים הקיימים כיום לא היו כך מאז ומעולם אלא התפתחו מצורות שקדמו להם. היונקים התפתחו מזוחלים, העופות - מדינוזאורים שהתפתחו בתורם מזוחלים, ואלו ואלו התפתחו מדגים.

למרבה הפלא, ה"היסטוריה" הזו של התפתחות בעלי החיים מונצחת בתהליך ההתפתחות העוברית שלהם.

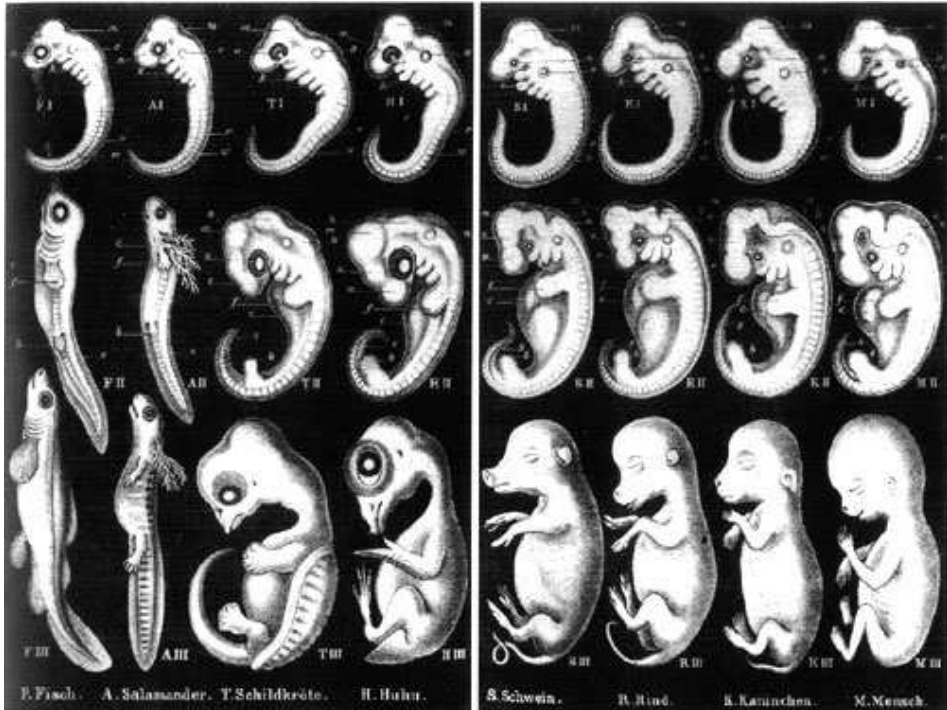
כבר במאה ה"ט הבחינו כי בשלבים הראשונים של ההתפתחות העוברית כמעט שאין להבחין בין עוברים של בעלי חיים שונים ולו גם רחוקים מאד זה מזה. האמבריולוג הדגול פון-בר (von Baer), כותב לדרוין על מקרה שקרה לו: ברשותו

96 סטנדרסט, זנב אדם.

97 קאטו, עכברים.

98 גרקו וחב', זנב.

היו שני עוברים משומרים בכהל, שאת זהותם הוא לא ציין לעצמו בעוד מועד, וכעת אין בידו לדעת אם מדובר בעוברים של לטאות, של עופות או של יונקים. כה רב הדמיון בתצורת הראש והגו של עוברים אלה.⁹⁹



התפתחות עוברית

איור מהספר *Anthropogenie* (1874) מאת ארנסט הקל (Ernst Haeckel)

באיור זה ממחיש המחבר את הדמיון בהתפתחות העוברית של שמונה חולייתנים: אדם, ארנבת, פרה, חזיר, תרנגולת, צב, סלמנדרה ודג (מימין לשמאל). שלוש השורות מייצגות שלושה שלבים בהתפתחותו של העובר. האיורים (שאיורו לפני כמה וארבעים שנה) אינם נחשבים כיום למדויקים דיים, אולם רב כוחם להמחיש את הדמיון המופלג בין המינים השונים.

99 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 134.

מתברר אפוא שבשלבים הראשונים של התפתחות העובר בעלי החיים מתפתחים בצורה דומה ולפי אותם העקרונות. כיום ניתן "לסמן" את התאים השונים בשלבים הראשונים של ההתפתחות ולראות אחרי כן איזה איבר ואיזה מבנה בדיוק מתפתחים מאלו תאים. ניתן כמו כן לבדוק אלו קבוצות של גנים מפקחות על אלו תהליכים בבניית הגוף (ומסתבר שאותן קבוצות של גנים פעילות במינים השונים). אחת השיטות הנהוגות במחקר כיום היא הכנסת שינויים בקבוצות גנים שונות, או העברת תאים בעובר המתפתח ממקום אחד למשנהו, ובשלבים שונים של התפתחות (או העברת תאים ממין אחד של בעל חיים למין אחר!), תוך הפקת תוצאות מעניינות ביותר (יצירת איברים כפולים ברמות שונות של התפתחות וכדומה).

הטכניקות הללו המשמשות את מדע האמבריולוגיה מאפשרות לנו לראות כיצד מנגנון מסוים שמשמש במין מסוים של בעל חיים למטרה מסוימת וליצירת איבר מסוים, הוא אותו המנגנון עצמו המשמש במין אחר של בעל חיים למטרה שונה וליצירת איבר שונה, כפי שאכן טוענת האבולוציה.

מדע זה מאפשר לנו גם להבין תופעות "מוזרות" בגופנו, שאינן מובנות לאשורן אם לא יודעים את ההיסטוריה של התפתחות הגוף שלנו, בחינת "דע מאין באת", ודוגמות לכך, להלן:

1. עצב בית הקול החוזר

אחת הדוגמות הבולטות להיסטוריה הארוכה של התפתחות גופנו הוא רשת העצבים המעצבבת את פנינו. שנים עשר זוגות עצבים יוצאים מהגולגולת ומעצבבים אזורים שונים בפנינו. רובם מתחברים ישירות לאיבר המטרה: עצב הריח, עצב הראייה, עצב השמע ועוד. עם זאת, חלקם עושה דרך פתלתלה וארוכה עד אשר הוא מגיע ליעדו, במקום "לבחור" את הדרך הישירה והקצרה. וחלקם מתפצל ומסתעף ומתחבר לכמה מטרות שונות וגורם בכך לכאבי ראש ניכרים בקרב סטודנטים לרפואה.

העצב המשולש, לדוגמא, הוא עצב שמתחבר לשרירים המשתתפים בלעיסה וגם לשרירים זעירים שנמצאים בתוך האוזן, וכמו כן הוא מעביר מידע תחושי מעור הפנים ומשורשי השיניים. בו בזמן מחובר עצב הפנים לשרירים הרבים

שמרכיבים את פנינו ואחראי בין השאר למגוון הבעות הפנים שלנו. עצבים אלה מתחברים לאזורים הסמוכים מאד זה לזה וחולפים זה על פניו של זה במסלולים מפותלים וכמעט חופפים, במקום שכל עצב יהיה מחובר לאזור משלו וימלא תפקיד מוגדר אחד כדרכם של יתר העצבים.

אולם עצב שמתנהג בצורה "מוזרה" בהרבה הוא העצב שזכה לשם הקולע "העצב התועה" (העשירי מבין שנים עשר עצבי הגולגולת). לעצב זה יש כמה שלוחות המעצבבות איברים חשובים בגוף. אותנו מעניינות כרגע שתי שלוחות העוברות ומגיעות לכל אחד מצדדיו של בית־הקול: עצב בית הקול החוזר (recurrent laryngeal nerve). לכל אחד מצדדי בית־הקול מגיעה שלוחה אחת של עצב בדרך הישירה ואילו השלוחה האחרת המגיעה לאותו צד עושה "סיבוב" חסר פשר: העצב צולל אל תוך בית החזה (!), מתקפל סביב אחד מהעורקים הראשיים היוצאים מהלב ושב ועולה לצואר במקום להתחבר במישרין לבית־הקול. הסיבוב הזה מאריך אותו בערך פי שלושה מהנחון.¹⁰⁰

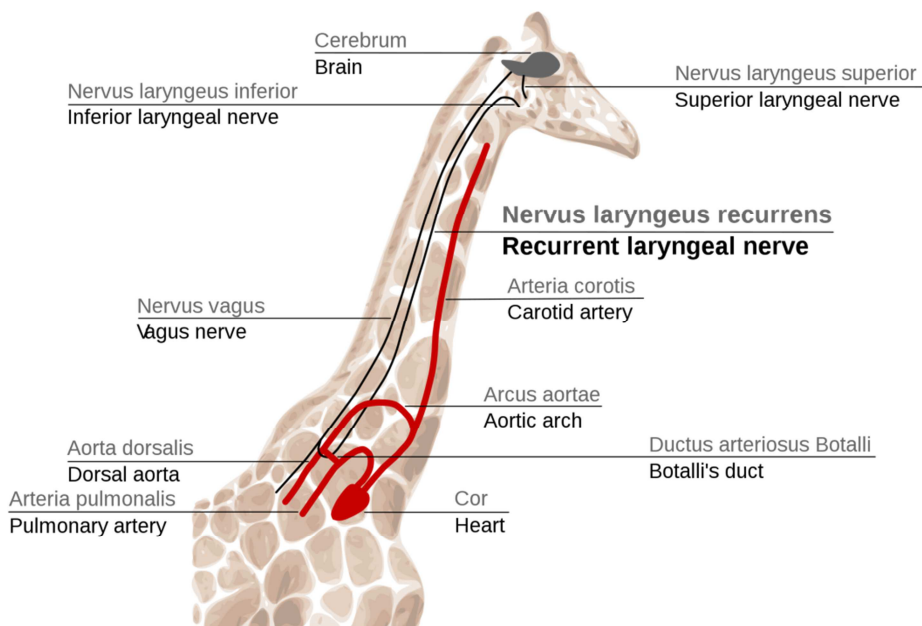
אם תופעה זו מוזרה כשהיא באה לידי ביטוי באדם, הרי שכאשר מדובר בבעל חיים ארך־צוואר, כמו הג'ירף, התוצאה מתמיהה בהרבה. עצב בית הקול - במקום שיהיה מחובר ישירות בין מוח הג'ירף לבין בית הקול של הג'ירף (מרחק סנטימטרים ספורים), חולף סמוך לבית הקול, יורד לכל אורך צוארו של הג'ירף, מתפתל ועולה שוב במעלה הצואר כולו, עד שהוא מגיע ומתחבר לבית הקול. אורכו של מעקף זה עשוי להגיע לחמשה מטרים!¹⁰¹ מה פשר הטיולים התועים הללו של עצב בית הקול החוזר?

ובכן, מסתבר שהתשובה נמצאת בהתפתחות העוברית ובהיסטוריה של העצבים הללו בעת העתיקה, כאשר "העניינים" היו הרבה פחות מסובכים.

100 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 147-149. לסרטון המתאר ניתוח עצב בית הקול החוזר בג'ירף, ראה: סאיינס בלוג, עצב בית הקול של ג'ירף.

101 דוקינס, ההצגה הגדולה בתבל, עמ' 346-350.

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה



עצב בית הקול החוזר בג'ירף (© Vladimir V. Medeyko 2010)

שלוחה אחת של העצב (הקו השחור הקצרצר שבאיור) יוצאת ממוח הג'ירף (הכתם האפור באיור) ומסתיימת בלסת. השלוחה השנייה (הקו השחור הארוך) יוצאת אף היא מהמוח, יורדת לכל אורך הצוואר, עולה בחזרה, ורק אז מתחברת ללסת, כעבור טיול מיותר בן חמשה מטרים.

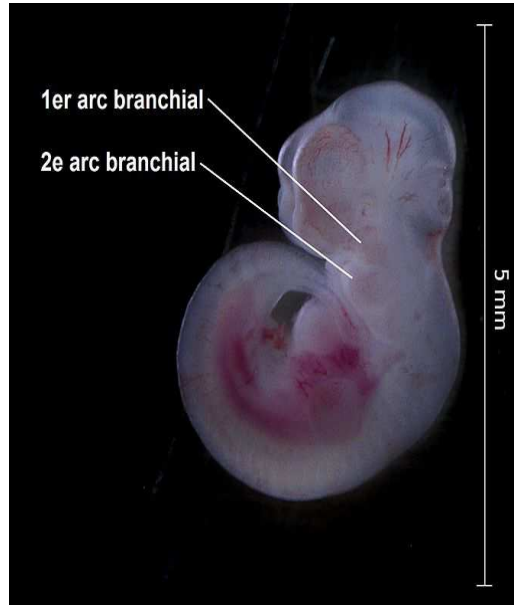
על מנת להבין את מצבם המתוסבך של העצבים שלנו כיום, איננו צריכים אלא לחזור למצב הראשוני, לבעלי החיים הראשונים שאצלם מופיע המבנה הבסיסי הזה: הדגים. במהלך התפתחותו העוברית של הדג, מופיעות באזור ראשו ארבע תפיחות המכונות "קשתות הזימים". כל אחת מהקשתות הללו תתפתח לעצבים, כלי דם, שרירים ועצמות (או סחוס - בדגי סחוס), ואילו השקעים שבין תפיחות אלו יהפכו לזימים. בדגים, הקשת הראשונה בונה את הלסת ואילו יתר הקשתות הופכים לעצבים השולטים בתנועת הזימים, לכלי דם ולעצמות התומכות בזימים. גם החוליות האחרים שאינם בעלי זימים מתחילים מאותה הנקודה, עם ארבע תפיחות באזור שיהיה הגרון (אצל האדם הן מופיעות בשבוע השלישי להפריה

ואילך).¹⁰² באמצעות סימון התאים שיש בכל תפיחה ותפיחה, ניתן לגלות אלו מבנים נוצרים בסופו של דבר מהתאים שבכל תפיחה. וכך אנו מגלים כי הקשת הראשונה יוצרת את שתי הלסתות, שתיים מעצמות האוזן (הפטיש והסדן) ואת כלי הדם והשרירים המגיעים אליהם. מהקשת השניה נוצרת עצם האוזן השלישית (הארכוף), עצם קטנה הנמצאת בגרון ורוב השרירים האחראים להבעות הפנים. מהקשת השלישית נוצרים עצמות ושרירים הנמצאים בעומק הגרון והמשמשים אותנו בבליעה, ואילו מהקשת הרביעית נוצרים חלקים עמוקים יותר של הגרון, כולל בית הקול והשרירים וכלי הדם המשרתים אותו.

העצבים השונים המעצבבים את המבנים השונים נוצרים גם הם באותן קשתות שבהן נוצרים המבנים המעוצבבים על ידם.

אם נתבונן במה שקורה אצל הדג, נגלה כי העצבים המקבילים לעצב המשולש או לעצב התועה (ולעצב בית הקול החוזר, שהוא שלוחה שלו) מחוברים בצורה ישירה לזימים אותם הם מעצבבים. לנו, וליתר היונקים, אין זימים. במקום הזימים הולכים ומתפתחים מבנים שונים. כאמור, מהקשת הרביעית נוצרים אזורים שנמצאים בעומק הגרון ובית הקול על שריריהם וכלי הדם שלהם. העצבים שהעצבבים את הזימים המקוריים, הם אלה שמעצבבים כעת את המבנים הללו שתפסו את מקומם של הזימים. מצד שני, נוצרו מקשת זו גם מבנים הקשורים לאבי העורקים ולכלי הדם של הריאות, העצב התועה "נאלץ" להרחיק ולנדוד ביחד עם איברים אלה שהתפתחו אף הם מאותו האזור, וכך, גם השלוחות שלו המחוברות לבית הקול, עושות את "כל הסיבוב" ביחד עם יתר המבנים שהתפתחו מקשת זו. במקרה של הג'ירף, טיול זה הפך להיות ארוך יותר ויותר ככל שצוארו של הג'ירף הלך והתארך.

102 שובין, הדג שבתוכנו, עמ' 111.



קשתות זימים

שתי קשתות זימים בעובר עכבר בן 12.5 יום

2. מחזור הדם

תופעה מרתקת נוספת בהתפתחות העוברית היא התפתחות מחזור הדם. מסתבר שבקרוב היונקים מערכת כלי הדם של העובר עוברת מסלול פתלתול עד שהיא מגיעה למצבה המוגמר. במסלול זה, מערכת כלי הדם של היונק מתחילה מאותה נקודת מוצא של עובר הדג. אחרי כן מתחוללים שינויים במערכת זו והיא משקפת את מצב כלי הדם המתאים לעובר של דוחיים. אחרי כן מתחוללים שינויים נוספים וכלי הדם משקפים את המצב של עובר הזוחלים. ולבסוף מתבצעים שינויים נוספים והמערכת המתקבלת בסוף היא מערכת כלי הדם של היונק.¹⁰³

103 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 136-138.

3. עצמות האוזן

מה עוד מלמדת אותנו האמבריולוגיה?

אחד המאפיינים המבדילים בין יונקים לבין זוחלים ועופות הוא מבנה עצמות האוזן. חוש השמע של היונקים מפותח יותר, וזאת בזכות מבנה משוכלל יותר של האוזן התיכונה שלהם. בעוד שלזוחלים ולעופות יש עצם אחת באוזנם (הארכוף), מתהדרים היונקים בשלוש עצמות (ארכוף, פטיש וסדן).

לפי האבולוציה, התפתחו היונקים מהזוחלים. מאין להם אפוא העצמות היתרות הללו? אין זו קושיא של ממש, שכן שינויים קלים בתפקודם של הגנים עשויים לגרום להכפלה של מערכות שלמות של עצמות ואיברים. אולם התשובה היא אלגנטית יותר: שתי העצמות היתירות שבעצמות האוזן של היונקים קיימות אצל הזוחלים והעופות, אלא שאצלם הן חלק מעצמות הלסת. האמבריולוגיה מראה כיצד אותן עצמות ממש "נדדו" אצל היונקים ממקומם והפכו לעצמות האוזן התיכונה.¹⁰⁴

אם אמת בטענה, שעצמות האוזן התיכונה של היונקים היו במקורן עצמות לסת. האם לא נצפה למצוא יצורי ביניים, בהם עצמות אלה כבר אינן חלק מהלסת אבל עדיין לא הפכו לעצמות האוזן?

אכן, כך נצפה. וציפיה זו אינה לשוא. יש בידינו סדרה שלמה למדי של מאובנים המייצגים כעשרה שלבים בהתפתחות עצמות הלסת של הזוחל לעצמות האוזן של היונק.¹⁰⁵

4. רגליים אחוריות של לוייתנים ונחשים

כבר הזכרתי מקודם (בפרק על האטביזם) את העובדה שלפעמים לוייתן נולד עם רגליים אחוריות. בסעיף זה איני מתייחס לתופעה זו אלא לתופעה המתרחשת בכל עובר של לוייתן ונחש.

104 גילברט, ביולוגיה התפתחותית.

105 ראה לדוגמא: קרדונג, אנטומיה השוואתית, עמ' 255-275.

לוייתנים ודולפינים מפתחים רגליים אחוריות - הכוללות עצמות, עצבים וכלי דם - במהלך ההתפתחות העוברית שלהם, אלא שהללו מתנוונים לפני הלידה.¹⁰⁶

בדומה, מינים רבים של נחשים ולטאות חסרות רגליים מפתחים ניצני רגליים במהלך ההתפתחות העוברית שלהם, אלא שניצנים אלה חוזרים ונספגים בגוף לפני הבקיעה.¹⁰⁷

5. הזנב האנושי

גם את הזנב האנושי הזכרתי לעיל בפרק על האטביזם. מסתבר אמנם שכל אחד מאיתנו גידל זנב בעברו. במהלך ההתפתחות העוברית, בין השבוע הרביעי לחמישי, מצמיח כל עובר אנושי זנב מורכב בעל 10-12 חוליות, המהווה למעלה מ-10% מאורכו הכולל של העובר!¹⁰⁸

בשבוע השמיני של ההריון, התאים המרכיבים את חוליות 6 עד 12 מתים ומעוכלים על ידי מקרופאגים בעוד חוליות ארבע וחמש מצטמצמות והולכות. בסופו של דבר נותר האדם הבוגר עם ארבע חוליות מאוחות שאינן בולטות מאחוריו. (ניתן לצפות בתהליך מרתק זה על שלביו השונים באמצעות תצלומים תלת-מימדיים של סריקת MRI של עוברים חיים, באתר של: The Multi-Dimensional Human Embryo).¹⁰⁹

106 סדמרה וחב', גפי דולפין, עמ' 25-30; אמסקי וחב', גפי לוייתן, עמ' 145-148.

107 ריינוד, מנגנון התפתחותי.

108 פלון וסימנדי, היעלמות זנב האדם, עמ' 111-129; מור ופרסוד, האדם המתפתח, עמ' 91-100; ניבלשטיין וחב', התפתחות עוברית, עמ' 21-31.

109 <http://embryo.soad.umich.edu/index.html>



עובר אנושי בעל זנב

עובר בשבוע השביעי להריון (הריון חוץ־רחמי). גודלו המקורי של העובר: סנטימטר בודד! בתמונה ניתן לראות בבירור את הזנב שייעלם עד תום ההריון, אלא אם כן תקרה "תקלה" והזנב ימשיך להתפתח, כפי שקורה לעתים (ראה בפרק על האטביזם).

6. שן-ביצה

זוחלים ועופות בוקעים מביצים. לצורך ביצוע משימה זו, מצוידים העוללים הרכים בבליטות קשות המאפשרות להם לבקע את הביצה בה הם נתונים. ללטאות ולנחשים צומחת בליטה קשה וחדה על אפם, ולעופות - בליטה קשה על המקור. בליטות אלה נעלמות אחרי כן.

היונקים, אינם בוקעים מביצים (למעט יונקי הביב הפרימיטיביים, ש"נתקעו" במחצית הדרך).

לפי האבולוציה, מקורם של היונקים בזוחלים, ומכאן שאבות אבותיהם של היונקים כן הטילו ביצים. ואכן, במהלך התפתחותם של יונקי הכיס ישנה תופעה מעניינת: מסביב לעובר נוצרת **באופן זמני** קליפת ביצה, שנספגת בחזרה לגוף ונעלמת לפני הלידה הממשית. למרות שבלידה עצמה כבר אין שום "קליפת ביצה", יש יונקי כיס שנולדים עם "שן-ביצה" כדוגמת זו של הזוחלים. הן הביצה הנעלמת והן שן הביצה מראות לנו שאבות אבותיהם של יונקים אלה בקעו מביצים.¹¹⁰

ו. התפוצה הגיאוגרפית של המינים

1. איי הים

בדרך כלל תופסים את האבולוציה כמתייחסת לציר הזמן בלבד. טענת האבולוציה היא שבעלי החיים שאנו רואים היום לא היו קיימים בצורה זו בעבר הרחוק, וכפי שאכן מראים הממצאים שהציגוטי למעלה.

אולם, לטענה זו יש גם היבט גיאוגרפי.

ציינתי לעיל קבוצות שונות של בני אדם המתייחדות ב"מטען גנטי" שונה מיתר בני האדם: תושבי האי פינגלאפ עיוורי הצבעים, בני הוואדומה בעלי שתי אצבעות כף הרגל, לצד תופעות פחות "בולטות" כמו היהודים האשכנזים בעלי השיעור הגבוה במובהק של פגם הטייזאקס, ועוד קבוצות רבות מספור של אוכלוסיות המיוחדות במטען גנטי מסוים. דבר אחד משותף לקבוצות אלה: הן מבודדות יחסית מיתר האוכלוסיה. בין אם הבידוד הוא כתוצאה ממכשולים

110 טינדיל-ביסקו ורנפרי, פיזיולוגיה של חיות כיס, עמ' 409.

גיאוגרפיים (כמו אצל בני פינגלאפ) או מחסומים תרבותיים (כמו אצל היהודים האשכנזיים) או משניהם גם יחד. קבוצות אלה אינן מתערבבות באוכלוסיה הכללית, וכך הן "מפתחות" תכונות ייחודיות להן (כזכור, על ידי מוטציות שמצטברות בקבוצות אלה או ששכיחותן עולה בקבוצות אלה הנפרדות מיתר האוכלוסיה).

הוא אומר, בדרך כלל על מנת שתיווצר קבוצה השונה במובהק מיתר האוכלוסיה, קבוצה זו צריכה להיות מנותקת מיתר האוכלוסיה, שאם לא כן סופם של השינויים שמתחוללים בה להתמזג ולהתערבב בחזרה עם התכונות של קבוצת האם ולהיטמע בה.

אחד הגורמים הראשיים לניתוק הוא החיים ב"אי" המנותק מיתר האוכלוסיה. אי זה אינו חייב להיות דווקא חבל יבשה המוקף במים מארבע רוחותיו שכן הוא יכול להיות באותה המידה: אגם המנותק מהים (אם המדובר בבעל חיים ימי), עץ המרוחק מיתר העצים (אם המדובר באוכלוסיית חרקים שוכני עצים) או נוה מדבר המוקף בחולות. כל אלה מוגדרים כ"איים" מבחינתנו.¹¹¹ עם זאת, הנושא שלהלן יעסוק באיים ממשיים.

פעמים רבות נתקלים אנו באי אשר החי והצומח שבו אינם קיימים ביתר העולם. מינים אלה נקראים "אנדמיים" לאי. ועולה השאלה: מנין הגיעו בעלי חיים וצמחים אלה לאי? ואם הם הגיעו מיתר העולם, מדוע אין להם זכר ביתר העולם?

התשובות האפשריות הן שתיים:

1. מינים אלה נבראו כפי שהם בכל אי ואי.
2. מינים אלה הגיעו בזמן מן הזמנים מהיבשות, ומכיון שהם התנתקו מהאוכלוסיה המקורית ממנה הם הגיעו וחיו בסביבה שונה מאותה אוכלוסיה, הם התפתחו במשך הזמן בכיווני התפתחות שונים מאשר האוכלוסיה המקורית והפכו למינים שונים של חי וצומח.

ובכן, על מנת לבחון נושא זה עלינו להבדיל קודם כל בין שני סוגים של איים:

111 מעניין שגם כאן אנו יכולים להעזר בדבריו של ה"ר גדליה נדל, הכותב בקשר ל"איי הגוים" (בראשית י, ה): "המלה 'אי' אין פירושה דוקא מקום המוקף מים... אלא כל איזור העומד בפני עצמו, המוגדר ומותחם בגבולות טבעיים, כגון הרים וכד', נקרא 'אי' ". (בתורתו של ר' גדליה, עמ' קכח).

א. איים "יבשתיים" - כלומר, איים שהיו בעברם מחוברים ליבשת וכיום הם איים, (בין אם מדובר באי שהיה מחובר בגשר יבשה שהוצף בעקבות עליית פני המים, ובין אם המדובר באי שהיה חלק מהיבשת והתנתק ממנה בעקבות תנועת הלוחות הטקטוניים). דוגמות לאיים אלה הם: האיים הבריטיים, יפן, סרי לנקה, טסמניה ומדגסקר. חלקם נפרדו מהיבשת לפני זמן רב (מדגסקר נפרדה מאפריקה לפני כ-160 מיליון שנה) וחלקם לפני זמן "קצר" (האיים הבריטיים נפרדו מאירופה לפני כ-300,000 שנה "בלבד").

ב. איי האוקיינוס - האיים אותם אנו מוצאים בלב האוקיינוס ומעולם לא היו מחוברים ליבשת. הללו התרוממו מקרקעית האוקיינוס, אם כהרי געש ואם כריף של אלמוגים. לדוגמא: איי הוואי, איי גלפגוס, סט. הלנה וקבוצת איי חואן פרננדז.

כאשר אנו בוחנים את איי האוקיינוס, לא משנה איזה אי ולא משנה באיזה אוקיינוס, אנו מגלים תמיד אותן התופעות:

1) בכל האיים הללו איננו מוצאים זוחלים¹¹² ויונקים יבשתיים, דוחיים או דגים של מים מתוקים. האי עשוי להיות עשיר במיוחד בצמחיה, בעופות, בחרקים וביונקים ימיים ומעופפים, אולם בכולם נעדרים אותם סוגים בעלי חיים שמנתי. (נוסף על כך, בדרך כלל לא נמצא שם עצים, מלבד עצי קוקוס ומלבד צמחים מעוצים שביתר העולם אינם מעוצים).¹¹³ במלים אחרות, אנו מגלים באיים אלה רק בעלי חיים שעשויים להגיע לאיים מן היבשת: בעלי חיים מעופפים, וחרקים זעירים העשויים להגיע כטרמפיסטים על המעופפים או להיסחף ברוח לאי או על גבי גזעי עצים שנסחפו במים וכדומה. גם זרעים עשויים להגיע באמצעות הרוח, או על גבי (ובתוך) בעלי החיים המעופפים. זרעי העצים, עם זאת, כבדים בדרך כלל ואינם צולחים את הדרך הארוכה, ואילו דגים של מים מתוקים

112 מלבד במקרים נדירים במיוחד. בשנת 1995 הגיעו איגואנות לאי Anguilla על גבי עצים גדולים עקורים שנסחפו באוקיינוס ממרחק של מאות קילומטרים (לורנס, איגואנות). אירועים נדירים כאלה אירעו אף בעבר. צבים, לעומת זאת, יכולים לצוף על שריונם, ולהתקיים תקופה ארוכה ביותר ללא מזון ומים, בעוד המים סוחפים אותם לאי מבטחים.

113 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 172 ואילך.

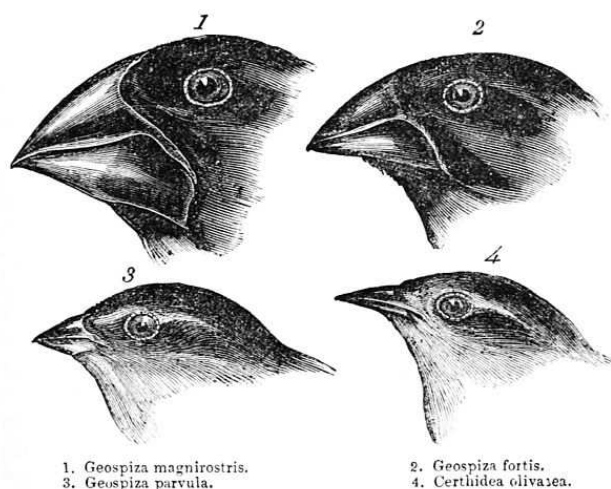
ודוחיים אינם שורדים את המים המלוחים שבדרך. העובדה שאין באי יונקים יבשתיים וזוחלים ודוחיים נובעת חד משמעית מכך שהם אינם יכולים להגיע לאי. אין באי שום דבר שמונע את שגשוגם של בעלי חיים אלה באי. ההיפך הוא הנכון. אינספור דוגמות מראות שכאשר הגיע האדם לאיים והביא עמו לראשונה בעלי חיים וצמחים מן היבשת, שגשגו הללו בצורה טובה אף יותר מן המקומיים.

(2) לצד בעלי החיים והצמחים החסרים באיים אלה בולט הגיוון הרב שיש באיים אלה למינים מקומיים: האי כאילו מפצה על דלות המינים הקיימים בו בכך שיש בו מגוון עשיר של מינים ותתי-מינים של בעלי חיים שאין כדוגמתם ביתר העולם ואשר כל אחד מהם מתמחה בגומחה משלו ומנצל בצורה ייחודית משלו את משאבי האי. דוגמא לכך הם הגיבתונים שמצא דרווין באיי גלפגוס ("פרושי דרווין"), הנבדלים זה מזה בגודל ובצורת המקור בשל התמחות כל מין ומין במקורות שונים של מזון. באי יש 14 מינים שונים של גיבתונים השייכים ל-6 סוגים שונים, והמהווים תת-משפחה בפני עצמה. (בסך הכול יש בעולם כ-283 מינים שונים של גבתונים, השייכים ל-71 סוגים שונים). דוגמא נוספת לכך היא זבוב הדרוזופיליה **שכמחצית** מאלפיים המינים השונים שלו נמצאים באיי הוואי (אשר שטחם הכולל הוא כ-0.004 אחוז מיבשות העולם).¹¹⁴

(3) מלבד מקרים יוצאי דופן, בעלי החיים והצמחים הנמצאים באיי האוקיינוס דומים וקרובים במידה הרבה ביותר לבעלי החיים והצמחים הנמצאים ביבשת הקרובה ביותר. התופעה הזו אינה נובעת מתנאי שטח דומים, שכן תנאי השטח השוררים באי עשויים להיות שונים מאד מהתנאים שביבשת הסמוכה (לדוגמא, איי גלפגוס הם איים יבשים ונטולי עצים השונים במידה רבה מאמריקה הטרופית הסמוכה לה).

114 קוין, למה האבולוציה נכונה, עמ' 177.

הראיות למוצא המינים באמצעות אבולוציה



"פרושי דרווין"

איור זה, מעשה ידיו של הזואולוג ג'ון גולד (John Gould) מעטר את ספרו של דרווין "מסעה של הביגל" ומתאר את ההבדלים שנוצרו במקורם של הגבתונים השונים בהתאם למזונם.

הבה נסכם:

אנו מגיעים לאי מאיי האוקיינוס. אנו מגלים שם מגוון של בעלי חיים וצמחים ומצד שני אנו מגלים שחסרים באי כמה סוגים חשובים של בעלי חיים. אנו מגלים שכל בעלי החיים והצמחים שבאי הם כאלה שעשויים היו להגיע מן היבשת, וכי כל בעלי החיים החסרים באי הם מהסוג שלא יכול להגיע לאי מהיבשת. אנו מגלים שהמינים שבאי מגלים את הדמיון הרב ביותר למינים שביבשת הסמוכה, למרות שאין שום דמיון בתנאי השטח של שני המקומות. ואנו מגלים שמינים אלה שונים, עם זאת, מהמינים שביבשת הסמוכה ושהם מגלים גיוון רב ופיצול למינים ותתי מינים רבים.

מה אנו יכולים להסיק מכאן?

המסקנה פשוטה בתכלית. יישובו של אי מבודד ורחוק הוא תופעה נדירה וקשה ליישום. ועם זאת, בהינתן הזמן הנדרש היא אכן מתרחשת, והאיים המבודדים - מיושבים בעופות וחרקים וצמחים שהגיעו אליהם בדרכי האויר והים.

בעלי חיים וצמחים אלה מגיעים לסביבה החדשה הפנויה ואט אט משתלטים על כל גומחה באי ומתפתחים למינים חדשים.

כיצד זה קורה בפועל? דוגמא פשוטה: ציפורים שהתמחו ביבשת באכילת זרעים מסוימים מגיעות לאי ומגלות שהאי מציע זרעים מסוגים אחרים וחרקים מחרקים שונים. הסביבה החדשה מקנה יתרון הישרדותי לאותן ציפורים שבדרך זו או אחרת נולדו עם מקור המותאם יותר לאכילת סוגי הזרעים השונים שמציע האי וסוגי החרקים השונים (ובין אם מדובר במקור עבה יותר במעט, דק יותר, ארוך / קצר / מעוקל / חזק / עדין). מתוך ציפורים אלה ילכו עם הזמן ויתפתחו מינים מובחנים שכל אחד מהם מתמחה במלאכת הקיום שלו. אבותיהם שביבשת לא ישתנו בכיוונים הללו משום שהיבשת מציעה הזדמנויות אחרות, או משום שביבשת הן התמחו בסוג מסוים של מזון בעוד אשר סוגי המזון האחרים "נתפסו" כבר על ידי בעלי חיים שפיתחו כבר לפני כן התמחות לאותם סוגי מזון.

2. איים יבשתיים

כאמור, תופעות אלה שונות באיים היבשתיים שהיו מחוברים בעברם ליבשת ולכן יכלו להכיל את כל מגוון היצורים החיים: יונקי יבשה, זוחלים, דוחיים ועוד, לפני שהתנתקו מן היבשת.

אולם, לפי האבולוציה, עדיין אמור להיות הבדל בין איים שהתנתקו מן היבשת לפני זמן רב לבין איים שהתנתקו לפני זמן קצר: ככל שהאי התנתק לפני זמן רב, אנו אמורים למצוא בו מגוון דל יותר של בעלי החיים המצויים בשאר העולם, ולעומתו מגוון של בעלי חיים שקיימים רק באי זה שהתפתחו בו אחרי שהוא נפרד מן היבשת.

ואכן, זה בדיוק מה שאנו מוצאים.

מדגסקר, לדוגמא, הוא אי שהתנתק לפני כמאה ושישים מיליון שנה מאפריקה. באי זה אנו מוצאים חי וצומח ייחודיים, ביניהם משפחת הלמוריים על סוגיהם

ומיניהם שהם פרימטים הנמצאים כיום באי זה בלבד ואשר התפצלו ל-75 מינים (מהם שרדו כיום 22 מינים).

גם האי נירזילנד מציג תמונה דומה, ובו מספר עופות לא-מעופפים הקיימים באי זה בלבד (כגון הקיווי המפורסם, התוכיליל, והמואה - אותו עוף בגובה 3 מטרים שנכחד על ידי המתישבים המאורים לפני כחמש מאות שנה). בנוסף, יש בנירזילנד רק מינים בודדים של זוחלים, מין אחד בלבד של דוחיים, ושני יונקים מעופפים - עטלפים (אם כי לאחרונה נתגלה בה מאובן של יונק קטן). כמו במקרה של איי האוקיינוס, בעלי החיים והצומח של מדגסקר ונירזילנד מגלים את הדמיון הרב ביותר ליבשות שלידן (אפריקה ואוסטרליה, בהתאמה).

3. אוסטרליה: לא על הקנגרו לבדו

יבשת אוסטרליה מציגה תופעה מעניינת הקשורה אף היא לתפוצת בעלי החיים:

כזכור, עד לפני כמאתיים מיליון שנה היו היבשות כולן מחוברות ביבשת-על אחת שנקראת פנגיאה. יבשת-על זו התפצלה לשתי יבשות: גונדוונה (אמריקה הדרומית, אפריקה, אנטארקטיקה, אוסטרליה, הודו, ערב), ולאוראסיה (אמריקה הצפונית, אירופה, אסיה). יבשת גונדוונה הלכה והתפצלה אף היא, כשהחלק המזרחי שלה (אוסטרליה, אנטארקטיקה והודו) מתפצל מהחלק המערבי (ערב, אפריקה ואמריקה הדרומית). אחר כך נטשה הודו את המערכה, ולבסוף נפרדו גם אוסטרליה ואנטארקטיקה.

"בסופו של דבר" מצאה אוסטרליה את עצמה מנותקת משאר העולם, בעוד היבשות אסיה, אירופה ואפריקה מחוברות זו לזו בצורה הדוקה, ובעוד גוש יבשות זה מחובר בסופו של דבר גם ליבשות אמריקה הצפונית והדרומית באמצעות גשר היבשה שהיה קיים בין אלסקה לבין סיביר.

אוסטרליה היא אפוא יבשת שכללה מגוון רחב מאד של חי וצומח, שהתנתקה והתפתחה בנפרד מיתר העולם.

ואכן רוב החי של אוסטרליה מיוחד ליבשת זו. אם להיכנס לפרטים: 83% מהיונקים, 89% מהזוחלים, 90% מהדגים והחרקים ו-93% מהדוחיים החיים באוסטרליה מיוחדים ליבשת זו ואינם מצויים ביתר העולם.

העובדה הבולטת והידועה ביותר לגבי אוסטרליה היא העדרם היחסי של יונקי השליה,¹¹⁵ שהם היונקים שאנו מכירים סביבנו. במקום יונקי השליה, משגשים באוסטרליה מאות מינים של יונקי כיס (שהמפורסם שבהם הוא הקנגרו). אחת התופעות המעניינות בהקשר זה היא העובדה שיונקי הכיס ממלאים באוסטרליה אותם תפקידים שממלאים במקומות אחרים יונקי השליה, ומי שאינו חד עין עשוי שלא להבחין בכך שמדובר במינים שונים לחלוטין. וכך אנו מוצאים חפרפרת-כיס, ועכבר-כיס וכיסנאי (דמוי סנאי דואה) הדומים (חיצונית) באופן מפתיע ליונקי השליה הללו, למרות שאין ביניהם קרבה (לתופעה כזו קוראים "אבולוציה מתכנסת").

כפי שכבר ציינתי, יונקי הכיס הגיעו לאוסטרליה מאמריקה דרך אנטארקטיקה כאשר אלו היו עדיין מחוברות, אלא שבאמריקה לא זכו יונקי הכיס המתחרים עם יונקי השליה לשגשוג ולעדנה לה זכו באוסטרליה.

בעלי חיים המיוחדים אף הם לאוסטרליה ולאיים הסובבים אותה הם יונקי הביב, אותם בעלי חיים מיוחדים שהתפצלו מיתר היונקים אי שם בראשית דרכם של היונקים ונשארו מטילי ביצים. רק חמישה מינים כאלה ידועים כיום ומתוכם שניים שרדו באוסטרליה ושלושה באיים אחרים באותו האזור.

יבשת מופלאה זו מציגה לנו אפוא בצורה עשירה ומגוונת יותר אותה התופעה שאנו מוצאים באיים היבשתיים: מינים שהגיעו מיבשות אחרות, ואשר נכחדו ביבשות המוצא בעקבות תחרות עם מינים שהצליחו טוב מהם (יונקי השליה), ושרדו והתפתחו במגוון צורות ב"יבשת המקלט" שהתנתקה לפני בוא המתחרים המוכשרים.

ז. ביולוגיה מולקולרית

לצד השוואת בעלי חיים על פי מאפיינים אנטומיים ומורפולוגיים, נכנסו לשימוש בעשורים האחרונים אמצעים נוספים ורבי-עוצמה מתחום הביולוגיה המולקולרית.

115 ביבשת נמצאים יונקי שליה מעופפים: עטלפים, וכן מכרסמים. הללו הגיעו לאוסטרליה בתקופה מאוחרת יחסית, ולא יכלו לדחוק משם את יונקי הכיס. יונקי השליה האחרים הנמצאים ביבשת, כגון הדינגו, הובאו לשם לפני כמה אלפי שנים בלבד על ידי האדם.

המדובר הוא בהשוואת חלבונים מבעלי חיים שונים, ובהשוואה ישירה של המטען הגנטי עצמו: מולקולת הדנ"א.

1. השוואת חלבונים

כידוע, מורכב כל חלבון משרשרת אחת, או ממספר שרשרות, שהחוליות שלהן הן חומצות אמינו. השוואת חלבונים של מינים שונים כרוכה בבדיקה והשוואה של מספר השרשרות שמרכיבות את החלבון המסוים, ואת רצף חומצות האמינו המרכיבות כל שרשרת. כזכור, "הוראות הייצור" של החלבונים הם בדנ"א, כאשר כל מקטע דנ"א שמכיל הוראות ייצור לחלבון מסוים קרוי "גן". מוטציות הפוגעות בגן יגרמו לשינויים במבנה החלבון המיוצר, קרי, ברצף חומצות האמינו שלו. הניבוי האבולוציוני טוען שאם נשווה חלבון מסוים של שני בעלי חיים, כי אזי ככל ששני בעלי חיים נפרדו זה מעל זה לפני זמן קצר יחסית (גניח זברה וסוס), יתגלה ביניהם יתגלה דמיון רב יותר בהרכב החלבון הנבדק, והשינויים הנובעים ממוטציות שונות שאירעו בחלבון מאז נפרדו בעלי החיים זה מזה יהיו זעומים. ולעומת זאת, ככל שבעלי החיים רחוקים זה מזה (כלומר, נפרדו מאב משותף לפני תקופה ארוכה יותר, כגון זברה וקרנף), נגלה שיעור רב יותר של שינויים בהרכבו של החלבון, שכן ככל שעובר זמן רב יותר כן מתרחשות בכל מין בנפרד מוטציות רבות יותר, ואלו גורמות להצטברות של הבדלים בין המינים.

ואכן, התמונה העולה מהשוואת רצפי החלבונים השונים מאוששת את הניבוי הזה. ולדוגמא אביא את סיפורו של אחד החלבונים החשובים בגוף: ציטוכרום סי.

ציטוכרום סי

ציטוכרום הוא שם כולל לקבוצה של חלבונים המכילים אטום ברזל ואשר משמשים בתפקידים חשובים בחילוף החומרים שבתא.¹¹⁶ ציטוכרום סי נמצא בכל היצורים החיים: מחיידק ועד לפיל.

116 הציטוכרום ממלא תפקיד "נשא אלקטרונים" (מסירה או קליטה של אלקטרונים) בשלב האחרון של הנשימה התאית שנקרא "זרחון חמצוני".

ציטוכרום סי הוא אפוא חלבון חיוני במיוחד. המעניין הוא שניתן "לבנות" חלבון שכזה במגוון רב של אפשרויות, כלומר מגוון רב של רצפים גנטיים שונים ואפילו רצפים השונים אלה מאלה לחלוטין (כפי שנצפה בסוגים שונים של חיידקים) יניבו עדיין חלבון שמתפקד כשורה.¹¹⁷

לדוגמא, התברר שציטוכרום סי אנושי שהוחדר לשמרים (שמהם הוציאו את הציטוכרום סי המקורי שלהם), תפקד כשורה בשמרים, למרות שהציטוכרום המקורי של השמרים שונה ב-40% מהציטוכרום האנושי. וכן הדבר בציטוכרומים של דג הטונה, יונה, סוס, חולדה וזבוב הדרוזופילה - שהוחדרו לשמרים ותפקדו כשורה למרות השוני שבין חלבונים אלה.¹¹⁸

החוקר יוקי חישב ומצא שיש לא פחות מ- $10^{93} \times 2.3$ רצפים גנטיים שונים שיכולים לבנות חלבון ציטוכרום סי שמתפקד כשורה.¹¹⁹ לשם המחשה אציין כי המספר 10^{93} גדול בערך פי מיליארד ממספר האטומים ביקום הנראה. ניתן אפוא לומר בשקט שיש אינסוף רצפים גנטיים אפשריים לבניית חלבון ציטוכרום סי מתפקד.

כאשר אנו בודקים ומשווים את הרצפים הגנטיים של ציטוכרום סי של יצורים חיים שונים, אנו מגלים שהרצף של האדם ושל השימפנזה **זהה לחלוטין**. הרצף של האדם והשימפנזה שונה מהרצף של יתר היונקים בשיעור של עד עשר חומצות אמינו. כשאנו בודקים את אחד היצורים הרחוקים ביותר מן האדם: השמר קנדידה (*Candida krusei*) אנו מגלים שהשוני ביניהם מתבטא ב-51 חומצות אמינו בלבד. הדמיון הזה אינו נובע ואינו מוסבר מאורח חיים דומה, אלא ממוצא משותף. ראיה מסוימת לכך ניתן למצוא בעובדה שציטוכרום של עטלף דומה לציטוכרום אנושי יותר מאשר לציטוכרום של ציפור, וציטוכרום של דולפין דומה יותר לציטוכרום אנושי מאשר לציטוכרום של כריש, למרות שמבחינת אורח חייהם, דומה העטלף לציפור והדולפין לכריש.

117 מור ופטיגור, ציטוכרום סי.

118 טנקה וחב', ציטוכרום סי; אשיקרי וחב', ציטוכרום סי; וואלאס וטנקה, ציטוכרום סי; קלמנטס וחב', ציטוכרום סי, היקי וחב', ציטוכרום סי; קושי וחב', ציטוכרום סי, סקרפולה וניי, ציטוכרום סי.

119 המפסי וחב', ציטוכרום סי; המפסי וחב', ציטוכרום סי ב'; יוקי, ביולוגיה מולקולרית.

בהתאם לציפיה, אילן היוחסין המבוסס על הדמיון והשוני ברצף הגנטי של ציטוכרום סי תואם במדויק לאילן היוחסין המבוסס על המורפולוגיה של בעלי החיים ומהווה ראיה נוספת לכך שאילן זה משקף קרבת משפחה ממשית.¹²⁰

2. השוואת דנ"א

טכניקה ישירה יותר לבדיקת הקרבה בין בעלי החיים היא השוואת מולקולות הדנ"א עצמן.

בעשור האחרון הושלם פיענוח רצפים רבים של דנ"א: המטען הגנטי שעושה אותנו למה שאנו. כפי שצינתי בסעיף הקודם שעסק בהשוואת חלבונים, ההיגיון האבולוציוני טוען שככל שהקרבה בין שני יצורים גדולה יותר (כלומר, נפרדו מאב משותף לפני זמן קצר יחסית) כן יהיה המטען הגנטי שלהם דומה יותר, ביחס לשני יצורים שנפרדו מאב משותף לפני זמן רב יותר.

אנו נצפה אפוא שהדמיון הגנטי של בני אותה משפחה יהיה דומה יותר מאשר לבין נוכרי, וכי הדמיון הגנטי בין אדם לבין פרימטים אחרים יהיה גדול מהדמיון לסוסים או לנמרים, וכי הדמיון הגנטי ליתר היונקים יהיה גדול מהדמיון לזוחלים, והדמיון לזוחלים יהיה גדול מהדמיון לדגים, וכן הלאה.

"למרבה הפלא" זה בדיוק מה שאנו מוצאים. גם כאן, כמוכך, הדמיון אינו נובע מאורח חיים דומה או מתנאי הסביבה דומים, אלא ממוצא משותף. אדם, עטלף ולויתן דומים זה לזה בהרבה מאשר ללא־יונקים אחרים המשקפים אורח חיים דומה.

עד כאן הכול טוב ויפה, אבל זו רק ההקדמה לסיפור העיקרי:

הדנ"א מורכב כאמור מגנים המופקדים על יצירת החלבונים השונים להם נזקק הגוף. אולם, גנים אלה אינם תופסים אלא חלק מהדנ"א, ונוסף עליהם יש בדנ"א חומר גנטי רב שאינו מקודד אף חלבון, ואשר מכיל פסאודוגנים, רטרווירוסים אנדוגניים וטרנספוזונים אשר בהם נעסוק בקטע שלהלן ואשר חושפים בפנינו מידע רב ערך.

120 מקלפלין ודייהוף, אבולוציה איאוקריוטית.

1) פסאודוגנים

כבר הזכרנו לעיל את הפסאודוגנים: גנים "מתים" ומנוונים, שבעקבות מוטציה שאירעה בהם - אינם מתפקדים. התקלות עשויות להיות כמובן שונות ומגוונות ברחבי הרצף הגנטי המרכיב את הגן המדובר. בחלק גדול מן המקרים מדובר בגן שהכפיל את עצמו ואחר כך אירעה מוטציה באחד מהעותקים. אם אנו מוצאים שני יצורים שלהם יש אותו פסאודוגן, אין הדבר כשלעצמו מהווה ראיה, שכן ייתכן שאותו גן ניזוק במקרה בבעל חיים אחד וגם בבעל חיים שני. אולם, אם טיב התקלה - השיבוש שנפל בגן - הוא **בדיוק אותו הדבר** בשני בעלי החיים, או אם מיקומו של הפסאודוגן בכרומוזום הוא **בדיוק באותו המקום** בשני בעלי החיים, זה כבר סיפור אחר לגמרי, והוא מחזק את ההשערה שלשני יצורים אלה יש אב משותף שבו אירעה תקלה זו ואשר הוריש אותה כמובן לכל צאצאיו.

ואכן ידועים פסאודוגנים רבים המשותפים לאדם ולפרימטים. אחד מהם הוא ה־globin¹²¹, פסאודוגן של המוגלובין. הוא קיים רק בקרב הפרימטים (והאדם) ובדיוק באותו המקום בכרומוזום, ובדיוק עם אותה התקלה שהרסה את יכולתו לקודד חלבון.¹²¹

דוגמא נוספת הוא הגן hydroxylase²¹. לבני האדם יש שני עותקים של גן זה, האחד תקין והאחר הוא פסאודוגן. התקלה בפסאודוגן נוצרה בעקבות מוטציה ש"מחקה" שמונה זוגות בסיסים בגן. מחיקה זו בדיוק משותפת לאדם ולשימפנזה.¹²²

2) רטרווירוסים אנדוגניים

הרטרווירוסים הם נגיפים אשר מעתיקים את החומר התורשתי שלהם לתוך הדנ"א של הפונדקאי ומשתלבים בדנ"א של הפונדקאי. אם הנגיף תוקף תאי רבייה ומשלב את הדנ"א שלו בתא, מידע זה יעבור לדור הבא. במקרה זה, יש לנו עסק עם "רטרווירוס אנדוגני", כלומר רטרווירוס שהשתלב במטען הגנטי שלנו לעד. רטרווירוסים אנדוגנים מייצגים אפוא חומר תורשתי נגיפי שתקף בעבר את אבותינו

121 גודמן וחב', פילוגניה מולקולרית.

122 קאוואגוצ'י וחב', מקור אבולוציוני.

והשתלב בדנ"א שלנו. גם כאן, אם נמצא בקרב שני נבדקים אותו רטרווירוס הממוקם **באותו המקום בדיוק** בדנ"א שלנו, הדבר יצביע על כך שיש להם אב משותף.

בגנום האנושי, תופסים הרטרווירוסים האנדוגניים סך 8% מכלל החומר התורשתי, בשיעור של עד כ-98,000 רטרווירוסים וחלקי רטרווירוסים בדנ"א האנושי.¹²³ נכון להיום, ידועים שבעה רטרווירוסים משותפים בינינו לבין השימפנזים, מספר הצפוי לעלות ככל שתתקדם השוואת הרצפים הגנטיים.¹²⁴ גם הרטרווירוסים מאפשרים יצירת אילן יוחסין המצביע על הקרבה בין הפרימטים השונים, ובכללם האדם.¹²⁵ שלא במקרה, אילן יוחסין זה מתאים לידוע מאילנות יוחסין המבוססים על מקורות אחרים.

(3) טרנספוזונים

הטרנספוזונים, הנמצאים בכל רחבי עולם החי, הם קטעי דנ"א "טפיליים" חסרי משמעות תורשתית הנמצאים בגנום ואשר יכולים לשנות את מיקומם בגנום, ומכאן כינויים "גנים קופצים". יש טרנספוזונים ש"קופצים" בשיעור של פעם בכל מאתיים לידות.¹²⁶ קפיצות אלה הן בעיקרן שרירותיות ותורמות לשונות הגנטית שבין בני האדם,¹²⁷ ואף מסייעות בזיהוי יחסי קרבה בין בני אדם ובין בעלי חיים: אם אנו מוצאים טרנספוזונים באותם המיקומים בגנום בקרב שני בני אדם או שני בעלי חיים הרבה מעבר למתחייב על פי ההסתברות המקרית, הדבר מורה על מוצא משותף של שני הנבדקים.

לדוגמא: בין הטרנספוזונים הנפוצים הם אלו שנקראים Alu. לכל היונקים יש מספר רב של "אלו". באדם, תופסים טרנספוזונים אלה עשירית מהגנום האנושי.¹²⁸ חלק מה"אלו" הללו הם חדשים, כלומר הם נמצאים בקרב חלק מבני האדם ונעדרים

123 בלשוב וחב', רטרווירוסים.

124 בונר וחב', רצפים רטרוויראליים; דנג'ל וחב', מרקר פילוגנטי; סבסון וחב', גנים פרימטיים; קילמן וחב', רצפי רטרווירוסים; לבדב וחב', הבדלים; סברדלוב, רטרווירוסים.

125 לבדב וחב', הבדלים.

126 דיינינגר ובצר, חזרות אלו ומחלות.

127 בצר ודיינינגר, חזרות אלו ומגוון.

128 סמית, מקור החזרות.

אצל אחרים, והללו משמשים ככלי עזר להתחקות אחר תפוצתו של האדם על פני האדמה.¹²⁹ טרנספוזונים כאלה משמשים גם כן לקביעת אבהות ובפיענוח פשעים.¹³⁰

בחלבון "גלובין-אלפא" יש שבעה "אלו", ושבעת ה"אלו" הללו משותפים לנו ולפרימטים **בדיוק באותם שבעה מקומות**.¹³¹

שלושה טרנספוזונים שונים נמצאו בדיוק באותם המקומות בקרב לויתנים, היפופוטמים ומעלי גירה, אולם לא נמצאו בקרב חזירים וגמלים.¹³² משמעות הדבר היא שלבעלי חיים אלה (כלומר, ללויתן, להיפופוטם ולמעלי הגירה) יש אב משותף אשר בו אירעו שלושת הטרנספוזונים הללו ומשום כך הם נוכחים בצאצאיו השונים הללו, וכי אירועים אלה קרו אחרי שאותו אב משותף התפצל מיתר מכפילי הפרסה.

129 נוביק וחב', אלו פולימורפי; נוביק וחב', אלו כמרקר לזיהוי.

130 נוביק וחב', אלו פולימורפי; רוי-אנג'ל וחב', אלו ומגוון.

131 סאוואדה ווילארד, חזרות אלו.

132 שיממורה וחב', רטרופוזונים.

8 סוף דבר (כמעט)

אני מסיים כאן את שלב ההוכחות לאבולוציה, וברצוני לסכם בקווים כלליים וקצרים מה שראינו עד כה:¹³³

א. **בכל קבוצה נתונה של בעלי חיים יש שונות בין הפרטים.** כולנו רואים את זה: אפילו אחים (למעט תאומים זהים) שונים זה מזה במספר רב של מאפיינים. שונות זו נובעת במקורה מהעובדה שכל אימת שיצור חי מכין "עותק" ליצירת דור ההמשך, עשויות ליפול בעותק זה תקלות בהעתקה המשונות במעט או בהרבה את העותק המקורי. אולם עותק זה אינו אלא מחצית הסיפור,¹³⁴ שכן על מנת ליצור את הצאצא יש לאחד ולערב שני עותקים: עותק מהאב ועותק מהאם, מה שיוצר גיוון רב עוד יותר בין היצורים החיים.

ב. **רק חלק מבעלי החיים שנולדו יזכו להעמיד דור המשך.** ברוב המקרים - רוב בעלי החיים שנולדו לא יזכו להעמיד דור המשך בגלל נסיבות החיים הקשות: טורפים, אויבים, רעב, צמא, מחלות וכו'. גם בעל חיים שזכה לזקנה אך לא זכה להעמיד דור המשך (משום שהפסיד לחבריו במרוץ הרביה, או משום שדור ההמשך שלו לא שרד) - "יצא מן המשחק" מבחינת השפעתו על בני מינו.

ג. **בעלי החיים שזוכים להעמיד דור המשך הם אלו שתכונותיהם ממשיות הלאה.** בברירה מלאכותית, מעשה ידי אדם, האדם קובע אלו תכונות מעניינות אותו והוא מטפח רק את בעלי החיים שמגלים תכונות אלה. בטבע, נסיבות הטבע בוררות את התכונות המתאימות להישרדות, והן שונות ממקום למקום, מבעל חיים זה לבעל חיים אחר. (האתגרים העומדים בפני בעלי החיים הם מכל הסוגים האפשריים: התמודדות עם ברדלס מהיר, עם אריה חזק, עם זרעונים בעלי קליפה קשה, עם זרעונים קטנים מאד, עם קור, חום, יובש או לחות, עם חיידקים וטפילים שונים.

133 לצורך ניסוח ברור יותר ולצורך ההפשטה, אני מתייחס לממלכת החי. עיקרי הדברים נכונים גם לגבי ממלכת הצומח, הפטריה וכו'.

134 במינים בהם הרבייה היא זוויגית.

אין סוף לסוגי האתגרים - על שילוביהם השונים - ולמענה הנדרש להם). לעתים, האקראיות (או היד המכוונת) היא גורם מכריע בקביעת התכונות של הדור הבא, כאשר מדובר בקבוצה המתנתקת מהאוכלוסיה האם ומבודדת ממנה. במקרה זה תהיה משמעות רבה לשאלה: איזה מטען גנטי ואלו תכונות הביאו עמם חברי הקבוצה, ומטען זה הוא שיעבור לדורות הבאים באותו המקום. למקרים מעין אלה קראנו לעיל "סחף גנטי".

שלוש העובדות שלעיל גורמות לתמורה באוכלוסיות, אם בעקבות ברירה מלאכותית - באוכלוסיה הגדלה בידי אדם, ואם בעקבות ברירה טבעית וסחף גנטי - באוכלוסיה הגדלה בטבע. הן גורמות לתכונות מסוימות להיות נפוצות יותר בכל דור נתון בהתאם להתאמה בין תכונות אלה לבין התנאים בשטח.

מהו היקפה האפשרי של התמורה?

יש הבדל גדול, כמובן, בין תמורה שניתן לחולל בעשר שנים, מאה שנה, אלף שנה או חמש מאות מיליון שנה.

ראינו לעיל שעשרות שנים של ברירה טבעית הניבו שינויים לא קטנים באוכלוסיות של לטאות ודגים שנבדקו.

שנים של ברירה מלאכותית (בין עשרות שנים לאלפי שנים) הניבו מאות גזעים שונים לחלוטין של כלבים, ושל מספר דומה של גזעי פרות, כבשים, עופות משק, צמחי מאכל ופרחים.

ראינו גם שלעתים די במוטציות בודדות על מנת לגרום להאצה או להשתקה של תהליכים: לעיכוב התפתחות שיניים בעופות, או לעיכוב בהתפתחות הכנף, לאיבוד אצבעות (כמו בני הואדומה וכמו בעלי חיים רבים שאיבדו חלק מאצבעותיהם), ולשינוי צבע עור וסוג דם ועוד.

- איזו תמורה יכולה להתחולל בפרק זמן של עשרות, מאות ואלפי **מיליונים** של שנים?
- איזו תמורה יכול **הבורא** לחולל בפרק זמן של עשרות, מאות ואלפי מיליונים של שנים?

אלו שתי שאלות שונות אך קשורות.

בנוגע לשאלה הראשונה, אנו עשויים לומר: טוב, **ייתכן** שבמשך מאות מיליוני שנים יכולים דברים להשתנות מן הקצה אל הקצה. ייתכן. אך מדוע עלינו לחשוב כך? ומה הראיה שכך אכן אירע?

בנוגע לשאלה השניה, אנו עשויים לומר: בסדר, ברור שהבורא יכול לעשות מה שהוא רוצה בפרק זמן של מאות מיליוני שנה. אולם, מדוע עלינו לחשוב שכך הוא אכן פעל ועשה (ובפרט שלא כך לימדו אותנו בבית הספר), ויתר על כן, מדוע לבורא לברוא את העולם בדרך כה ארוכה ועקיפה, ולא ב"הוקוס פוקוס"?

ובכן, אנו רואים שבכל מקרה, עלינו להשיב על השאלה: מה הראיה שהדברים הללו אכן קרו כך.

את התשובה לכך ניסיתי להעביר בספר הזה, ועיקרה כך:

כשאנו חושבים על בעלי חיים, אנו חושבים שיש אריה, נמר, זבוב, קרנף, יען וכו', אולי אנו אף מוכנים להודות בקיומם של הדינוזאורים. "הגיוני" לחשוב לפי זה שהבורא פשוט ברא אריה, נמר, זבוב, קרנף, יען וכו'. ייתכן שאף ברא בזמן מן הזמנים דינוזאורים ואחר כך נמלך ונפטר מהם.

אולם המציאות אינה כך.

אין בנמצא "אריה", "נמר", "זבוב" - סטטיים, קבועים. המציאות בשטח היא "נזילה", לא קבועה, משתנה תדיר.

כמעט כל בעל חיים מופיע **במגוון** של צורות ותתי־מינים: עשרות תתי־מינים של אריות, עשרות תתי־מינים של נמרים. בפרט בולט הדבר כאשר מדובר בבעל חיים שמגיע לאי מבודד ומתיישב בו. בסביבה דלת־מתחרים זו, מתפצל בעל החיים באי לכמה וכמה תתי־מינים המנצלים את מקורות המזון ותנאי המחיה המגוונים שהאי מעמיד בפניהם. איזה תתי־מין מייצג אפוא את ה"אריה" "האמיתי והמקורי"? אריה סנגלי או אריה קלהרי? אריה מסאי או אולי האריה המנומר מארוזי? ואולי הכתר שייך לאריה המערות האימתני שנכחד לפני אלפי שנים?

ה"בעיה" מחמירה ככל שאנו פונים לממצאי העבר, וחושפים את שרידיהם של בעלי החיים שחיו בעבר הרחוק והרחוק־להפליא. בכל אשר אנו פונים, אנו מוצאים את ההשתנות ואת ההדרגה. מגוון תתי־מינים שאנו פוגשים היום, נניח של האריות, מפנה את מקומו **בהדרגה** למגוון **אחר** של תתי־מינים של אריות, שאותם

איננו מוצאים היום בחיים. הם דומים מאד לאריות של ימינו, דומים - אך שונים. ואף מגוון עתיק זה מפנה את מקומו למגוון של בעלי חיים שדומה פחות ופחות לבעלי החיים של היום, ככל שאנו מעמיקים לחדור לעבר הרחוק של עולמנו. עד שאנו מגיעים לבעל חיים שאנו מזהים בו תכונות כלליות המאפיינות כיום רק את האריות, הנמרים והטיגריסים, לדוגמא, אך לא את יתר החתולים. זהו אביהם הקדמון של האריות, הנמרים והטיגריסים גם יחד. אם נשוב עוד יותר אחורה, נגלה בעל חיים שהתכונות שלו כלליות יותר, והן מאפיינות את כל בני משפחת החתוליים. זהו אביהם הקדמון של החתוליים באשר הם: האריות והנמרים, חתולי הבר והשוורים, הברדלסים והקרקלים. וכן הלאה.

קביעת היחסים בין בעלי החיים הללו אינה מתמצה בהשוואת מאפייניהם האנטומיים והפיזיולוגיים, כפי שנהוג היה לעשות בעבר בהצלחה רבה. אלא כוללת כיום, בחלק הולך וגובר של המקרים, השוואה של המטען הגנטי, ובפרט, השוואה של התקלות והשיבושים הגנטיים שאירעו בהיסטוריה הארוכה של זנים ומינים וסוגים אלה. השוואה שיכולה ללמד אותנו בצורה מדויקת: מי חלק היסטוריה משותפת עם מי, ומי פרש מהיסטוריה זו בשלב מוקדם יותר או מאוחר יותר. כך בידינו לדעת שהאריה והנמר והברדלס¹³⁵ הם בני אותה המשפחה, וכי לו חזרנו לעבר הרחוק, לדור של הסבא רבא רבא (וכו') שלהם, היינו מגלים קבוצה **אחת** של בעלי חיים חתוליים, ולא שלוש קבוצות נפרדות של אריות, נמרים וברדלסים. בנוסף, בידינו לדעת באמצעות בדיקת המטען הגנטי שבשלב הראשון נפרדה קבוצה זו לשתי קבוצות: זו שתהפוך לברדלסים של ימינו וזו שתהפוך לאריות ולנמרים, ורק בשלב מאוחר יותר התפצלה הקבוצה השנייה שוב לשתי קבוצות: לזו שתהפוך ברבות הימים לאריות (על כל תתייהמינים שלהם) ולזו שתהפוך לנמרים (על כל תתייהמינים שלהם).

בבריאת העולם לא נברא אפוא לא אריה קלהרי דווקא ולא אריה מסאי דווקא. גם אריה המערות הקדום הוא לא האריה שנברא בבריאת העולם, שכן גם הוא "חדש" יחסית על בימת העולם (בסך הכול בן כ־300,000 שנה...), וקדמו לו אריות קדומים יותר. אולם גם להם אין "זכות ראשונים". קדמו להם, כאמור, בעלי חיים

135 תן דעתך לכך שאני מציין כעת את הברדלס, בדווקא, ולא את הטיגריס שלעיל. משום שהברדלס אינו חולק אותו **סוג** עם האריה, כי אם אותה **המשפחה**, וכדלהלן.

שאינו יכולים לכוונת עוד בשם "אריות", מאחר והם כוללים גם מינים אחרים של בעלי חיים, כמו הנמר והטיגריס.

עולם החי הוא אפוא במצב של שינוי והתפתחות תמידיים. "המחדש בטובו **בכל יום** מעשה בראשית".

המגוון הרב השורר כיום, בכל מין ומין, המגוון הרב **והשונה** ששרר אתמול, ובאתמול של האתמול, מגוון **שמשנתנה בהדרגה** בכל מקום ובכל תקופה שרק נבחר, אינם מניחים מקום לספק.

הבנה זו, הנתמכת כאמור במטען הגנטי ההולך ונפרש לעינינו של בעלי החיים השונים, מעניקה סוף סוף את ההסבר ואת המשמעות של חלוקת בעלי החיים לקבוצות השונות: מין, סוג, משפחה, מחלקה וכו', כחלוקה המשקפת קרבת משפחה אמיתית והיסטוריה משותפת אמיתית של כל בעלי החיים באשר הם.

ברצוני להזכיר לקורא שההדרגה הזו אשר אנו מוצאים אינה מתמצה אך בשינוי הדרגתי של בעל חיים חתולי לסוגים ולמינים השונים הכלולים במשפחת החתוליים. הממצאים בשטח חושפים בפנינו שינויים הדרגתיים בכל הרמות, ולדוגמא: מיצורים ימיים (דגים) ליצורי יבשה (זוחלים), מזוחלים לדינוזאורים, מדינוזאורים לעופות, מזוחלים (אחרים) ליונקים, מיונקי יבשה ליונקים ימיים (לויתנים) וכו'.

ברצוני להזכיר עוד, שההיסטוריה הזו של בעלי החיים, אינה כתובה "רק" בממצאים המאובנים, אינה כתובה "רק" במטען הגנטי שלהם, ואינה כתובה "רק" בדמיון האנטומי והפיזיולוגי שלהם, אלא היא באה לידי ביטוי גם בהתפתחות העוברית ובאטביזם - המבטאים חלק מההיסטוריה שעבר בעל החיים עד שהגיע לאן שהגיע. (כגון כסות שיער ורגליים אחוריות בלויתנים, שיניים בקרב עופות, אצבעות יתירות ברגל הסוס ועוד). ויש לשים לב, אנו לעולם לא נמצא בהתפתחות העוברית ובאטביזם ביטוי לתכונות **שאינן** חלק מההיסטוריה ההתפתחותית של בעל החיים.

תחום נוסף שבו חקוק עברו של בעל החיים הוא תחום האיברים והתכונות המנוונים, היינו אותם האיברים והתכונות שעיצובם מורה על כך שבעבר הם שימשו למטרה אחרת, אלא שהם התנוונו עם הזמן, בדרך כלל מהעדר צורך בהם.

מניתי כאן כמה קוים כלליים, והם אינם באים להחליף את קריאת הדוגמות והפרטים שהבאתי בספר. ואני מקווה שבכך עניתי על השאלה: מדוע עלי לחשוב שהחיים התפתחו באופן הדרגתי, ומה הראיות לכך.

מה באשר לשאלה השניה: מדוע לבורא לברוא את העולם בצורה זו דווקא? שאלה זו היא שאלה מקוממת ולא ראויה. האם **אנו** אמורים להבין מדוע הבורא החליט לפעול בצורה מסוימת ולא בצורה אחרת? מדוע? האם זה משום שאנו מכירים **דרך טובה** יותר לפעול? עלינו לזכור שאין מדובר כאן על התנהגות מוסרית שעלינו להפיק ממנה לקח: מדוע נהג הבורא כך והעניש או נתן שכר על דבר מסוים ולא נהג אחרת. שאלות כאלה שומה עלינו לשאול על מנת שנוכל להידבק בדרכיו וללמוד מהי ההתנהגות הראויה. אך פה מדובר על השאלה **כיצד** להפיק תוצאה מסוימת. כיצד לגרום לכך שתתהווה בעולמנו מערכת החיים המורכבת והמגוונת כל כך שאנו עדים לה. למה הדבר דומה? לאדם שישאל: מדוע יצר הבורא את עולמו מאטומים שעשויים מפרוטונים ונייטרונים המוקפים בשדה של אלקטרונים? מדוע יצר הבורא עולם ששוררים בו חוקים פיזיקליים אלה ולא אחרים? מדוע יצר הבורא עולם שבו היקף המעגל שווה בקירוב ל- 3.14 פעמים קוטרו? ומדוע יצר הבורא עולם שבו יש מחזור דם, כדוריות דם אדומות, מיטוכונדריה בתוך כל תא? הרי אלו שאלות חסרות שחר, וכשם שאיש מאתנו אינו מוטרד בשאלות אלה, כך אין אנו אמורים להיות מוטרדים בשאלה: מדוע ברא הבורא עולם שבו בעלי החיים מתפתחים ומשתנים תדיר ובאופן הדרגתי.

אבל למה זה צריך לקחת לו כל כך הרבה זמן? האם הוא לא יכול לעשות זאת מהר יותר?

גם זו שאלה שאינה ראויה. כנראה שזו הדרך המתאימה ביותר למטרותיו של הבורא. ולטעמו של השואל, מדוע לקח כל כך הרבה זמן עד שנוולד אברהם אבינו, עד שניתנה התורה, עד שיבוא המשיח? האם הבורא לא יכול לזרז את העניינים? למה אלפי שנים של סבל וגלות, למה לא להפוך את זה לשנה אחת? כנראה כי זו הדרך המתאימה ביותר למטרותיו.

הפרק הבא עוסק בהתנגדות לאבולוציה. לצד הדיון בטענות הנגד יש בפרק הבא הרחבה והעמקה של נושאים מסוימים בתורת האבולוציה ומידע שלא נכלל בפרקים הקודמים. אני מציע אפוא לקרוא את הפרק גם אם הקורא אינו מתעניין בהתנגדות לאבולוציה כשלעצמה.

9 על ההתנגדות לתורת האבולוציה

הקדמה

כפי שידוע לכולנו, תורת האבולוציה מהווה לצערנו "איום" על גורמים שונים, הסבורים **בטעות** שהיא סותרת את התורה ואת האמונה ורואים בה אויב מר.

אין מדובר דווקא באנשי שלומנו, אלא בגורמים הקשורים לדתות השונות להבדיל, בפרט באנשי דת מוסלמים אך גם חלק מאנשי הדת הנוצרים. אין הדבר מתייחס לכל אנשי הדתות הללו. אדרבה, אנשי דת רבים חתומים על הצהרות המאשרות את תורת האבולוציה ושאינן רואות בה סתירה לדת ולתורה (בה מאמינים גם המוסלמים וגם הנוצרים). ראה זה פלא, אפילו הותיקן, אותו גוף שבעבר העלה על המוקד אנשים שטענו שהעולם סובב את השמש ולא להיפך, יצא כבר בשנות החמישים של המאה הקודמת בהצהרה לפיה האבולוציה אינה סותרת את האמונה.¹³⁶ מאז אימצו ראשי הכנסיה אל חיקם את תורת האבולוציה והבינו שדווקא האבולוציה הפורשת בפנינו הבנה עשירה ועמוקה יותר של התהליכים הנפלאים של החיים מהווה מרכיב חשוב בהכרת גדולתו של הבורא.¹³⁷ עם זאת, קיימים מספיק גורמים החשים מאוימים מאד מתורת האבולוציה ואשר מתנגדים לה בכל כוחם.

למרבה הצער, האמת אינה נר לרגליהם של גורמים אלה, והללו אינם בוחלים להשתמש במלחמתם המיותרת באמצעים שאינם כשרים: הוצאת דברים מהקשרם, סילוף ועיוות נתונים. כפי שחלק מאותם גורמים עצמם אינם מהססים לעשות בכל הנוגע אלינו, בכל הנוגע להכחשת השואה והצגה מסולפת של הסכסוך הישראלי-פלסטיני.

למרבה הצער, אף חלק מאנשי שלומנו אינם תמיד נקיים מדברים אלה, והם נסחפים, אני מקווה שלא במודע, אחר בתי המדרש מוסלמים קיצוניים ואחרים ומשתמשים בסילופים שהם מציגים.

136 פיוס הי"ב, אבולוציה.

137 קטכזם, פסקה 283.

ברצוני להציג כאן כמה מן הטענות הכוזבות בהם משתמשים הגורמים הנלחמים באבולוציה ואת שוברם בצד. אך טרם החילי, ברצוני להסב את תשומת לב הקורא לכמה נקודות, ואפתח בקטע מדבריו של הרב ד"ר יואל וולוולסקי (Joel B. Wolowelsky), דיקן בישיבת פלטבוש.¹³⁸ וולוולסקי מבקש להזכיר לנו שאנו, כיהודים מאמינים, סובלים תכופות מהתקפות הנובעות מציטוטים חלקיים והוצאה מההקשר על ידי גורמים העוינים ליהדות. התקפות אלה גורמות לנו לתסכול רב משום שאנו יודעים שהן אינן נכונות, ולמרות זאת הן נשמעות משכנעות במיוחד באזניו של הצד השני שאינו מכיר את החומר במקורו. וכך הוא כותב:

כך נשמעות רוב המתקפות על הביולוגיה האבולוציונית לאלו שמכירים היטב את תחום הביולוגיה. ציטוט חוקר המבקר היבט כזה או אחר של הביולוגיה האבולוציונית אינו שונה לעתים, להבדיל, מפסילת עמדה הלכתית על-ידי ציטוט מקור אחר עם דעה מנוגדת. ויתור ציני על האבולוציה כחלק מ"מדע טוב" יהיה אולי יעיל עבור מי שחסר השכלה מדעית. אבל גישה זו לא תישא פירות עם תלמידים שלעתים קרובות הידע שלהם במדעים מעמיק מזה של הרבנים שלהם, ואשר חשים ודאי כבוד בריא לכל תחומי המדע. לעתים קרובות גישה כזו יכולה לעורר תגובת-נגד של חוסר כבוד לתורה.

נושא נוסף שברצוני להקדים לפני הדיון בגוף הטענות נגד האבולוציה הוא המדע עצמו:

(דע את ה)מדע

שנים של ויכוחים בין מדע ואמונה גרמו לכך שבעיני חלק מן הציבור, המדע נתפס כמעט כדבר שלילי, זדוני, מתנשא, החותר תחת אושיות קיומנו ותחת אושיות האמונה הטהורה. כנגד התפיסה הזאת, אזכיר את דבריו של הגר"א - הגאון מוילנה, בהקדמה לספר הגיאומטריה של אוקלידס¹³⁹ (!) לפיו: "כפי מה שיחסר לאדם

138 וולוולסקי, אבולוציה בשיבה.

139 "ספר אוקלידוס", תורגם ללשוננו על ידי הדיין רבי ברוך משקלוב ונדפס בהאג בשנת 1780.

ידיעות משארי החכמות - לעומת זה יחסר לו מאה ידות בחכמת התורה", תפיסה שלמרבה הצער לא חילחלה בקרב חלק ניכר מן הציבור.

המדע של ימינו אינו ה"מדע" של העת העתיקה. באותה העת, היה הידע מבוסס בחלקו הרב על הגות והתבוננות גרידא, ועל שינון חכמתם של חכמי קדם הגדולים. במובן מסוים הידע היה מבוסס על אמונה: אמונה בסמכותם של חכמי קדם, ואמונה זו עיכבה את התפתחות המדע ואף תרמה לעלייתם של כמה אנשים על המוקד כאשר הללו כפרו בדברי הקדמונים. המדע של ימינו מבוסס על עקרונות שונים לחלוטין, ובעיקרו הוא פשוט משקף את המאמץ האנושי המשותף **לדעת**. זהו מאמץ שבו משתתפים מיליוני אנשים ברחבי העולם, חלקם מקדישים לכך את חייהם, במטרה להבין טוב יותר את העולם בו אנו חיים ובעקבות כך לשפר את חייו.¹⁴⁰ כמה מספרים להמחשה: לפי דו"ח אונסק"ו, בשנת 2007 פעלו בעולם כשבעה מיליון ומאתיים אלף חוקרים במשרה מלאה.¹⁴¹ לפי נתוני אותו דו"ח, בשנת 2008 התפרסמו מעל מיליון ומאתיים אלף פרסומים מדעיים. כלומר, כשלושת אלפים ושלוש מאות פרסומים מדעיים חדשים מידי יום ביומו.

הידע המדעי מבוסס בעיקרו על: א. איסוף נתונים (על ידי תצפיות, ניסויים וכו'); ב. ניסוח השערות ("תיאוריות") שבכוחן להסביר את הנתונים שהצטברו; ג. העמדת השערות אלה למבחן.

ודוק: השערה מדעית חייבת להיות השערה שניתן להעמידה למבחן המציאות. לאמור, אם השערה פלונית נכונה אזי נצפה לתוצאות כאלה וכאלה, ואם נקבל תוצאות אחרות - הרי שהשערה פלונית אינה נכונה.

לפעמים חולפים שנים עד שבשלים התנאים והאמצעים הטכנולוגיים לביצוע הניסויים שיכולים לאשש השערה מסוימת או לפרוך אותה, ועד אז ההשערה תלויה באויר כהצעה גרידא. כך, לדוגמא, חלפו ארבע שנים מאז פרסם אלברט איינשטיין

140 מי מן הקוראים עשוי אולי להרים גבה ולתהות כיצד המדע משפר את חייו. אסתפק בציון עשרות שנות החיים שנוספו לתוחלת החיים שלנו באותם מקומות שנהנו מהקדמה. גם בעבר אנשים הגיעו לגיל זקנה, אולם מספר האנשים שזכה לכך היה מצומצם לאין שיעור ביחס לימינו, ואילו תמותת תינוקות וצעירים היתה מחזה נפרץ.

141 אונסק"ו, דו"ח המדע 2010. מספר זה משקף עלייה של 24% מנתוני שנת 2002. אם מגמת העלייה המשיכה באותו הקצב, יש כיום בעולם כתשעה מיליוני חוקרים במשרה מלאה.

את 'תורת היחסות הכללית' ועד שארתור אדינגטון ביצע את הניסויים שאישו אותה.

השערות מסוימות הן נקודתיות ומקומיות ובעלות משמעות מעשית זניחה, ואילו אחרות הן חובקות עולם ועומדות בבסיס מאות אלפי מחקרים ופיתוחים טכנולוגיים מתקדמים.

קיים כאן מעגל המזין את התפתחות עצמו: הידע ההולך ומצטבר מאפשר פיתוחן של טכנולוגיות חדישות - הללו בתורן מאפשרות בדיקות וניסויים שלא היו אפשריים קודם לכן - והללו בתורם מקדמים את הידע עוד יותר, מה שממשיך להזין את התפתחות הטכנולוגיה.

דוגמא בולטת של פיתוחים טכנולוגיים המזניקים את הידע שיש לנו על העולם ובפרט בידע הקשור לנושא שלנו הוא היכולת לקרוא את רצף הדנ"א. לפני שנים ספורות הושלם פרוייקט גנום האדם, פרוייקט בינלאומי שמטרתו היתה "לקרוא" את כל שלושה מיליארד הבסיסים המרכיבים את גנום האדם ולנתח אותם. להתפתחות הטכנולוגית בתחום זה אין אח ורע: קצב הקריאה השבועי (כלומר, מספר הבסיסים שניתן לקרוא בשבוע אחד) הכפיל את עצמו פי 200 מאז שנת 1990 ועד שנת 2000, ואילו משנת 2000 ועד שנת 2010 הוכפל קצב זה פי 50,000 (!). עלות הבדיקה לא נשארה מאחור, והיא צנחה בתוך עשור פי 100,000 (מאה אלף!).¹⁴² לא מדובר רק בכך שתהליך שעלה אתמול מאה מיליון דולר עולה היום אלף דולר בלבד. ההתייעלות הלא נתפסת הזו פתחה פתח לאינספור ניסויים שבעבר לא התאפשרו כלל עקב קשיי המימון ואורך הזמן, כגון קריאת רצפים של בעלי חיים שונים והשוואה בין רצפים של מינים שונים. להתקדמות הזאת נודעת משמעות מרחיקת לכת מבחינה רפואית. לאחרונה פותח התקן המסוגל לנתח דנ"א של אדם תוך שתי דקות (!), מה שיאפשר זיהוי מהיר של מחלות או נטיות למחלות,¹⁴³ כאשר הצעד הממשמש ובא בעולם הרפואה הוא פיתוח טיפול המותאם לגנום של המטופל. כבר כיום ניתן לבצע איבחון גנטי להערכת סיכונים רפואיים ולקבל טיפולי מניעה המותאמים אישית.

142 לנדר, הגנום האנושי.

143 אוניברסיטת וושינגטון, מתקן חדש לניתוח דנ"א.

זאת ועוד, בשונה מהעוסקים בעניינים שברוח, שעניינם נסוב פעמים רבות על שינון דברי קודמיהם והתעמקות בהם, תפקידם ופעלם של החוקרים במדעי החיים והטבע אינו מתמצא בכך. חוקרים אלה נדרשים **להתקדם הלאה** בחשיפת הידע אודות העולם, והתקדמות זו נשענת על הידע שהצטבר עד ימיהם. כאשר מיליוני חוקרים ברחבי העולם חושפים פיסות חדשות של ידע **מידי יום ביומו** ומרחיבים את הידע שלנו אודות כל היבט הקשור לחיים, דבר זה כשלעצמו מעיד במיליוני עדויות על כך שבסיס הידע הוא אמיתי. כאשר הטכנולוגיה שלנו מתפתחת בלי הרף בכל היבט אפשרי של החיים בעקבות התגליות שמגלים חוקרים אלה, נוספות לעדויות הללו שיניים. **אי אפשר לפתח טכנולוגיה מתקדמת על בסיס השערות שגויות.** זה פשוט לא יעבוד. אי אפשר לפתח הנדסה גנטית, טיפולים בתאי גזע, שיבוט¹⁴⁴ אם המדע אינו מבוסס ומדויק.

[דוגמא של טיפול שהרשים את כותב השורות הללו, למרות שהוא לא בהכרח משקף את חוד החנית של הטכנולוגיה, הוא הטיפול המוצלח באמצעות הנדסה גנטית במחלת הסרטן של ילדה בשם אמילי וייטהד (Whitehead). אמילי סבלה מלוקמיה חריפה של תאי B (סוג של לימפוציטים). לצורך הטיפול בתאים הסרטניים הונדסו גנטית תאי T (לימפוציטים אף הם) של הילדה באופן שהם יזהו את תאי ה-B וישמידו אותם. ובפירוט: תאי ה-T הוצאו מגופה ולמטען הגנטי של תאים אלה הוחדר ושולב גן שיוצר חלבון מסוים ובו נוגדן המזהה תאי B (וממילא מאפשר לתאי T המהונדסים להיקשר לתאי B ולהשמיד אותם). החדרת הגן לתאים היא סיפור מעניין כשלעצמו: לצורך שילוב הגן החדש בגנום של התאים נעשה שימוש בנגיף, שאר בשר של נגיף האיידס, אשר טופל במעבדה כך שכל פעולתו תסתכם בשילוב הגן החדש לגנום של התא מבלי להמשיך להתרבות בתא ומבלי להיות פעיל כנגיף. אחרי שינוי תאי T הללו, הוחזרו התאים לגופה של אמילי, השתלבו במערכת החיסון, התרבו, והשמידו את כל תאי ה-B בגופה של הילדה.¹⁴⁵

144 שיבוט, למי שלא נכח בלידתה של הכבשה דולי, הוא תהליך שבו ניתן ליטול תא מבין מיליארדי התאים המרכיבים יצור חי כלשהו, וליצור ממנו בעל חיים שלם הזהה לו מבחינה גנטית (בדומה לתאומים זהים). התהליך הוא כמובן מורכב במיוחד, ודורש בין השאר מיצוי של החומר הגנטי והחדרתו לביצית (שהחומר הגנטי שלה הורחק ממנה). הכבשה דולי היתה היונק הראשון שנוצר בתהליך זה (בשנת 1996) ומאז שובטו כמה יונקים אחרים. בשנת 2013 שובט עובר אנושי מתאי עור של ילד בן שמונה הלוקה במחלה גנטית נדירה. מטרת השיבוט היתה נטילת תאי גזע עובריים לצורך ניסויים שימצאו מזור למחלה (אורגון, שיבוט אנושי).
145 מקור: המרכז לסרטן, אמילי וייטהד. הסיפור דווח גם על ידי דרור בר-ניר, נגיף נגד סרטן.

התיאור שלי כאן הוא קצר ולא ממצא אבל אני סבור שדי בו כדי להמחיש שמן מהידע והיכולת הטכנולוגית הקיימים היום בתחום מדעי החיים].

אין הדבר אומר שהשערות המדע הבסיסיות חסונות לחלוטין משינוי. אדרבה, ההיפך הוא הנכון. המדע הוא כאמור המאמץ המשותף לעמוד על טיבה של המציאות, ומאמץ זה לעולם אינו מגיע לקו סיום. המדע לעולם אינו טוען שבידו האמת המוחלטת והאולטימטיבית, אלא שבידו הגירסא הקרובה ביותר לאמת האפשרית בהתבסס על הנתונים שבידינו. גירסא זו נתונה כל הזמן לשיפור ולשכלול ולליטוש בהתאם לידע המצטבר ובהתאם לטכנולוגיות המתפתחות דבר יום ביומו. דוגמא לכך היא המכניקה הניוטונית פרי עבודתו של גאון המדע אייזק ניוטון לפני כשלוש מאות שנה. במאה העשרים התברר שכללי המכניקה שקבע ניוטון אינם תקפים במהירויות הקרובות למהירות האור ובסדרי גודל זעירים ונוסחו תורות משלימות בעבור מצבים אלה. מסתבר אפוא שהמכניקה הניוטונית לא היתה "אמת מוחלטת" הנכונה בכל מצב נתון, אך למרות זאת היא עדיין נכונה במגבלות האמורות.

תורת האבולוציה עומדת בבסיס המחקר במדעי החיים ובבסיס העשייה הרפואית. כמו בכל דבר אחר, קיימים חילוקי דעות הנוגעים לפרטים: איזה מנגנון מהמנגנונים המניעים את האבולוציה משמעותי יותר ואיזה פחות, או חילוקי דעות הנוגעים לזיהוי ממצא זה או אחר, אולם האבולוציה עצמה היא עובדה מוגמרת. משל למה הדבר דומה? לשלל המחלוקות המתרבות והולכות מידי יום ביומו בענייני הלכה ובענייני פרשנות תורנית. איש לא מעלה על דעתו לשלול את תקפותן של הלכות שבת בגלל חילוקי הדעות בפרטי ההלכות.

ההתנגדות לאבולוציה

א. האם תורת האבולוציה צודקת או לא? מה אומרים המומחים?

אנו נמצאים כעת אמנם בשלב מתקדם של הספר, וסקרנו ראיות שונות, אולם הבה נודה, רובנו אינו בעל ידע מקצועי בתחום. מה אפוא אומרים על כך המומחים?

בחרתי לפתוח בציטוט מדבריו של ד"ר גבי אביטל-אבוטבול, ד"ר להנדסת אווירונאוטיקה שמונה למשרת המדען הראשי בשנת 2009 וסיים את תפקידו לאחר שנה בעקבות דבריו נגד הוראת האבולוציה והתחממות כדור הארץ.¹⁴⁶ ובכן במאמר שפורסם זמן מה לאחריו הפסקת כהונתו חושף בפנינו ד"ר אביטל את הממצא המפתיע הבא:¹⁴⁷

לסיים, אני רוצה לצטט סקר רחב מימדים בנושא אמונה ומדע שנערך לפני 25 שנים בקרב חברי סגל במכללות ובאוניברסיטאות בארה"ב, שהעלה נתון מעניין. מרבית השוללים בריאה ואלוקים באו מתחום מדעי הרוח והחברה בעוד שמרבית המצדדים בבריאה באו מתחומי המדעים המדויקים.

כאשר נשאלו הללו מהחברה והרוח, מדוע? הם השיבו פה אחד: "המדע אמר". בשלוש מילים ניתן לסכם את מבוכת האבולוציוניסטים בעת הזו, אמונה עיוורת במדע.

מדהים! מרבית המצדדים בבריאה באו מתחומי המדעים המדויקים! זה לא דבר של מה בכך! מה עלינו להסיק מכאן?

ובכן, חוששני שקטע זה, יותר משהוא משקף את "מבוכת האבולוציוניסטים", הריהו מקור למבוכה לאביטל עצמו. ושתי הערות לי על דבריו אלה:

1. גוף הנתונים¹⁴⁸

האומנם מרבית המצדדים בבריאה באו מתחומי המדעים המדויקים?

146 בין דבריו הנכוחים אמר ד"ר אביטל כי הוא מתאמץ שלא למחזר בקבוקי פלסטיק, וכי כדור הארץ לא הולך להיות מושמד, שכן כך הבטיח הקב"ה. אימוץ קו מחשבה מעניין זה מביא אותי למסקנה שאין חשש בהזנחת מצבם הבריאותי של ילדינו, שהרי הקב"ה הבטיח שהעולם לא ייחרב. כמו כן אין צורך להחזיק מוסדות תורה, שהרי הקב"ה הבטיח שלא תישכח מפי זרעו.

147 אביטל, ג'. "מי הסתיר את המדענים המאמינים", Ynet, 19/1/2011.

148 ברצוני להדגיש שהאבולוציה כפי שתוארה בספר זה אינה סותרת כמובן את הבריאה, ועצם העמדת השאלה: בריאה או אבולוציה, אינה נכונה. והרי לא נחשוד ברב222 קוק וברב נדל שהם "שוללים בריאה ואלוקים", ולמרות זאת תמכו שניהם בתורת האבולוציה. ולכן כמובן מסוים "אין בעיה" עם הסקר הזה.

מה לעשות, ובניגוד ל"סקר רחב המימדים" שמצטט ד"ר אביטל (מבלי להביא לו מקור), הנתונים בשטח שונים לחלוטין, ולצורך כך אשוב כ-25 שנה לפני מאמרו של ד"ר אביטל (שהרי הוא מצטט סקר מלפני 25 שנה). ובכן, לפי מאמר שפורסם ב"ניוזוויק" בשנת 1987: **מבין 480,000 חוקרים במדעי הארץ והחיים (בארה"ב), רק 700 חוקרים תמכו ב"בריאתנות"**, השוללת את האבולוציה. השוללים מהווים אפוא **כשביעית האחוז** מכלל החוקרים, וזאת, במדינה שאחוזי התמיכה שלה בבריאתנות הם מהגדולים בעולם המערבי.¹⁴⁹

זה היה בשנת 1987. מה אירע מאז? ובכן, לפי ההערכה, בשנת 1999 היו בארה"ב כ-**1,108,000 חוקרים** בתחומי הביולוגיה והגיאולוגיה (כן, מיליון מאה ושמונה אלף...). באותה שנה, חתמו **600 חוקרים** על מסמך המצהיר על כך שהם אינם תומכים בדרוויניזם (ואף זאת, מתוך 600 חוקרים אלה, חלק נכבד אינו עוסק במחקר הקשור לאבולוציה, ורק כ-150 מהם עוסקים בביולוגיה).¹⁵⁰ מדובר פה בערך על אחד חלקי עשרים מאחוז בודד (0.054%).¹⁵¹ בשנת 2007 הצליחו מתנגדי האבולוציה להשיג 700 חתימות (!) של חוקרים המטילים ספק באבולוציה, שיעור זניח עוד יותר מתוך אוכלוסיית החוקרים שצמחה בהרבה מאז.¹⁵² בתגובה פארודית לכך, החתימו עצומה של חוקרים התומכים באבולוציה ובלבד ששמם הוא "סטיב". נכון למועד כתיבת שורות אלה חתמו על העצומה 1,272 חוקרים.¹⁵³ נוסף על כך, אנשי דת מרחבי העולם יזמו עצומות התומכות באבולוציה והמצהירות שאין הם רואים סתירה בין האמונה לבין המדע. נכון לכתיבת שורות אלה חתומים על עצומה כזו 12,853 אנשי דת נוצריים ועוד אנשי דת אחרים.¹⁵⁴

זאת ועוד, חשוב לציין כי ההצהרה עליה חתמו החוקרים המתנגדים לאבולוציה לא שללה מכל וכל את תורת האבולוציה עצמה אלא הביעה ספק לגבי יכולתן של מוטציות אקראיות וברירה טבעית להסביר את מורכבות החיים. מן הבחינה הזו, אנו יכולים להסתדר היטב גם עם החותמים הללו.

149 מרץ ומק'דניאל, מחוץ לכיתה, עמ' 22-23.

150 צ'אנג, קנת', עצומה נגד האבולוציה.

151 הקרן הלאומית למדע, אנשי מחקר.

152 אלכסנדר, דניס, מספרים.

153 המכון הלאומי לחינוך מדעי, רשימת סטיב.

154 ראה: קלרג' לטר פרוג'קט.

על מנת שלא להוציא את הכותב הנכבד כזבן, אנסה לפרש את הנתונים הכוזבים לכאורה שמסר באופן שלא יסתרו את העובדות. ואעשה זאת כך: נניח שנערך סקר בן שני מיליון חוקרים, אשר מיליון וחצי מתוכם הם חוקרים ממדעי החברה, ומחצית המיליון הנותרת הם חוקרים במדעי החיים.

אם נקבל את התוצאה הבאה:

שוללים את האבולוציה	תומכים באבולוציה	
100	1,499,900	חוקרים במדעי הרוח
200	499,800	חוקרים במדעי הטבע

נוכל לחזור על דבריו של ד"ר אביטל, מבלי שיהיה בהם שקר:

נוכל לומר בפה מלא כי רוב התומכים באבולוציה הם חוקרים במדעי הרוח (פשוט משום שהם רבים יותר), ורוב השוללים את האבולוציה הם חוקרים במדעי הטבע (200 שוללים לעומת 100 שוללים מבין החוקרים במדעי הרוח).

זה עדיין לא ישנה את העובדה שכשני מיליון החוקרים תומכים באבולוציה, לעומת 300 חוקרים השוללים אותה...

אגב, יש לנו כאן דוגמא מצוינת לאופן בו אנשים המתנגדים לתורת האבולוציה מטעמים חיצוניים מסלפים את העובדות על מנת לקדם את דעותיהם.

2. "אמונה עיוורת במדע"

והיות ועסקנו בפסקה זו מדבריו המחכימים של ד"ר אביטל, אבקש להתייחס לנקודה נוספת המופיעה בדבריו אלה: "בשלוש מילים ניתן לסכם את מבוכת האבולוציוניסטים בעת הזו, אמונה עיוורת במדע".

מבוכה? אמונה עיוורת?

יאמר לי הקורא, מנין **אנו** שואבים את רוב ידיעותינו? מנין לנו שקיימים אטומים המורכבים מפרוטונים ניוטרונים ואלקטרונים, מנין לנו שאנטיביוטיקה קוטלת חיידקים אך לא נגיפים, מנין לנו שהטיפול הרפואי שאתה עומד לעבור הוא חיוני ויעיל, מנין לנו שמים מורכבים מחמצן ומימן ומנין לנו שקיים בכלל דבר כזה

כמו חמצן או מימן, מנין לנו שלדג יש זימים, שהארץ כדורית, שהכוכבים אינם רק נקודות מנצנצות, שהשמש ענקית ורחוקה והירח קרוב וקטן ממנה, שבבטן האדמה הטמפרטורה גבוהה מאד, שמחר הולך להיות גשום ובעוד שבוע יהיה שרב? שברשתית העין יש מדוכים וקנים, שבאוזן הפנימית יש פטיש וסדן, שקיים מטען גנטי ושהוא נמצא במולקולה הדיאוקסיריבונוקליאית שבכל תא מתאי גופינו? הוי אומר: "המדע אמר".

האם אנו דורשים הוכחה בכתב בשלושה עותקים עבור כל פרט ופרט שעליו אנו סומכים גם בשאלות הנוגעות לפיקוח נפש? האם נדרוש שיציגו לנו את כל הראיות והשיקולים שתומכים בכל הפרטים הללו שמבקשים מאתנו להאמין בהם? לא??? מה, פתאום יש לכולנו **אמונה עיוורת במדע???** כלום יצאנו מדעתנו???

אין צורך לחזור על הדברים שכתבתי לעיל אודות טיבו של המדע, כתוצר של המאמץ האנושי המשותף והכביר להכיר את העולם בו אנו חיים. כשאנו "מאמינים" לאנשי המדע, משמעות הדבר היא שאנו מקבלים את העובדה שהדברים שהם אומרים, אשר מקובלים בקונצנזוס רחב של אנשי מדע, מהווים את הידע המבוסס ביותר שניתן להשיג בנקודת הזמן העכשווית. מובן מאליו שישנם דברים הנתונים במחלוקת עזה, אולם כאשר הרוב המוחלט של המומחים לדבר (כפי שראינו) תומך בשתי ידיים בהסבר מסוים, ומיעוט מבוטל (הבטל באלפים) תומך בדעה אחרת - ובפרט כשאנו יודעים שהמיעוט המבוטל סבור כפי שהוא סבור בגלל סיבות חיצוניות הגורמות להם לחשוב כך (תפיסה פשטנית של האמונה הדתית), לא תהיה זו "אמונה עיוורת" לסמוך על המדע, כשם שלא תהיה זו "אמונה עיוורת" לסבור שאוסטרליה אכן קיימת ושלכוכב שבתאי יש טבעות.

עד כאן בנוגע להאשמה של אביטל על כך שאנשים המקבלים את מסקנות המדע הם בעלי אמונה עיוורת.

ב. חוקרים בכירים המתנגדים לתורת האבולוציה?

ציינתי לעיל שניתן למצוא כמה מאות של חוקרים החותמים נגד האבולוציה. מספרם הזניח לחלוטין (כנגד כל חוקר שכזה יש אלפי חוקרים שלא צירפו חתימתם) והעובדה שאנו יודעים על ההטיה החזקה והבסיסית שלהם, מתוך שאמונתם גורמת להם להאמין שהאבולוציה לא תיתכן, אינה מצריכה אותנו

להתייחס אליהם. הרי בכל רגע נתון ניתן לגייס מספר דומה של חוקרים מוסלמים ואנטישמיים שיצהירו שהשוואה לא היתה בכלל ושעם ישראל לא היה ולא נברא ועוד כהנה וכהנה. איננו מוצאים לנכון להתייחס לדבריהם משום שההטיה שבבסיסם שקופה. נוסף על כך, אם נרצה חוות דעת בנושא הלכתי, לא נפנה למומחים למחול או לחברי כנסת ערביים, גם אם אינם נוגעים בדבר, משום שזו לא ההתמחות שלהם.

שונה הדבר במקרים בהם מדובר בסמכויות מוכרות בתחום חקר האבולוציה, שרכשו את שמם תודות להיכרותם המקיפה והמעמיקה של תחום מחקרם. כמו כן שונה הדבר כאשר מדובר בציטוט ממחקרים מדעיים ממשיים שבוצעו על ידי חוקרים בכירים.

והנה, מאמרים של מתנגדי האבולוציה עמוסים לעתים בציטוטים מברי סמכא וממחקרים מדעיים המתנגדים כביכול לתורת האבולוציה! יתר על כן, מתנגדי האבולוציה אינם משתמשים ב"סתם" ברי סמכא, אלא משתמשים בעיקר בדבריהם של חוקרים אשר הקדישו את חייהם להנחלת ידע האבולוציה לציבור. כיצד מתיישב הדבר עם החוט השזור בספר זה ואשר לפיו האבולוציה היא עובדה שאין עליה עוררין?

ובכן, אם נחשוב על כך, נבחין שמשוהו כאן אינו הגיוני. האם ייתכן שסופר המקדיש את עצמו לכתיבת ספרים רבים המבקשים להנחיל את תורת האבולוציה לציבור, יביע בו בזמן דעות המתנגדות לתורת האבולוציה? משוהו פה לא כל כך מסתדר.

פתרון התעלומה הוא פשוט והוא כרוך בשימוש המסולף שעושים מחברים אלה בחומרים שלפניהם. וכבר ציינתי בראשית דבריי את הדרכים העיקריות: הוצאה מההקשר, עיוות וסילוף המשמעות של הטקסט, ומתן פרשנויות ומסקנות לא נכונות, כמו גם ציטוט (ותרגום!) לא שלם או לא מדויק. כמו כן הללו אינם בוחלים להשתמש בדעות וטענות שהתיישנו זה מכבר עקב התפתחות המדע, כגון שימוש בטענת: "לא נמצאו ראיות" כשאלו נמצאו גם נמצאו מזה זמן רב, או להיתלות במעידות בודדות שאירעו לפני ששדה המחקר התבסס. חלק מן המחברים שבדבריהם נעשה שימוש לרעה מודעים לשימוש הנלווה שנעשה בציטוט דבריהם ובהוצאתם מההקשר ומכריזים קבל עם ועדה שאין להתייחס לפרשנויות מגוחכות אלה. ואכן, הניסיון לטעון שחוקר שהקדיש את חייו לקידום ידיעת

האבולוציה בציבור מביע בספרו התנגדות לה, אינו יכול להתקבל ברצינות. תופעה זו חמורה במיוחד דווקא משום שאנו כיהודים וכישראלים סובלים עד עצם היום הזה מהפרקטיקה הזו הנהוגה בידי הגדולים שבשונאינו מבית ומחוץ. אותם מחברים המתנגדים לאבולוציה אינם שמים לנגד עיניהם את האמת, וכל הדרכים כשרות בעיניהם להשיג את מאויהם. מה טוב היה לו היו מאמצים את דרכו של תומס האקסלי ("הבולדוג של דרווין") שאמר (ועשה): "ענייני הוא להורות לשאיפותי להתיישר עם העובדות, לא לנסות ולגרור לעובדות לעלות בקנה אחד עם שאיפותי".¹⁵⁵ הוא היה אומר: "האמת טובה מכל רווח. חקרתי את הרקע לאמונתי, ואילו אשתי וילדי, שמי והמוניטין שלי היו כולם אובדים לי בזה אחר זה כעונש, עדיין לא הייתי משקר".¹⁵⁶

בהזדמנות זו, ברצוני לחזור ולציין את העובדה שהתאווה להילחם באבולוציה יצרה אמון מופלא בין אנשי שלומנו לבין אתרים מוסלמים אנטישמיים, המהווים מקור לציטוטים הנפלאים שמטרתם לשכנע אותנו שהאבולוציה אינה נכונה. אולם, אם ניקח ברצינות את הדעות המלומדות לכאורה שמציגים אתרים מוסלמים אלה, כלום נוכל לוותר על שכיות החמדה האחרות שיש באתרים אלה? כגון האנטישמיות הארסית המפעפעת בהם, הכחשת השואה, שנאת ישראל צרופה? מדוע לא להתייחס ברצינות גם לטענות אלה המובעות באתרים הללו. ראו לדוגמא את האתר המוסלמי המוביל: www.theunjustmedia.com. האופן שבו האתר מציג את הכחשת השואה, לדוגמא, הוא מדוקדק ועמוס פרטים וחשובים לעיפה. האם יהיה זה רציני לסמוך בעיניים עצומות על דברי האתר הזה בכל הנוגע לדברים שמוצאים חן בעינינו (כלומר, "ראיות" נגד האבולוציה) ולדחות בשתי ידיים את המאמרים האחרים שהוא כותב? האם לא נשים לב שאותו הדבר עצמו שהאתר מעולל לנו, בעיות ובסילוף של העם היהודי ותורתו ובעיות ובסילוף של השואה, הוא אותו הדבר עצמו שהאתר מעולל לאבולוציה? וכדי ביזיון וקצף.

אני מקווה שהקורא ששכל לו בקודקודו יידע לא ללכת שולל אחרי מקורות "קדושים" אלה, אלא אם כן נמנה אף הוא אם שונאי ישראל ומכחישי השואה חלילה. בפרק שלהלן אדגים כמה מן הטענות המושמעות בפי אנ"ש כנגד האבולוציה (ואשר יסודן בהררי הקודש של האיסלם הקיצוני) ואת שוברן בצדן.

155 מצוטט על ידי גולד ב"בוהן הפנדה", עמ' 223.

156 מצוטט על ידי גולד ב"שיני תרנגולות ובהונות סוס", עמ' 310.

ברצוני לציין שהחלק שלהלן מכיל הרחבות והבהרות נוספות לגבי תורת האבולוציה והוא מומלץ לקריאה כשלעצמו.

ג. הטענות העיקריות נגד תורת האבולוציה

1. איפה חוליות הביניים?

טיעון שניתן למצוא כמעט בכל מקור העוסק בהשמצת האבולוציה הוא כדלהלן:

**אין התפתחות הדרגתית, אין חוליות ביניים,
המינים מופיעים על בימת העולם במלוא תפארתם**

מתנגדי האבולוציה מכבירים עלינו ציטוטים מפי חוקרים שונים, ולפיהם:

אין בכלל התפתחות הדרגתית. אין בכלל שלבי ביניים בין מין למין או בין סוג לסוג וכו'. המאובנים מראים לנו שהמינים השונים הופיעו במלוא תפארתם והדרם על בימת העולם ולא התפתחו מצורות קודמות.

הפלא ופלא! כך טוענים החוקרים עצמם!

כפי שצינתי, חלק מחוקרים אלה הם אותם חוקרים המנסים לקדם במלוא עוזם את תורת האבולוציה. מה קורה פה? (באותם מקרים שאין המדובר בציטוט לא מדויק, או בהוצאה מההקשר גרידא).

מה שקורה הוא חוסר הבנה מספקת לגבי האבולוציה ו/או זלזול באינטליגנציה של הקורא (שאמור להאמין שבכירי האבולוציוניסטים תוקפים בספריהם הם את האבולוציה...).

וקודם כול אפתח בנקודה חשובה של קנה המידה:

קנה המידה

במאה הקודמת דיווחו הפורטוגלים כי קו הגבול המשותף להם ולספרד עומד על 987 ק"מ. הספרדים, לעומת זאת, דיווחו כי אורכו של קו גבול זה הוא 1,214 ק"מ! כיצד ייתכן הדבר?

מהו אורך קו החוף של בריטניה? 12,429 ק"מ, כפי שטוענים בסוכנות הביון המפורסמת ה-CIA?¹⁵⁷ או שמא 3,400 ק"מ בלבד? או אולי מליוני ק"מ?

כל התשובות נכונות!

???

כל התשובות אמיתיות ונכונות, והשוני המופלג ביניהן תלוי בלעדית באורכו של הסרגל, בקנה המידה.

אם נמדוד את קו החוף של בריטניה בסרגל שאורכו 50 ק"מ, נקבל תוצאה של 3,400 ק"מ בקירוב. אם נמדוד אותו קו חוף בסרגל שאורכו 200 ק"מ, נקבל תוצאה של 2,400 ק"מ בקירוב, ואם נמדוד בסרגל שאורכו מילימטר, נקבל תוצאה "כמעט אינסופית", משום שככל שקנה המידה זעיר יותר, כן אנו מודדים כל פיתול ופיתול: כל סלע קטן, כל פיתול מיקרוסקופי שעל כל גרגר חול היוצר את קו החוף, ומנגד, ככל שנגדיל את קנה המידה, ניאלץ להתעלם מפיתולים קיימים ונקבל קו אחיד וקצר.

קנה המידה - הן ברמת המרחב והן ברמת הזמן - מפיק תוצאות שונות לחלוטין ועם זאת אמיתיות וממשיות לחלוטין. בשבילי, היקפו של כדור טניס הוא כ-21 ס"מ, בשביל חיידק, שנמדד באלפיות המ"מ, היקף הכדור השעיר ארוך לאין שיעור. ושימו לב, אני מתכוון לומר שבשביל חיידק - 21 ס"מ זה המון, אלא שבפועל, היקף הכדור בשביל החיידק, הדרך שהוא צריך לעבור כדי לעשות "סיבוב שלם", הוא הרבה יותר מ-21 ס"מ, בגלל שבשבילו, הכדור השעיר אינו "כמעט חלק" אלא עמוס בעליות וירידות המכפילות את הדרך פי כמה וכמה.

בהתאם לדברים אלה, וכפי שיוסבר להלן, אנו יכולים לטעון בתוקף כי ישנה התפתחות הדרגתית, ובאותה מידה של תקיפות לטעון שאין התפתחות הדרגתית; שיש חוליות ביניים ושאין חוליות ביניים; שהמינים הופיעו מושלמים או שלא הופיעו מושלמים. חשוב מאד להיות ער להקשר הרחב שבהם נאמרו הדברים, וכנגד איזו טענה נאמרו דברים אלה, בתוך איזה שית.

בהקשר של הנושא שלנו, כשאנו מוצאים פסקה שנאמר בה שאין הדרגתיות, שאין חוליות ביניים וכו', חשוב לדעת למה מתכוון המחבר, ואז נגלה לעתים

157 סוכנות הביון המרכזית, קו חוף. אגב, לפי אותו מקור, קו החוף של מדינת ישראל הוא 273 ק"מ.

שהמחבר לא דיבר באופן כללי, אלא התייחס לתקופה מסוימת, לאזור מסוים, לסוג מסוים של מאובנים, ובעיקר: ביחס לקנה מידה מסוים (הסבר להלן).

לעתים נגלה שהמחבר הספר עצמו אכן התכוון באופן גורף וכללי, אלא שהמקור עליו הוא מסתמך ואותו הוא מצטט לא התכוון לכך. גם זה קורה (בעיקר כשהמחבר הוא לא חוקר מהתחום ולא הקדיש תשומת לב מספקת בכתיבתו, שלא לומר פשע בכתיבתו).

2. אבל דרווין אמר...

"תרגיל" נוסף הוא הסתמכות על דברי חוקרים ידועים שפעלו לפני דורות, ובהקשר שלנו: דברי צ'רלס דרווין, אבי "הברירה הטבעית". כפי שכבר ציינתי, העיסוק במדעי הטבע והחיים אינו דומה לעיסוק ברוח ובפרשנות טקסטואלית ובוודאי שאינו דומה לעיסוק בבית המדרש. כאשר אנו עוסקים בסוגיא תלמודית, לדוגמא, אנו מתייחסים לסוגיא זו כאל הסמכות הקובעת, ואנו מתאמצים בכל מאודנו לרדת לעומקה ולכוונתה. חשיבות יתרה ניתנת למקורות הקדומים, לביאורי הגאונים והראשונים וגדולי האחרונים. היעד הוא לברר למה התכוון התלמוד, והתפיסה המסורתית רואה בדורות הסמוכים יותר לתלמוד את הסמכויות העיקריות לפרשנות זו. שונה הדבר בתכלית במדעי הטבע והחיים. במדעים אלה היעד אינו "למה התכוון פלוני אלמוני", ולו גם יהיה זה גדול החוקרים בכל הזמנים. (בוודאי שהשאלה למה התכוון פלוני היא שאלה מעניינת בפני עצמה והיא מעסיקה את העוסקים במדע מההיבט ההיסטורי והפילוסופי, אך אין זה היעד העיקרי של המחקר). יעדו של המחקר הוא הבנת הכללים על פיהם נוהגת המציאות. מעצם טיבו של המחקר, הידע הולך ומצטבר ו**מתקדם** תוך כדי הכנסת שיפורים ותיקונים ושינויים בהשערות שנהגו עד כה. בהתאם לדברים אלה, נוהגם של המתנגדים לאבולוציה לחפש בכתבי צ'רלס דרווין ראיות לדבריהם, היא שגויה מבחינה עקרונית (ואף לא ממש פוריה, כפי שנראה). דרווין, שפרסם את ספרו "מוצא המינים" בשנת 1859, אינו משמש כ"משה רבינו" להבדיל, או כרבי יהודה הנשיא. דרווין פרסם את עיקרי תורתו בדור שלא הכיר אפילו את חוקי התורשה הבסיסיים, שלא לדבר על כך שחלפה מאה עד שנחשפה הדרך בה פועלת התורשה: מולקולת הדנ"א, הגנים, המוטציות. כל אלו לא היו ידועים בדורו של דרווין. אנו ניצבים כיום למעלה ממאה וחמשים שנה אחרי פרסום תורתו של דרווין, תורה שהניבה במשך מאה וחמשים שנה אינספור מחקרים המתייחסים לתורת האבולוציה ומשפרים

אותה. האם נדמה בנפשנו שדרווין ידע אז את אשר אנו יודעים היום? מבחינה עקרונית, מה הטעם לצטט דברים שנאמרו לפני מאה וחמשים שנה ולהביא מהם ראיה? אתמהה.

כעת, עכ"פ, אפנה לליבון אחד הנושאים שגרמו לגל של ציטוטי שוא המשמחים את ליבותיהם של אלו הסבורים שהמציאות אינה מתיישבת עם האמונה.

3. הדרגה וחוליות ביניים

1) שיווי המשקל המקוטע

אחד הפליאונטולוגים הפוריים - במחקר ובכתיבה - היה סטיבן ג'יי גולד (Stephen Jay Gould) המנוח, חוקר יהודי אמריקאי שנפטר בשנת 2002 והוא בן ששים שנה בלבד. למרות שהיה "אבולוציוניסט" נלהב, וראה באבולוציה "אחת מן התיאוריות המרגשות ביותר והחשובות ביותר בכל תחומי המדע",¹⁵⁸ ו"אחת הקונספציות המתועדות ביותר, המרתקות ביותר והמלהיבות ביותר בתולדות המדע",¹⁵⁹ ספריו הם מקור לציטוטים מטעים המפארים את ספרות ההתנגדות לאבולוציה, וזאת בעקבות השערת "שיווי המשקל המקוטע" (Punctuated equilibrium) שהוא ועמיתו נילס אלדרידג' (Niles Eldridge) הציעו. לא רק ספריו של גולד, אלא בעצם כל ספר ומאמר המביע גישה זוה או דומה לגישתו זוכה ליחס דומה, אולם אנו נעסוק בעיקר בדבריו של גולד שהוא (יחד עם עמיתו) ממנסחי ההשערה ומדובריה הרהוטים. כעת הגיע הזמן לראות מה אומרת השערה זו וכיצד נעשה בה שימוש לרעה לניגוח האבולוציה. ונתחיל במה שקדם להשערה זו, ובראש ובראשונה בתרומתו של דרווין.

ובכן, דרווין תרם שתי תרומות משמעותיות:

1] אבולוציה

האחת היא, ביסוס עצם העובדה שהתחוללה בכלל אבולוציה. הרעיון שבעלי החיים לא נבראו כפי שהם כיום אלא השתנו במרוצת הדורות וכי אבות אבות אבותיהם לא היו זהים לצאצאי צאצאיהם - בעלי החיים של ימינו - ריחף בחלל העולם גם לפני זמנו של דרווין. מחקריו של דרווין

158 בوهן הפנדה, עמ' 10.

159 שיני תרנגולות ובהונות סוס, עמ' 271.

והממצאים שהוא העלה, ביססו את הרעיון הזה והפכו אותו מתרגיל מחשבתי שניסר בחלל המחקר **לעובדה** הנתמכת על ידי הממצאים בשטח.

2] "דרוויניזם": מנגנון הברירה הטבעית

תרומתו השנייה של דרווין היא ניסוח **השערה** המסבירה את האבולוציה. דרווין הציע שהמנגנון העיקרי שמניע את גלגלי האבולוציה וגורם לשינויים בבעלי החיים הוא הברירה הטבעית.

תזכורת: הברירה הטבעית

הברירה הטבעית מבוססת על ההנחות הללו:

- 1) בכל מין יש הבדל בין הפרטים השונים.
 - 2) חלק מההבדלים הללו הם הבדלים העוברים בתורשה לצאצאים.
 - 3) בכל דור זוכים רק חלק מהצאצאים לשרוד ולהעמיד את הדור הבא.
 - 4) "זכיה" זו אינה אקראית. בעלי החיים שמתאימים לסביבתם יותר מחבריהם הם אלו שישרדו ויתרבו יותר מחבריהם המתאימים פחות.
- באופן זה, מפעילה הסביבה "לחץ" בלתי פוסק הבורר את המתאימים לסביבה ומשאיר תמיד את המתאימים ביותר. בעלי החיים ילכו וייעשו מתאימים יותר ויותר לאתגרים שמציבה בפניהם סביבתם. מובן שאם ישתנו התנאים, תשנה הברירה הטבעית את כיוונה בהתאם.

אך מהו **קצב** השינויים: מהיר או איטי? אחיד או תזזיתי? מידת השינוי האבולוציוני מוגדרת ביחידות הנקראות (כמה מפתיע) "דרוויין". (זוהי יחידה שהוגדרה בשנת

1949 והיא מתייחסת לשינוי אבולוציוני במיליון שנה).¹⁶⁰ אם נניח שבמאה מיליון שנה התחולל שינוי של מאה "דרווינים", האם נובע מכך שבכל מיליון שנה התחולל שינוי של "דרוויין" אחד? האם קצב השינוי אחיד הוא בכל המינים ובכל הזמנים? ניקח לדוגמא חיה בדיונית בעלת צוואר באורך שני מטרים שאקרא לה ג'ירפוזאור: אם נניח שצוואר זה התארך במטר אחד במשך עשרה מיליוני שנים, האם זה אומר שבכל מיליון שנה הוא התארך בעשרה סנטימטרים?

אם הנחה זו נכונה, היינו מצפים למצוא בין שרידי המאובנים: ג'ירפוזאור בעל צוואר של מטר (מלפני 10 מיליוני שנים), ג'ירפוזאור בעל צוואר של מטר ועשרה ס"מ (מלפני 9 מיליוני שנים), ג'ירפוזאור בעל צוואר של מטרה ועשרים ס"מ (מלפני 8 מיליוני שנים) וכו'. יתר על כן, היינו מצפים למצוא ג'ירפוזאור בעל צוואר של מטר וסנטימטר אחד (מלפני 9.9 מיליוני שנה) וכו'. הרעיון מובן: אנו מחפשים הדרגה. חוליות ביניים.

ובכן, בחלק מן המקרים זה באמת מה שאנו מוצאים בשרידים המאובנים. אולם בחלק מן המקרים הממצאים אינם תומכים בתמונה שכזו. הבה נניח שהג'ירפוזאור שלנו שייך לסוג השני של בעלי החיים: אנו עשויים למצוא ג'ירפוזאור עתיק בן צוואר של מטר, ומיליון שנה אחריו למצוא כבר ג'ירפוזאור בעל צוואר של מטר וחצי, או שני מטרים (במקום צוואר בן מטר ועשרה שאותו מנבאת ההדרגה...). מה קורה כאן? האם יש קשר בין הג'ירפוזאורים הללו או שהם שני מינים שאינם קשורים זה לזה? אם הג'ירפוזאור מלפני תשעה מיליון שנים התפתח מאותו בעל חיים בעל צוואר מטר, מדוע איננו רואים הדרגותיו? מדוע איננו מוצאים חוליות ביניים של צוואר של מטר ורבע?

בעיה זו העסיקה מאד את דרווין והוא תלה אותה במיעוט השרידים המאובנים שנמצאו עד זמנו (כזכור, דרווין פעל לפני כמאה וחמשים שנה!). אולם, כיום, מאה וחמשים שנה אחרי, יש הטוענים ששפע המאובנים הרב שנמצא (אם כי החסר בהכרח) אמור היה כבר לכלול את חוליות הביניים. ומכאן, טוענים המתנגדים בקול תרועה, שהכול בלוף, ושאינן קשר בין הג'ירפוזאור בעל הצוואר באורך מטר, לבין זה שבאורך מטר וחצי או שני מטרים. (כיצד הדבר משרת את מטרותיהם עדיין לא ברור. האם משהו סבור שכל הזמן הבורא בורא יצורים חדשים, הדומים למדי ליצורים

160 הולדיין, מדידת שיעורי אבולוציה. היחידה מודדת קצב שינוי אבולוציוני של תכונות, כל תכונה נמדדת בפני עצמה והקצב שלה אינו תלוי בהכרח בקצב התכונות האחרות.

הקודמים ונפטר מהקודמים? הגיונית ועדיפה ההשערה שהבורא טבע מנגנון שמשנה את היצור הקודם לחדש בהתאם לתנאי החיים של בעל החיים, או שהוא מכון שינויים אלה בפועל ומשנה אותו מבעל צואר קצר לבעל צואר ארוך...).

דרווין, בספרו, נטה להשערה שהאבולוציה פועלת בצורה הדרגתית ואיטית. בדוגמא שהבאתי: שהטבע אינו מדלג מצואר קצר לצואר ארוך. אולם האם השערה זו **נחוצה** לתיאוריה?

סטיבן גולד מצטט מכתב שכתב תומס הנרי הקסלי לדרווין, יום לפני שספרו של דרווין הגיע למדפים. במכתבו מביע הקסלי תמיכה מכל לב בעימות הממשמש ובא, עד כדי הקרבה עילאית: "אני נכון לעלות על המוקד, אם יידרש... אני משחז את טפרי ומקורי כדי שיהיו נכונים לקרב", ובו בזמן כותב הקסלי: "העמסת על עצמך קושי לא נחוץ בכך שדבקת בלי שום הסתייגות ב־ *Natura non facit saltum*" ("הטבע אינו מבצע דילוגים").¹⁶¹

קיומה של הברירה הטבעית אינו מותנה בשום הנחות יסוד בקשר למהירויות; היא יכולה לפעול באותה מידה של הצלחה גם אילו התקדמה האבולוציה בקצב מהיר.

לאמיתו של דבר, גם דרווין לא טען שזהו דרך פעולתה ה**יחידה** של האבולוציה. וכך כותב דרווין בעצמו (בתרגום חופשי) כי "פרק הזמן בחייו של מין שבו התחולל שינוי, גם אם הוא ארך שנים רבות, היה קרוב לוודאי קצר יחסית לפרקי הזמן שבהם שמר המין על צורתו מבלי שיתחוללו בו שינויים."¹⁶²

וכאן אנו מגיעים להשערת "שיווי המשקל המקוטע" שבו פתחתי את דבריי - השערה שפותחה בידי החוקרים סטיבן ג'יי גולד וניילס אלדרידג' ואשר מסבירה מדוע דווקא המצב שנמצא בממצאים המאובנים הוא המצב הצפוי ומחויב המציאות.

עיקרה של ההשערה היא ששינויים אינם תהליך ארוך ואיטי של הצטברות כמו הצטברות של גרגרי חול לערימה. שינויים הם מעצם טיבם תהליכים מהירים ולכן הם אינם משאירים את חותמם בממצא המאובנים. ברור לכולנו שאם בין שני פרקי זמן של חמשה מיליוני שנה שבהם שמר מין מסוים על יציבות, מפריד פרק זמן של

161 פרויקט דרווין, מכתב 2544 (מצוטט אצל גולד, בוהן הפנדה, עמ' 169).

162 דרווין, מוצא המינים, עמ' 279.

חמשים אלף שנה שבו התחולל שינוי ומעבר למין חדש, כי אזי התיעוד של אותו פרק זמן יהיה לוקה בחסר באופן יחסי.

אולם, אין מדובר כאן אך ורק ב"תירוף", אלא בתפיסה מודרנית יותר של תהליך האבולוציה.

התהליכים האבולוציוניים העיקריים אינם מתרחשים באוכלוסיית המקור. גודלה של אוכלוסיית המקור גורם לכך שהשינויים המתחוללים מפעם לפעם בפרט זה או אחר יחזרו וייטמעו ויבללו חזרה באוכלוסיה, ומשום כך בדרך כלל אנו נגלה יציבות רבה מאד באוכלוסיות אלה.

שינויים אבולוציוניים "רציניים" ייטו להתחולל דווקא בקרב קבוצות קטנות שנפרדו מאוכלוסיית המקור עקב נדידה או חיץ גיאוגרפי. קבוצות אלה חשופות לאין שיעור לברירה הטבעית (משום שהמוטציות אינן נטמעות בחזרה באוכלוסיה גדולה) כמו גם להשפעת המטען הגנטי האקראי של אותם פרטים ספורים המרכיבים את הקבוצה. קבוצה זו יכולה להשתנות במידה רבה תוך פרק זמן קצר הנמדד באלפי שנים, וליצור אוכלוסיה חדשה שהיא בעצם מין חדש ואשר ישרוד כך וכך מיליוני שנה בלא שינוי. חוקר המאובנים שיגיע לאחר עשרות מיליוני שנים ימצא שרידים של האוכלוסיה המקורית ושרידים של האוכלוסיה השניה - המין החדש. הוא לא ימצא את "חוליית הביניים" ולא יראה את ההדרגה, שאורכה הוא בסך הכול כמה אלפי שנים או עשרות אלפי שנים, פרק זמן שגולד מגדיר כ"מיקרושניה גיאולוגית", בהיותו "פחות מאחוז אחד של מוטת החיים הממוצעת של מין חסר-חוליות מאובן, [שהיא] יותר מעשרה מיליוני שנים".¹⁶³ ובהתאם לכך, אין מנוס מהקביעה כי "הופעה 'פתאומית' של מינים בתיעוד המאובן ואי יכולתנו להבחין בשינויים אבולוציוניים נוספים בקרבם הם הם התחזית הנאותה של תורת האבולוציה כפי שאנו מבינים אותה".¹⁶⁴ ואביא כאן מדבריו של גולד להשלמת העניין:¹⁶⁵

תיעוד המאובנים עשיר במעברים. מעברים שהשתמרו אינם שכיחים - ואינם צריכים להיות שכיחים, על פי הבנתנו את האבולוציה (ראו בחלק הבא - אך גם אינם חסרים כליל כפי שהבריאתנים מרבים לטעון. הלסת

163 גולד, שיני תרנגולות ובהונות סוס, עמ' 278.

164 גולד, מאז היות דרווין, עמ' 64.

165 גולד, שיני תרנגולות ובהונות סוס, עמ' 277-278.

התחתונה של הזוחלים מכילה כמה עצמות, ואילו בלסת התחתונה של היונקים יש עצם אחת בלבד. עצמות הלסת של הלא יונקים מופחתות אצל אבות היונקים **צעד אחרי צעד** עד שהן הופכות לזיזים זעירים הקבועים בחלקה האחורי של הלסת. עצמימי הפטיש והסדן של אוזני היונקים הם גלגולים של אותם זיזים. כיצד יכול היה להתבצע מעבר כזה, שואלים הבריאתנים. ברור כי עצם שייכת בשלמותה ללסת או לאוזן. ובכל זאת, פליאונטולוגים גילו שתי שושלות מעבר של תראפסידים (כך נקראים הזוחלים דמויי היונקים) שהיו בעלי מפרק לסת כפול - חלקו האחד היה מורכב מהעצמות הישנות, המרובעת והמפרקית (שנהפכו במהרה לפטיש ולסדן), וחלקו האחר היה מורכב מעצם קשקשתית ומעצם שן (כמו אצל יונקים מודרניים)...

מרגיז לגלות שהבריאתנים מצטטים אותנו שוב ושוב - בין במתוכנן ובין מתוך איוולת, איני רואה את ההבדל - כמודים בכך שתיעוד המאובנים אינו כולל שום צורות מעבר. צורות מעבר חסרות, בדרך כלל, ברמת המין, אבל **מצויות בשפע** בין קבוצות גדולות. ובכל זאת, עלון שכותרתו "מדענים מהרווד מסכימים כי האבולוציה היא תרמית" מכריז: "העובדות של שיווי המשקל המקוטע שגולד ואלדרידג' [מציגים]... מאלצות את הדרוויניסטים לבלוע את התמונה שבריאן התעקש עליה..."¹⁶⁶.

בספרו, "מאז היות דארווין" (עמ' 293) מביא גולד את דעתו של אריסטו לפיו "המחלוקות הגדולות ביותר באות על פתרון ב-aurea mediocratis (שביל הזהב)". "הטבע הוא כה מופלא במורכבותו וברבגוניותו עד כדי כך שכמעט כל דבר אפשרי אכן מתרחש בפועל", מסיים גולד.

אמירה זו - כוחה יפה גם לגבי גישת "שיווי המשקל המקוטע" של גולד לעומת ההדרגתיות. במאמר שכתב ד"ר מוקדי בעקבות פטירתו של גולד, הוא כותב כך:

חוקרים רבים ניסו להביא עדויות מעולם הטבע העכשווי ומעולם המאובנים כדי לנסות להכריע בין התיאוריות. בשנת 1995 סוכם במאמר 58 עבודות שזו היתה מטרתן. מסקנתם הלא מפתיעה של הכותבים היתה

166 בריאן היה בריאתן אמריקאי מפורסם שיזם חוק האוסר את הוראת האבולוציה.

שהמצאים "תומכים באופן חד משמעי בכך שיצירת מינים היא... לעתים הדרגתית ולעתים בצורת שיווי משקל מקוטע".¹⁶⁷

ד"ר מוקדי מסיים את מאמרו בקביעה שבניגוד למה שנכתב לא אחת, אין במשנתו של גולד כל סתירה של ממש לתורתו של דרווין, אלא רק תוספת חשובה.

(2) קנה מידה, כבר אמרנו?

עד כה ראינו, בעקבות השערת "שיווי המשקל המקוטע" שלפעמים יש הדרגה ולפעמים אין, לפעמים יש חוליות ביניים ולפעמים אין. אולם עדיין שומה עלינו להבהיר נקודה אחת שפעמים רבות אינה מובנת כהלכה:

כאשר אנו מתייחסים לאותם מקרים בהם "אין הדרגה ואין חוליות ביניים" עלינו תמיד לזכור את נושא "קנה המידה" שצינתי לעיל, המאפשר לקו חוף להיות באורך 12,000 ק"מ ובאורך 3,000 ק"מ בו בזמן.

ניקח לדוגמא בעל חיים ימי כמו הלויתן שהתפתח מבעל חיים יבשתי: בממצאים המאובנים אנו מוצאים רצף של בעלי חיים אשר בקצה הקדום שלהם נמצא בעל חיים יבשתי מובהק ובקצה השני בעל חיים ימי מובהק. רצף השרידים (שנקרא להם להלן: א, ב, ג, ד...) מראה התאמה הולכת וגוברת לחיים ימיים ואיבוד גובר והולך של סממנים הקשורים לחי היבשה. כעת, יטען הטוען, איננו מוצאים "הדרגה חלקה", איננו מוצאים "חוליות ביניים" בין א' ל-ב', בין ב' ל-ג'. איננו מוצאים שלבי ביניים א1, א2, א3, א4 המוליכים בהדרגה ל-ב'. "אין חוליות ביניים!". עונה על כך גולד: השינויים בין א' ל-ב' הם שינויים מהירים ומקומיים, ומלכתחילה איננו מצפים למצוא תיעוד שלהם, אלא למצוא את הצורה היציבה א', ואחריה את הצורה היציבה ב', וכן הלאה. אולם, דבר זה אינו פוגע בעובדה **שקיימת הדרגתיות, ושיש חוליות ביניים!** הרי הרצף שמוליך מ-א' ל-ה' הוא רצף הדרגתי, וכל צעד מבוסס על הצעד שקדם לו. שרידים ב'-ד' הם הם חוליות הביניים שבין א' ל-ה', והרצף הזה בן חמשת הצעדים הוא ההדרגה.

גם גולד מודה בהדרגה, וגם גולד מודה בחוליות הביניים, אלא שאיננו מוצאים את הביניים **שבין** חוליות הביניים, את ההדרגה העדינה יותר ברמת קנה המידה

167 מוקדי, כמו שדרווין חשב.

העדין ביותר. תופעה זו מוסברת בהשערת "שיווי המשקל המקוטע" של גולד. כאשר הוא דוחה את ההדרגתיות הוא דוחה **סוג מסוים** של הדרגתיות, וכך הוא כותב: "הדרגתיות, הרעיון האומר שכל התמורות צריכות להיות **חלקות, איטיות ויציבות**... ייצגה משפט קדום תרבותי נפוץ".¹⁶⁸ זוהי ההדרגתיות שגולד דוחה. גולד רואה את תיעוד המאובנים "כטיפוס בגרם מדרגות יותר מאשר גלגול במעלה מדרון משופע",¹⁶⁹ אך גם טיפוס בגרם מדרגות הוא טיפוס הדרגתי עם חוליות ביניים. כאשר אנו מסתכלים על מעלה הגרם לעומת תחתית הגרם אנו רואים את ההדרגתיות והרצף וחוליות הביניים, ורק בין מדרגה למדרגה חומקים מאיתנו כביכול שלבי הביניים. כך גם במקרה של האבולוציה בשל אופיו המהיר של השינוי. מקרה מעניין העשוי להמחיש את האמור כאן קשור אף הוא לאחת מתגליותיו של גולד:

באחד ממחקריו, אסף גולד באיי בהאמה קונכיות מהמין הנכחד 'סריון אקסלסיור' ומהמין המודרני 'סריון רוביקונדום'. בעקבות תיארוך (המבוסס על שינויים בחומצות האמינו שבקונכיה) ניתן היה להעריך את גילה של כל קונכיה בפני עצמה, והוא העלה שהמעבר ממין אחד למשנהו ארך בין 10,000 ל-20,000 שנה. מעבר זה התרחש באיטיות ובהדרגתיות.¹⁷⁰ גולד מתאר כיצד כתב של כתב העת *Science* חשב שיש כאן "סיפור חדשותי", מאחר והתגלית הזאת של גולד סותרת כביכול את השערת ה"שיווי המשקל המקוטע" שלו, ועל כך השיב לו גולד, שלמרות שיש מספר רב של יוצאים מן הכלל המשקפים דווקא הדרגה איטית (וכפי שצינתי לעיל), הרי שהמעבר האיטי וההדרגתי הזה שהוא תיאר מהווה דווקא אישור להשערת שיווי המשקל המקוטע! וזאת, משום שכל השינוי המשמעותי הזה, המעבר ממין למין תוך עשרים אלף שנה, נחשף על מישור בוצי אחד, והוא משקף רובד אחד, רגע גיאולוגי יחיד ומהיר.¹⁷¹ לו היינו מגיעים לאתר זה כעבור מיליוני שנים, רוב הסיכויים הם שהיינו מוצאים ברבדים הקדומים יותר את השרידים של ה'סריון אקסלסיור', וברבדים המאוחרים יותר - את השרידים של ה'סריון רוביקונדום', מבלי לאתר אותו רגע גורלי, הרף עין גיאולוגי, שבו השתנה מין אחד למשנהו.

168 בהן הפנדה, עמ' 213.

169 שיני תרנגולות ובהונות סוס, עמ' 278.

170 אבני מרמה ממרקש, עמ' 413-414.

171 אבני מרמה ממרקש, עמ' 421.

מה אנו למדים מכאן? שגם כאשר אנו טוענים שאין הדרגתיות ואין חוליות ביניים הכוונה היא לקנה המידה הקטנטן. במקרים רבים איננו מוצאים את ההדרגתיות העדינה והמעבר הרציף והעדין וחוליות הביניים העדינות שבין מין אחד למשנהו ומהסיבה שתוארה לעיל. אך ברמה הגבוהה יותר, בקנה מידה גבוה יותר, לא ניתן להכחיש את ההדרגה ומצבי הביניים.

בעלי החוליות אינם מופיעים סתם כך משום מקום. היונקים אינם מופיעים כך לפתע משום מקום. היונקים הימיים אינם מופיעים כך משום מקום. קיימת הדרגה, צורות מעבר - "חוליות ביניים" - שאינן חסירות. וזאת, גם לדעת גולד ועמיתיו, כפי שראינו.

(3) העדר "חוליות ביניים" בין המינים: טעות מתודולוגית!

כפי שציטטתי לעיל, גולד בעצמו כותב כי צורות מעבר מצויות בשפע בין קבוצות גדולות, אלא שהן חסירות בדרך כלל ברמת המין, לדבריו. ועל אמירה זו (ודומותיה, בקרב עמיתיו של גולד) עטו הבריאתנים כמוצאי שלל רב, וכפי שראינו, לשוא.

החוקר ריצ'רד דוקינס, בספרו "הטיפוס על ההר הבלתי סביר" כותב כי גם קביעה זו נובעת בעצם מטעות אנושית, ואצטט את דבריו הברורים:¹⁷²

יש סיבה בנאלית מאין כמוה להיעדרן של צורות מעבר, בדרך כלל, ברמת המין. אני יכול להסביר זאת בצורה הטובה ביותר בעזרת אנלוגיה: ילדים הופכים בהדרגה וברציפות למבוגרים, אבל לצרכים משפטיים הם נעשים בגירים ביום הולדת מוגדר, בדרך כלל יום ההולדת ה-18. לכן יש אפשרות לומר, "בבריטניה גרים 55 מיליון בני אדם, אבל אף לא אחד מהם נמצא במצב ביניים, בין מי שאינו בעל זכות בחירה לבין בעל זכות בחירה." כשם שקטין מקבל זכות בחירה על פי דין בצלצול חצות ביום הולדתו השמונה עשר, כן מתעקשים תמיד הזואולוגים לשייך כל מוצג נתון למין זה או אחר, גם אם המוצג מצוי בפועל במצב ביניים בצורתו הממשית (כפי שהדברים אמורים בדגימות רבות), המוסכמות המשפטניות של הזואולוגים עדיין מאלצות אותם לדלג לכיוון זה או לכיוון האחר בעת

172 הטיפוס על ההר הבלתי סביר, עמ' 123-125.

שהם נותנים לה שם. מכאן שטענות הבריאתנים בדבר אי הימצאותן של צורות ביניים חייבות להיות נכונות מכוח ההגדרה, ברמת המין, אבל אין לכך שום השלכות על העולם הממשי - ההשלכות היחידות מתייחסות למוסכמות מתן השמות של הזואולוגים.

איננו צריכים להרחיק מבט מעבר לאבות הקדמונים שלנו. המעבר מאוסטרלופתיקוס להומו הביליס, ממנו להומו ארקטוס, ממנו להומו ספיאנס ארכאי, וממנו להומו ספיאנס מודרני, הוא חלק והדרגתי לחלוטין, עד כדי כך שמומחי המאובנים מתכתשים בלא הרף על מיונם הראוי של המאובנים שבידיהם. ראו אפוא את הדברים הבאים הלוקחים מתוך ספר של תעמולה נגד האבולוציה: "הממצאים יוחסו לאחד משניים: אוסטרלופתיקוס, ומכאן שהם שייכים לקופי אדם, או הומו, ומכאן שהם אנושיים. חרף יותר ממאה שנים של חפירות ושל ויכוחים נמרצים, תיבת הזכוכית השמורה לאב הקדמון כביכול של המין האנושי עומדת בריקנותה. החוליה החסרה עודנה חסרה." לא נותר אלא לתהות, מה צריך מאובן לעשות כדי שיסווגו אותו כצורת ביניים. בעצם, האמירה המצוטטת אינה אומרת דבר וחצי דבר על העולם הממשי. היא אומרת משהו (סתם למדי) על מוסכמות מתן השמות. שום "חוליה חסירה", ואפילו היא מצויה **בדיוק** בשלב ביניים, לא היתה יכולה להימלט מהכוח העליון הטרמינולוגי, הדוחק אותה לצד זה או לצד האחר של קו ההפרדה. הדרך הנאותה לחפש צורות ביניים היא לשכוח את שמותיהם של המאובנים ולהתבונן תחת זאת בצורות ובממדים הממשיים שלהם. כאשר עושים זאת, מוצאים כי **רשומות המאובנים משופעות במעברים הדרגתיים יפים להפליא**, אם כי יש בהן גם פרצות - חלקן גדולות מאוד, ומקובל לפי כל הדעות, לייחסן לכך שחיות מסוימות פשוט לא הצליחו להתאבן. במובן מסוים, הליכי מתן השמות שלנו מתאימים לעידן שלפני האבולוציה, שבו היו קווי החלוקה חזות הכל, ולא ציפינו כלל למצוא צורות ביניים.

ואסיים בדבריו של גולד:¹⁷³

173 גולד, שיני תרנגולות ובהונות סוס, עמ' 274.

העשור שלנו ניכר בוויכוח מחודש בנושא [הברירה הטבעית], וגם אם שום ביולוג אינו מטיל ספק בחשיבותה של הברירה הטבעית, הנה רבים מטילים ספק בנוכחותה **בכול**. במיוחד, אבולוציוניסטים רבים טוענים כי שיעורים נכבדים של שינויים גנטיים עשויים שלא להיות כפופים לברירה הטבעית ולהתפשט באוכלוסיות באופן אקראי. אחרים קוראים תיגר על הקשר שדרוין יצר בין הברירה הטבעית ובין השינוי ההדרגתי והבלתי מוחשי שמתרחש לאורך כל שלבי הביניים; לשיטתם, רוב המאורעות האבולוציוניים היו עשויים להתרחש במהירות גדולה בהרבה מזו שחזה דרוין.

... ובכל זאת, בתוך כל המהומה, **לא התפתה שום ביולוג להטיל ספק בעובדה שהאבולוציה אכן מתרחשת**. אנו מתווכחים **כיצד** היא התרחשה.. כולנו מנסים להסביר אותו דבר עצמו: המוצא של עץ האבולוציה הקושר את כל הגופים החיים בקשרי גניאלוגיה. **הבריאתנים מסלפים את הוויכוח** ומעמידים אותו באור מגוחך על ידי התעלמות, נוחה להם, מההכרה המשותפת הנמצאת בבסיסו, ובכך שהם מציעים לנו, בלי יסוד, להטיל ספק בתופעה שאנו נאבקים להבינה.

ואפנה כעת להדגמה של מאמר תעמולה, אחד מני רבים, על מנת לעודד קריאה ביקורתית של מאמרים כאלה.

4. פניני התעמולה

במהלך כתיבת ספר זה, נתקלתי במאמר באתר "הידברות" מאת י. ענבל ושמו "בעיית הממצאים - העדר חוליות הביניים". המאמר שעיקרו תרגום חומר מאתרי ההתנגדות לאבולוציה שכבר דיברנו עליהם, מביא שלל מקורות מדעיים המשמיטים לכאורה את הקרקע מתחת לאבולוציה לקול תרועתם הרמה של מתנגדיה.

המאמר כולל את מיטב התרגילים והמקורות פרי בתי המדרש המוסלמים והנוצרים הקיצוניים, כולל ציטוטים לא מדויקים או חלקיים, מסקנות חפוזות שאינן מבוססות על המקורות שהוא מביא והחושפות העדר הבנה או הטעיה מכוונת,

דעות של אנשים שאינם ברי סמכא, וציטוטים לרוב מאבולוציוניסטים בכירים שכותב המאמר מצפה מאיתנו להאמין שהם אבולוציוניסטים התוקפים את האבולוציה. (בדברים שאביא להלן עיקר תלונתי אינו על י. ענבל, שפשוט העתיק דברים מקודמיו, אלא על מקורותיו).

ברצוני להדגים כמה נקודות ממאמרו, להמחשה.

1) עטלפים, סוסים, עכברים, לוייתנים, מופיעים יחדיו מושלמים.

וכך כותב י"ע בראשית דבריו:

במדגם מייצג של מאות אלפי מאובנים מכל רחבי כדור"א, נראים בעליל שוב ושוב דילוגים. הופעת מין מושלם, התקיימותו לאורך תקופות שלמות ללא שינוי, ובתקופה אחרת שוב הופעת מין או סדרה בשלמות, והתקיימות לאורך תקופות שלמות ללא שינוי. הרציפות והעקיבות נעלמו ולא הותירו עקבות.

נשמע מרשים! נניח שהדברים מדויקים. למה מתכוון המחבר? לאזניים לא מיומנות זה נשמע כך: אנו מוצאים שרידים של טרילוביט,¹⁷⁴ נניח, ובתקופה שלאחרי כן אנו מוצאים שרידים של דינוזאור, ובתקופה שאחרי כן, אנו מוצאים שרידים של סוס, או של לוייתן, או של אריה. אין רציפות, אין חוליות ביניים, אין התפתחות.

לו כך היו פני הדברים, כי אזי שומה היה עלינו להודות שאין התפתחות בטבע, שלא זו הדרך בה בחר הבורא לברוא את עולמו, אלא הוא ברא טרילוביט, חיסל אותו, ברא דינוזאור, חיסל אותו, ואח"כ ברא את הסוס והאריה.

ואכן, בהמשך דבריו כותב י"ע את הקטע הבא:

היונקים מופיעים בתצוגה מלאה, ולא בצורה הדרגתית. עטלפים, סוסים, עכברים, לוייתנים, מופיעים יחדיו מושלמים.

174 אין זה נאה לחבר ספר העוסק באבולוציה מבלי להזכיר בעל חיים מיוחד זה. הטרילוביטים פרוקיהרגליים היו בין בעלי החיים המשגשגים ביותר בעולמנו. 17,000 מינים שונים של טרילוביטים מוכרים לנו מממצא המאובנים, והם שגשגו בעולמנו (או: בעולמם) במשך כ-270 מיליוני שנה! (הם נכחדו מן העולם בהכחדה הגדולה שאירעה לפני כ-250 מיליוני שנה, הכחדת הפרם-טריאס).

וממשיך ותומך את דבריו בדברים אלה:

הזואולוג, ר. אריק לומבארד (Lombard) הדגיש נקודה זו במאמר שהתפרסם בכתב־העת המוביל 'אבולוציה': "אלו שמחפשים אחר אינפורמציה ספציפית מועילה בבניית תולדות הגזע של קטגוריות מיון היונקים, ינחלו אכזבה".

(קורא נכבד, אנא אל תשאל אותי מה הקשר בין דבריו של לומבארד לבין הקביעה המוזרה של י"ע...).

נמצאנו למדים שאליבא ד"ע, בעלי החיים הופיעו על בימת ההיסטוריה מושלמים. ולא נשאר לנו אלא לתהות האם המחבר באמת לא מבין בכלל את המקורות שהוא מצטט או שהוא מבקש להטעותנו.

הדגמתי לעיל בספר זה את רצף בעלי החיים הסוסיים שנשמרו בממצא המאובן, ואת רצף בעלי החיים שהחלו את דרכם כבעל חיים יבשתי המבוסס במים עד שהגיעו למצבו של הלווייתן בן ימינו. לא תמצא את הסוס המודרני בשכבות העתיקות ולא תמצא את הלווייתן המודרני שם, גם לא את יתר בעלי החיים שי"ע מונה. כן תמצא בעלי חיים דומים, ודומים לדומים, וככל שתרחיק לעבר הרחוק תמצא עוד שלב ועוד שלב.

כפי שגולד מציין בעצמו, כשתחזור עוד יותר אחורה, תמצא גם את שלבי הביניים שבין יונק לזוחל, בין זוחל לדוחיים, בין דוחיים לדג. אין רצף? אין הדרגה? בעלי החיים מופיעים בשלמותם???

ולמרות זאת, הקטע הראשון שהבאתי מלשונו של י"ע אינו כוזב לחלוטין כשלעצמו, אלא שהוא מטעה לחלוטין ומתפרש בהמשך דבריו של י"ע בצורה שגויה ומטעה. בקטע הראשון כשלעצמו יש מן האמת, בחלק מן המקרים וברמה העדינה של קנה המידה הקטן כפי שצינתי לעיל בדבריי על שיווי המשקל המקוטע. הפרק על "שיווי המשקל המקוטע" ושבעקבותיו הוא התשובה וההסבר לאמירה זו. הקטע השני, עם זאת, הטוען שבעלי החיים הופיעו בצורתם המושלמת, הוא שקרי לחלוטין.

ברצוני להביא עוד ציטוט "מרשים" שמביא י"ע בהמשך דבריו, פרי עטו של החוקר סטנלי:

תיעוד המאובנים המוכר אינו תואם, ומעולם לא תאם, לרעיון ההדרגתיות... רוב הפליאונטולוגים חשו שהראיות שנחשפו פשוט סותרות את הדגש של דארווין על שינויים איטיים, דקים ומצטברים, שמובילים לתמורות של המינים..."

הציטוט נשמע מרשים מאד. הדיוט שקורא אותו עשוי לסבור שהראיות סותרות את דרווין. אם קראת את מה שכתבתי לעיל בפרק על שיווי המשקל המקוטע אתה יודע כבר שהחוקר האבולוציוניסט סטנלי בסך הכול מבטא את ההשערה הזו. נכון, השערת שיווי המשקל המקוטע מתנגדת ל"דגש של דארווין על שינויים איטיים, דקים ומצטברים" (מתוך הציטוט הנ"ל). היא אינה מתנגדת לתיאוריה של דרווין כשלעצמה, והיא אינה מתנגדת לעובדה שיש שינויים אבולוציוניים כשלעצמם.

2) מרק צרנסקי?

י"ע מצטט במאמרו עוד מקורות שנועדו במקורם לתמוך בהשערת שיווי המשקל המקוטע ושבדבריהם הם כדברי גולד עצמו ולכן כל "ראיה" מדבריהם הוסברה כבר בפרק על שיווי המשקל המקוטע. עם זאת, מעניין לציין עוד נקודה על חלק ממקורותיו של י"ע, והוא: השימוש במקורות נידחים.

מרק צרנסקי זכה להיות אחד החוקרים המצוטטים במאמרים המתנגדים לאבולוציה. מעניין לציין כי חוקר זה, שי"ע מצטט ושאיטל בחר בו כמייצג את דעת הפליאונטולוגים, אינו ידוע ומקור הציטוט המכובד הוא עיתון קנדי נידח.¹⁷⁵ כלום י"ע ואיטל סומכים על כתב של עיתון לא ידוע המצטט חוקר בלתי ידוע? אתמהה. האם גם לגבי פסקי הלכה הם סומכים על מקורות כאלה? כך או כך, אין בדברים המצוטטים על ידי המתנגדים יותר מאשר בדבריו של גולד עצמו.

יצוין שצרנסקי עצמו כותב בהמשך המאמר כי גישת הבריאתנים, גם אם היא נובעת ממניעים נעלים, מקעקעת את הידע המדעי ומצמצמת אותו לדברים שניתנים לתפיסה באמצעות חמשת החושים (בתגבור אביזרים טכנולוגיים). גישה המבקשת לבטל את מדע הפליאונטולוגיה בטענה שאיננו יכולים לצפות באופן ישיר בטענותיו של מדע זה, מבטלת בעצם גם תחומי ידע אחרים כמו הפיסיקה

175 צרנסקי, מסע הצלב של הבריאתנים.

הגרעינית לדוגמא. יתר על כן, היא מבטלת גם את לימודי ההיסטוריה שהרי אירועי העבר אינם ניתנים לצפייה והרשומות ההיסטוריות אינן אלא מלים, כמו התנ"ך בעצם, מסיים צרנסקי.

(3) המאובנים אינם יכולים לשמש כהוכחה לאבולוציה בניגוד לבריאה

כך מצטט י"ע את מרק רידלי.

מרשים! אך הבה נתבונן בדבריו המקוריים של מרק רידלי (בתרגום חופשי):¹⁷⁶

בכל מקרה, אף אבולוציוניסט אמיתי, בין אם תומך בהדרגה ובין אם תומך בשיווי משקל מקוטע, אינו משתמש בממצאים המאובנים כהוכחה לתיאוריית האבולוציה בניגוד לבריאה מיוחדת. זה לא אומר שתיאוריית האבולוציה אינה מוכחת.

(אופס... האם י"ע השמיט בטעות את סוף דבריו של רידלי?).

אגב, במרחק עמוד אחד מהקטע האמור כותב רידלי: "מישהו תופס את כל העניין בצורה שגויה, וזה לא דרווין; אלו הם הבריאתנים והתקשורת".

כבר כתבתי בספר עצמו שהמאובנים עצמם **אינם נחוצים כלל** לצורך הוכחת האבולוציה ולא עליהם מושתתות הראיות לאבולוציה. המאובנים הם בונים.

(4) העץ הפילוגנטי (א)

בהתקפה על עץ היוחסין של ממלכת החי כותב י"ע:

העץ האבולוציוני נבנה בזמנו על סמך השוואות מורפולוגיות ומבניות, אך הבדיקות הגנטיות המתקדמות של המינים הקדומים שאנו מזהים בקמבריון יוצרות השוואות **המשמיטות את הקרקע** מתחת להיררכיה של העץ המשוער.

לא פחות ולא יותר... י"ע מצטט מאמר לפיו "ניתוח רצף דנ"א מכתוב פירוש חדש לעצים פילוגנטיים המתארים יחסי גומלין אבולוציוניים בין המינים". בהמשך הוא

176 רידלי, מי מטיל ספק באבולוציה.

כותב כי "כמה קטגוריות מיון שנחשבו ל'צורות ביניים' בין קבוצות, כגון מערכת הספוגים, מערכת הצורבים ומערכת המסרקנים, אינן יכולות להיחשב עוד ככאלו עקב ממצאים גנטיים חדשים".

חוששני ששמחתו של י"ע היתה מוקדמת, ושאוּלִי העץ שלו חש שלא בנחת בקרקעו השמוטה.

ספוגים, צורבים, ומסרקנים... ממלכת החי היא רבגונית ועשירה באמת ובתמים, והיא התנסתה בהרבה מאד דרכים לביטוי החיים, מהם דרכים ששרדו עד לימינו, ומהם שלא שרדו. בין הדרכים ששרדו אנו מכירים גם את המערכות הנ"ל: הספוגים - שהם יותר "מושבה רב תאית" מאשר יצור חי בודד; הצורבים - הכוללים בעלי חיים כגון האלמוגים, שושנות הים והמדוזות; והמסרקנים - שהם בעלי חיים המזכירים בצורתם את המדוזות אך מורכבים מהן בהרבה. בעבר נכללו הצורבים והמסרקנים באותה הקבוצה (נבוביים), ובעקבות המידע שהצטבר הופרדו אלה מאלה.

נקל להבין שבעלי חיים ייחודיים אלה, היוו אתגר של ממש ליוצרי העצים הפילוגנטיים בעבר. ככלות הכול, אין הם ניחונים באותה המורכבות שיש לבעלי החיים ה"רגילים". הועלו השערות שונות לגבי היחסים שבין בעלי החיים הללו, והשערות אלה שונו ועודכנו בהתאם להצטברות המידע הגנטי המודרני.

האם שינויים אלה "שומטים את הקרקע" מהאילנות הפילוגנטיים?

יאמר לי מי מן הקוראים האם הוא באמת ובתמים סבור שבעקבות ההערכות מחדש שנעשו לגבי היחס בין המדוזות למסרקנים התערערה התמונה המוכרת של האילן הפילוגנטי הקובע כי:

- האריה והנמר נמצאים על אותו ענף, לעומת הזאב והשועל שנמצאים על ענף אחר.
- האריה הזאב והכבש נמצאים על אותו ענף ביחס ללטאה, או ביחס לציפור או לדג.
- האריה והלטאה נמצאים על אותו ענף ביחס לדג, ושלושתם על אותו ענף ביחס למדוזה?

האם יש קשר בין התלבטויות הקשורות לזיהוי המסרקן ולבין קביעות אמיתיות ומבוססות אלה?

האומנם הקרקע שתחת העץ הפילוגנטי נשמטה?

כולנו מבינים שהאילן הזה, שנקבע בעבר על סמך השוואות מורפולוגיות ואנטומיות וכיום קיבל ביסוס בעקבות ההשוואות הגנטיות, אינו מתכוון להתערער או ללכת מפה.

5) העץ הפילוגנטי (ב)

באותו עניין, י"ע מביא ציטוט "מפחיד" מכתביו של ד"ר גולד:

העובדה שצורות הביניים **לא נמצאו** בין ממצאי המאובנים נשמרת כסוד מקצועי בקרב חוקרי המאובנים.. **אין כל ראיה** במאובנים לציורי העצים האבולוציוניים המעטרים את כל ספרי הלימוד שלנו... הם לא נצפו מעולם בשכבות הסלע.

פשוט נורא, שוב המדענים הרשעים מרמים אותנו, בוודאי מתוך מטרה בלעדית לעקור את אמונתנו הטהורה. אולם ד"ר גולד, כפי שכבר ראינו, הוא אבולוציוניסט מושבע. איך דברים אלה שפרסם בספרו מתיישבים עם משנתו? האם הוא צבוע וטיפש גם יחד (כתוקפיו)?

הציטוט לקוח מהספר "בוהן הפנדה". הבה נראה כיצד מופיע קטע זה במהדורה העברית (המקור באנגלית בהערת השוליים):¹⁷⁷

הנדירות הקיצונית של צורות המעבר ברשומות המאובנים מוסיפה לעמוד בעינה כסודה המקצועי של הפליאונטולוגיה. האילנות האבולוציוניים המעטרים את ספרי הלימוד שלנו **מכילים נתונים בדוקים רק בקצות הענפים ובמפרקיהם**; וכל השאר הוא בעצם היסק, **לעתים היסק נבון**, אבל היסק שאינו מעוגן בראיות של מאובנים.

177 בוהן הפנדה, עמ' 171. המקור באנגלית (עמ' 181): The extreme rarity of transitional forms in the fossil record persists as the trade secret of paleontology. The evolutionary trees that adorn our textbooks have data only at the tips and nodes of their branches; the rest is inference, however reasonable, not the evidence of fossils.

ההדגשות (בשני הקטעים) שלי. נשמע קצת שונה. כזכור גולד טוען שההדרגה של האבולוציה אינה מתועדת בצורה חלקה מילימטר אחר מילימטר, אלא בצורה "גסה" יותר כמו טיפוס במדרגות. ולכן האילנות האבולוציוניים **מכילים נתונים בדוקים** בקצוות **ובמפרקים**, המדרגות נכונות ומבוססות, אבל **בין המדרגות** - השינויים העדינים שבין מדרגה למדרגה - הללו אינם מעוגנים במאובנים, אלא במקרים נדירים, וכפי שבעצמו כתב בציטוט שהבאתי לעיל:¹⁷⁸ "מעברים שהשתמרו אינם שכיחים - ואינם צריכים להיות שכיחים, על פי הבנתנו את האבולוציה, אך גם אינם חסרים כליל כפי שהבריאתנים מרבים לטעון."

קצת שונה מ"אין כל ראיה... הם לא נצפו מעולם" ששם י"ע בפי גולד.

6) מאובנים חיים ועוד

מסיבה לא ברורה, הגורמת לחשד כבד של אייבהנה תהומית, שמח י"ע לגלות את המאובנים החיים.

מה הם מאובנים חיים? אלו בעלי חיים ששגשגו בעבר וכמעט ונכחדו מן העולם בימינו. התוצאה של מצב זה היא שלעתים קל יותר לאתר מאובן של בעל חיים שכזה מאשר לאתר אותם שרידים שחיים עד היום הזה. מסקנה הגיונית ממצב זה: לעתים נמצא את המאובנים של בעל חיים זה שנים ארוכות לפני שנדע שקיימים עדיין פריטים חיים ממשפחה זו. בעיקר אמורים הדברים בשוכני ים אשר הידע אודותיהם הוא מוגבל עקב הקשיים הטכניים להגיע למקום מושבם באוקיינוס בעוד אשר מאובניהם נמצאים בסלעי משקע שמסביבנו.

עובדה זו משמחת משום מה את י"ע, הכותב לדוגמא: "הדג קולנטיס נחשב כבן 70 מיליון שנה, כיום יכול אתה לעשות ממנו מטעמים ולאכלו להנאתך". שומו שמים! והוא מביא עוד כמה דוגמות לבעלי חיים שכאלה, בעיקר שוכני ים.

אם יורשה לי לנחש ולפרש את מקור שמחתו, ההשערה שלי היא שזו כוונתו:

אנו חשבנו שבעל חיים פלוני הוא בן מאה מיליון שנה ושהוא נכחד באותה העת, ואילו כעת אנו מגלים שהוא בעל חיים בן זמננו. וואו! איזו טעות ותבוסה לחוקרים!

178 "שיני תרנגולות ובהונות סוס", עמ' 277-278.

ובכן אם זו הכוונה אזי היא נובעת מאי הבנה תהומית של האבולוציה. האבולוציה אינה טוענת שכל בעל חיים חייב להשתנות, כל הזמן, ובקצב אחיד. על מנת שבעל חיים ישתנה, צריכים להתמלא כמה תנאים חשובים: א. שתהיה שונות טבעית בין הפרטים - המינים השונים של בעלי החיים נבדלים אלה מאלה גם בקצב המוטציות, ובמספר האפשרויות המעשיות שמוטציות אלה פותחות בפניהם; ב. שתנאי המחיה שלהם "יעדיפו" כיווני שינוי מסוימים - אם בעל חיים הגיע למצב שבו הוא מתאים בצורה "מושלמת" לגומחה מסוימת וגומחה זו לא השתנתה במשך מיליארד שנים ותנאי מחייתו לא השתנו, אנו לא נצפה לשינוי; ג. שתהיה הפרדה ונתק בין קבוצה מסוימת ובין האוכלוסיה הראשית של אותו המין - אם לא תהיה הפרדה, רוב (או כל) השינויים יחזרו ויבללו במאגר הגנים הכללי של המין. אין לאבולוציה בעיה עם אותם בעלי חיים בודדים שלא השתנו, או כמעט לא השתנו, במהלך מיליוני שנים.

ההערכה שמאובן זה או אחר הוא בן כך וכך שנים אינה תלויה בשאלה אם בן משפחתו עדיין חי בימינו או לא אלא בתיארוך הרדיומטרי הקובע את גילו. כך שבהחלט אנו עשויים למצוא שרידים בני מיליוני שנה אשר בעל חיים כדוגמתם חי בימינו אלה.

עוד נקודה שראויה לביאור היא: איך ייתכן שצורת מעבר עדיין קיימת.

"ע קובל על כך שדג מסוים, לטימריה שמו, "שהוצג קודם לכן כצורת מעבר שנכחדה לפני שבעים מיליון שנה - נלכד". הוא מצטט דבריו של פליאונטולוג שהגיב על תפיסת אותו בעל חיים: "אם הייתי פוגש דינוזאור ברחוב, לא הייתי נדהם יותר".

"ע אינו מבין (או שמבקש שאנו לא נבין) שדבריו אלה אינם מהווים כל בעיה.

הבה נניח שהיינו פוגשים באמת דינוזאור חי. הדינוזאורים נחשבים כבעלי חיים שנכחדו לפני כ־65 מיליוני שנה. לפי דעה מקובלת במחקר (אם כי לא בלעדית), סוג מסוים של דינוזאורים עדיין קיים, שכן הוא התפתח לעופות שאנו רואים סביבנו. זאת אומרת, חלק מן הדינוזאורים הם בעלי חיים שנכחדו, וחלק יכולים להחשב כ"צורת מעבר" בין זוחלים לבין עופות.

נניח שאני פוגש דינוזאור ברחוב, ומתברר שסוג מסוים שרד עד לימינו ולא ידענו על כך. מה בכך?

האם זה אומר שהשרידים המאובנים של הדינוזאורים, שתוארכו בשיטות רדיומטריות בדוקות, אינם עתיקים? (לפי אותו הגיון ניתן לטעון שהכותל המערבי נבנה בימינו, שהרי גם בימינו בונים מבנים).

אך, יטען הטוען, לו פגשנו דינוזאור שממנו התפתחו העופות, האם זה לא היה סותר את טענתנו וטופח לנו על פנינו? הרי אם העופות התפתחו ממנו, כיצד אותו דינוזאור עדיין קיים?

שוב, טעות!

למה הדבר דומה? הבה ניקח דוגמא מתולדותינו: אנו היהודים הננו בני אברהם בן תרח. כידוע: תרח הוליד את אברהם, אברהם הוליד את יצחק, יצחק הוליד את יעקב, ובניו הפכו לבני ישראל, ל"יהודים". היה ופגשנו כיום אדם שגם הוא מצאצאי של תרח (דרך נכדו לוט, לדוגמא) או מצאצאי של עשו בן יצחק, האם היתה מפתיעה אותנו העובדה שהוא אינו יהודי?

ברור שלא! חלק מצאצאי של תרח "התפתחו" ל"יהודים", וחלק המשיכו ב"דרך אבותם" ובנוכריותם.

באותו מובן אנו אומרים שהדינוזאורים התפתחו מהזוחלים, ובאותו זמן אנו אומרים גם שהיונקים התפתחו מהזוחלים, סתירה? ובכלל, גם בימינו יש זוחלים! הכיצד? הרי הם התפתחו לדינוזאורים או ליונקים?

והתשובה היא כמובן שחלק מסוים מן הזוחלים עבר שינויים והשתנה לדינוזאורים, בעוד שחלק אחר של הזוחלים עבר שינויים אחרים והתפתח ליונקים, ובאותה העת, חלק אחר של הזוחלים לא עבר שינויים בכיוונים אלה ונשאר עם אותם המאפיינים הקדומים, כלומר הוא נשאר עם ארבע רגליים נטועות בעולם הזוחלים.

הלטימריה נחשב כצורת ביניים, צורת מעבר, משום שהחוקרים סבורים שמיצורים הדומים וקרובים ללטימריה התפתחו מאוחר יותר צורות מתקדמות יותר שקיימות היום. אין זה אומר שכל הלטימריה (או הדומים לה) השתנו, ואין זה אוסר על חלק מן הלטימריה לשמור על צורתם זו, כשם שלא כל הזוחלים הפכו לדינוזאורים וליונקים, וכשם שלא כל צאצאי תרח הפכו ליהודים.

7) על טעויות והטעויות

בסיפור של הלטימריה, כותב י"ע שבעבר הסיקו מסקנות שונות על סמך מבנה הלטימריה, ומשנמצאה הלטימריה החיה בשנת 1938 התברר שחלק מההשערות היו שגויות.

בהמשך דבריו הוא מביא את המתיחה המפורסמת "איש פילטדאון"¹⁷⁹ משנת 1912, ומציין "פזיזות בלתי מקצועית נוספת" משנת 1922. את דבריו הוא חותם באירוע שאירע בשנת 1904 ובו נכלא אדם פיגמי בתור "אב קדמוני של האדם".

הקורא בוודאי שם לב למכנה משותף של אירועים אלה: 1904, 1912, 1922, 1938. מה הצד השווה? האם הקורא הנכבד משתמש ביומיום שלו בטכנולוגיות שפותחו בשנים אלה, בתרופות משנים אלה, בטיפולים רפואיים ובבדיקות רפואיות משנים אלה? כמה התקדם המחקר במהלך שבעים עד מאה השנים שחלפו מאז האירועים שי"ע מונה? כמה התקדמה הטכנולוגיה המאפשרת בדיקה מדוקדקת באמצעים שלא חלמו עליהם באותם זמנים, וכמה גדל הידע שיש לנו בכל נושא הקשור בצורה ישירה או עקיפה לנושאים אלה? אזכיר שבאותן שנים אפילו לא ידעו שהמידע התורשתי נמצא במולקולת הדנ"א!

י"ע מחפש את הטעויות, את המעידות. זה כל מה שהוא מצא, והרי הן משמשות כיוצא מן הכלל המלמד על הכלל. מעידות שאירעו לפני "עידן ועידנים" במונחים של התקדמות הידע, וששימשו כלקח לדורות של חוקרים.

באשר ל"איש פילטדאון" - אותו מעשה תרמית שהוכן בכוונת מכוון, הדבר מזכיר את "הירושלמי על סדר קדשים", שפרסם בשנת תרס"ז הזיין שלמה פרידלנדר (שחיבר גם פירוש בשם "חשק שלמה"). רבנים מפורסמים (ביניהם ה"חפץ חיים", המלבי"ם, המהרש"ם מברעזאן ועוד) "נפלו בפח" והעניקו לזיין המלצות חמות. איני סבור שיש מי שמסיק מכאן שהכול בלוף חלילה ושגדולי ישראל אינם יודעים להבדיל בין גמרא לבין זיוף או שבגלל שהם לא זיהו את התרמית, יתר דבריהם אינם מהימנים חלילה.

179 איש פילטדאון (Piltown man) הוא כינוי של אחד ממעשי הזיוף הידועים בתחום חקר המאובנים. הזיין הרכיב גולגולת של אדם מודרני עם לסת של אורנג'וטן, והוא השחזי והתאים את הלסת וטיפל בה באופן שתיראה כחלק מהגולגולת. האחראי לזיוף מעולם לא נמצא, אולם בין רשימת החשודים ניתן למצוא גם את ארתור קונן דויל, יוצרו המפורסם של שרלוק הולמס. חשוב לציין שבסופו של דבר המתיחה התגלתה, והיא אכן לימדה את חוקרי המאובנים לקח חשוב.

8) זוחל מלפני עידן הזוחלים

"נמצא דוגמה לזוחל מושלם בשכבה שנחשבה כקודמת לזוחלים ב־40 מיליון שנה ואמורה לאכלס את אבותיהם של הזוחלים", מצטט י"ע ידיעה שהתפרסמה בשנת 1988.

ידיעה זו, שלא הצלחתי לאתרה, אינה מעוררת קושי רב אם בכלל. לא התגלה זוחל מתקופה שקדמה לאבותיהם של הזוחלים. בסך הכול התגלה (בהנחה שהידיעה נכונה) שהזוחלים התפתחו מוקדם ממה ששיערו עד היום. ומובן שההערכות הזמן מתבססות על הממצאים ומתעדכנות בהתאם לממצאים החדשים. כך או כך ידיעה זו חשודה למדי. לפי ידיעה שהתפרסמה באפריל 2011, המאובן העתיק ביותר של זוחל שנמצא בידינו, שגילו מוערך כ־312 מיליון שנה, נמצא כבר לפני כמאה וחמשים שנה, בשנת 1859!¹⁸⁰ נדמה, אפוא, ששום דבר יוצא דופן לא אירע בשנת 1988...

9) חוליית המעבר בין דינוזאורים לעופות

מן הראוי לציין שהתפתחות העופות מהדינוזאורים אינה "הלכה למשה מסיני" בקרב החוקרים. היא אמנם הדעה המקובלת במחקר והיא מבוססת על ממצאים לא מעטים, אולם מושמעות גם דעות אחרות לפיהן העופות התפתחו מארכוזאורים שהם אבותיהם של הדינוזאורים.

בין צורות המעבר שבין הדינוזאורים לעופות הוצע הארכיאופטריקס (*Archaeopteryx*), בעל חיים מנוצה בעל שיניים וטפרים. כותב על כך י"ע:

חילוף החומרים שלו מקביל לבעלי דם חם, מה שמרחיק אותו מהזוחלים והדינוזאורים. המציגים אותו כחוליית ביניים מסתמכים על טפריו ושיניו, אך גם בימינו מצויות צפורים בעלות טפרים ואין להן שום מאפיינים אחרים של זוחלים.

בהמשך הוא כותב:

180 סי.בי.סי. ניוז, המאובן העתיק ביותר.

ב־1995 התגלה מאובן של יצור מעופף... ליצור זה לא היו שיניים, מקורו ונוצותיו קרובים לציפורים בנות ימינו, וכן מבנה השלד. אך ליצור זה היו טפרים, היתה אצלו כבר התמיכה בנוצות הזנב האופיינית לציפורים... ובקצרה: כבר עם ראשית הופעתן היו הציפורים, כציפורים לכל דבר וענין.

ובכן, לא ברור מה מציק לי"ע בעובדות אלה. הארכיאופטריקס הוצע כאחת מחוליות המעבר בין דינוזאורים (או זוחלים) לבין העופות. האם דבר מה השתנה בנוגע לדבר בעקבות העובדה שגם לציפורים מסוימות של ימינו יש טפרים או שהוא בעל דם חם? האם בשל כך הוא לא נמצא בין הדינוזאורים לבין העופות? (ואגב, דעה מקובלת היא שחלק מן הדינוזאורים היו בעלי דם חם...). ואם הוא "קרוב יותר" לצד של העופות מאשר לצד של הדינוזאורים מה בכך? איש לא טען שהארכיאופטריקס נמצא בדיוק באמצע...

ולגבי העוף השני, קונפוציוסאורניס (*Confuciusornis*), י"ע מסיק בעקבות גילוי ש"כבר עם ראשית הופעתן היו הציפורים, כציפורים לכל דבר וענין", תוך שהוא מתעלם מההבדלים הניכרים שיש בין עוף עתיק זה לבין העופות המודרניים. מבנהו האנטומי של הקונפוציוסאורניס לא תואם לאף עוף מודרני; הוא דומה בכמה מבנים לארכיאופטריקס (אף כי הסברא היא שהוא לא התפתח ממנו); הוא לא היה מסוגל להרים את כנפיו מעל לגבו - וממילא לא יכול היה להשתמש בטכניקת התעופה של העופות המודרניים; טפרים - כבר הזכרנו; גם צורת הכנפיים היתה שונה במידה רבה מכנפיהם של עופות מודרניים.¹⁸¹ ממש "ציפור לכל דבר וענין"...

בהמשך דבריו הוא כותב: "גם אם הוא (הארכיאופטריקס) לא 100% ציפור, הוא לא יכול להופיע מביצת זוחל".

זהו ממש עלבון. אין ולא היה אף חוקר שטען שמין אחד של בעלי חיים מוליד מין אחר. גם גזעי בני האדם השונים לא יצאו מבטן אם אחת בפעם אחת, ולמרות זאת אנו יודעים בוודאות שהם יצאו מאותה אם קדמונית. איש אינו מעלה על דעתו לטעון שארכיאופטריקס נולד מזוחל, אולם כאשר אנו בוחנים תוצאות של מיליוני צעדים ומיליוני דורות, אנו טוענים שאבות אבותיו של הארכיאופטריקס היו בעלי חיים לא מעופפים שנמנו על הזוחלים.

181 צ'אפה וחב', קונפוציוסאורניתידאה.

10) חוליות ביניים מלאכותיות

ברצוני להתייחס לעוד אמירה מופלאה של י"ע החושפת מחשבה מעמיקה:

כדאי לדעת, כי אי אפשר לומר "אין חוליות ביניים", ברור שמטבעו של סדר מלאכותי, שיש צורות שיותר קל לייחס אותם לחוליות ביניים. הנה מאובן מעבר של אתר בוהן הפנדה. ניתן להציג סדר בין מינים מורכבים יותר ומורכבים פחות בדוגמות רבות. הכוונה היא שאין מספיק חוליות ביניים, שהטבע מגלה דילוגים מפליאים. ולא שכל הצורות באותה דרגת מורכבות תמיד. קח לך כל עשר יצורים אקראיים בעולם, חיים או מלאכותיים, מפלסטיק או מעץ, ותמיד תוכל לסדרן בסדר "התפתחותי". הענין הוא שבאופן כללי יש קפיצות בולטות בהופעת המינים כפי שהעירו החוקרים.

והקורא עומד ומשתומם, על מה הוא מדבר בכלל? וחושבני שהקטע אינו דורש תגובה מיוחדת ולכך אסתפק בשתי הערות:

א. "קח לך כל עשר יצורים אקראיים... מפלסטיק או מעץ..." האם נוכל לסדר אותם בסדר התפתחותי? הבה ננסה. כיצד נמיין את הרשימה הבאה: כיסא, ארנק, שעון, בלון, תפוח, תולעת, מטבע... באמת, לפי מה ניתן למיין את הדברים הללו?

ב. "ניתן להציג סדר בין מינים מורכבים יותר ומורכבים פחות..." האם זהו טיבו של המיון? על פי מורכבות? כאשר אנו לוקחים שרידים של בעלי חיים, וחושפים סדר ורצף בכך שעצמות הלסת הופכות לעצמות האוזן ואנו רואים את שלבי הביניים. האם זה קשור בכלל ל"מורכבות"? אם אנו חושפים סדר בהתפתחות של מאפיינים המאפשרים חיים במים, או התפתחות של מאפיינים המאפשרים ריצה במשטחים פתוחים ואכילת עשב ואנו רואים כיצד מבנה השיניים, לדוגמא, עובר שינויים והתאמות בחלוף הזמן, האם לכך ייקרא "סדר מלאכותי"?

11) 90% מהצורות שבמאובנים חיים בימינו

ציטוט נוסף מהמאמר של י"ע:

90% מהצורות שבמאובנים חיים בימינו, רק 10% הם מינים שנכחדו. מה שאומר שמדגם מייצג מראה שלא היו מספיק צורות ביניים.

William H. Matthews, III, Fossils (New York, 1982, p. 8)

עליי להודות שלא ברור לי לחלוטין ההיגיון של הטיעון הזה, אבל מה שאני רוצה להעלות הוא נקודה אחרת: הקטע פשוט מטעה ומשובש מכמה בחינות!

ובכן, מתיוס כותב בספרו¹⁸² (שהתפרסם בשנת 1962, ולא 1982 כמופיע במאמר) שמספר המינים החיים הידועים (לזמנו...) עומד על 1,105,000 מינים. לעומת זאת, מספר המינים שנכחדו והידועים רק מממצא המאובנים עומד על 130,000 מינים.

יפה. מספר המינים המאובנים **שנמצאו** עומד אפוא על עשרה אחוז ממספר המינים החיים כיום.

כותב המאמר נכשל בשתי טעויות. ראשית, הוא הסיק מכאן שמספר המינים שהיו קיימים באמת בעולם ונכחדו הוא רק עשרה אחוז ממספר המינים הקיים כיום, כאשר המסקנה הנכונה היא בדיוק להיפך, שכן יש מינים שידועים לנו רק בעקבות שריד אחד בלבד. מה שמלמד אותנו על ההיקף העצום והלא נתפס של המינים שנכחדו מבלי שנדע עליהם בכלל ומבלי שאי פעם נדע עליהם. אפשר לקחת לדוגמא את דג הלטימריה שדיברנו עליו. הדג עדיין חי וקיים, אך עד להתגלותו מחדש לפני כשבעים שנה לא נמצא אף מאובן שלו מששים מיליוני השנים האחרונות. דרוש צירוף מקרים ממוזל במיוחד על מנת שבעל חיים יצליח להשתמר, ואחרי כן צריכים צירוף מקרים ממוזל עוד יותר על מנת שבעל חיים זה יישמר במקום שיש אליו גישה לבני אדם, ושייחשף בפני אנשי המקצוע במקום הנכון ובזמן הנכון (נאמר, לא לפני אלף שנה ולא בעוד אלף שנה, אלא בדיוק עכשו...).

הדבר מזכיר את גורל הספרים היהודיים בימי הביניים. בספר "שברי לוחות" מתאר המחבר פרופ' שמחה עמנואל ספרים רבים שכתבו גדולי ישראל בתקופת "הראשונים" ואשר לא הגיעו כלל לידינו. לפעמים הגיע אלינו ספר בעותק אחד בלבד גם כשמדובר בספר שזכה להגיע לדפוס וממילא הופק במאות עותקים אם לא יותר. מכאן אנו יכולים ללמוד כמה ספרים אבדו לאין שוב בתקופה שלפני הדפוס בה נוצר רק עותק אחד או עותקים בודדים מספר.

182 מתיוס, מאובנים.

טעות שניה וגסה שטעה בה כותב המאמר הוא בכתבו: "90% מהצורות שבמאובנים חיים בימינו" - כאילו 90% מהמאובנים שנמצאו - חיים עד היום. זוהי טעות גסה. הכוונה במאמר המקורי שממנו י"ע העתיק את דבריו היתה שהיחס בין בעלי החיים החיים כיום לבין בעלי החיים המאובנים הוא יחס של 90/10, הוא לא התכוון לומר ש-90% מהמאובנים חיים היום...

אני חוזר לרעיון שהביע הרב וולולסקי במאמרו, וברצוני להסב את תשומת הלב לכך שניתן בלא קושי לחבר מאמר הדומה למאמר התעמולה של י"ע כנגד אמיתות אחרות דוגמת תורת ישראל.

ניתן להביא ציטוטים מ"רבנים" רפורמיים ודומיהם, או להביא ציטוטים מחכמי הקראים (שחלק מהם היו מלומדים גדולים). ניתן כמובן למצוא תימוכין לדעות שונות ומשונות במקורות עצמם: בדברי התנאים והאמוראים, אם נוציאים מההקשר, ואפילו אם לא נוציאים מההקשר: אם נפרשם באופן השונה מהפרשנות המקובלת. וכמובן, ניתן להצביע על הדעות השונות והמגוונות כל כך בכל עניין ועניין.

אם נאמץ את ההיגיון של י"ע, יהיה עלינו להסיק חלילה לגבי תורתנו וההלכות המסורות בידינו שלית דין ולית דיין, שהכול פתוח וחסר בסיס שהרי המומחים לדבר חולקים ביניהם על נושאים עיקריים.

קורא שעיניו בראשו והאמת נר לרגליו ידע עם זאת להבחין בין ראשי האריות לבין זנבות השועלים, וידע להבחין בין עיקר לטפל, ויראה שלמרות המחלוקות הרבות מני ספור, לא נחלקו (אנשי המחנה המרכזי) על העיקרים. אולם הדבר כרוך ברצון וביושרה. הרוצה להאמין במסר של כותב המאמר, ייתלה במאמר, אך הרוצה לעמוד על אמיתתם של דברים ולא לשים שקר בנפשו לא יוכל להסתפק בקריאה הלא-ביקורתית של מאמרים כאלה, ויראה שאין בהם ולא כלום.

10 האבולוציה של האדם

א. הקדמה

נושא זה ראוי הוא שנייחד עליו את הדיבור, ומיקמתי את הדיון בו כאן משום שנראה שהוא דורש את תעצומות נפש גדולות יותר מן הקוראים, ואני מקווה שעד לשלב זה, הקורא הפנים את עקרונות תורת האבולוציה והפנים את העובדה שעקרונות אלה אינם סותרים חלילה לתורה ולאמונה.

כמדומה שאת עיקר ה"אש" מאז ומעולם משכה אליה תורת האבולוציה בגלל המסקנות הנובעות ממנה ביחס לאדם.

עד היום עצם הרעיון נשמע מופרך לאנשים רבים ודי בעצם השמעתו כדי לעורר בהם גיחוך של חמלה. עלינו לזכור שרעיונות רבים נחשבו מופרכים למרות שהם נכונים.

הרעיון שיש אנשים גם בצד השני של העולם וכי הם לא מרגישים שהם "עם הראש למטה" קשה מאד לעיכול בפעם הראשונה ששומעים אותו (אחרי כן אנחנו פשוט למדים לחיות עם רעיון זה). הרעיון שאנו נמצאים על כדור שמסתובב בלי הרף סביב צירו, ושבזמן שועט בחלל במהירות מסחררת של 29 ק"מ בשניה (כמו להגיע מת"א לירושלים בשתי שניות) למרות שאיננו מרגישים בכלל שאנו נעים. הרעיון שהשמש לא סובבת אותנו, למרות שאנו **רואים במו עינינו** שהיא מקיפה אותנו. רעיונות אלה היו קשים מאד לעיכול וגרמו לכמה אנשים שאחזו בהם לקפח את חייהם על מזבח הכנסיה. גם הרעיון שגרמי השמים הם גופים חומריים עצומים שמרחפים "באוויר" ולא קבועים בגלגלים של בדולח וכי למרות זאת הם אינם נופלים על ראשינו לא התקבל על דעת רבים בשעתו.

הלקח הוא שאין לנו להתרגש מכך שרעיון מסוים נשמע לנו מופרך ומוזר, המציאות אינה מתרגשת מתחושות הבטן שלנו.

הבה ונראה קודם כול מה טוענים החוקרים בנוגע לאדם:

ובכן, כל מי שביקר בגן חיות יודע זה מכבר שיש בעלי חיים שדומים לנו דמיון מפתיע, הלא הם בראש ובראשונה השימפנזים, הגורילות והאורנגאוטנים.

האבולוציה של האדם

מי שעלעל בתמונות של קופים שונים הופתע לגלות אינספור תמונות בהם קוף נראה ממש "אנושי". האורנגאוטנים הבהירים ובעלי הזקן הג'נג'י נראים פעמים רבות כאדם, אך המנצחים בעיניי הם הקופים הצעירים מאד, הדומים לנו דמיון מפתיע.





גורילות, שימפנזים ואורנגוטנים
המבט אומר הכול



אין צורך לציין שהמבנה של בעלי חיים אלה דומה במיוחד למבנה בני האדם, הביטוי בכף היד ותגלו. לא בכדי שנו חכמים (תוספתא ברכות ו, ג) כי הרואה קוף מברך "ברוך משנה הבריות".

כמו כן אין צורך לומר שמבחינת מבנה גופנו אנו בנויים כמו יתר היונקים: על איברינו הפנימיים ועל יתר תכונותינו.

על פי השיטה המקובלת כיום בסיווג עולם החי אנו מסווגים באופן הבא: מחלקה: יונקים, סדרה: פרימטים,¹⁸³ משפחה: הומינידיים¹⁸⁴, (תת־משפחה: הומינינאים), סוג: הומו, מין: סאפִינס.

183 סדרה הכוללת כמאתיים מיני קופים, קופיפים וקופי־אדם. משמעות הביטוי הלטיני "פרימט" – "ראשון במעלה", מונח שטבע קרלוס ליניאוס משום שבסדרה זו כלול האדם.

184 משפחה הכוללת את תת־המשפחה הומינינאים (הכוללת את הסוגים: אדם, שימפנזה, גורילה וסוגים נוספים שנכחדו), ואת תת־המשפחה פונגינאים (הכוללת את הסוג אורנגאוטן וסוגים נוספים שנכחדו).

האדם המודרני חולק אמנם אותה **משפחה** עם ההומינינאים (השימפנזים והגורילות), אך אינו שייך לאותו **הסוג** אליו הם שייכים.

אמנם, הסיבה לכך אינה נעוצה בשיקולים מדעיים גרידא. קרולוס ליניאוס, אבי הטקסונומיה והמסווג הגדול, התלבט רבות לגבי מקומו של האדם והתקשה למצוא אפיונים מדעיים שעל פיהם ניתן להבדיל בין האדם לקוף ולסווג אותם בסוגים שונים באותו האופן שהכבש והיעל נחשבים לסוגים שונים (שים לב שההתלבטות היא לגבי הפרדת האדם והקופים **לסוגים** שונים, ברור שהאדם הוא **מין** שונה מהקוף). בשנת 1747 כותב ליניאוס לעמיתו:

אני מבקש ממך ומן העולם כולו לתת הבחנה גנרית¹⁸⁵ בין אדם לקוף־אדם (ape) בהתאם לעקרונות הטבע. אני בוודאי איני יודע על הבחנה כזו... אילו קראתי לאדם קוף או להיפך הייתי מקים נגדי את כל התיאולוגים. אבל אולי בכל זאת עלי לעשות זאת לפי חוקי המדע.¹⁸⁶

ליניאוס סבור היה אפוא שהאדם משתייך לאותו הסוג שאליו משתייכים קופי־האדם. "אמונה שאומתה לגמרי במחקרים מודרניים על קווי הדמיון בין הדנ"א של בני־אדם לאלה של שימפנזים וגורילות" כותב על כך החוקר ג'ון גריבין, וממשיך:

אם היו מסווגים היום את בעלי החיים מחדש על פי ראיות הדנ"א היו אולי מסווגים את האדם בעצם כשימפנזה - *Pansapiens*. רק בגלל מקריות היסטורית - והפחד של לינאוס מפני זעם של התיאולוגים - יושב לו הומו ספיאנס בבדידות זוהרת וייחודית כבן היחיד של הסוג.¹⁸⁷

כפי שכותב גריבין, הידע הרב שהושג באמצעות השוואת רצפי דנ"א, ובייחוד על ידי השוואת תקלות שונות שאירעו בדנ"א ונגיפים שונים שהדנ"א שלהם השתלב בשלנו, מלמדים אותנו רבות על הקשרים המדויקים שלנו עם השימפנזים בעיקר.

כפי שציינתי לעיל, מעבר לדמיון המדהים של המטען התורשתי שלנו למטען התורשתי של השימפנזים, אנו חולקים עם השימפנזים בנוסף לכך **תקלות** מדויקות

185 כלומר הפרדה לסוגים שונים. סוג = גנוס.

186 מצוטט אצל גריבין, "היסטוריה של המדע", עמ' 253.

187 שם, עמ' 254. ההבדלים הגנטיים שבין האדם לשימפנזה קטנים מן ההבדלים שיש בין מינים אחרים בני אותו הסוג. אמנם, הדמיון הגנטי אינו השיקול היחידי. ראה אסק א ביולוגיסט, אדם ושימפנזה.

ומסוימות שאירעו בדיוק באותם המקומות ברצף הדנ"א שלנו, בין אם המדובר בשיבושים שאירעו ברצף הדנ"א, בין אם המדובר בוירוסים שהשתלבו בדנ"א, ובין אם המדובר ברצפי דנ"א שקפצו ממקום למקום.

הדבר מורה בצורה בלתי ניתנת לערעור על העובדה שתקלות אלה אירעו בתקופה שהיה לנו אב משותף.

למה הדבר דומה? לשני אנשים שיגישו עבודת גמר על אותו הנושא כאשר היא כתובה באותן מלים ממש. בודק רחום וטוב לבב עשוי ללמד זכות ולומר ששני הכותבים עבדו אמנם בנפרד אלא שהגיעו כל אחד בדרכו לאותן המסקנות וניסחו אותן באופן זהה.

אך מה יעשה בודק זה כשיתברר לו שבשתי העבודות נפלו בדיוק אותן שגיאות כתיב ותקלות ובאותם המקומות בדיוק? המסקנה היחידה היא שלעבודות אלה יש "קשר הדוק במיוחד", האחת הועתקה מן השניה או שתיהן הועתקו ממקור אחד.

במקרה שלנו, העותקים שלנו ושל השימפנזים הועתקו מאותו העותק ולכן יש בהם אותן תקלות.

אין צורך לחזור גם על הראיות האחרות המלמדות על עברו השונה של האדם: התופעות האטביסטיות והאיברים המנוונים, כמו הופעת זנב מכשכש ומתפקד, כסות השיער הנעלמת של העובר, התוספתן שהפסדו גדול משכרו ועוד.

כמובן שאין הדבר אומר שאנחנו קופים או שהקופים הם בני אדם, ואין הדבר אומר שמוצאנו מהשימפנזה, או שההבדלים בינינו **קטנים**. ההבדל בין האדם לקוף הוא תהומי. אפילו ההבדל בין האדם לאבות אבותיו הקדומים מלפני מיליון שנה הוא תהומי. יש חוקרים הסבורים שאף ההבדל בין האדם המודרני לבין שאר בשרו הניאנדרטלי שחי לצדו ונראה כמעט כמוהו הוא תהומי ומהותי וכי האדם הניאנדרטלי לא היה בעל חשיבה סימבולית ושפה. ועדיין ההבדל התהומי הזה אינו שולל את עובדת הקשר המשפחתי ההדוק בין האדם לבין בריות אלה.

לצד ההבדל התהומי בין האדם לחיה, ברצוני לחדד את ההבדל הזה על מנת שהדיון יהיה יותר ממוקד, ועלינו לשאול במה בא לידי ביטוי ההבדל הממשי בין האדם לבין החיה?

אנו יודעים שבעלי החיים, עכ"פ המפותחים שבהם כמו הקופים, הכלבים ועוד, חווים רגשות: עצב ושמחה, כעס ועליזות. אני מניח שכל אחד מאיתנו יכול לחוש אם בעל חיים, כמו חתול לדוגמא, נהנה או נמצא במצוקה. אולם קשת הרגשות החייתית מפותחת הרבה יותר מכך. בעלי חיים מסוגלים להיות נאמנים או בוגדים, הם יודעים לשקר ולהערים על חבריהם (קיימות לכך דוגמות רבות ממחקרי קופים) ולהעלב מכך שרימו אותם,¹⁸⁸ למצוא פתרונות יצירתיים¹⁸⁹ ואף להתקין לעצמם כלים בסיסיים.¹⁹⁰ ושים לב, לא מדובר רק ב"רגשות חייתיים" - אלא גם ברגשות עדינים של חיבה לגורים¹⁹¹ ואף לבני הזוג. בעלי חיים רבים מתאבלים על מותיהם,¹⁹² ודואגים לעתים גם לרווחתם של בעלי חיים ממינים אחרים.¹⁹³

במובן הזה, ילד קט אינו "אנושי" בהרבה מבעל חיים מפותח. (ואיני מתייחס כמובן לשאלת ערכו של אדם - ויהיו גילו ומצבו אשר יהיו - לעומת ערכו של בעל חיים!). לא הרגשות הרגילים הם המבדילים בין אדם ליתר בעלי חיים.

ההבדל העיקרי בינינו בא לידי ביטוי ביכולת המחשבה המופשטת, הקשורה ככל הנראה קשר הדוק עם יכולת הדיבור.

תינוק בא לעולם והוא משולל יכולת חשיבה ובמובן מסוים משולל רגשות ממשניים. הרגשות מתפתחים בו בחלוף הזמן, גם יכולת החשיבה המופשטת מתפתחת בו עוד בגיל צעיר (ואיני מתכוון למה שקורה בגיל ה"בר מצווה", הרי החשיבה המופשטת מתפתחת עוד לפני הגיעו למצוות) ואם שפר גורלו הם הולכים ומתפתחים כל ימי חייו. אנו איננו תמהים על תהליך זה: כיצד ייתכן שתינוק אשר נוצר מתא בודד, ואשר גופו (מוחו) אינו תומך בחשיבה מופשטת, מתפתח לאדם

188 פטרסון, קופים שקרנים.

189 הנוס וחב', השוואת ביצועי קופים וילדים. במחקר המעניין, הציגו בפני הקופים והילדים מבחנה ובה אגוז אדמה. על מנת להגיע לאגוז האדמה יש למלא אותה במים כך שאגוז האדמה יצוף. כעשרים אחוז מהשימפנזים הצליחו למצוא את הפתרון הזה בכוחות עצמם, לעומת 42 אחוז בקבוצת ילדים בני שש, ושימונה אחוזים בקבוצת בני הארבע.

190 מכון גודול, שימוש בכלים.

191 באחד המקרים המרגשים שתועדו בטבע הרגה נמרה צעירה קופת בבון ורק אז הבחינה שלקופה היה גור קופים קטן. במקום לעוט על המציאה היא הגנה עליו מפני צבוע שהגיע לאזור, ואחר כך לקחה אותו עמה למרומי העץ שם שמרה עליו שלא יאונה לו כל רע. (מקור: נשינול ג'יאוגרפיק, נמרה).

192 בקוף, אבלות בבעלי חיים.

193 פול, פילים.

חושב? אנו מקבלים זאת כעובדה. באותה המידה, איננו צריכים לשלול את העובדה שאדם חושב יכול להתפתח מ"אדם שאינו חושב" או מבעל חיים שאינו חושב, ועלינו לקבל את העובדה הזו שהמציאות מציגה בפנינו.

ושוב, דווקא לנו כמאמינים קל הרבה יותר לקבל את הפער הזה, משום שאנו מאמינים במי שמכוון את הבריאה או נותן לה מידי פעם "דחיפה" לכיוון הרצוי, ולכן אין שום סיבה שנחשוב שדבר זה ייבצר מאיתנו לעשות, חלילה.

ב. מוצא האדם - התנגשות עם האמונה? לא ולא!

אולם, כאן ניצבים אנו כביכול בצומת דרכים: לפי מה שאמרנו עד כה, נובע בצורה חד-משמעית כי מוצאו של האדם בבעלי חיים שקדמו לו. ואילו בתורה, יודע כל מי שקרא את הפרשה הראשונה, כתוב במפורש שהאלוקים ברא את האדם עפר מן האדמה!

האם אין מנוס מהתנגשות חזיתית זו? האם נאלצים אנו, חלילה, לבחור כאן בין תורה למדע?

ובכן, ראה זה פלא: מתברר שלא כך הוא! ואעתיק לצורך העניין מה שכתבו רבים וגדולים ממני. וכך אומר הרב גדל:¹⁹⁴

התיאור של יצירת האדם מן העפר הוא בדרך משל ומליצה. **הקב"ה לא לקח כף עפר וגיבל אותה במים, כמו שעושים הילדים בגן... בריאת האדם בצלם אלוהים זהו סופו של תהליך ארוך, שראשיתו ביצור לא שכלי, השייך לקטיגוריה של בעלי החיים, ההולך ומתקדם עד שניתן לו השכל האנושי, ובמקביל גם הצורה הפיסיולוגית של האדם המוכרת לנו... ההוכחות של דרווין, ושל חוקרי המאובנים, לקיומם של שלבים קודמים כאלה, נראות משכנעות. הטעות של דרווין היא בראייה הכללית של הדברים, המתחמקת מן השאלה איך נוצרו השינויים. אך עם ההכרה ברצון האלוהי הפועל בטבע באמצעות המלאכים - אין לנו שום צורך לשלול את תיאור המאורעות כפי שהחקירה המדעית מציגה אותם... האדם שעליו נאמר "נעשה אדם בצלמנו" הוא שלב אחרון של התקדמות הדרגתית.**

194 בתורתו של ר' גדליה, עמ' צט-ק.

ואילו הרב וולולסקי כותב כך:¹⁹⁵

ישנם אנשים שהמחשבה שבני האדם "ירדו מן העצים" דוחה אותם. ככלות הכל, התורה מספרת לנו כי "וייצר ה' אלוקים את האדם עפר מן האדמה ויפח באפיו נשמת חיים". ואולם **חס ושלום שאנו נדמה את ה' יוצר באופן פיזי צורת אדם מעפר!** התורה נותנת לנו אמירה פשוטה שה' יצר ("יצר" ולא "ברא") את האדם מחומר קיים וחסר משמעות ("עפר מן האדמה"), ונתן בו היבט של אלוקיות. אין התורה קובעת כאן קביעה פיזית, המדגישה שאותו חומר חסר־משמעות ממנו נוצר האדם היה אדמה, ולא יצור שקדם לאדם מבחינה אבולוציונית... עלינו להרגיש בנוח עם האמירה כי **הקליפה המכילה את נפש האדם נבעה מצורה כלשהי של בעל חיים** וכי, אם לא נקדיש תשומת לב לנפש ולתורה המנחה אותה, אנו עלולים להיוותר אך עם אותה קליפת בעל חיים.

והזכרתי כבר לעיל את דברי הראי"ה קוק:

להשוות סיפור **מעשה** בראשית עם החקירות האחרונות הוא דבר נכבד. אין מעצור לפרש פרשת אלה תולדות השמים והארץ, שהיא מקפלת בקרבה עולמים של שנות מליונים, **עד שבא אדם לידי קצת הכרה שהוא נבדל כבר מכל בעה"ח...**¹⁹⁶

קשה לעיכול. עלינו לזכור שבעבר גם ש"גדולים וטובים" סברו שהאלוקים הוא בעל גוף ובעל תמונה **"לפי מה שראו במקראות**, ויותר ממה שראו בדברי האגדות המשבשות את הדעות", כלשונו הזהב של הראב"ד.¹⁹⁷

ותן דעתך לכך, מי שייצמד למקראות כפשוטם בנושא זה סופו לסתור עצמו מיניה וביה. הכיצד?

הלא פעמיים נכתב שהאדם נברא זכר ונקבה:

א. וַיִּבְרָא אֱלֹקִים אֶת הָאָדָם בְּצַלְמוֹ בְּצֶלֶם אֱלֹקִים בָּרָא אוֹתוֹ זָכָר וְנִקְבָּה בָּרָא אֹתָם (בראשית א כז).

195 וולולסקי, אבולוציה בישיבה.

196 שמונה קבצים, אות תקצד.

197 השגת הראב"ד על הרמב"ם, הלכות תשובה ג ז.

ב. זֶה סֵפֶר תּוֹלְדֹת אָדָם בְּיוֹם בָּרָא אֱלֹקִים אָדָם בְּדִמּוּת אֱלֹקִים עָשָׂה אֹתוֹ. זָכָר וּנְקֵבָה בָּרָאם וַיְבָרֶךְ אֹתָם וַיִּקְרָא אֶת שְׁמֵם אָדָם בְּיוֹם הַבְּרָאָה: (שם ה א-ב).

ואילו בפרק ב מובא התיאור הידוע לכול לפיו האדם נברא יחידי, מעפר, ולאחר זמן הפיל עליו ה' תרדמה ובנה אחת מצלעותיו לאשה. ובכן, אם נתפוס את הכתובים בצורה **מילולית**, נמצא את עצמנו בצרות צרורות גם מבלי להזדקק לאבולוציה...

הוא אומר: הרעיון שגופו של האדם נוצר והתפתח אף הוא בדרך האבולוציה, כפי שהתפתחו יתר היצורים על פני כדור הארץ אינו מהווה בכלל בעיה אמונית עקרונית ואף אינו מהווה סתירה לכתובים.

הוא כן מהווה בעיה קשה **להרגל** שהורגלנו לראות ברעיון זה את האויב מספר אחת של האמונה. או זיל לאידך גיסא: הוא מהווה בעיה קשה להרגל שבו הורגלנו לחשוב על עצמנו ועל הרעיון של האבולוציה גם בלי לערב את בעיות האמונה. המחשבה שהרעיון "המגוחך" הזה משקף את המציאות כפי שאכן קרתה, וכי ההתנגדות הפנימית העזה שלי לרעיון נובעת מחוסר ידיעה או מנוקשות מחשבתית אינה מחמיאה לעצמנו ואין לנו עניין אישי רב לנסות לאמץ את הגישה הזו.

כמעט משעשע להיווכח שיש אנשים שמסרבים להכיר באמת הזאת מתוך המחשבה השגויה שתפיסת האבולוציה מצדיקה התנהגויות שאינן נאותות ומנציחה את רצון החומר, שהרי לפי תורת האבולוציה טבועים בנו (מן הסתם) רצונות ומאווים השייכים לעבר החייתי שלנו. הלא הרעיון שטבועים בנו באופן טבעי רצונות ומאווים הטעונים ריסון והכוונה הוא הרעיון היהודי עתיק היומין שיצר לב האדם רע מנעוריו, ושיצר הרע סוכן בנו ורצונות "החומר" טבועים בנו ועלינו להישמר ממצודתם. תורת האבולוציה רק מחזקת את התפיסה הזאת ונותנת לה הסבר מעמיק ומובן יותר ומלמדת אותנו עד כמה אנו צריכים להיות "על המשמר" ולרסן ולקדש את החומר.

טוב, מכאן אפנה לקצת יותר פרטים על האבולוציה של האדם. למען האמת, נראה לי שהדיון בפרטי האבולוציה של האדם מיותרים. אני נכנס לפרטים אלה בעיקר על מנת להדגים כיצד ההתנגדות לאבולוציה מפריחה טענות שוא ומה שוברם של טענות אלה.

ג. האבולוציה של האדם - לגופו של ענין

מטבע הדברים, מושקעים מאמצים רבים לפענח את האבולוציה של האדם. מציאת ממצאים אנושיים היא מלאכה קשה במיוחד. מוצאו של האדם הוא באזורים שאינם אופטימליים לתהליך ההתאבנות (המתחוללים בעיקר בסלעי משקע כאמור לעיל). בנוסף לכך אזורים אלה הם קשים לגישה הן בגלל האקלים הקשה והתשתית הלקויה/חסירה והן בגלל המצב הבטחוני הקשה והמלחמות האיסופיות שחלק זה של העולם לוקה בהן.

למרות זאת, נאסף די חומר שמאפשר התוויה של קווים כלליים שאפרט להלן. נוסף על כך, השוואת רצפי דנ"א בין בני האדם לבין הקופים וכמו כן בין בני האדם החיים כיום לבין שרידים מאובנים של בני אדם, שופכת אור רב על תהליכים אבולוציוניים ועל המקום והזמן בו הם התחוללו. שני מקורות ידע עצמאיים ושונים אלה (הממצאים המאובנים, והשוואת רצפי הדנ"א) משלימים זה את זה ומאוששים זה את ממצאיו של זה.

וכעת לפרטים עצמם:

1. התפצלות מיתר הפרימטים

הפרימטים, הסדרה עליה אנו נמנים (ביחד עם הקופיפים, הקופים וקופי האדם)¹⁹⁸ היא מבין סדרות יונקי השליה הוותיקים בעולמנו, ושורשיה מגיעים ככל הנראה עד למעלה משמונים מיליון שנה לפני זמננו.¹⁹⁹ אולם אנו נדלג הישר לקבוצת קופי האדם אליה אנו שייכים.

קבוצת קופי האדם: ראיות מולקולריות מצביעות על כך שהגיבוים התפצלו מקבוצה זו לפני כ־12 עד 18 מיליון שנה, ואילו האורנגאוטנים התפצלו מהקבוצה לפני כ־12 מיליון שנה.²⁰⁰ לפני כ־6 עד 8 מיליון שנה אירע הפיצול שהפריד בינינו

198 קופיפים - Tarsiiformes, תת־סדרה הכוללת כיום רק סוג אחד: קופיף (Tarsius). קופים - Monkeys, כ־264 מינים דוגמת הבבון והמקוק. קופי־אדם - Apes, כוללים את השימפנזה, הגורילה, האורנגאוטן והגיבון, כמו גם את האדם עצמו.
199 טברה וחב', אבי הפרימטים, על פי בדיקות מולקולריות.
200 סריוסטווה, מורפולוגיה של האבולוציה.

לבין הגורילות, וכמיליון שנה אחרי כן נפרדנו מהקו שהוביל לשימפנזים.²⁰¹ הדנ"א האנושי זהה בכ-94% לדנ"א של השימפנזים.²⁰²

כפי שהקורא יכול לנחש המספרים רחוקים מלהיות סופיים. הם כפופים לבדיקות שונות ולהערכות שונות וכפופים לשינויים ולעדכונים הנובעים ממצאות ממצאים חדשים (תוצאות שונות נובעות בין השאר משיטות שונות של שקלול הנתונים, כגון: כיצד להתייחס לגן שמשותף לנו ולקופים אלא שהוא מופיע אצלנו במספר רב יותר של עותקים? בהתעלם מהשאלה הזו, הדמיון עומד על 98.7%).²⁰³ עם זאת גם חילוקי הדעות שוכנים באותו סדר גודל של נתונים. אין כוונת הדברים שההבדל **בפועל** בינינו לבין השימפנזה הוא ששה אחוזים. מדובר כאן הוא על ההבדל במטען הגנטי - במרשם. התוצר הסופי הוא כמובן שונה מאד! ולדוגמא פשטנית: קחו מתכון מורכב בן מאה פריטים שונים והנחיות שונות, ושנו שם דבר אחד בלבד: שימו מלח במקום סוכר או הכפילו את זמן האפיה. התוצר הסופי יהיה שונה למדי גם אם ההנחיה ששונתה היתה "אחוז אחד בלבד" מסך ההנחיות.

201 גלזקו וני, הסתעפות הפרימטים.

202 מינקל, בני אדם ושימפנזים.

203 ניצ'ר, הגנום של השימפנזה.

לא להתבלבל...

על מנת למנוע בלבול מחלק מהקוראים: כאשר אני כותב שלפני כך וכך שנים נפרדו מאיתנו האורנגאוטנים או הגורילות וכו', למה הכוונה?

ובכן, הכוונה היא שלפני 12 מיליוני שנה, לדוגמא, היו בעולם בעלי חיים "קופיים" שהם אבותיהם המשותפים של האדם, של הגורילה, של האורנגאוטן והשימפנזה (יחד עם עוד מינים שנכחדו זה מכבר). חלק מבעלי חיים אלה התפצלו מעל החלק הנותר, אולי בעקבות נדודים לאזור אחר או בעקבות איזשהו חיץ אחר שנוצר ביניהם לבין יתרת הקבוצה, ונוצרו שתי קבוצות של אותו בעל חיים, המתפתחות בנפרד, באזורים שונים ובתנאים שונים. ברבות הימים, השתנתה קבוצה אחת והפכה לאורנגאוטנים של ימינו, ואילו הקבוצה האחרת השתנתה בכיוון אחר, כאשר בשלב מסוים התחלקה הקבוצה הזו גם היא לשתי קבוצות: האחת שהשתנתה ברבות הימים והיתה לגורילות של ימינו, והאחרת - ששוב התחלקה והיתה לקבוצת השימפנזים ולקבוצת האדם.

אבותיו של האדם לא היו שימפנזים ואבותיהם של השימפנזים לא היו אדם, אלא שלפני כך וכך מיליוני שנה היו שניהם לא שימפנזים ולא אדם, אלא בעל חיים קופי, שצאצאיו התפצלו והפכו ברבות הימים למה שהם כיום.

ומובן מאליו שכאשר אנו אומרים שהאדם התפצל מהשימפנזים לפני כך וכך מיליוני שנה, אין זה אומר שמאותו זמן ואילך כבר יש "אדם". ההיפך הוא הנכון. זה אומר שבאותו הזמן אנו עוסקים עדיין בבעלי חיים. ולדוגמא, כאשר אנו אומרים שבני ישראל הם צאצאי שם "התפצלו" זה מזה כבר בדור המבול (שהרי בני ישראל הם צאצאי שם והמצרים הם צאצאי חם ונמצא שכבר בדור המבול היו אבות שונים לשני העמים הללו), אין זה אומר שכבר אז, בדור המבול, היו קיימים בני ישראל, אלא שההתפצלות שהובילה בסופו של דבר לשתי שושלות אלה אירעה כבר אז.

2. ומה הלאה? המשך התפתחות האדם

אנו מתייחסים כעת לקו הקופי שנפרד מעל השימפנזים והוביל בסופו של דבר לאדם. השינויים שחלו בקו זה במהלך מיליוני השנים שחלפו כללו קודם כול התאמה הולכת וגוברת להליכה על שתיים, כאשר שינויים אלה כוללים שינויים במבנה הרגל, האגן, אורך הגפיים ועוד. מאוחר יותר התלוו לשינויים אלה גם שינויים במבנה הגולגולת ונפח המוח.

אגב, את הזרז ה"טבעי" לשינויים אלה ניתן למצוא בשינויים האקלימיים שהתחוללו בעולם באותה התקופה, כאשר העולם הלך והתייבש ויערות הגשם הטרופיים, מקום מושבם של הקופים, הצטמצמו והלכו ופינו חלק ממקומם לערבות העשב החמות. בערבות אלה, המאופיינות בשטחים פתוחים, מעניקה העמידה הזקופה כמה יתרונות: ריצה, ראייה למרחוק, ואף הגנה משופרת מהחום הלוהט.²⁰⁴

בין אותה נקודה בה נפרדו דרכינו מאבותיהם של השימפנזים לבין זמננו כיום, מוצאים אנו שרידים של קופי־אדם דוגמת האוסטרלופיתקוס (*Australopithecus*) שהתהדר בהליכה זקופה²⁰⁵ עם כי נפח מוחו היה דומה לנפח מוחם של השימפנזים, הפרנתרופוס (*Paranthropus*) שבא אחריו והתהדר במוח גדול יותר. הללו חיו על פני האדמה לפני מיליוני שנים והעמידו כתריסר מינים שונים שנמצאו עד כה. אלה כאלה נחשבים כשאר בשרו של האדם אך לכלל אדם לא הגיעו.

204 באזורים המשווניים החמים הללו, אחת האסטרטגיות היעילות לטיפול בחום על ידי בעל חיים גדול, תהיה עמידה זקופה, המצמצמת למינימום את החשיפה לקרני השמש. בפרט כשהאזור החשוף - הראש - עטור שער שופע.

205 הליכה זקופה באה לידי ביטוי בכמה מאפיינים של השלד: צורת כף הרגל, מבנה האגן, החיבור בין עמוד השדרה לגולגולת ועוד.

שארי בשר לעומת אבות

כאשר אנו מוצאים שרידים של יצורים ואומרים שהם אבותינו או אבותיהם של יצורים אחרים, אין הכוונה בהכרח שהם ממש אבות, אלא שהם משקפים קרבת משפחה ושארות בשר, והם עשויים להיות האבות או שארי בשרם של האבות הממשיים.

אדגים את דבריי:

נניח שאני מוצא עצמות קדומים של יהודי בן דור המדבר ושל נכרי. כיהודי, אני רשאי להתייחס לעצמות היהודי כמשקפות את עצמות אבותיי לעומת הנכרי. ברור שאין בסיס לקביעה שיהודי זה שאת עצמותיו מצאתי הוא אבי זקני הקדמון בדווקא, אבל באותה המידה ניתן להניח במידה רבה של ודאות שהוא "קרוב משפחה" בדרגה זו או אחרת של אבי זקני הקדמון, מה שאיני יכול לומר לגבי עצמות הנכרי.

בדוגמא שהבאתי אין הבדלים מורפולוגיים חיצוניים בין עצמות היהודי לעצמות הנכרי, לכן אתייחס להבדלים הגנטיים. רשאי אהיה לטעון שהמטען הגנטי שבעצמות היהודי משקף בקירוב את המטען הגנטי של אבי זקני, שהיה בהכרח שאר בשרו.

עצמות הנוכרי, לעומת זאת, משקפות עצמות של אדם שחי גם הוא בתקופת אבי זקני, אבל אני אישית לא יצאתי מאנשים שנשאו את המטען הגנטי הנוכרי.

כאשר אנו מוצאים שרידים של אוסטרלופיתקוס אפריקנוס, לדוגמא, אין זה אומר שבני האדם יצאו דווקא ממנו או מדוגמתו, וייתכן שבני האדם יצאו מאוסטרלופיתקוס אפרנזיס, לדוגמא. האוסטרלופיתקוס מהווה צעד לכיוונו של האדם, ובהחלט ייתכן שאחר אותו הצעד נפרדו דרכיהם של הצאצאים וכי ענף האוסטרלופיתקוס התפתח לצד ובמקביל לענף שהיה לאדם בסופו של דבר.

לפני כ־2.3-2.4 מיליוני שנים פוגשים אנו לראשונה את בני סוגנו: הסוג Homo ("אדם" בלטינית). כשהמין הראשון נקרא הומו הביליס ("האדם המיומן") שהיה כבר בעל נפח מוח גדול משמעותית מאוסטרלופיתקוס, ולפי ההשערה כבר יצר כלי אבן פשוטים ובכך הוא פותח את מה שנקרא "תקופת האבן הקדומה". רוב הממצאים הללו (עשרות פרטים) נמצאו באזור השבר הסורי-אפריקאי במזרח אפריקה. הומו הביליס המאוחר ביותר שנמצא הוא מלפני 1.4 מיליוני שנה. יצוין כי יש חוקרים הסבורים כי מקומו הנכון של הומו הביליס הוא בסוג אוסטרלופיתקוס, ועדיין לא בסוג הומו.²⁰⁶

"התחנה הבאה"²⁰⁷ הוא הומו ארקטוס ("האדם הזקוף"), מין ששרידיו נמצאו מלפני 1.8 מיליוני שנה ועד לפני 30,000 שנה לפני זמננו,²⁰⁸ והוא כבר נפוץ באפריקה, אירופה, מזרח אסיה והמזרח התיכון - כולל בישראל. מייחסים למין זה את גילוי השימוש באש וסיתות כלי האבן.

מקובלת הדעה שהענף האפריקאי של הומו ארקטוס הוא אבי המין האנושי.

3. הומו ספיינס (האדם הנבון)

לפני כמאתיים אלף שנה נמצאים כבר שרידים של בני אדם שניחונים באנטומיה מודרנית לחלוטין, זהו המין הומו ספיינס - המין שלנו.²⁰⁹

206 ווד וקולרד, הסוג אדם.

207 התחנה הבאה המשמעותית. נמצאו מינים נוספים הכלולים בסוג "אדם", ואפילו לפני הומו הביליס (ראה קרנו, הומו גאוטנגנזיס) אלא שמדובר בממצאים בודדים ואיני רואה צורך להאריך בעניינם.

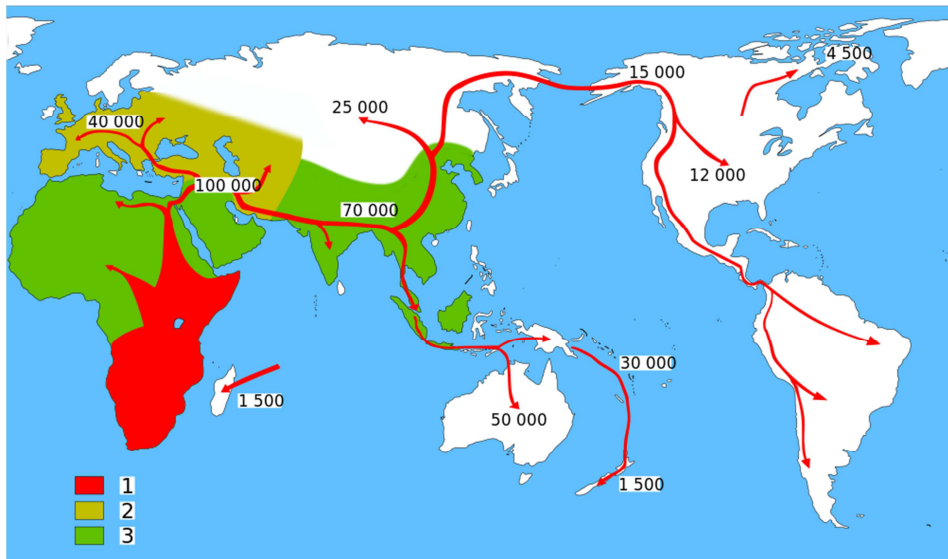
208 במקורות שונים ניתן למצוא מספרים שונים לחלוטין. אחת הסיבות לכך היא תפוצתו הרחבה של הומו ארקטוס והעלמותו בשלבים שונים ממקומות שונים בעולם. וכך, אם ביבשת המרכזית, ב"מרכז העניינים", נעלם הומו ארקטוס כבר בתקופה קדומה, הרי שבשולי העולם, כגון באיים מבודדים, מתגלים לפעמים שרידים "צעירים" יותר של הומו ארקטוס ומתברר שהוא המשיך להתקיים באותם מקומות גם בתקופה מאוחרת יותר. כך יכולים אנו לדבר על היכחדותו של הומו ארקטוס באפריקה או אירופה או האי יאווה ולנקוב במספרים שונים לחלוטין. סיבה נוספת נובעת משימוש בהגדרה "רחבה" או "מצמצמת" ביחס להומו ארקטוס.

209 הקרן הלאומית למדעים, גיל האדם.

האבולוציה של האדם

לפי בדיקות גנטיות שונות על אוכלוסיות האדם כיום עולה כי מוצא האדם המודרני הוא באפריקה, וכי האדם המודרני היגר מאפריקה והגיע למזרח התיכון לפני כ-125 אלף שנה,²¹⁰ לאוסטרליה לפני כ-40 אלף שנה,²¹¹ לאירופה לפני כ-43 אלף שנה.²¹² ההגירה לאמריקה שנויה במחלוקת ואירעה, לדעת המקדימים, באותו זמן שהאדם יישב את אירופה.²¹³

לפי ההשערה, אדם זה שהתפתח לפני כמאתיים אלף שנה לא נבדל מהאדם בן ימינו במאומה מבחינת כישוריו. מובן שהידע שעמד לרשותו והיכולת הטכנולוגית היו זעומים ביחס.



מפת ההגירה האנושית

הנתונים במפה זו משקפים את אחת ההשערות. קיימים חילוקי דעות בנוגע למספרים והם עשויים להשתנות בכפוף לממצאים חדשים.

210 באזור, היציאה מאפריקה.

211 בוולר וחב', אוסטרליה.

212 היגם וחב', האדם המודרני באירופה.

213 בונטו וסלזנו, ההגירה לאמריקות.

הומו ניאנדרטאליס

הקורא שמע מן הסתם על "האדם הניאנדרטלי" (Neandertal), הקרוי על שם עמק ניאנדר בגרמניה שם נתגלה לראשונה. ("טל" בגרמנית משמעו "עמק", ומכאן שעמק הניאנדר מכונה "ניאנדרטל").

הניאנדרטלים היו נפוצים באירופה, במזרח התיכון ובמערב ומרכז אסיה והם נכחדו לפני עשרות אלפי שנים בודדות. הניאנדרטלים היו נמוכי קומה וחסונים מאד ובעלי עצמות עבות משלנו. גולגולתם היתה גדולה ונפח מוחם היה גדול משלנו, אלא שצורת הגולגולת היתה שונה במעט משלנו ברכסי גבות גדולים ובהעדר סנטר.

באזורים שונים בעולם חיו זה לצד זה הניאנדרטלים ואבות אבותינו עד שהראשונים נכחדו. שרידים של הניאנדרטלים נמצאו גם בכמה מערות בישראל כגון מערת טבון, מערת כבארה ומערת עמוד.

אולם הניאנדרטלים אינם אבותינו. גם הם, כאבותינו, היו מין של בני אדם, אולם שתי האוכלוסיות נפרדו זו מעל זו לפני 400,000-350,000 שנה ולא נטו להתערבב אחת בשניה. (סטרינגר, מוצא בני מינו). לפי המחקרים האחרונים נראה שהיה שיעור מצומצם של נישואי תערובת, שכן גנים שמקורם ניאנדרטלי נמצא בשיעור של אחוז עד ארבעה אחוזים באוכלוסיות שמחוץ לאפריקה. (גרין ושות', גנום ניאנדרטלי).

קיימת מחלוקת בין החוקרים בשאלה כיצד לסווג את האדם הניאנדרטלי ביחס אלינו, האם הניאנדרטלים ואנו נחשבים כמינים שונים השייכים לסוג *Homo* (ואזי הוא יסווג כ-*Homo neanderthalensis* ואילו אנו נסווג כ-*Homo sapiens*), או שיש להחשיב אותנו ואותו כשני תתי־מין של הומו ספיינס (ואזי הוא יסווג כ-*Homo sapiens neanderthalensis*, ואילו הסיווג שלנו יהיה *Homo sapiens sapiens*). כמו כן נחלקים החוקרים באיזו מידה האדם הניאנדרטלי היה "אנושי" - האם הוא ניתן בכושר דיבור ובכושר ליצור סמלים מופשטים במחשבה.

כך או כך, האדם הניאנדרטלי, שחי במקביל לאבותינו, נכחד מן העולם ואנו איננו צאצאיו.



גולגולת של אדם ניאנדרטלי (© Luna04)

רגע, כיצד ייתכן שהומו ארקטוס הוא אבי המין האנושי, אם הוא "נעלם מהנוף" רק לפני כשלושים אלף שנה? והלא כרגע כתבנו שהמין האנושי הופיע על בימת העולם לפני כמאתיים אלף שנה?

תשובה (כבר הבהרנו את העיקרון לעיל, אבל כדאי לחזור עליו):

כאשר אנו אומרים שמין ב מתפתח ממין א, אין הכוונה שכל המין א השתנה והפך להיות למין ב, אלא שקבוצה מסוימת של פרטים השייכים למין א פרשה מיתר אוכלוסיית מין א והתנתקה מהם. בחלוף הזמן אירעו בקבוצה זו שינויים מסוימים שהפכו אותם למין שונה, למין ב בו בזמן שהאוכלוסיה המקורית של מין א לא פסקה מלהתקיים בעקבות כך.

לסיכום, בנושא האבולוציה האנושית הושקעו ומושקעים מאמצי מחקר רבים מאוד. מטבע הדברים יש חילוקי דעות בפרטים רבים, בזיהוי, בפרשנות ועוד. התחום הזה הוא דינמי והידע ממשיך להתווסף ולהתעדכן. בפרק קצר זה הבאתי רק שמץ מן השמץ, אך המידע עשיר בהרבה וכולל התלבטויות רבות של החוקרים בנוגע לממצאים המתחדשים מזמן לזמן. עיקרו של דבר הוא כך:

לפני כך וכך מיליוני שנה נפרדה אוכלוסייה של קופים לשתי קבוצות, וההתפתחות של כל קבוצה התרחשה בנפרד. אחת הקבוצות התפתחה והיתה לשימפנזים של ימינו, ואילו הקבוצה השניה התפתחה והיתה לבני המין האנושי של ימינו.

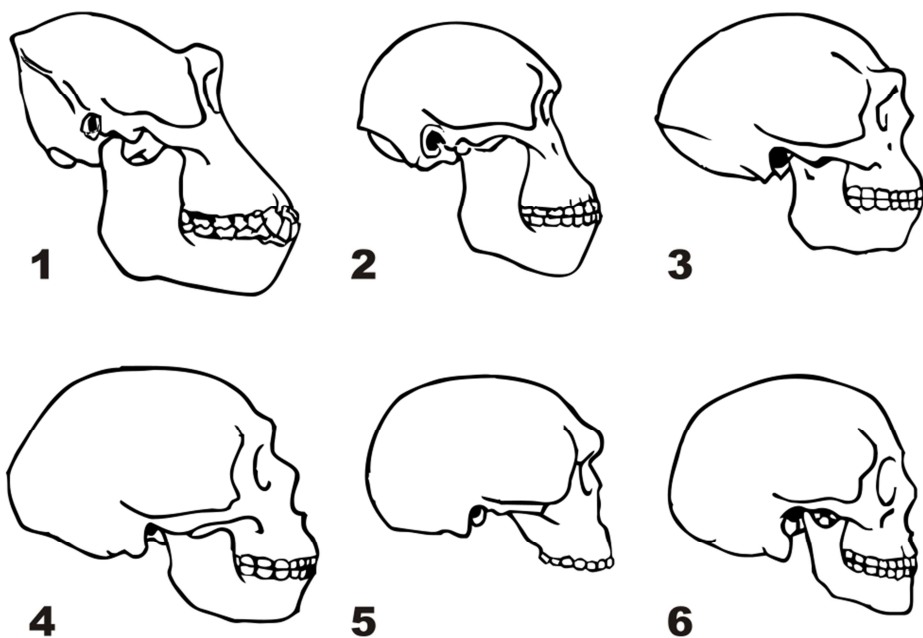
כאמור, התפתחות זו ארכה מיליוני שנה, ורק במשך מאתיים אלף השנים האחרונות עלה על בימת העולם המין האנושי שלנו. כשלצדו מין אנושי (במידה זו או אחרת) נוסף, הוא האדם הניאנדרטלי שנכחד בינתיים.

השושלת הייחודית שלנו מתחילה בבעל חיים דמוי קוף־אדם ומסתיימת באדם המודרני.

כשאנו מתבוננים בשרידים המאובנים של בעלי החיים השייכים לשושלת שלנו אנו מגלים כי ככל שעובר הזמן הם מגלים התאמה הולכת וגוברת להליכה זקופה (ההליכה זקופה כרוכה בהתאמה של כמה וכמה מנגנונים וניתן לעקוב אחר התפתחותם), ובנוסף הם מגלים עליה הולכת וגוברת של נפח המוח.

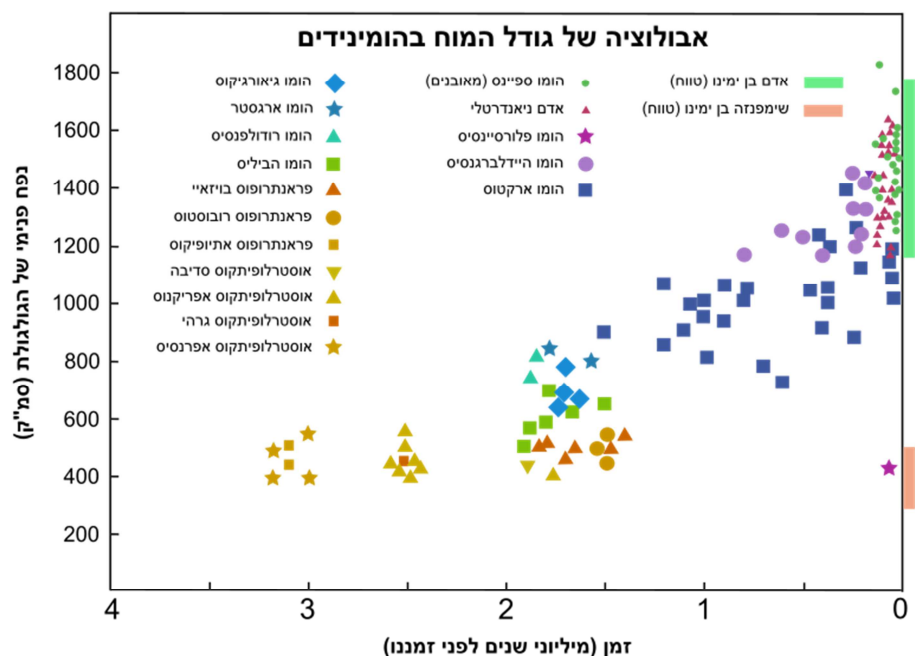
השינויים הללו הם הדרגתיים, אולם החוקרים נאלצים "לחתוך" ולסווג את הממצאים שתחת ידם ולקבוע לאיזה סוג ולאיזה מין שייך כל ממצא: האם פלוני המאובן שייך למין זה או למין האחר. שיטת הסיווג הנוכחית אינה מאפשרת סיווג כמו "הומו ארקטוס וחצי", "שלושת רבעי הומו ספיאנס". אלו הן מגבלות של שיטת הסיווג שאינה מתאימה למצבים של רצף, אך הרצף קיים.

האבולוציה של האדם



גולגולות

1. גורילה. 2. אוסטרלופיתקוס. 3. הומו ארקטוס.
4. האדם הניאנדרטלי. 5. הומו היידלברגנזיס. 6. אדם מודרני



גודל המוח בהומינידים

ראה לדוגמא את הריבועים הכחולים הנחמדים הללו שמופיעים בפרק הזמן שלפני מיליון - מיליון וחצי שנה. אם נתבונן בפסים שבצד הימני של האיור, נראה כי הריבועים הללו (המייצגים את "הומו ארקטוס") נמצאים בין השימפנזים לבין האדם המודרני, וכי נפח מוחם גדל בהדרגה ככל שעובר הזמן.

4. ומה לגבי התעמולה?

בשלב זה הגיע הזמן לחזור למאמר התעמולה של י"ע, וכך נכתב בחלקו הראשון:

אפילו בקשר לתוצר האחרון של האבולוציה - האדם, שבאופן יחסי קרוב אלינו, התיאוריה אינה יכולה להיתמך בכלום. בין קוף לאדם חייבים היו להיות אלפי שלבי ביניים, אלא שלכל אלו אין זכר, רק קופים ובני אדם אנו מוצאים.

בפסקה הקודמת הסברתי מדוע ראייה שכזו היא פשוט טעות או הטעיה מכוונת. לעיל, בפסקה שכותרתה: "העדר חוליות ביניים בין המינים: טעות מתודולוגית" הבאתי באריכות את דבריו הנוקבים של דוקינס ואצטט שוב חלק מהם:²¹⁴

המעבר מאוסטרלופתיקוס להומו הבילים, ממנו להומו ארקטוס, ממנו להומו ספיאנס ארכאי, וממנו להומו ספיאנס מודרני, הוא חלק והדרגתי לחלוטין... שום "חוליה חסירה", ואפילו היא מצויה ב**דיק** בשלב ביניים, לא היתה יכולה להימלט מהכוח העליון הטרימינולוגי, הדוחק אותה לצד זה או לצד האחר של קו ההפרדה. הדרך הנאותה לחפש צורות ביניים היא לשכוח את שמותיהם של המאובנים ולהתבונן תחת זאת בצורות ובממדים הממשיים שלהם. כאשר עושים זאת, מוצאים כי **רשומות המאובנים משופעות במעברים הדרגתיים יפים להפליא.**

י"ע "צודק" אפוא, השושלת שלנו מגלה "רק" קופים ובני אדם. כשם שבבית הכנסת אנו נמצא רק "ברי מצוה" וקטנים, למרות שכולנו יודעים שהמעבר בין גיל הילדות לבין גיל הבגרות הוא הדרגתי ורציף. ההגדרות, השמות שאנו מעניקים, אינם מאפשרים "חוליות ביניים", אולם במציאות שולטים ההדרגה וחוליות הביניים. הממצאים מראים מעבר ברור והדרגתי בין יצורים דמויי קוף לבין האדם. לא זו בלבד, אלא שהממצאים מאפשרים להכריע בשאלת "מה קדם למה", והם מראים כי קודם בא "זוקף כפופים" שבעקבותיו הגיע ה"מתיר אסורים" (שאיפשר לזרועותינו להשתחרר מנטל ההליכה), ואחר כך הגיע "הנותן לשכוי בינה": הגדלת נפח המוח. אגב, אפילו הנטיה לימניות מתועדת במאובנים החל משלב מסוים (לימניים יש אונת מוח שמאלית מפותחת מן הימנית, ודבר זה משאיר את חותמו על עצם הגולגולת מבפנים. גם השיניים עשויות להעיד על הימניות).²¹⁵

בדומה לטענה זו שמעלה י"ע, אשר בתחילה היא נשמעת משכנעת אף שאין בה שמץ של טענה, י"ע מעלה טענות שונות ומשונות, חלק מהן מבוססות על הבלים וטעויות וחלק מהן אינן רלבנטיות כלל לענייננו, אלא שקצרה היריעה מלהכיל. ואביא עוד דוגמא מדבריו:

214 הטיפוס על ההר הבלתי סביר, עמ' 123-125. הקורא מוזמן לשוב ולעיין בדבריו המלאים והנוקבים לעיל.

215 פרייר, ימניות. במאמרו טוען פרייר כי הימניות קיימת באירופה מזה חצי מיליון שנה.

מאובני ושרידי האדם הומו ארקטוס, הומו ספיאנס, הניאנדרתלי, הקרומניוני, כולם מוגדרים כאדם לכל דבר. ההבדלים ביניהם אינם יותר גדולים מן ההבדלים בין גזעי בני האדם החיים כיום על פני כדור"א.

זוהי טענה של הבל. בוודאי שכל המנויים כאן מוגדרים כ"אדם", ועל כך מורה התחילית "הומו" (שם הסוג "אדם"), כולם שייכים לסוג "אדם", כשם שהאריה והנמר שניהם שייכים לסוג *Panthera* וכשם שהחמור, הסוס והזברה שייכים שלושתם לסוג *Equus*. עם זאת, כולנו מכירים את ההבדלים בין האריה לנמר ובין הסוס לזברה, הם לא בדיוק אותו בעל חיים, ובדומה לכך, המינים השונים: הומו ארקטוס והומו ספיאנס הם מינים מובחנים. ה"קרומניוני" (Cro-Magnon) הם בני אדם מודרניים שחיו באירופה לפני כשלושים וחמש אלף שנה והם "הומו ספיאנס" לכל דבר. ואילו לגבי הניאנדרתלי, כתבתי לעיל שקיימים חילוקי דעות בין החוקרים אם להחשיב אותו כמין בפני עצמו (אמנם, גם מסוג "אדם") או לראות בו תת-מין של ספיאנס (ולפי זה, אנו והניאנדרטלים משקפים שני תתי-מינים של המין הומו ספיאנס). כך או כך, גם ההבדל הגנטי בינינו לבין הניאנדרטלים גדול מההבדל שבין הגזעים השונים הקיימים כיום,²¹⁶ ובכל מקרה זה לא משנה לענייננו משום שהאדם הניאנדרטלי אינו חלק מאילן היוחסין שלנו.

אסתפק בקטע אחד נוסף מדבריו של י"ע:

הבאסקים ניכרים בקלסתר פניהם שיש בו צירוף יחיד במינו של קוים אנתרופולוגיים, משערים שהם דומים ביותר לטיפוס האדם מן התקופה הפאלאוליתית המאוחרת ששרידיו נמצאו במערות קרו מאניון בצרפת, וכשם שהטיפוס האנתרופולוגי הפיסי שלהם קדום מאד כך גם לשונם היא מן הקדומות ביותר ואף במנהגיהם ובהרגלי עבודתם נשתמרו יסודות מן התקופה הפרהיסטורית. הבאסקים יושבים בגלילותיהם הנזכרים לכל הפחות מתקופת האבן המאוחרת, (אנצ"ע ערך בסקים). לו היתה שואה משמידה את העם הבסקי לפני כמה שנים, היינו מתארכים ללא ספק את כולם לתקופה הפאלאוליתית, לפי מבנה פניהם ושאר הקריטריונים האנתרופולוגיים, ולפי "מנהגיהם והרגלי עבודתם" שהיו משתמרים, היתה הוכחה ברורה ומוחצת לתיארוך הנ"ל. ורק היה על הגורל המשעשע לקוות שלא היה נמצא בחיקו של אף אחד מכשיר פלאפון... העובדה כי

216 גרין וחב', הגנום הניאנדרטלי.

הם יושבים באותם גלילות מתקופת האבן (יותר מארבעת אלפים שנה אחורה!) גם לא היתה מתקבלת על אף דעה, ולכן גם בהתעלמות מהמבנה האנתרופולוגי, היו מיחסים את תרבותם כולה לתקופת האבן.

תיארוך שרידים אינו מבוסס על קלסטר פנים וקוים אנתרופולוגיים. י"ע "שוכח" את מגוון הבדיקות העומדות לרשותנו כיום, והכוללות שיטות תיארוך מדויקות כמו בדיקת פחמן 14 ובדיקות גנטיות ישירות. כאשר התגלה "איש הקרח" (אדם שגופתו הקפואה התגלתה בשנות התשעים של המאה הקודמת כשהיא חנוטה בקרח של הרי האלפים) הצליחו החוקרים למקם את זמנו לתקופה שלפני כחמשת אלפים ושלוש מאות שנה, והצליחו אפילו לזהות ארבעה מקורות שונים לכתמי הדם שעליו.²¹⁷ כך שאין לחשוש שהמחקר היה מזהה אדם בן ימינו כשריד מהקררמניון שחיו לפני 35,000 שנה... באשר לטענה ש"העובדה כי הם יושבים באותם גלילות מתקופת האבן (יותר מארבעת אלפים שנה אחורה!) גם לא היתה מתקבלת על אף דעה" - טענה זו נובעת מהרהורי לבו של הכותב שבעיניו ארבעת אלפים שנה הן "המון זמן". המחקר רגיל לדבר על אוכלוסיות הנמצאות במקומן עשרות אלפי שנים ומאות אלפי שנים אם לא יותר, כך שהמחשבה שארבעת אלפים שנה היתה מזעזעת מישוה היא יותר מתמוהה. אגב, י"ע מערב בדבריו שתי תפיסות: התפיסה המיושנת הרואה בבסקים עם קדום ועתיק במיוחד לעומת התפיסה העדכנית המבוססת על השוואות דנ"א ואשר לפיה הבסקים נמצאים במקומם "רק" כארבעת אלפים שנה. תפיסה זו רואה בבאסקים אוכלוסיה שבאה "די לאחרונה" יחסית.²¹⁸

217 אסתפק בהפניה לערך "אצי, איש הקרח" בויקיפדיה. מעניין לציין את מגוון הממצאים שאיש הקרח סיפק: החל מהמזון שאכל, הכלים בהם השתמש והמחלות מהן סבל וכלה במותו האלים על ידי חץ שנורה מאחוריו.

218 קליאוסוב, גנאלוגיה.

11 שאלות ותשובות

א. האם האבולוציה אינה אלא השערה?

טעות עגומה הנובעת מהמינוח המדעי היא ההנחה שהאבולוציה "אינה אלא השערה". ואכן, אנו מדברים על "השערת האבולוציה". המלה "השערה" טומנת בחובה משמע של אירודאות. אני משער, אינני בטוח.

זוהי טעות סמנטית הנובעת משימושים שונים של המונח "תיאוריה". בלשונו הזהירה של המדע, תיאוריה הוא המונח ה"חזק" ביותר שניתן לתת להסבר מדעי כלשהו. המונח תיאוריה משמש לציון מערך שלם ושיטתי של רעיונות המתאר ומסביר תופעה מסוימת או קבוצת תופעות בעלות קשר. כל מערך שכזה, מאומת בכל שיהיה, נקרא "תיאוריה", בין אם מדובר בתורת היחסות של איינשטיין או בתיאוריית המכניקה הקלאסית. אין "שדרוג" לביטוי תיאוריה, והתיאוריות לעולם נשארות "תיאוריות", גם כאשר הן מאומתות בכל דרך אפשרית ומעשית, כך שהטענה שתורת האבולוציה אינה מאומתת ומאושרת ואינה נתפסת כבסיס למדעי החיים מכוח העובדה שהיא נקראת "תיאוריה" בלבד, היא טענה של הבל. מובן מאליו שלא כל מה שנקרא "תיאוריה" הוא נכון, אבל גם מה שנכון אינו נקרא בכינוי רם יותר מ"תיאוריה".²¹⁹

ב. האם האבולוציה היא תיאוריה מדעית?

קריטריון מרכזי לתיאוריה מדעית הוא היכולת להפריכו. תיאוריה שבעיקרון לא ניתן להפריכה אינה זכאית לתואר הנכסף "תיאוריה מדעית". תיאוריית האבולוציה עשירה בניבויים ועשירה בטענות הניתנות להפרכה. למותר (או שלא למותר) לציין שמעולם לא נמצאו הממצאים המפריכים תיאוריה זו, וגם בזה נמדד חוסנה של התיאוריה.

לגבי ניבויים: ציינתי פה ושם במהלך הספר שניבויים של חוקרים הניבו לאחר שנים תוצאות שאוששו את ניבוייהם. כך היה הדבר לגבי הניבוי שביבשת הקפואה אנטארקטיקה חייבים להימצא שרידים של חיות כיס (ניבוי שהתבסס על ההנחה

219 יוצאות דופן הן המתמטיקה והלוגיקה. שם, השערות שזכו להוכחה נקראות "תאורמה". אולם הכבוד הזה שמור להוכחות הנוהגות במתמטיקה ולוגיקה.

שחיות הכיס הגיעו לאוסטרליה מאמריקה הדרומית דרך אנטארקטיקה, בזמן שהללו היו מחוברות). כמו כן ציינתי את הניבוי שהולך, לאחר מאמץ בן שש שנים, לגילוי של הטיקטאליק - חוליית הביניים שבין הדג לבין הולכי-על-ארבע. הניבוי כלל את ההערכה שיצור כזה קיים, ואת ההערכות באיזו תקופה עלינו לחפש על מנת לאתר יצור זה, ובאיזה מקום בעולם ניתן למצוא סלעי משקע נגישים שנוצרו בתקופה ההיא. מובן שהניבויים כללו את עצם קיומם של חוליות הביניים הרבות אחרות שהתגלו שנים רבות אחרי ניסוח תורת האבולוציה.

אך מה לגבי הפרכה. האם תיאוריית האבולוציה ניתנת להפרכה? התשובה חיובית וחד-משמעית: ניתנת גם ניתנת, ברמת העיקרון. להלן דוגמות לממצאים שעשויים היו להפריך את תיאוריית האבולוציה, לולא היתה נכונה:

1. בתחום הפליאונטולוגיה:

מציאת מאובנים שלא לפי הסדר הצפוי על ידי האבולוציה: מאובנים של יונקים או עופות או דינוזאורים לפני התקופה בה התפתחו הזוחלים, מאובנים של זוחלים לפני התקופה של הולכי-על-ארבע הראשונים, מאובנים של הולכי-על-ארבע לפני דגי הגרם הראשונים. או מאובנים בעלי מאפיינים שאינם מתיישבים עם תיאוריית האבולוציה: יונקים בעלי נוצות וכדומה. (אציין שהממצא הבא אינו מהווה סתירה: מציאת שני מאובנים מאותה תקופה אשר האחד נחשב כאביו של הראשון. כפי שצינתי לעיל, העובדה שחלק ממין מסוים של בעלי חיים פרש מאוכלוסיית האם ועבר התפתחות ושינוי עד שהפך ראוי להיקרא מין אחר, אינה אומרת שכל אוכלוסיית האם עברה התפתחות ושינוי. ולכן אנו עשויים להמשיך למצוא שרידים מאוכלוסיית האם ושרידים מהאוכלוסיה הפורשת אלה לצד אלה).

2. בתחום האנטומיה והמורפולוגיה:

גילוי איברים מנוונים או אטביסטיים או מבנים עובריים שאינם מתיישב עם תורת האבולוציה: לדוגמא, לו היינו מגלים סוס שיש לו כנפיים מנוונות, או סוס שפיתח כנפיים מנוונות או שהצמיח כנפיים במהלך ההתפתחות העוברית, היו גילויים אלה מפריכים את תיאוריית האבולוציה, שכן לפי האבולוציה, כנפיים אינם חלק מעברו של הסוס והמידע לבנות כנפיים מנוונות אינו אמור להיות כלול במטען הגנטי של הסוס.

בדומה לכך, לו היה עוף מצמיח פרסות לקצות אצבעותיו ואפילו בשלב ההתפתחות העוברית בלבד, היה הדבר מפריך את תיאוריית האבולוציה, שכן לפי האבולוציה פרסות אינן חלק מעברו של העוף.

בפועל מעולם לא נמצאו ממצאים שכאלה. מה אנו כן מוצאים? רק ממצאים המתיישבים עם תיאוריית האבולוציה וניבוייה: איברים מנוונים, אטביסטיים או עובריים הקשורים לעברו של בעל החיים: שיניים בעופות (שהתפתחו מהזוחלים), רגליים בלוויתנים (שהתפתחו ממכפילי פרסה) ובנחשים (שהתפתחו מזוחלים), אצבעות נוספות בסוס (שהתפתח מיונק בעל חמש אצבעות), זנב באדם וכו'.

3. בתחום הגנטיקה:

גילוי פסאודוגנים, רטרווירוסים אנדוגניים או טרנספוזונים המשותפים לבעלי חיים הנחשבים רחוקים על פי האבולוציה, בעוד שהם נעדרים אצל בעלי החיים הקרובים יותר. לדוגמא, לו מצאנו פסאודוגן או רטרווירוס אנדוגני וכו' המשותף בצורה מדויקת אצל הגורילה והאריה אך לא אצל השימפנזה או הנמר, היה הדבר מפריך את תיאוריית האבולוציה.

כמו כן, מציאת רצפים גנטיים וחלבונים זהים בקרב בעלי חיים רחוקים אך לא בקרב הקרובים היתה מפריכה את תיאוריית האבולוציה.

העובדה היא שמבחינת רצפים גנטיים, חלבונים, פסאודוגנים, רטרווירוסים אנדוגניים, טרנספוזונים וכל מה שקשור לכך, לעולם הממצאים מצביעים על יחסי קרבה הזהים למה שידוע לנו על פי האבולוציה.

לסיכומו של דבר, קל היה למדי להפריך את תיאוריית האבולוציה אלמלא היתה נכונה. הדגמתי כמה וכמה תחומים בהם היה ניתן למצוא פירוכות וערעורים, למרות זאת, תיאוריית האבולוציה רק מתאשרת והולכת ומפרה את הידע האנושי וההתפתחות הטכנולוגית.

ג. האם נצפתה אי פעם התפתחות של תכונה מועילה חדשה?

זו טענה שמעלים אותה פעמים רבות מתנגדי האבולוציה. הטענה כשלעצמה ריקה מתוכן. השינויים האבולוציוניים שאנו מדברים עליהם הם שינויים שמתרחשים בקנה מידה של מיליוני שנים, מיליוני דורות, עקב בצד אגודל, כך שאין לצפות שנראה את האבולוציה מתחוללת לעינינו במישרין. אמנם, העקרונות לפיהן פועלות הברירה המלאכותית והברירה הטבעית הם פשוטים וגלויים לעין, ושינויים לטוב או לרע מתחוללים לנגד עינינו ומתפשטים לעתים באחת באוכלוסיה. אבקש להזכיר שזוהי עובדה נתונה שאפילו בין בעלי חיים בני אותו המין, או בין בני האדם עצמם, יש הבדלים גנטיים המאפשרים להם להתמודד טוב יותר בסביבת החיים שלהם (כגון הגנים הקובעים את צבע העור החשוב לסביבת מגוריו של האדם, או הגנים המאפשרים לו להנות ממוצרי חלב), ולשינויים אלו במטען הגנטי אנו מתכוונים כשאנו מדברים על מוטציות חיוביות.

עם זאת, קיימים יצורים שבהם אנו יכולים לנסות ולראות את האבולוציה בפעולה בתנאי מעבדה מחמירים. אלו הם יצורים שמתרבים בקצב מהיר מאד, באופן שאנו יכולים לצפות במה שקורה ליצורים אלה כעבור עשרות אלפי דורות. יצורים אלה הם החיידקים. הדוגמא שלהלן מיוחדת בכך שהיא מדגימה תכונה מועילה שהתפתחה באוכלוסיה מסוימת בעקבות מוטציה ואשר ידוע בוודאות שהיא לא היתה קיימת כלל באביה הקדום של אותה אוכלוסיה. המדובר במחקר מיוחד שנערך על חיידקי אשריכיה קולי. במחקר זה, שנמשך משנת 1988 ברצף (עשרים וחמש שנה נכון לכתובת שורות אלה) מגדלים החוקרים 12 אוכלוסיות של חיידקי אשריכיה קולי בצנצנות המכילות גלוקוזה (כמזון) וחומרים נוספים, ובוחנים את המוטציות המתרחשות בהם. אחת המוטציות המעניינות יותר התרחשה בקרב אחת מאוכלוסיות החיידקים הללו בסביבות הדור ה-33,127 שלהם (בשנת 2010 חצה מספר דורות החיידקים שבניסוי את הדור ה-150,000!). חיידקים אלה פיתחו במפתיע את היכולת להיזון מחומצת הלימון שבצנצנות הניסוי, בניגוד ל-30,000 דורות אבותיהם, ובניגוד לחבריהם ביתר הצנצנות.²²⁰ בחינה מדוקדקת של אוכלוסיות החיידקים גילתה כי בסביבות הדור ה-20,000, התפתחו בקרב החיידקים

220 בלוט וחב', אשריכיה קולי.

שלוש קבוצות שונות מבחינה גנטית, וכי שינויים שהצטברו באחת מקבוצות אלה הם אלה שהובילו בסופו של דבר להתפתחותה של התכונה החדשה.²²¹

ד. האם תורת האבולוציה מתאימה לדברי חז"ל?

פתחתי את הספר הזה במאמר חז"ל על בעלי חיים שמשתנים והופכים לבעלי חיים אחרים. דעה זו חז"ל היא קיצונית בהרבה מהטענות של תורת האבולוציה, הטוענת שבעלי החיים עוברים שינויים זעירים והדרגתיים לאורך תקופות זמן המופלגות באורכן. גם כאשר מדובר ב"קפיצה" אבולוציונית, היא לאין שיעור זעומה ואיטית ביחס לשינויים שבאים לידי ביטוי בדברי חז"ל הנ"ל. מי שמקבל את האפשרות שצבוע הופך לעטלף, לדוגמא, אל יבזז לטענות האבולוציה.

כמו כן מוצאים אנו בחז"ל ובפוסקים את התפיסה של "היווצרות ספונטנית", לפיה חרקים מסוימים לא נוצרים מפריה ורבייה אלא מזיעה, עפר, גללים ופירות רקובים (ראה דברי המשנה ברורה סימן שטז ס"ק לח, ודברי הביאור הלכה ד"ה להרגה). כיום כאשר חוקרים עוסקים בשלב הראשוני של היווצרות החיים וטוענים שהחיים נוצרו מדומם, הם זוכים לקיתונות של בוז מקרב אנשי שלומנו, ונחשבים כמחרפים ומגדפים. אמנם חז"ל טענו שאפילו יצורים מורכבים כדוגמת החרקים עשויים להיווצר מעצמם מחומרים דוממים.²²²

עם זאת, חשוב לזכור שמטרת חז"ל אינה ללמדנו את מדעי החיים, ולו אימצנו את דבריהם בנושאים אלה כפשוטם, שומה היה עלינו לטעון באותה המידה שבליה, כאשר השמש שוקעת, היא טובלת באוקיינוס וכבה, ובבוקר, כשהיא מגיעה למזרח, היא רוחצת בנהר של אש ונדלקת מחדש.²²³ או לטעון שבמשך

221 בלוט, ניתוח גנומי.

222 אציין שתפיסה זו שכאמור באה לידי ביטוי עדיין במשנה ברורה, נדחתה כבר מאתיים שנה לפני זמנו של המשנה ברורה על ידי פרנצ'סקו רדי (Francesco Redi). הטענה של החוקרים כיום בכל הנוגע להיווצרות החיים היא צנועה בהרבה והיא "מסתפקת" בהיווצרותה של "מולקולה המשכפלת את עצמה" מתוך מולקולה של חומר דומם "רגיל".

223 פרקי דרבי אליעזר, פרק נ, = ילקוט שמעוני ישעיהו רמז תקי. וראה מאמר דומה בזהר חדש, בראשית כג א-ב.

הלילה השמש עוברת בתוך מנהרה החפורה באדמה, עד שהיא חוזרת למקומה במזרח²²⁴ וכדומה.

והיות ועיקר עיסוקנו הוא בבעלי חיים, אביא דוגמות נוספות הקשורות לדברי חז"ל על בעלי חיים:

לפי ברייתא בבכורות²²⁵ משך ההריון של בעלי חיים כמו אריה, נמר, ברדלס וזאב הוא שלוש שנים, משך ההריון של הנחש הוא שבע שנים, ומשך ההריון של האפעה הוא שבעים שנה. [ואילו לפי הזוהר (בראשית יח, א) משך ההריון של הנחש והאפעה הוא שבע שנים]. במציאות, משך ההריון של האריה, הנמר והברדלס הוא כשלושה חודשים, ומשך ההריון של הזאב הוא 63 יום. האפעה והנחשים המטילות ביצים - מטילות מידי שנה, ואלו המשריצות וולדות - משריצות מידי שנתיים. משך ההריון נע בין חודשיים לארבעה עשר חודש.

עוד אמרו חז"ל כי בעל חיים ללא עצמות אינו שורד למעלה משנה (חולין נח ע"א-ע"ב). קביעה שיש לה משמעות הלכתית (ראה שו"ע יו"ד פד, ח). בעוד שבמציאות יש חסרי עצמות המסוגלים לשרוד שנים (זחל השפירית - ארבע שנים, זחל הציקדה - שבע עשרה שנה, נקבת עכביש הטרגטולה - כחמישים שנה!).

ואחתום בדברי חזקיה שסבר שלעופות אין בכלל ריאות (חולין נז ע"א). אמירה זו של חזקיה היא בעלת משמעות הלכתית הנוגעת להלכות טריפות ואיסורי תורה. הסוגיא דוחה אמנם את דבריו של חזקיה, אולם על פי דרכנו למדנו מסוגיא זו שיעור חשוב: חזקיה קבע קביעה בעלת משמעות הלכתית ואשר ניתן לבדוקה בקלות רבה, ועם זאת הוא שגה בקביעה זו. ואם כך יכול לקרות כאשר מדובר בנושא שקל מאד לבדוקו ואשר נודעת לו משמעות הלכתית, שוו בנפשכם מה המצב כשעוסקים באמירות שאין להן שום משמעות הלכתית ואשר קשה או בלתי אפשרי לבדוקן.

וכבר קבע לנו הרמב"ם מהו היחס הנכון לידיעות הטבע השונות המובאות בחז"ל, וזה לשונו (מורה נבוכים חלק ג, פרק יד):

224 (מדרש הלל, = אוצר המדרשים עמ' 128). דעות נוספות בפסחים צד ע"ב, ובבבא בתרא כה ע"א-ע"ב.

225 תוספתא בכורות א, י; ברייתא בבבלי בכורות ח ע"א.

החכמות הלימודיות היו בזמנים ההם חסרות, ולא דיברו בהם על דרך קבלה מן הנביאים, אבל מאשר הם חכמי הדורות בעיניהם ההם, או מאשר שמעום מחכמי הדורות ההם.

כלומר, הידיעות של חז"ל בנושאים שאינם הלכתיים ותורניים שאובים מהידע הכללי של חכמי אותו הדור, ידע שלקה בחסר, ואשר על כן, אין לסמוך על דבריהם בנושאים אלה יותר ממה שהיינו סומכים על חכמי הדורות ההם. קיימים הסברים נוספים לפער הבולט שיש בין דברי חז"ל לבין המציאות, אולם השורה התחתונה היא שלא ניתן להסתמך באופן מילולי על קביעותיהם של חז"ל בנושאים של ידיעת הטבע. מי שאינו מקבל קביעה זו, ימשיך לחיות בעולם בו השמש כבה בלילה. ברצוני להזכיר שכך או כך, דווקא דברי חז"ל על השתנות המינים ועל ההיווצרות הספונטנית מחזקים את המחנה הדוגל באבולוציה.

ה. האם תפיסת האבולוציה היא אנטי־מוסרית?

ניתן לעוות כמעט כל דבר בעולם. אפילו משמעות דבריו של אנטיגנוס איש סוכו (אבות א, ג) סולפה על ידי תלמידיו צדוק ובייתוס (אבות דרבי נתן ה, ב). בדומה, יש שחשבו כי האבולוציה, המלמדת אותנו כי מוצאנו הקדום הוא בבעלי חיים, מלמדת אותנו שעלינו לנהוג כבעלי חיים. אולם ההיפך הוא הנכון. האבולוציה מלמדת אותנו יותר מכל דבר אחר כמה עלינו להיזהר. הגע עצמך, ברוח מסורת ישראל סבא אנו למדים מגיל צעיר כי יש בנו "יצר הרע", ושגופנו הוא גוף חומרי שיש לו "רצונות חומריים". אנו מגלים כי אנו משתוקקים לכבוד מצד אחד, ולתענוגות גשמיים מאידך, ואנו מנהלים את חיינו תוך כדי ויסות וריסון המאוויים הללו ותוך רתימתם להתפתחותנו הרוחנית - לעבודת הבורא. אותו מסר בדיוק מעבירה לנו האבולוציה, ובפרט הפסיכולוגיה האבולוציונית, כאשר היא מלמדת אותנו שבתוכנו יש מאוויים חייתיים, שרידים מעברנו הלא־אנושי, שלא בהכרח עולים בקנה אחד עם מצבנו בהווה. הפסיכולוגיה האבולוציונית מסייעת לנו בכך שהיא מכוונת זרקור לנטיות השונות שטמונות בנו ולהטיות השונות מהן עלינו להיזהר, ובכך האבולוציה גם מאשרת בדיוק מה שתמיד ידענו: שיש לנו יצר הרע, וגם עשויה לסייע לנו לאתר את המקומות בהן הוא מתחבא.

האבולוציה איננה טוענת שאנחנו היום קופים או שאנחנו חיות. אנחנו בני אדם, ועלינו לנהוג כבני אדם. הטענה שההיסטוריה שלנו צריכה לקבוע את המוסריות שלנו שקולה לטענה הבאה: הכול יודעים שתחילתו של האדם בתא בודד. התא הבודד אינו אדם, ואף לדרגת חיה לא הגיע. מכאן שהאדם ראוי לעשות ככל העולה על רוחו ולהתעלם משיקולים מוסריים משום שהוא אינו אלא התפתחות של תא. כולנו מבינים שהטיעון הזה אינו תקף, אף שהוא מבוסס על ההיסטוריה המיידית והידועה של כל אדם ואדם, לא רק בהיסטוריה שאירעה לפני מיליוני שנה.

ו. האם זה כל מה שיש לומר בנושא האבולוציה?

כלל וכלל לא. קורא אני על מאמר זה את דבריו של רבי אליעזר בן הורקנוס (סנהדרין סח ע"א): "ולא חסרתי מרבתי אפילו ככלב המלקק מן הים".

האבולוציה היא ים שאין לו סוף, והיא מאירה כל היבט במדעי החיים, והללו רבים מספור. במאמר זה סיפקתי טעימה מהאבולוציה על מנת להמחיש שמן ממנה. יתרתה מונחת בקרן זוית וכל הרוצה ללמוד יבוא וילמד (קידושין סו ע"א).

בתור התחלה, אני ממליץ על ספרו המעולה של ג'רי א. קוין (Coyne): למה האבולוציה נכונה, שיצא במהדורה עברית בשנת 2013.

אינני יודע אם הקורא השתכנע באמיתת הדברים שהעליתי בספר זה. אני מקווה שהפיק תועלת מן הקריאה וכי היא הפרתה את מחשבתו והעשירה את ידיעותיו על עולמנו המופלא. והיה אם בעקבות כך יפתח הקורא חשיבה ביקורתית כלפי הדברים שהוא נחשף להם בעבר ובהווה, וענווה לנוכח נפלאות הבורא והבריאה ונפלאות הידע, והיה זה שכרי.

ניתן לפנות אל המחבר באמצעות דוא"ל: toraumada@yahoo.com

הספר ניתן להורדה חינם באתר: www.toraumada.org.il

ובדף הפייסבוק: www.facebook.com/toraumada

ציונים ביבליוגרפיים

- Umea University, (Press Release, 16/4/2008) "World's oldest living tree discovered in Sweden",
<http://info.adm.umu.se/NYHETER/PressmeddelandeEng.aspx?id=3061>
 (retrieved 26/6/13) אוניברסיטת אומאה, העץ החי הזקן ביותר
- Oregon Health and Science University, "OHSU research team successfully converts human skin cells into embryonic stem cells" (15/5/13). http://www.ohsu.edu/xd/about/news_events/news/2013/05-15-ohsu-research-team-succe.cfm?utm_campaign=189_Shoukhrat_1.jpg&utm_source=homebanner&WT.ac=189_Shoukhrat_1.jpg&WT.ac=New-Image_1 אוניברסיטת אורגון, שיבוט אנושי
- University of Washington, "New device can extract human DNA with full genetic data in minutes", (6/5/13).
<http://www.washington.edu/news/2013/05/06/new-device-can-extract-human-dna-with-full-genetic-data-in-minutes>.
 (retrieved 26/6/13). אוניברסיטת וושינגטון, מתקן חדש לניתוח דנ"א
- Unesco Institute for Statistics.
<http://www.uis.unesco.org/Library/Documents/UNNESCOSR10-eng.pdf>
 (retrieved 1/6/13). אונסק"ו, דו"ח המדע 2010
- אופק י', "הפרות של כרמיה המובילות בארץ בתגובת החלב", NRG מעריב, (17/2/2010),
<http://www.nrg.co.il/online/54/ART2/061/227.html> אופק, תגובת החלב
- Eicher, D.L., *Geologic Time*, Prentice-Hall, EnglewoodCliffs, NJ: 1976. אייכר, זמן גיאולוגי
- Ingram, W.R., "Studies on Amphibian Neoteny. I. The Metamorphosis of the Colorado Axolotl by Injection of Inorganic Iodine", *Physiological Zoology* Vol. 2, No. 2 (Apr., 1929), pp. 149-156 אינגרם, אקסולוטל
- Alexander, D.; Numbers, R. L. (2010). *Biology and Ideology from Descartes to Dawkins*. Chicago: University of Chicago Press. אלכסנדר, דניס. מספרים
- Elert, G., "Speed of the Continental Plates",
<http://hypertextbook.com/facts/ZhenHuang.shtml> (retrieved 26/6/13). אלרט, מהירות הלוחות היבשתיים
- Amasaki, H., Ishikawa, H., and Daigo, M. (1989) "Developmental changes of the fore- and hind-limbs in the fetuses of the southern minke whale,

Balaenoptera acutorostrata." *Anat Anz* 169: 145-148

Endler, J.A. 1980. Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*. *Evolution* 34: 76-91

אנדלר, דגי גופי

<http://www.askabiologist.org.uk/answers/viewtopic.php?id=6424>

אסק א ביולוגיסט,
אדם ושימפנזה

WHO: World Health Organization. "Sickle cell disease prevention and control." <http://www.afro.who.int/en/clusters-a-programmes/dpc/non-communicable-diseases-managementndm/programme-components/sickle-cell-disease.html> (retrieved 26/6/13)

ארגון הבריאות העולמי,
אנמיה חרמשית.

Ashikari, T., Shibano, Y., Amachi, T., Yoshizumi, H., and Matsubara, H. (1988b) "Construction of a human cytochrome *c* gene and its functional expression in *Saccharomyces cerevisiae*." *J Biochem* (Tokyo) 103: 954-61

אשיקרי וחב',
ציטוכרום סי

Bower, B. "Hints Of Earlier Human Exit From Africa", *Science News*. doi:10.1126/science.1199113.

באוור, היציאה מאפריקה

Bowler, J.M. *et al* 2003, New ages for human occupation and climatic change at Lake Mungo, Australia, *Nature* 421:837-840. doi:10.1038/nature01383

בוולר וחב', אוסטרליה

Bonatto, S.L.; Salzano, F.M.. (1997). "A single and early migration for the peopling of the Americas supported by mitochondrial DNA sequence data". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 1866-1871. doi:10.1073/pnas.94.5.1866.

בונטו וסלזנו,
ההגירה לאמריקות

Bonner, T. I., C. O'Connell, *et al.* (1982) "Cloned endogenous retroviral sequences from human DNA." *PNAS* 79: 4709

בונר וחב',
רצפים רטרוויראליים

Besharse, J. C., and Brandon, R. A. (1976) "Effects of continuous light and darkness on the eyes of the troglobitic salamander *Typhlotriton spelaeus*." *J Morphol* 149: 527-546

בישרס וברנדון,
השפעת האור

Blumenthal, L., (August 2, 2010). "Company says FDA is nearing decision on genetically engineered Atlantic salmon". *Washington Post*. (Retrieved 2/8/2010).

בלומנטל, סלמון מהונדס

Blount, Z.D.; Borland, C.Z.; Lenski, R.E. (2008). "Historical contingency and the evolution of a key innovation in an experimental population of *Escherichia coli*". *Proceedings of the National Academy of*

בלונט וחב',
אשריכיה קולי

Sciences 105 (23): 7899-906. doi:10.1073/pnas.0803151105.

Blount Z.D., Barrick J.E., Davidson C.J., Lenski R.E. (9/27/12). "Genomic analysis of a key innovation in an experimental *Escherichia coli* population". *Nature* 489 (7417): 513-518. doi:10.1038/nature11514. .

בלונט וחב', ניתוח גנומי

Belshaw R, Pereira V, Katzourakis A, Talbot G, Paces J, Burt A, Tristem M (Apr 2004). "Long-term reinfection of the human genome by endogenous retroviruses". *Proc Natl Acad Sci USA* 101 (14): 4894-99. doi:10.1073/pnas.0307800101.

בלשוב וחב', רטרווירוסים

Batzer, M.A., and Deininger, P. L. (2002) "Alu repeats and human genomic diversity." *Nat Rev Genet.* 3: 370

בצר ודיינינגר,

חזרות אלו ומגוון

Bekoff, M. "Grief in animals: It's arrogant to think we're the only animals who mourn", *Psychology Today*, (29/10/2009). <http://www.psychologytoday.com/blog/animal-emotions/200910/grief-in-animals-its-arrogant-think-were-the-only-animals-who-mourn>

בקוף, אבלות בבעלי חיים

Bar-Maor, J.A., Kesner, K.M., and Kaftori, J. K. (1980) "Human tails." *J Bone Joint Surg Br.* 62-B: 508-510

בר-מאור וחב', זנב אדם

בר-ניר, ד', "נגיף נגד סרטן", גליליאו 175 (מרס 2013), עמ' 18.

בר-ניר, נגיף נגד סרטן

Baruchin, A.M., Mahler, D., Hauben, D. J., and Rosenberg, L. (1983) "The human caudal appendage (human tail)." *Br J Plast Surg.* 36: 120-123

ברוכין וחב', זנב אדם

Berzin, A. A. (1972) *The Sperm Whale*. Pacific Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. Available from the U. S. Dept. of Commerce, National Technical Information Service. Springfield, VA.

ברזין, לוייתן הזרע

Goodman, M., Koop B.F., et al. (1989) "Molecular phylogeny of the family of apes and humans." *Genome* 31(316-335)

גודמן וחב',

פילוגניה מולקולרית

גולד, ס"ג, אבני מרמה ממרקש, אור יהודה: 2002

גולד, אבני מרמה ממרקש

גולד, ס"ג, בוחן הפנדה, אור יהודה: 1990

גולד, בוחן הפנדה

גולד, ס"ג, מאז היות דארווין, תל אביב: 1983

גולד, מאז היות דארווין

גולד, ס"ג, שיני תרנגולות ובהונות סוס, אור יהודה: 2002

גולד, שיני תרנגולות

ובהונות סוס

ציונים ביבליוגרפיים

- Gordon S.P. *et al.* "Adaptive Changes in Life History and Survival following a New Guppy Introduction". *The American Naturalist*, 2009; DOI:10.1086/599300 גורדון וחב', דגי גופי
- Gilbert, S.F. (1997) *Developmental Biology*. Fifth edition. Sinauer Associates, pp. 894-896 גילברט, ביולוגיה התפתחותית
- Glazko G.V., Nei M. (March 2003). "Estimation of divergence times for major lineages of primate species". *Mol. Biol. Evol.* 20 (3): 424-34. doi:10.1093/molbev/msg050. גלזקו וני, הסתעפות הפרימטים
- Gilad Y, Man O, Pääbo S, Lancet D (March 2003). "Human specific loss of olfactory receptor genes". *PNAS* 100 (6): 3324-7. doi:10.1073/pnas.0535697100. גילעד וחב', גנים לקולטני ריח
- Jeffery, W.R. (2001) "Cavefish as a model system in evolutionary developmental biology." *Dev Biol.* 231: 1-12. ג'פרי, דג המערות
- Green, R. E. *et al.* (2010) "A Draft Sequence of the Neandertal Genome" *Science*. Vol. 328 (5979), pp. 710-722; doi: 10.1126/science.1188021 גרין וחב', הגנום הניאנדרטלי
- Greco, T.L., Takada, S., Newhouse, M.M., McMahon, J.A., McMahon, A.P., Camper, S.A. (1996) "Analysis of the vestigial tail mutation demonstrates that Wnt-3a gene dosage regulates mouse axial development." *Genes Dev* 10: 313-324 גרקו וחב', זנב
- Dao, A.H., and Netsky, M. G. (1984) "Human tails and pseudotails." *Human Pathology* 15: 449-453 דאו ונטסקי, זנב אדם
- Deutsche Welle (4/6/2011). <http://dw.de/p/10YIL> (retrieved 26/6/13) דויטשה וולה, רעידת אדמה ביפן
- דוקינס ר', ההצגה הגדולה בתבל: הראיות בזכות האבולוציה, אור יהודה: 2010 דוקינס, ההצגה הגדולה בתבל
- Deininger, P. L., and Batzer, M. A. (1999) "Alu repeats and human disease." *Mol Genet Metab.* 67: 183-193 דיינינגר ובצר, חזרות אלו ומחלות
- Dangel, A. W., B. J. Baker, *et al.* (1995) "Complement component C4 gene intron 9 as a phylogenetic marker for primates: long terminal repeats of the endogenous retrovirus ERV-K(C4) are a molecular clock of evolution." *Immunogenetics* 42: 41-52. דנג'ל וחב', מרקר פילוגנטי

- Darwin, C. R. 1876. *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray. 6th edition, with additions and corrections. דרווין, מוצא המינים
- Hall, B. K. (1984) "Developmental mechanisms underlying the formation of atavisms." *Biol. Rev.* 59: 89-124 הול, אטביזם
- Haldane J.B.S. (1949). "Suggestions as to quantitative measurement of rates of evolution." *Evolution* 3:51-56. הולדיין, מדידת שיעורי אבולוציה.
- Hoso M. *et al.*, "A speciation gene for left-right reversal in snails results in anti-predator adaptation", *Nature Communications* 1 (2010), הוסו וחב', גן כיוון הקונכייה
- Hocking D. P. *et al.*, "Leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) use suction and filter feeding when hunting small prey underwater", *Polar Biology*, February 2013, Volume 36, Issue 2, pp 211-222 הוקינג, כלב ים נמרי
- Higham T. *et al.* "The earliest evidence for anatomically modern humans in northwestern Europe", *Nature* 479 (2011/11/24/print) האדם המודרני באירופה. <http://www.nature.com/nature/journal/v479/n7374/full/nature10484.html>
- Hill, W. C. O. (1974) *Primates: Comparative Anatomy and Taxonomy. VII. Cyproithecinae: Cercocebus, Maccaca, Cynopithecus*. New York: Halstead Press, John Wiley and Sons, p. 616 היל, פרימטים
- Hickey, D. R., Jayaraman, K., Goodhue, C. T., Shah, J., Fingar, S. A., Clements, J. M., Hosokawa, Y., Tsunasawa, S., and Sherman, F. (1991) "Synthesis and expression of genes encoding tuna, pigeon, and horse cytochromes *c* in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*." *Gene* 105: 73-81 היקי וחב', ציטוכרום סי
- California institute of Technology, "GPS Time Series", <http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> (retrieved 26/6/13). המכון הטכנולוגי של קליפורניה, ג'יפיאס
- National Center for Science Education, "The List of Steves". <http://ncse.com/taking-action/list-steves> (Retrieved 25/4/11). המכון הלאומי לחינוך מדעי, רשימת סטיב
- Hampsey, D. M., Das, G., and Sherman F. (1986) "Amino acid replacements in yeast iso-1-cytochrome *c*." *Journal of Biological Chemistry* 261: 3259-71 המפסי וחב', ציטוכרום סי
- Hampsey, D. M., Das, G., and Sherman F. (1988) "Yeast iso-1-cytochrome *c*: genetic analysis of structural requirements." *FEBS Letters* 231: 275-83 המפסי וחב', ציטוכרום סי ב'
- The Children Hospital of Philadelphia, Cancer Center. "Emily" המרכז לסרטן,

ציונים ביבליוגרפיים

- Whitehead's Story: T cell therapy to treat acute lymphoblastic leukemia", <http://www.chop.edu/service/oncology/patient-stories-cancer/leukemia-story-emily.html> (retrieved 26/6/13). אמילי וייטהד
- Hanus D, Mendes N, Tennie C, Call J (2011) "Comparing the Performances of Apes (*Gorilla gorilla*, *Pan troglodytes*, *Pongo pygmaeus*) and Human Children (*Homo sapiens*) in the Floating Peanut Task". *PLoS ONE* 6(6): e19555. doi:10.1371/journal.pone.0019555 הנוס וחב', השוואת ביצועי קופים וילדים.
- Hussels IE, Morton NE (1972). "Pingelap and Mokil Atolls: achromatopsia". *Am. J. Hum. Genet.* 24 (3): 304-9. PMC 1762260. PMID 4555088. הסלס ומורטון, פינגלאפ
- National Science Foundation, "Employed US scientists and engineers, by field and level of highest degree attained: 1999", <http://www.nsf.gov/statistics/us-workforce/1999/tables/TableC1.pdf>, (retrieved 26/6/13). הקרן הלאומית למדע, אנשי מחקר
- National Science Foundation News, "New Clues Add 40,000 Years to Age of Human Species", (16/2/2005), http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=102968 (retrieved 26/6/13). הקרן הלאומית למדע, גיל האדם
- National Science Foundation (Press Release at 24/4/08). "Genetic Sequencing of Protein from *T. rex* Bone Confirms Dinosaurs' Link to Birds." http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=111466&org=NSF&from=news הקרן הלאומית למדע, הקשר בין דינוזאורים לציפורים
- Wallace, C. J., and Tanaka, Y. (1994) "Improving cytochrome *c* function by protein engineering?: studies of site-directed mutants of the human protein." *J. Biochem.* (Tokyo) 115: 693-700 וואלאס וטנקה, ציטוכרום סי
- Wood, B. & Collard, M. (1999), "The changing face of Genus Homo. *Evol. Anth.* 8(6) 195-207 ווד וקולרד, הסוג אדם
- וול, היסטוריה של תורת האבולוציה, ירושלים: תש"ע.
וולוסקי י"ב. "הוראת אבולוציה בשיבה תיכונית". באתר "דעת": <http://www.daat.ac.il/daat/mahshevt/horaat-2.htm>
וולוסקי, אבולוציה בשיבה

- Wellems T. E., Hayton K., Fairhurst R. M. (September 2009). "The impact of malaria parasitism: from corpuscles to communities". *J. Clin. Invest.* 119 (9): 2496-505. doi:10.1172/JCI38307. וולמס ושות', מלריה
- The Washington Post, (2/2/2007), "A Colossal Leap of Faith In Fight Against Famine", <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/02/01/AR2007020101797.html>, (retrieved 26/6/13). וושינגטון פוסט, מאבק ברעב
- Williams, B.A.; Kay, R.F.; Kirk, E.C. (2010). "New perspectives on anthropoid origins". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (11): 4797-4804. doi:10.1073/pnas.0908320107. ויליאמס וחב', מקור האנתרופואיד
- Wilson, E. O.; Carpenter, F. M.; Brown, W. L. (1966). "The First Mesozoic Ant, with the Description of a New Subfamily". *Psyche* 74 (1): 1-19. doi:10.1155/1967/89604. וילסון וחב', נמלה מהמזוזואיקון
- Zhang F, Zhou Z, Xu X, Wang X, Sullivan C (2008). "A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers". *Nature* 455 (7216): 1105-1108. doi:10.1038/nature07447. זאנג וחב', מנירפטורה
- Tavaré, S., Marshall, C. R., Will, O., Soligo, C. & Martin R.D. (April 18, 2002). "Using the fossil record to estimate the age of the last common ancestor of extant primates". *Nature* 416 (6882): 726-729. doi:10.1038/416726a. טברא וחב', אבי הפרימטים
- Tyndale-Biscoe, H. and Renfree, M. (1987) *Reproductive Physiology of Marsupials*. Cambridge University Press. p. 409 טינדייל-ביסקו ורנפרי, פיזיולוגיה של חיות כיס
- Tanaka, Y., Ashikari, T., Shibano, Y., Amachi, T., Yoshizumi, H., and Matsubara, H. (1988a) "Amino acid replacement studies of human cytochrome *c* by a complementation system using CYC1 deficient yeast." *J Biochem* (Tokyo) Sep;104: 477-80 טנקה וחב', ציטוכרום סי
- יבלונקה ח' ולמב מ"ג, אבולוציה בארבעה ממדים: תורשה גנטית, אפיגנטית, התנהגותית וסמלית בתולדות החיים, ת"א: 2008. יבלונקה, אבולוציה בארבעה ממדים
- Ye, X; Al-Babili, S; Klöti, A; Zhang, J; Lucca, P; Beyer, P; Potrykus, I (2000). "Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm". *Science* 287(5451): 303-5. doi:10.1126/science.287.5451.303. יח וחב', אורז מהונדס
- Yuangao, Q., Xie, G. & Gong, Y. (2004) "Relationship between Earth-Sun- יואנגאו, סטרומטוליטים

ציונים ביבליוגרפיים

- Moon 1000 Ma ago: Evidence from the stromatolites." *Chinese Science Bulletin* 49/21: 2288-2295
- Yockey, H. P. (1992) *Information Theory and Molecular Biology*. New York, Cambridge University Press. p.254 יוקי, ביולוגיה מולקולרית
- Lebedev, Y. B., Belonovitch, O. S., Zybrova, N. V., Khil, P. P., Kurdyukov, S. G., Vinogradova, T. V., Hunsmann, G., and Sverdlov, E. D. (2000) "Differences in HERV-K LTR insertions in orthologous loci of humans and great apes." *Gene* 247: 265-277 לבדב וחב', הבדלים
- Lawrence, E., "Iguanas ride the waves". *Nature News* (15/10/1998). <http://www.nature.com/news/1998/981015/full/news981015-3.html> (retrieved 26/6/13). לורנס, איגואנות
- Lindburg, D. G.; Baragona, K. (2004). *Giant Pandas: Biology and Conservation*. University of California Press. ISBN 0-520-23867-2. לינדבורג וברגונה, פנדה
- Land, M. F.; Fernald, R. D. (1992). "The evolution of eyes". *Annual Review of Neuroscience* 15: 1-29. לנד ופרנהולד, אבולוציה של העיניים
doi:10.1146/annurev.ne.15.030192.000245.
- Lander, E. S., "Initial impact of the sequencing of the human genome", *Nature* 470 (2/2011) 187-197 לנדר, הגנום האנושי
- Medical News Today, (27/3/2006), "Cloned Pigs That Produce Omega-3 Fatty Acids." <http://www.medicalnewstoday.com/releases/40339.php>, (retrieved 26/6/13). מדיקל ניוז, חזיר משובט
- מוקדי ע', "כמו שדרווין חשב, אבל הרבה יותר מהר - על סטיבן ג'יי גולד שנפטר ב-2002". התפרסם באתר "הידען" בתאריך 5/6/02. www.hayadan.org.il/gould-death-050602 (נדלה 26/6/13) מוקדי, כמו שדרווין חשב
- Moore, G. R., and Pettigrew, G. W. (1990) *Cytochromes c: Evolutionary, Structural and Physicochemical Aspects*. Berlin, Springer-Verlag. pp. 161-223; Ptitsyn, O. B. (1998) "Protein folding and protein evolution: common folding nucleus in different subfamilies of c-type cytochromes." *Journal of Molecular Biology* 278: 655 מור ופטיגרו, ציטוכרום סי.
- Moore, K. L. and Persaud, T. V. N. (1998) *The developing human: clinically oriented embryology*. 6th ed., editor Schmitt, W., Saunders, מור ופרסוד, האדם המתפתח

Philadelphia. Pp. 91-100;

Minkel JR (2006-12-19). "Humans and Chimps: Close But Not That Close". *Scientific American*. מינקל, בני אדם ושימפנזים

Jane Goodall Institute, "Tool Use", Archived from the original on 2007-05-20. (retrieved 26/6/13) מכון גודול, שימוש בכלים

מלמד ש', מלמד ש' ובן סימון ג', "מיקרוגניזה - רופאים באי פינגלאפ", מסע אחר 136 מלמד, פינגלאפ

Macdonald, D. (1984). *The Encyclopedia of Mammals*. New York: Facts on File. p. 31 מקדונלד, יונקים

McLaughlin, P. J., and Dayhoff, M. O. (1973) "Eukaryote evolution: a view based on cytochrome *c* sequence data." *Journal of Molecular Evolution* 2: 99-116 מק'לפלין ודייהוף, אבולוציה איאוקריוטית

MacFadden, B. J. (1976). "Cladistic analysis of primitive equids with notes on other perissodactyls". *Syst. Zool* 25 (1): 1-14. doi:10.2307/2412774. מק'פדן, ניתוח קלדיסטי

McKusick, V.A.; Hamosh, A., "Online Mendelian Inheritance in Man". *United States National Institutes of Health*. Archived from the original on 29 December 2011. מק'קוזיק והימוש, תורשה

Martz, L.; McDaniel, A. (1987-06-29). "Keeping God Out of Class (Washington and bureau reports)". *Newsweek* (Newsweek Inc.) CIX (26): 22-23 מרץ ומק'דניאל, מחוץ לכיתה

Matthews W.H., III, *Fossils* (New York: Barnes and Noble, Inc., 1962), p. 8 מתיוס, מאובנים
נדל, ג'. בתורתו של ר' גדליה. מעלה אדומים: תשס"ד.
הספר הסרוק: <http://seri-levi.com/admin/nadel.pdf> (נדלה 26/6/13)

Novick, G. E., Novick, C. C., Yunis, J., Yunis, E., Martinez, K., Duncan, G. G., Troup, G. M., Deininger, P. L., Stoneking, M., Batzer, M. A., *et al.* (1995) "Polymorphic human specific Alu insertions as markers for human identification." *Electrophoresis* 16: 1596-1601 נוביק וחב', אלו כמרקר לזיהוי

Novick, G. E., Gonzalez, T., Garrison, J., Novick, C. C., Batzer, M. A., Deininger, P. L., Herrera, R. J. (1993) "The use of polymorphic Alu insertions in human DNA fingerprinting." *EXS* 67: 283-291 נוביק וחב', אלו פולימורפי

Nievelstein, R. A., Hartwig, N. G., Vermeij-Keers, C., and Valk, J. (1993) ניבלשטיין וחב',

- "Embryonic development of the mammalian caudal neural tube." *Teratology* 48: 21-31 התפתחות עוברית
- The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium (2005). "Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome". *Nature* 437 (1 September 2005): 69-87. doi:10.1038/nature04072. ניצ'ר, הגנום של השימפנזה
- Niimura Y, Nei M, "Evolution of olfactory receptor genes in the human genome". *Proc Natl Acad Sci USA* 2003;100:12235-12240. נימורה, אבולוציה של קולטני ריח
- Niimura Y, Nei M, "Comparative evolutionary analysis of olfactory receptor gene clusters between humans and mice." *Gene* 2005a;346:13-21. נימורה, ניתוח משווה של קולטני ריח
- <http://ngm.nationalgeographic.com/2007/04/leopard-lessons/leopard-video-interactive> נשיונל ג'יאוגרפיק, נמרה (סרטון)
- Sawada, I., C. Willard, *et al.* (1985) "Evolution of Alu family repeats since the divergence of human and chimpanzee." *Journal of Molecular Evolution* 22(316).. סאוואדה וחב', חזרות אלו
- Svensson, A. C., N. Setterblad, *et al.* (1995) "Primate DRB genes from the DR3 and DR8 haplotypes contain ERV9 LTR elements at identical positions." *Immunogenetics* 41: 74 סבנסון וחב', גנים פרימטיים
- Sedmera, D., Misek, I., and Klima, M. (1997) "On the development of Cetacean extremities: I. Hind limb rudimentation in the Spotted dolphin *Stenella attenuata*." *Eur J Morphol* 35: 25-30; סדמרה וחב', גפי דולפין
- Sugumata, A., Sato, M., Ikeda, J., Kinoshita, J., Tanihira, S., and Makimo, K. (1988) "Two cases of a true human tail" *Jpn J Plast Reconstr Surg* 31: 1072 סוגומאטה וחב', זנב אדם
- CIA, The World Factbook, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2060.html> (retrieved 26/6/13) סוכנות הביון המרכזית, קו חוף
- Standfast, A. L. (1992) "The human tail." *New York State Journal of Medicine*. 92: 116 סטנדרפסט, זנב אדם
- Stringer, C. (2011). *The Origin of our Species*. Penguin. pp. 26-29, 202. סטרינגר, מוצא בני מינו
- CBC New. (24/4/2011) "Oldest reptile fossil returns to N.S.", <http://www.cbc.ca/news/technology/story/2011/04/24/reptile-fossil-> סי.בי.סי. ניוז, המאובן העתיק ביותר.

ns.html. (retrieved 26/6/13)

<http://scienceblogs.com/grrlscientist/2010/06/22/the-laryngeal-nerve-of-the-gir/>

סיינס בלוג, עצב בית
הקול של ג'ירף (סרטון)

University Of Massachusetts, Amherst (2008, April 18). Lizards Undergo Rapid Evolution After Introduction To A New Home. *ScienceDaily*. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/04/080417112433.htm> (retrieved 26/6/13).

סיינס דיילי, אבולוציה
מהירה בלטאות.

University Of California, Berkeley (2005, February 7). "French Scientists Find Missing Link Between The Whale And Its Closest Relative, The Hippo". *ScienceDaily*. <http://www.sciencedaily.com/releases/2005/02/050205103109.htm> (retrieved 29/5/13)

סיינס דיילי,
לויתן והיפופוטם.

Smit, A. F. A. (1996) "The origin of interspersed repeats in the human genome." *Current Opinion in Genetics and Development* 6: 743-748

סמית, מקור החזרות

Scarpulla, R. C., and Nye, S. H. (1986) "Functional expression of rat cytochrome *c* in *Saccharomyces cerevisiae*." *Proc Natl Acad Sci* 83: 6352-6

סקרפולה וניי,
ציטוכרום סי

Srivastava (2009). *Morphology Of The Primates And Human Evolution*. PHI Learning Pvt. Ltd. p. 87.

סריוסטווה, מורפולוגיה
של האבולוציה

Pua E.C.; Douglas C.J., *Brassica*, Springer 2004, p. 4

פואה ודגלס, ברסיקה

Powell, D. "Bacterial traces from 3.5 billion years ago are 'oldest fossils,' experts say", *The Washington Post*, (31/12/12). http://www.washingtonpost.com/national/health-science/bacterial-traces-from-35-billion-years-ago-are-oldest-fossils-experts-say/2012/12/27/9261e02c-4acb-11e2-9a42-d1ce6d0ed278_story.html (retrieved 26/6/13).

פול, המאובן
העתיק ביותר

Futuyma, D. (1998) *Evolutionary Biology*. Third edition. Sunderland, Mass., Sinauer Associates

פוטימה, ביולוגיה
אבולוציונרית

Poole, J. (1996). *Coming of Age with Elephants*. Chicago, Illinois: Trafalgar Square. pp. 131-133, 143-144, 155-157.

פול, פילים

Peterson, D. "Those Lying Apes", *Psychology Today*, 13/12/11, <http://www.psychologytoday.com/blog/the-moral-lives-animals/201112/those-lying-apes>

פטרסון, קופים שקרנים

ציונים ביבליוגרפיים

- Pius XII, "Humani Generis",
http://www.vatican.va/holy_father/pius_xii/encyclicals/documents/hf_p-xii_enc_12081950_humani-generis_en.html (retrieved 26/6/13)
 פיוס, אבולוציה
- Fish, F. (1991). "On a fin and a prayer" (PDF). *Scholars* 3 (1): 4-7.
 פיש, סנפיר
- Fallon, J. F., and Simandl, B. K. (1978) "Evidence of a role for cell death in the disappearance of the embryonic human tail." *Am J Anat* 152: 111-129;
<http://www.darwinproject.ac.uk/letter/entry-2544>
 פלון וסימנדי, היעלמות זנב האדם
- Freitag, J., G. Ludwig, *et al.* (1998) "Olfactory receptors in aquatic and terrestrial vertebrates." *Journal of Comparative Physiology* 183: 635-650
 פרייטג וחב', קולטנים
- Frayer D.W., *et al.* "More than 500,000 years of right-handedness in Europe", *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition* Vol. 17, Iss. 1, 2012
 פרייר, ימניות
- Farrell H.B. (1984). "The two-toed Wadoma--familial ectrodactyly in Zimbabwe". *S. Afr. Med. J.* 65 (13): 531-3. PMID 6710256
 פרל, ואדומה
- Chang, K. (3/21/2006). "Few Biologists But Many Evangelicals Sign Anti-Evolution Petition" (php). *The New York Times*.
 צ'אנג, קנת'. עצומה נגד האבולוציה.
- Chiappe, L. M., Shu-An, J., Qiang, J., Norell, M.A. (1999) "Anatomy and systematics of the Confuciusornithidae (Theropoda:Aves) from the Late Mesozoic of northeastern China" *Bulletin of the American museum of Natural History* no. 242
 צ'יאפה וחב', קונפוציוסאורניתידאה
- Czarnecki, M., "The Revival of the Creationist Crusade", *MacLean's*, January 19, 1981, p. 56.
 צרנסקי, מסע הצלב של הבריאתנים.
- Kawaguchi, H., C. O'hUigin, *et al.* (1992) "Evolutionary origin of mutations in the primate cytochrome P450c21 gene." *American Journal of Human Genetics* 50: 766-780
 קאוואגוצ'י וחב', מקור אבולוציוני
- Katoh, M. (2002) "Molecular cloning and expression of mouse Wnt14, and structural comparison between mouse Wnt14-Wnt3a gene cluster and human WNT14-WNT3A gene cluster." *Int J Mol Med* 9 :221-227.
 קאטו, עכברים
- קוין ג'א, למה האבולוציה נכונה, ת"א: 2013
- Kos, M., Bulog, B., Szel, A., and Rohlich, P. (2001) "Immunocytochemical demonstration of visual pigments in the degenerate retinal and pineal
 קוס וחב', סלמנדרת מערות

photoreceptors of the blind cave salamander *Proteus anguinus*." *Cell Tissue Res* 303: 15-25.

Kutschera, U. (2005). "Predator-driven macroevolution in flyingfishes inferred from behavioural studies: historical controversies and a hypothesis" (PDF). *Annals of the History and Philosophy of Biology* 10: 59-77.

Koshy, T. I., Luntz, T. L., Garber, E. A., and Margoliash, E. (1992) "Expression of recombinant cytochromes *c* from various species in *Saccharomyces cerevisiae*: post-translational modifications." *Protein Expr. Purif.* 3: 441-52

Catechism of the Catholic Church, Cited at:

http://en.wikipedia.org/wiki/Catholic_Church_and_evolution

Kjellman, C., H. O. Sjogren, *et al.* (1999) "HERV-F, a new group of human endogenous retrovirus sequences." *Journal of General Virology* 80: 2383

Kishida T., Kubota S., Shirayama Y., and Fukami H., "The olfactory receptor gene repertoires in secondary-adapted marine vertebrates: evidence for reduction of the functional proportions in cetaceans", *Biol Lett* 2007 3: 428-430.

Klyosov A., "DNA genealogy, mutation rates, and some historical evidence written in the Y- chromosome". *J Genetic Genealogy* 5 (2): 217-256; 2009. [2]

Clements, J. M., O'Connell, L. I., Tsunasawa, S., and Sherman, F. (1989) "Expression and activity of a gene encoding rat cytochrome *c* in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*." *Gene* 83: 1-14

Durand, J., Keller, N., Renard, G., Thorn, R., and Poulighen, Y. (1993) "Residual cornea and the degenerate eye of the cryptophthalmic *Typhlotriton spelaeus*." *Cornea* 12: 437-447.;

The Clergy Letter Project.

<http://www.theclergyletterproject.org> (retrieved 26/6/13)

Kardong, K. V. (2002) *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution*. Third ed. New York: McGraw Hill, pp. 255-275.

Curnoe, D. 2010, "A review of early Homo in southern Africa focusing on cranial, mandibular and dental remains, with the description of a

קוצ'רה, דגים דואים

קושי וחב', ציטוכרום סי

קטכיזם

קילמן וחב',
רצפי רטרווירוסים

קישידה וחב', קולטני ריח
בבעלי חיים ימיים

קליאוסוב, גנאלוגיה

קלמנטס וחב',
ציטוכרום סי

קלר וחב', עין מנוונת

קלרג' לטר פרוג'קט

קרדונג, אנטומיה
השוואתית

קרנו, הומו גאוסנגזיס

new species (*Homo gautengensis* sp. nov.)." *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, vol. 61 pp.151-177.

Roy-Engel, A. M., Carroll, M. L., Vogel, E., Garber, R. K., Nguyen, S. V., Salem, A. H., Batzer, M. A., and Deininger, P. L. (2001) "Alu insertion polymorphisms for the study of human genomic diversity." *Genetics* 159: 279-290

Ridley, M., "Who doubts evolution?", *New Scientist*, vol. 90, (25 June 1981), p. 830-832

Reimer P. et al. (2004). "INTCAL04 Terrestrial Radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP" (PDF). *Radiocarbon* 46 (3): 1029-58.

Raynaud, A. (1990) "Developmental mechanism involved in the embryonic reduction of limbs in reptiles." *Int J Dev Biol* 34:233-243

Raynaud, A. and Kan, P. (1992) "DNA synthesis decline involved in the developmental arrest of the limb buds in the embryos of the slow worm, *Anguis fragilis* (L.)." *Int J Dev Biol* 36:303-310

שובין, נ', הדג שבתוכנו, ת"א: 2010

Shimamura, M., et al. (1997) "Molecular evidence from retroposons that whales form a clade within even-toed ungulates." *Nature* 388: 666

Shumny, V. K. (1987). "In memory of Dmitri Konstantinovich Belyaev". *Theoretical and Applied Genetics* 73 (6): 932. doi:10.1007/BF00289401

רוי-אנג'ל וחב', אלו ומגוון

רידלי, מי מטיל ספק
באבולוציה

ריימר וחב', כיול

ריינווד, מנגנון התפתחותי

ריינווד וקן, עיכוב
התפתחותי

שובין, הדג שבתוכנו

שיממורה וחב',
רטרופוזונים

שמני, בליאייב

מילון מונחים

אבולוציה	התפתחות. הרעיון שהיצורים החיים בעולמנו לא היו כך מאז ומעולם, אלא התפתחו לכמות שהם היום מצורות קודמות אשר מתועדות באינספור ממצאים מאובנים. בניגוד לאמונה הרווחת, רעיון זה אינו מבוסס בעיקר על הממצאים המאובנים אלא על תופעות שאנו מוצאים כיום ביצורים החיים ואשר מצביעים על עבר שונה.
אדם ניאנדרטלי	מין של אדם שחי במשך מאות אלפי שנים במקביל ולצדם של אבותינו, עד שנכחד לפני עשרות אלפי שנה בודדות. בגלל קרבתו של האדם הניאנדרטלי לאדם המודרני שחי במקביל לו, קיימים חילוקי דעות בין החוקרים האם לראות בו ובנו שני מינים שונים או שני גזעים/תתי־מינים של אותו המין. לפי השיטה הראשונה, האדם הניאנדרטלי מכונה: הומו ניאנדרטליס, ואילו אנו מכונים: הומו ספיאנס, ואילו לפי השיטה השנייה שנינו כלולים במין הומו ספיאנס, כאשר האדם הניאנדרטלי נקרא: הומו ספיאנס ניאנדרטליס, ואנו: הומו ספיאנס ספיאנס.
אורגני	תרכובת אורגנית היא תרכובת המכילה אטומי פחמן ומימן הקשורים זה לזה. קיימות מעל 10 מיליון תרכובות אורגניות. השם "אורגני" ניתן לתרכובות אלה משום שבתחילה סברו כי תרכובות כאלה מיוצרות על ידי יצורים חיים בלבד (אורגניזמים). על מנת לציין תרכובת אורגנית שנוצרה על ידי יצור חי משתמשים במונח "חומר אורגני", אם כי לעתים לא נשמרת ההבחנה בין המונחים הללו.
אטביזם	הופעה מחדש של תכונות שהיו מנת חלקם של אבות אבותיו של בעל החיים, ונעלמו זה מכבר. לדוגמא, הופעת רגליים אצל לווייתנים ונחשים.
איזוטופ	המונח איזוטופ משמש לביטוי ווריאציות שונות שיש למספר הנייטרונים של יסוד כימי מסוים. לדוגמא, היסוד פחמן מכיל לעולם ששה פרוטונים. מבחינת מספר הנייטרונים, הפחמן הנפוץ ביותר בעולמנו מכיל ששה נייטרונים, אך יש המכילים רק שני נייטרונים ויש המכילים ששה עשר. הצורות השונות הללו של הפחמן נקראים איזוטופים של פחמן.
אירואסיה	שם כולל ליבשות המחוברות אירופה ואסיה.
אלל	גירסאות שונות של אותו הגן נקראות אללים. לדוגמא, לגן הקובע את סוג

הדם יש כמה אללים (גירסאות שונות), ולכן יש סוגי דם שונים.	
אנדוגמיה	בחירת בן זוג מתוך אותה הקבוצה. לדוגמה, בחירת בן הזוג מתוך אותו השבט או אותה חצר חסידית דווקא הינה נוהג אנדוגמי. האנדוגמיה חושפת את בני הזוג לסיכון מוגבר בכל הנוגע לחשיפה למחלות גנטיות.
אנדמי	מין (בדרך כלל) שמוגבל ומותאם לאזור גיאוגרפי מצומצם.
אנזים	חומר (בדרך כלל חלבון) המזרז תהליכים כימיים ביצורים חיים. בכל תא של יצור חי מצויים אלפי אנזימים.
אסתנוספירה	השכבה העליונה הצמיגית של כדור הארץ, מתחת לליתוספירה. על חלקה העליון נעים הלוחות הטקטוניים. עומקה של האסתנוספירה מגיע ל-700 ק"מ.
אפקט המייסד	דוגמא של סחף גנטי, כלומר, שינוי המטען התורשתי של קבוצה קטנה בלי קשר להתאמה לסביבה. במקרה של אפקט המייסד, המטען התורשתי של האבות המייסדים ישפיע באופן משמעותי על המטען התורשתי של צאצאיהם. אם לדוגמא הקבוצה המייסדת היתה קבוצה של תכולי עיניים, תהיה כל האוכלוסיה תכולת עיניים, וזאת גם אם באוכלוסיית האם היו תכולי העיניים מיעוט.
ארגון 40	האיזוטופ השכיח ביותר של היסוד הכימי ארגון (גז אציל המהווה כמעט אחוז מהאטמוספירה). ארגון 40 מכיל 18 פרוטונים ו-22 נייטרונים. הוא נוצר מהתפרקות של היסוד הרדיואקטיבי אשלגן 40.
אשלגן 40	איזוטופ רדיואקטיבי של אשלגן (מתכת אלקלית הנמצאת בכ-2.4% מקרום כדור הארץ). לאיזוטופ השכיח והיציב של האשלגן יש 19 פרוטונים ו-20 נייטרונים. אשלגן 40 הוא איזוטופ לא יציב. יש לו 21 נייטרונים, והוא מתפרק והופך לארגון 40. זמן מחצית החיים של תהליך זה הוא 1,248,000,000 שנה.
ביולוגיה מולקולרית	ענף בביולוגיה המתמקד במחקר הרמה המולקולרית. העיסוק בהנדסה גנטית, שיבוט, מולקולת הדנ"א ומגוון התופעות הקשורות לתורשה הם גם מעניינה של הביולוגיה המולקולרית.
ביצית	תא רבייה המיוצר על ידי נקבה. בבני אדם, הביצית גדולה בערך פי מאה מתא הזרע. הנקבה נולדת כשבשחלותיה כחצי מיליון ביציות. עם ההתבגרות נודדת ביצית אחת מידי חודש אל הרחם (תהליך הנקרא ביוץ). אם הביצית לא תופרָה על ידי תא זרע מהזכר, היא תיפלט מהגוף ביחד עם מעט רקמות

ודם, בתהליך הנקרא וסת.

בסיס

תרכובת כימית שרמת החומציות שלה בתמיסה מימית היא גבוהה מ-7. (בניגוד לחומצה, שרמת החומציות שלה נמוכה מ-7). מולקולת הדיאן-איי מבוססת על ארבעה סוגים של בסיסים: אדנין, גואנין, תימין וציטוזין, אשר הצירופים השונים שלהם הם ה"מלים" בהן כתובות ההוראות לייצור חלבונים.

גונדוואנה

יבשת שלפי ההשערה החלה להתקיים לפני כמאתיים מיליון שנה, ואשר איחדה את אמריקה הדרומית, אפריקה, אוסטרליה, אנטארקטיקה והודו. לפני כששים וחמשה מיליון שנה החלה היבשת להתפרק לחלקיה.

גן

קטע מתוך מולקולת הדנ"א שיש לו משמעות ביצועית: הוראות ליצירת חלבון או הוראות בקרה. במולקולת הדנ"א האנושית יש מעל 20,000 גנים.

גן רגולטורי

גן שמטרתו לפקח על ביטויים של גנים אחרים. גן רגולטורי עשוי לגרום לעיכוב או להשתקה של גנים אחרים או לגרום להגברת ביטויים.

גנום

ראה: מטען גנטי

דג ריאות

קבוצה של דגים שיש להם גם זימים, כיתר הדגים, וגם ריאות כחולייתנים יבשתיים. מהם, בעלי ריאה אחת, ומהם בעלי שתי ריאות. דגים אלה מסוגלים אפוא לנשום מחוץ למים. דגי הריאות מדגימים את המסלול שדג יכול לעבור מחיי ים לחיי יבשה ומחזקים את טענת חוקרי האבולוציה שמוצא החולייתנים הוא מהדגים.

דגי גרם

קבוצה של דגים בעלי עצמות (גרם = עצם), בניגוד לדגי סחוס אשר שלדם עשוי מסחוס. רוב דגי המאכל הם דגי גרם.

דגי סחוס

קבוצה של דגים אשר שלדם עשוי סחוס, בניגוד לדגי גרם אשר שלדם עשוי מעצם. הכריש הוא דג סחוס.

דורחיים

קבוצה של חולייתנים שמהווים חוליה מקשרת בין הדגים לבין הולכי על ארבע יבשתיים. בשלב הראשון של חייהם הם חיים רק בתוך המים ונעזרים בזימים. כאשר הם מתבגרים, הם מפתחים ריאות (או אפשרות נשימה באמצעות העור) ומסוגלים להתקיים מחוץ למים. המפורסמים שבהם הם הצפרדעים והקרפדות. דורחיים נוספים הם סלמנדרות ותולענים.

דומיננטיות
(בתורשה)

אנו הננו יצורים דיפלואידיים. כלומר, כל גן מופיע אצלנו בצורה כפולה: מהאב ומהאם. כאשר יש סתירה בין הגירסאות הללו (שכזכור נקראים

"אללים"), יש כמה יחסים אפשריים לפתרון הסכסוך, וביניהם: א. דומיננטיות לעומת רצסיביות: מצב שבו אחד האללים הוא דומיננטי (=שלטן) וממסך לחלוטין את השני הרצסיבי (=נסגן). לדוגמא: אם קיבלתי עותק של עיניים חומות ועותק של עיניים כחולות, עיניי תהיינה חומות. הגן לגון החום של העיניים הוא דומיננטי ביחס לגן הרצסיבי של הגון הכחול. ב. קר־דומיננטיות: במצב זה, שני הגנים יבואו לידי ביטוי. לדוגמא: אם קיבלתי עותק של סוג הדם A ועותק של סוג הדם B, סוג הדם שלי יהיה AB. שני האללים הללו הם קר־דומיננטים. לעומת זאת, אם קיבלתי עותק אחד לדם מסוג A, ועותק אחד לדם מסוג O, סוג הדם שלי יהיה A, משום שהגן של סוג הדם A הוא דומיננטי ביחס לגן של סוג הדם O.

ראה: דנ"א

די אן איי

קבוצה של בעלי חיים שהתקיימה במשך כ־150 מיליוני שנים, עד שנכחדו לפני כ־65 מיליוני שנים. מאות מינים של דינוזאורים ידועים כיום, מהם בגודל עשרות מטרים ומהם בגודל של יונה, והם מילאו גומחות רבות שהיו ממלאים אותם יורשיהם היונקים. יש הסבורים שהכחדת הדינוזאורים קשורה לפגיעת מטאוריט גדול בכדור הארץ (המטאוריט שיצר את מכתש צ'יקסולוב, מכתש בקוטר 180 קילומטרים). מקובלת כיום הדעה שלא כל הדינוזאורים נכחדו, וכי העופות הם בעצם צאצאיהם של הדינוזאורים.

דינוזאורים

תא דיפלואידי מכיל שני עותקים של הגנום, המידע התורשתי. האדם ורוב היונקים הם דיפלואידיים, משמע, בכל תא מתאי גופם יש שני עותקים של הגנום (מלבד בתאי הזרע שהם הפלואידיים).

דיפלואידי

מולקולת ענק המורכבת ממיליונים עד מיליארדים של זוגות של בסיסים (הנקראים נוקליאוטידים), היוצרים סליל כפול המכיל את כל המידע התורשתי הנדרש ליצירתו ולתפקודו של היצור החי. מולקולת הדנ"א נמצאת בכל תא מתאי גופו של היצור החי.

דנ"א

תיארוך באמצעות טבעות עצים. טבעות העצים שונות משנה לשנה בהתאם לרמות המשקעים וגורמים נוספים. באמצעות השוואת דפוסי טבעות חופפים של עצים הצליחו החוקרים לבנות כרונולוגיה בת 11,000 שנה ברמת דיוק של שנה אחת. במלים אחרות, ניתן לבדוק דפוס טבעות של עץ מסוים ולדעת, בדיוק של שנה, באיזו תקופה העץ צמח (ובלבד שהוא צמח ב־11,000 השנים האחרונות).

דנדרו-
כרונולוגיה

הומו ספיאנס	אנו, האדם הנבון. לפי שיטת המיון הנהוגה בעולם החי, מקבל כל יצור חי שם כפול המורכב משם הסוג ומשם המין (ראה: טקסונומיה). אנו שייכים לסוג Homo sapiens, שכלל בעבר מינים נוספים. בתוך סוג זה, שם המין שלנו הוא sapiens. יש חוקרים הסבורים שיש לכלול את האדם הניאנדרטלי בתוך המין שלנו, ולפי שיטתם, המין הומו ספיאנס כולל שני תתי-מינים: הומו ספיאנס ניאנדרטליס, והומו ספיאנס ספיאנס (כשיש תתי-מינים, שם תת-המין נכתב אחרי שם המין).
הומוזיגוט	יצור שיש לו שני עותקים זהים של גן מסוים (אחד מהאב ואחד מהאם), הוא הומוזיגוט לאותו הגן. ראה: הטרוזיגוט.
הורמון	חומר כימי המופרש על ידי תא, בלוטה או איבר בגוף והמשמש כ"שדר" שמטרתו להשפיע על תפקוד מערכות או איברים אחרים בגוף. ההורמונים השונים משתתפים כמעט בכל תהליך שמתרחש בגוף.
הטרוזיגוט	יצור שיש לו שני עותקים שונים ולא זהים של גן מסוים (אחד מהאב ואחד מהאם), הוא הטרוזיגוט לאותו הגן. ראה: הומוזיגוט.
הנדסה גנטית	שינוי המטען הגנטי של יצורים חיים באופן מלאכותי. הנדסה גנטית משמשת בין השאר להשבחה של גידולים חקלאיים (פיתוח עמידות או תנובה גבוהות יותר, או העשרת הגידול בויטמינים), ולטיפול רפואיים ייחודיים (קרא בספר על סיפור הצלתה של אמילי וייטהד, לדוגמא).
הפלואידי	תא הפלואידי הוא תא המכיל עותק אחד בלבד של הגנום. בין היצורים ההפלואידים ניתן למצוא פטריות, אצות, חרקים ועוד. באדם, תאי הזרע הם הפלואידים.
זמן מחצית החיים	הזמן הנחוץ למחצית מהאטומים של חומר רדיואקטיבי להתפרק ולהפוך לחומר אחר. לכל חומר רדיואקטיבי קצב התפרקות/דעיכה משלו, כאשר חומרים מסוימים מתפרקים תוך חלקיקי שניות ואחרים תוך מיליארדי שנה. לדוגמא: זמן מחצית החיים של פחמן 14 הוא 5,730 שנה. כלומר: אם בידינו 10 ק"ג של פחמן 14, כעבור 5,730 שנה יהיו לנו רק 5 ק"ג של פחמן 14 (המחצית השניה הפכה לחנקן 14). כעבור 5,730 שנים נוספות יהיו בידינו 2.5 ק"ג של פחמן 14, ואילו כעבור 5,730 שנה נוספים (סה"כ 17,190 שנה) יהיו בידינו 1.25 ק"ג של פחמן 14. לענייננו, זמן מחצית החיים משמש לתיארוך רדיומטרי, ומלמד אותנו כמה זמן חלף בהתבסס על כמות החומר הנוכחית וכמות החומר בעבר.

חולייתנים	או: בעלי חוליות. קבוצה של בעלי חיים הכוללת את הדגים, הזוחלים, הדו-חיים, העופות והיונקים, ואשר נקראים כן על שם עמוד השדרה שמשותף להם. החולייתנים חולקים בתכונות נוספות הייחודיות להם. לפי ההשערה, החולייתנים הראשונים הופיעו לפני כ-525 מיליוני שנה.
חומצות אמינו	תרכובות אורגניות המהוות את אבני הבניין של החלבונים (ראה ערכם). בכל תא חי של כל יצור חי קיימים 20 סוגים של חומצות אמינו המשותפים לכל היצורים החיים.
חלבון	תרכובת אורגנית הבנויה משרשרת של חומצות אמינו. החלבונים נמצאים בכל תא חי. הם משמשים גם למבנה התא וגם ובעיקר למילוי הפעולות השונות שהגוף נזקק להן.
טטרפודה	בעלי ארבע רגליים. קבוצה של בעלי חוליות שלהם יש גפיים המכילות אצבעות ומפרקים. קבוצה זו כוללת כיום את הדו-חיים, הזוחלים, העופות והיונקים.
טיקטאליק	דג קדום שמהווה חוליית ביניים בין עולם הדגים לבין עולמם של הולכי על ארבע. הדג, שנמצא בתוך סלעים מלפני 375 מיליוני שנה, היה בעל קרומי שחיה וקשקשים, מחד, ועצמות רגל קדמית - כולל עצם הכתף ועצמות כף היד - מאידך.
טקטוניקת הלוחות	תיאוריה מדעית המסבירה את התנועה המתחוללת בליתוספירה (תנועת הלוחות הטקטוניים), ואשר גורמת לתנועת היבשות.
טקסונומיה	סיווג שיטתי של עצמים מאותו התחום. בענייננו: מיון עולם הטבע, המבוסס על עבודתו של קרולוס ליניאוס. לפי שיטה זו מקובצים היצורים החיים בסוגים, משפחות, סדרות, מחלקות, מערכות ועוד. כל יצור חי מקבל שם כפול המורכב משם הסוג ומשם המין. לדוגמא, האריה נקרא <i>Panthera leo</i> , ומשמעות הדבר היא שהוא שייך לסוג <i>Panthera</i> אותו הוא חולק עם הטיגריס, היגואר, הנמר ונמר השלג, ואילו שם המין שלו עצמו הוא <i>leo</i> . הנמר, לדוגמא, נקרא <i>Panthera pardus</i> . מקובל ששם הסוג והמין נכתבים באותיות נטיות, וכי שם הסוג פותח באות גדולה.
טרוגלוביט	בעלי חיים החיים בסביבה חשוכה ואשר איבדו את מאור עיניהם. לחלק מבעלי חיים אלה יש עיניים אלא שהן מכוסות בעפעפיים, קשקשים או עור. על בעלי חיים אלה נמנים סלמנדרות, נחשים, חסילונים, סרטנים, עכבישים,

דגים ועוד, וכמובן, החולד.

טרנספוזון רצפים של דנ"א שיכולים לשנות את מיקומם בדנ"א, ולכן הם מכונים (באופן לא מדויק) "גנים קופצים". הטרנספוזונים מסייעים למחקר בבדיקת הקשרים המשפחתיים בין קבוצות של יצורים חיים. בעיקרו: אם אנו מוצאים פרטים מסוימים שאצלם טרנספוזון "קפץ" לאזור מסוים בגנום, בשונה מהאוכלוסיה הכללית שאצלה הטרנספוזון עבר דירה, אנו מחזקים את ההשערה שפרטים אלה קשורים ביניהם בקשר משפחתי.

יונקי ביב ליתר דיוק: בעלי ביב. יונקים המצויים באזור אוסטרליה. מונים את הברווזן וכמה מינים של קיפודן. שמם נובע מהעובדה שיש להם פתח יחיד המשמש להפרשות ולרביה כאחד. הנקבה חסרת רחם, והיא מטילה ביצה המוחזקת בגופה על ידי קפל עור שעיר. אלו הם היונקים היחידים המטילים ביצים, והפיצול ביניהם לבין יתר היונקים אירע לפי אחד המחקרים לפני 220 מיליוני שנה.

יונקי כיס אר: חיות כיס. תת־מחלקה במחלקת היונקים. הולדות של יונקי הכיס נולדים בלתי מפותחים, והם מסיימים את התפתחותם ב"כיס", שהוא קפל עור מתחת לבטנה של האם. ידועים כ־260-280 מינים של יונקי כיס (מתוך 5,400 מיני היונקים הידועים). כמעט מאתיים מהם חיים באוסטרליה וסביבותיה, ויתרם חי בעיקר באמריקה הדרומית. דוגמות ידועות של יונקי כיס הם הקנגרו והקואלה.

יונקי שליה אר: שיליניים. חלק הארי של היונקים בימינו הם יונקי שליה, כלומר בעלי חיים שנקבותיהם מצוידות בשליות מפותחות אשר בהן מתפתח העובר. אחוזים בודדים מקרב היונקים הם יונקי כיס ויונקי ביב, ראה ערכם.

יונקים מחלקה של בעלי חיים המונה כ־5,400 מינים שונים. המחלקה מגוונת מאד והיא כוללת בעלי חיים שמשקלם נע בין 2 גרם ל־180 טון. התכונה המייחדת אותם (ואשר על שמה נקראת המחלקה) היא בלוטות החלב שבה האם מזינה את צאצאיה. מלבד זאת חולקים היונקים ביניהם בכמה תכונות נוספות, אחת הבולטות שבהן היא קיומו של שיער/פרווה (בשלב זה או אחר של החיים), בניגוד לנוצות או קשקשים וכדומה. דוגמות של יונקים: אריה, כבש, ארנבת, לויתן, עטלף, חפרפרת. גם אנו הגנו חלק ממחלקת היונקים.

כרומוזום מבנה מאורגן של מולקולת דנ"א. בשלב שלפני חלוקת התא (ראה: מיזוג, מיטוזה) מופיעה מולקולת הדנ"א כשהוא מאורגן/ארוז בכרומוזומים.

כרומוזומים אלה מכפילים את עצמם, ובשלב הכפול נקראים כל זוג כרומוזומים "כרומטידות אחיות" והם מחוברים בחיבור שנקרא "צנטרומר". הגנום האנושי מאורגן ב־23 כרומוזומים.

כרומטידה בשלב שלפני חלוקת התא, כאשר הכרומוזומים מכפילים את עצמם, נקרא כל צמד של כרומוזומים: כרומטידות אחיות. ראה: כרומוזום.

לאורסיה יבשת שלפי ההשערה החלה להתקיים לפני כמאתיים מיליון שנה, ואשר איחדה את אמריקה הצפונית, אירופה ואסיה (למעט הודו). לפני כמאה וארבעים מיליון שנה נוצר פיצול נוסף בין אמריקה הצפונית של ימינו ולבין אירופה, ונוצר האוקיינוס האטלנטי.

ליתוספירה הקליפה החיצונית והקשיחה של כדור הארץ. הליתוספירה מורכבת ממשטחים גדולים המכונים לוחות טקטוניים. עובי הליתוספירה נע בין 40 ל־200 ק"מ.

מאגמה סלע מותך בטמפרטורה שבין 600-1800 מעלות הנוצר בעומק כדור הארץ. מאגמה שנפלטת אל פני השטח בעקבות התפרצות געשית נקראת לבה.

מאובן חי מאובן חי הוא כינוי למין של צמח או בעל חיים שלא השתנה מאז ימות אבותיו המאובנים, ואשר תפוצתו בהווה מצומצמת מתפוצתו בעבר, כך שקל יותר למצוא מאובנים שלו מן העבר מאשר פרטים החיים בהווה.

מאובנים שרידים של בעל חיים, צומח או יצור חי אחר שנשמרו, בדרך כלל מתחת לשכבות של אדמה שקברו אותו והגנו עליו. קיימים סוגים שונים של מאובנים: לעתים היצור החי בעצמו התקשה ונשמר. במקרים אחרים, השרידים הפכו ממש לאבן, כלומר, מינרלים שחלחלו לתוכם החליפו את החומרים האורגניים המקוריים. לעתים נעלם לגמרי השריד, אבל הותיר אחריו חלל בסלע בדמותו, ולעתים מדובר בחותם שהשאיר היצור החי, כמו טביעות רגל שהתקשו או צמח שהותיר סימנים בדמותו.

מאובנים מהירים מאובנים שהם בעלי תפוצה עולמית ואשר התקיימו לפרק זמן "קצר" (מיליון שנה הם פרק זמן קצר מבחינה זו). מאובנים אלה משמשים לזיהוי מהיר וראשוני של זמנה של שכבת האדמה הנבדקת.

מאקרו אבולוציה שינויים במטען הגנטי של יצורים חיים באופן שהם הופכים בסופו של דבר למין אחר השונה מאוכלוסיית האם. שינויים בקנה מידה שכזה דורשים בדרך כלל התנתקות של קבוצה מקבוצת־האם לאורך דורות רבים. שינויים גנטיים

שמתחוללים במקביל בקבוצה ובקבוצת־האם עשויים לגרום לכך שכעבור דורות רבים, יהיה מחסום רבייה בין שתי הקבוצות הללו, והם ייחשבו כמינים נפרדים. (ההפרדה בין מיקרו/מאקרואבולוציה היא ביסודה הבחנה מלאכותית המשמשת בעיקר את מתנגדי האבולוציה).

מוטציה שינוי ברצף הבסיסים שבמולקולת הדנ"א, כלומר: שינוי במידע התורשתי של יצור מסוים. יש סוגים שונים של שינויים: החלפה של בסיס אחד בבסיס אחר, הכפלה של רצף בסיסים, השמטה של רצף בסיסים, הכפלה או השמטה של כרומוזום שלם ועוד. המשמעות המעשית של המוטציה נעה בין העדר־משמעות מצד אחד, פגם קטלני מצד שני, ופיתוח יכולת חדשה מצד שלישי.

מולקולה אטומים המחוברים ביניהם בקשר כימי. היחידה הקטנה ביותר של תרכובת מולקולרית השומרת על תכונותיה. לדוגמא, החלקיק הקטן ביותר של מים הינו מולקולה המורכבת מאטום אחד של חמצן ושני אטומים של מימן. מולקולת הדנ"א היא מולקולת ענק המורכבת ממיליארדי אטומים במקרה שלנו.

מחסום רבייה מחסומי רבייה, המונעים מבעלי חיים להזדווג זה עם זה, עשויים להיות מסוגים שונים: מחסומים פיזיים (שרשרת הרים, אפיק של נהר וכדומה), מחסומי זמן (שעות פעילות שונות או הבשלת תאי מין בתקופה שונה), מחסומים אנטומיים (איברי רבייה שאינם מתאימים), מחסומים גנטיים (אי התאמה גנטית היוצרת צאצא עקר או מת) ועוד. בעקבות מחסום רבייה בין שתי קבוצות, מתנתקות הקבוצות זו מזו ועשויים להצטבר בהן שינויים אשר לא יאפשרו בעתיד רבייה הדדית.

מטען גנטי גם: מידע תורשתי, גנום. כלל המידע הנמצא במולקולת הדנ"א. באדם (וביתר היצורים הדיפלואידים) יש בעצם שני עותקים של גנום: אחד מהאב ואחד מהאם.

מידע תורשתי ראה מטען גנטי

מיוזה חלוקת הפחתה. תהליך ייחודי של חלוקת תא נבט, ואשר במהלכו הופך תא נבט אחד, שבו שני עותקים של הגנום (אחד מהאב ואחד מהאם), לארבעה תאי רבייה שבכל אחד מהם יש רק עותק אחד. בדומה למיטוזה, פותח התהליך בכך שהעותקים מוכפלים, והתא מכיל שני עותקים מהאב ושני עותקים מהאם, אלא שבניגוד למיטוזה, מתחלק התא פעמיים, ולכן בסופו של דבר מקבלים ארבעה תאים שבכל אחד יש עותק אחד בלבד.

מיטוזה	תהליך חלוקת תא חי לשני תאים. בעיקרו של דבר, שני העותקים של הגנום שיש בכל תא אנושי (אחד מהאב ואחד מהאם) משכפלים את עצמם, ובתום השכפול, כאשר בתא יש שני עותקים מהאב ושני עותקים מהאם, מתפצל התא לשניים, ונוצרים שני תאים זהים לתא המקורי.
מין (ביולוגי)	היחידה הבסיסית למיון בעולם הטבע. קבוצת פרטים המתרבים בטבע בינם לבין עצמם ומעמידים צאצאים פוריים. הנמר הוא מין בפני עצמו, בנפרד מן האריה והטיגריס, לדוגמא. אולם כל תתי־מינים של הנמר (כגון הנמר הפרסי, הנמר האפריקאי והנמר הסיני) הם בני אותו המין. שם המין נכתב באותיות לטיניות מוטות. ראה: טקסונומיה, וכן: סוג.
מיקרו אבולוציה	שינויים אבולוציוניים בתוך המין. שינויים במטען הגנטי של קבוצות שונות המביא ליצירת תתי־מינים זנים שונים, אך ללא פריצת מסגרת המין. ההבדלים בין הגזעים השונים של הכלבים או בין תתי־מינים של האריות הם הבדלים מיקרו־אבולוציוניים. (ההפרדה בין מיקרו/מאקרו־אבולוציה היא ביסודה הבחנה מלאכותית המשמשת בעיקר את מתנגדי האבולוציה).
מיקרו-אורגניזם	כלל היצורים שניתנים לצפייה על ידי מיקרוסקופ בלבד. יצורים אלה כוללים חיידקים, אצות זעירות, פטריות זעירות ואף רב־תאיים דוגמת דובוני מים ונמטודות.
נדידת היבשות	היבשות נישאות על לוחות טקטוניים הנעים בקצב איטי של מילימטרים/סנטימטרים ספורים בשנה. בטווח הקצר גורמת תנועתם זו לרעידות אדמה והתפרצויות הרי געש. בטווח הארוך גורמת תנועה זו לשינוי פני העולם: קריעה של יבשת אחת לגזרים, או התנגשות של יבשות הגורמת בין השאר ליצירת רכסי הרים.
ניאוטניה	תופעה ביולוגית שבה פרט בוגר משמר תכונות של פרט צעיר. דוגמות לכך ניתן לראות באקסולוטל, דו־חיים המשמר בבגרותו תכונות של דו־חיים לא־בוגר (כגון הזימים). גם כנפים לא מפותחות של עופות לא מעופפים עשויים להחשב כניאוטניה. מאפיינים שונים של האשה (קולה הגבוה, מיעוט שיער גוף ופנים ועוד) יכולים להחשב אף הם כניאוטניים ביחס לגבר.
נייטרון	חלקיק חסר מטען חשמלי הנמצא בגרעין האטום, יחד עם הפרוטון. (לפרוטון ולנייטרון מסה כמעט שווה). ליסוד כימי עשוי להופיע בכמה גירסאות, שבכל אחת מספר שונה של נייטרונים. גירסאות אלה נקראות איזוטופים (ראה ערכם). לדוגמא, אטום של פחמן עשוי להיות בעל שני

נייטרונים, שלושה, ארבעה וכו' עד ששה עשר נייטרונים. אלו הם איזוטופים שונים של פחמן.

סוג

בטקסונומיה (ראה ערכה): רמת מיון מעל לרמת המין. לדוגמא, הסוג פנתר כולל כמה מינים: אריה, טיגריס, נמר וכו'. הסוג סוס (להבדיל מסוס־הבית המכונה בפינו "סוס") כולל כמה מינים: סוס, חמור, זברה ועוד. מעל לרמת הסוג יש את רמת המשפחה הכוללת כמה סוגים. הסוג פנתר, לדוגמא, כלול במשפחת החתוליים הכוללת סוגים נוספים כמו הסוג ברדלס, הסוג חתול ועוד. הסוג נכתב באותיות לטיניות מוטות ופותח באות גדולה.

סחף גנטי

תהליך המשנה את המטען התורשתי של אוכלוסיות קטנות בלא קשר להתאמה לסביבה, כלומר מנגנון הפועל בנפרד מהברירה הטבעית. אחת הדוגמות שלו היא אפקט המייסד.

סטרומוטוליט

מושבות מאובנות של אצות ומיקרואורגניזמים אחרים. בסטרומוטוליט ניתן לקרוא את מספר שנותיו וגם את מספר הימים שחלפו בכל שנה, וכך אנו נחשפים לעובדה שמספר הימים בשנה הולך ומתמעט.

סלע יסוד

סלע שנוצר מהתגבשות של סלע מותך (מאגמה או לבה). בסלעי יסוד לא נמצא מאובנים משום שסלעים אלה נוצרים בחום גבוה ההורס את השרידים האורגניים.

סלעי משקע

סלעים שנוצרו בתנאים רגילים של טמפרטורה ולחץ, על ידי חומרים ש"שקעו" והתקשו. סלעי המשקע מאופיינים בשכבתיות, כאשר השכבות השונות עשויות ללמדנו על התנאים שהיו בכדור הארץ בעת שכל שכבה נוצרה. כמו כן, מאופיינים סלעי המשקע במאובנים של חי וצומח.

פאנגיאה

יבשת על שאיחדה את כל היבשות של ימינו לכלל יבשת אחת גדולה. משערים שפאנגיאה החלה להתקיים לפני כ־300 מיליוני שנה ועד לפני 200 מיליוני שנה, שעה שהחלה להיפרד ליבשות גונדוונה ולאורסיה (בעקבות תנועת הלוחות הטקטוניים).

פחמן 14

איזוטופ של פחמן המכיל 6 פרוטונים ו־8 נייטרונים, המהווה אך טריליונית מסך הפחמן שבטבע. פחמן 14 הוא חומר רדיואקטיבי הדועך במשך הזמן והופך לחנקן 14. זמן מחצית החיים שלו הוא 5,730. הפחמן מוטמע בכל צמח בתהליך הפוטוסינתזה, ואחרי כן הוא עובר לבעלי החיים הניזונים ממנו. כל עוד הצמח או בעל החיים חי, נמצא בו שיעור של פחמן 14 הזהה לשיעורו באוויר. מרגע שהצמח או בעל החיים מת, ספיגת הפחמן מפסיקה, ומאותר

רגע הולכת ופוחתת כמות הפחמן 14 בצמח או בבעל החיים, עקב ההתפרקות של חומר זה. לדוגמא, אם נחשב את כמות פחמן 14 בשרידי הצמח ונגלה שהכמות היא רק מחצית משיעור פחמן 14 באויר, משמעות הדבר היא שהצמח מת לפני 5,730.

פליאורופיה השפעה של גן בודד על מספר תכונות במקביל. במקרה שכזה, עשויה תכונה מסוימת לשגשג גם אם אין לה כל יתרון הישרדותי, אם היא קשורה בקשר פליאורופי לתכונה אחרת התורמת לשגשוגה של הקבוצה.

פליאומגנטיות תחום מחקר בגיאולוגיה העוסק בחקר עברו המגנטי של כדור הארץ כפי שנשמר במינרלים מגנטיים. השדה המגנטי של כדור הארץ משתנה לאורך זמן בכיוונו, ותופעה זו ניתנת למדידה על ידי מדידת הכיוון המגנטי שהוטבע בסלעים בעת שנוצרו.

פסאודוגן גן שחדל לתפקד. בדרך כלל מדובר בגנים שאינם מסכנים את שלומו של היצור, ואשר לכן עשויות להצטבר בהם תקלות המוציאות אותם מכלל שימוש מבלי שהדבר יגרום להכחדת היצור. דוגמא לכך הם חלק ניכר מקולטני הריח של האדם (המתבסס בעיקר על חוש הראיה), קולטני הריח של הלויתנים (שאינם מסייעים להם עוד בסביבה המימית), והגן ליצירת ויטמין סי (שנפגע אצל הפרימטים המקבלים את הויטמין ממזונם).

פרוטון חלקיק בעל מטען חיובי חשמלי הנמצא בגרעין של כל אטום. מספר הפרוטונים קובע את "המספר האטומי" של האטום ואת זהותו. לדוגמא: אטום בעל פרוטון אחד (ומספר אטומי 1) הוא היסוד הכימי מימן, שני פרוטונים - הליום, שלושה - ליתיום, וכן הלאה. היסוד הכימי בעל מספר הפרוטונים הגבוה ביותר בטבע הוא אורניום, ולו 92 פרוטונים.

פרימטים סדרה במחלקת היונקים הכוללת למעלה ממאתיים מיני קופים, קופיפים וקופי אדם. משמעות המילה "פרימט" בלטינית הוא "ראשון במעלה", על שום שבסדרה זו כלול האדם.

קורדומינגטיות ראה: דומינגטיות

רדיואקטיביות פליטה של חלקיקים מגרעין של אטום. פליטה זו (הידועה גם כקרינה רדיואקטיבית) מאפשרת לאטום להיות יציב יותר. קיימים סוגים שונים של פליטה/קרינה, ובחלק מהם, האטום הופך לאטום של יסוד כימי אחר.

רטרווירוס רטרווירוס הוא נגיף המעתיק ומשלב את הרצף הגנטי שלו לתוך הדנ"א של

אנדוגני

הפונדקאי. אם הנגיף השתלב בתאי הרבייה ולא השמיד את הפונדקאי, יעבור הנגיף לדור הצאצאים ויהיה משולב בדנ"א שלהם. במקרה זה הוא ייקרא רטרווירוס אנדוגני (= שנובע מבפנים).

רסציביות

ראה: דומיננטיות

רצף גנטי

מולקולת הדנ"א המכילה את מלא ההוראות ליצירת יצור שלם ולביצוע תפקודיו השונים, בנויה משפה של ארבע "אותיות": ארבעה בסיסים שונים. ה"מילה" בשפה זו עשויה משלושות של בסיסים: כל שלושה בסיסים מהווים "מילה" אחת (ובסך הכול יש 64 מלים שונות: שכן $4^3 = 64$). "מלים" אלה יוצרות חומצת אמינו אחת, וכמה עשרות חומצות אמינו יוצרות חלבון אחד. וכך, הרצף של כשלושה מיליארדי בסיסים המרכיבים את הדנ"א האנושי מגלמים את כל ההוראות הנדרשות. רצף גנטי הוא כל קטע ממולקולה זו. רצפים המקודדים חלבון נקראים "גן". במולקולת הדנ"א יש ככל הנראה הרבה "אשפה" - רצפים שאינם עושים דבר.

שחלוף

שלב במיזוזה (עיין ערכה). בשלב שבו תא הנבט מכיל שני עותקים מהאב ושני עותקים מהאם, לפני שהוא מתחיל להתחלק לארבע תאים, מוחלפים קטעים של דנ"א בין העותקים מהאב לעותקים מהאם. בעקבות כך, בתום השלחוף העותק מהאב או מהאם אינו משקף את העותק המקורי אלא עותק מעורב משני מקורות. [יושם לב לשתי רמות של ערבוב להן חשוף עותק הגנום שיהיה בתא הרבייה הסופי. ראשית, 23 הכרומוזומים המרכיבים את הגנום של תא הרבייה יהיו ממקורות מעורבים: חלק מהאב וחלק מהאם (וזאת, ללא קשר לפעולת השחלוף). שנית, כל כרומוזום בפני עצמו הוא מעורב משני המקורות, וזאת, תודות לשחלוף].

שיבוט

תהליך שבאמצעותו יוצרים יצור חי הזהה גנטית ליצור ה"אב". (למעשה, המונח שיבוט משמש גם ליצירת איבר או קטע דנ"א ולא דווקא יצור חי, אבל זה אינו מענייננו בספר זה). המונח נגזר מהמילה "שבט", משום שבאמצעות תהליך זה ניתן ליצור "שבט" של בעלי חיים זהים גנטית. הרעיון מבוסס על כך שבגרעין של כל תא חי נמצאת מולקולת הדנ"א שבה יש את המידע המלא ליצירתו של היצור החי. בתהליך השיבוט, מחלצים את גרעין התא מהתא שרוצים לשבט, ומחדירים אותו לביצית אחרי שהסירו ממנה את הגרעין שלה. ביצית זו מוחדרת לרחם ומתפתחת ליצור הדומה גנטית לזה שנטלו ממנו את הגרעין המקורי. (מובן שהתהליך מורכב ומסובך ממה שאני מציג כך). היונק הראשון ששובט בהצלחה היתה הכבשה דולי (בשנת 1996).

בשנת 2013 שובט בהצלחה עובר אנושי, על מנת ליטול ממנו תאי גזע לטיפול במחלה נדירה של תורם התא (ילד בן שמונה).

תא

יחידת החיים הבסיסית המקיימת את כל מאפייני החיים. כל היצורים החיים מורכבים מתא אחד או יותר. בכל תא יש את מולקולת הדנ"א המכילה את המידע התורשתי השלם הנחוץ ליצירת היצור החי ולכל תפקודיו. גוף האדם בנוי מעשרות טריליוני תאים.

תא זרע

תא רבייה המיוצר על ידי הזכר. במהלך פעילות מינית בודדת נפלטים מאות מיליוני תאי זרע במטרה שאחד מהם יפרה את הביצית. מרביתם ימותו לפני הגיעם אל הביצית בגלל הסביבה החומצית של הנרתיק. (אל דאגה, מאגר תאי הזרע מתחדש באופן תמידי).

תא נבט

תא שמתפתח והופך לתא רבייה. בתא הנבט (האנושי) יש שני עותקים של הגנום: המידע התורשתי, כמו ביתר תאי הגוף. אולם בניגוד ליתר התאים, עובר תא הנבט תהליך חלוקה ייחודי הנקרא "מיזוג" (עיין ערכה), ובסופו נוצרים מתא נבט בודד - ארבעה תאי רבייה שבכל אחד יש עותק אחד בלבד של הגנום.

תא רבייה

תא המיועד לרבייה זוויגית (רבייה מינית). תא הרבייה הנקבי נקרא ביצית, ותא הרבייה הזכרי נקרא תא זרע (עיין ערכם). מאפיין ייחודי של תאי הרבייה (באדם וביונקים) הוא היותם הפלואידים, כלומר, נושאים עותק אחד בלבד של הגנום: המידע התורשתי, בניגוד ליתר תאי הגוף הנושאים שני עותקים. הפריה מתרחשת כאשר תא זרע וביצית נפגשים ומתאחים. משני התאים הללו, שכל אחד נושא עותק אחד של הגנום, נוצר תא מופרה הנושא שני עותקים (כאמור, אחד מהזכר ואחד מהנקבה). התא המופרה הוא הצאצא.

תורשה

העברה של חומר תורשתי מהורה לצאצאיו בתהליך הרבייה. בתוך כל יצור חי נמצא חומר תורשתי (מולקולת דנ"א) ובתוכו המידע התורשתי הכולל את כל המידע הנחוץ ליצירתו ולתפקודו. החומר הזה מגיע מהוריו. במקרה של האדם ויתר היונקים - מתקבל עותק אחד של המידע התורשתי מהאב, ועותק שני מהאם. שני העותקים הללו נמצאים בכל תא מתאי גופנו ומכתיבים את תפקודנו. (להבנת היחסים בין שני העותקים הללו ראה: דומיננטיות).

תיארוך
רדיומטרי

שיטה לתיארוך חומרים (קביעת גילם) המבוסס על קצב הדעיכה הרדיואקטיבי של חומרים מסוימים. בלשון אחר: בטבע קיימים חומרים

רדיואקטיביים המתפרקים במשך הזמן והופכים לחומרים אחרים, יציבים יותר. לכל חומר רדיואקטיבי יש קצב התפרקות משלו, הנע בין חלקיקי שניה למיליארדי שנים. בתיארוך רדיומטרי מודדים את תוצר ההתפרקות ו/או את החומר המקורי ומחשבים לפיו כמה זמן חלף מאז החל תהליך ההתפרקות. תיארוך רדיומטרי לצורך קביעת גילם של סלעים מבוסס על ההתפרקות של אשלגן 40 לארגון 40, ואילו תיארוך רדיומטרי לצורך קביעת גילם של תוצרים אורגניים בני אלפי שנים מבוסס על ההתפרקות של פחמן 14 לחנקן 14.

אינדקס

106	סוס, התפתחותו	29	הטרזיגוטי	123	אטביזם
154, 51	סחף גנטי	36	היפרמורפיזם	144, 139	איים
83	סטרומטוליט	163	הנדסה גנטית	24	אלל
74	סידן 40	132	העצב התועה	83	אלמוגים
74	סלע יסוד	52	ואדומה, שבט	129	אמבריולוגיה
225,191,98,83	סלעי משקע	87, 74-73	זמן מחצית החיים	52	אנדומיה
131	עצב בית הקול החוזר	137, 128	זנב אדם	136	אנדמי
80,79	פאנגיאה	64	חולייתנים	48	אנמיה חרמשית
87	פחמן 14	113	חיות הכיס	51	אפקט המייסד
102	פטרזאור	64	טרפודה	53	אקטרודקטיליה
49	פליאורופיה	97	טיקטאליק	74	ארגון 40
81,75	פליאומגנטיות	77	טקטוניקת הלוחות	195, 103	ארכאופטריקס
124	פסאודוגן	59	טקסונומיה	74	אשלגן 40
142	פרושי דרווין	121	טרנזיביטים	146	ביולוגיה מולקולרית
30	קו-דומיננטי	151	טרנספוזון	21	ביצית
76	קיטוב מגנטי	23	כרומוזום	80, 79	גונדואנה
203, 60	קרולוס ליניאוס	80, 79	לאורסיה	72	גיל העולם
133	קשתות הזימים	108	לוויתן, התפתחותו	21	גן
73	רדיומטרי	97	מאובן חי	35	גן רגולטורי
150	רטרווירוס אנדוגני	91, 82, 74	מאובנים	21	גנום
28	רסציבי	94	מאובנים מנחים	97	דג ריאות
23	שחלף	54	מאקרו אבולוציה	105	דגים מעופפים
174	שיווי משקל מקוטע	40, 30, 19	מוטציה	28	דומיננטי
21	תא זרע	21	מטען גנטי	21	די אן איי
23	תאי נבט	21	מידע תורשתי	100	דינוזאורים
23	תאי רבייה	25, 23	מיזזה	21	דנ"א
121	תוספתן	21	מיטוזה	87	דנדרכרונולוגיה
21	תורשה	54	מיקרו אבולוציה	216, 203	האדם הניאנדרטלי
224	תיאוריה מדעית	77	נדידת היבשות	214, 203, 183	הומו ספיאנס
73	תיארוך	37	ניאוטניה	29	הומוזיגוטי

רשימת איורים

120	דודו	14	שלד של לווייתן קשות ראש
120	<i>Sphecomyrma frey</i>	15	מאה מגזעי הכלבים
120	קיוי	16	דני ענק וצ'יוואווה - מבט מבחוץ
120	שלד של קיוי	16	דני ענק וצ'יוואווה - מבט מבפנים
128	דולפין עם גפיים אחוריות	18	ברירה מלאכותית בפרות לחלב
130	התפתחות עוברית	25	מיוזה
133	עצב בית הקול החוזר בג'ירף	37	אקסולוטל
135	קשתות זימים	37	אקסולוטל יבשתי
138	עובר אנושי בעל זנב	39	צפרדע כמעט בוגרת לעומת ראשן
143	פרושי דרווין	53	אקטרודקטיליה
202-201	גורילות, שימפנזים ואורנגוטנים	65	סנפיר/כנף/רגל-קדמית/יד
215	מפת ההגירה האנושית	66	שלדים
217	גולגולת של אדם ניאנדרטלי	77	התפשטות קרקע האוקיינוס
219	גולגולת	80	פנגיאה, גונדוונה ולאורסיה
220	גודל המוח בהומינידים	81	מפה עולמית של פעילות טקטונית
		85	סטרומטוליט (תרשים)
		86	סטרומטוליט (תצלום)
		88	טבעות מספרות
		93	מאובני אדם
		99	טיקטאליק - הממצא
		99	טיקטאליק - שחזור אמנותי
		101	עולמם המגוון של הדינוזאורים
		102	פטרוזאור
		103	ארכיאופטריקס
		104	יען ודינוזאור
		105	דגים מעופפים
		108	שלבים בהתפתחות הסוג סוס
		111	דורדון
		112	תפוצת המאובנים ביבשות הקדומות
		117	גפיים קדמיות

Ruben J. Candle

Torah and Science:
Evolution and Other Stuff

Dedicated to my beloved mother

2013 © All rights reserved by the author

toraumada@yahoo.com
www.toraumada.org.il
www.facebook.com/toraumada

Ruben J. Candle

Torah and Science:
Evolution and Other Stuff

Ruben J. Candle / Torah and Science: Evolution and Other Stuff