

איך העולם שלנו מתאים במדויק לחיים? הכוונה ואקראיות במעשה הבריאה

ד"ר דניאל תורג'מן

תקציר

בעולם שלנו מתקיימים תנאים עדינים המאפשרים יצירת חיים. ההסתכלות האמונית מבקשת לראות בכך הכוונה אלוהית, ואילו ההסתכלות המדעית מייחסת אקראיות בלתי מכוונת לתהליכים שיצרו תנאים אלו. במאמר זה תוצג גישה סינתטית, המאחדת את המבט האמוני עם זה המדעי. גישה סינתטית זו תיושם הן בנוגע לתנאים הייחודיים המתקיימים על כדור הארץ שלנו והן על ייחודיותם של קבועי היסוד של היקום בכלל.

א. פתיחה

ב. כולן לא בראתי אלא בשבילך

ג. למה דווקא כך?

ד. על שאלת הכיוון העדין של היקום

ה. הערות לסיום

1. הפוטנציאל לחיים מעיד על בורא

2. השגחה

3. בורא עולמות ומחריבן

4. האם אנו לבד?

נספח – "תִּלְהָ אֶרֶץ עַל בְּלִימָה" הכיוון העדין של היקום

1 המחלקה לפיסיקה של החלקיקים ואסטרופיסיקה, מכון ויצמן

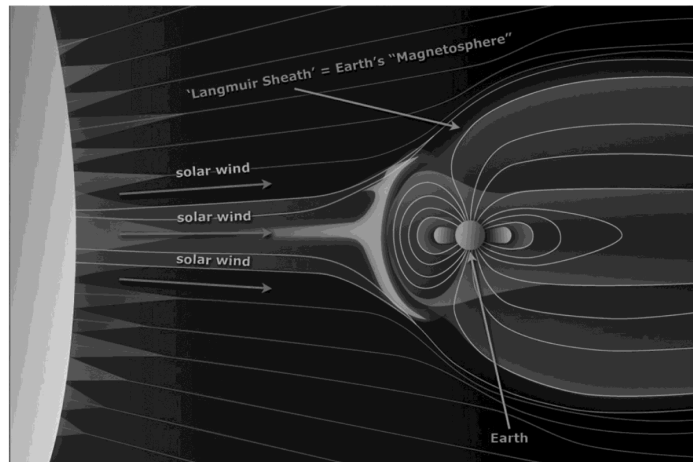
ATLAS Experiment, CERN

Daniel@iats.institute

<https://iats.institute>

א. פתיחה

לכדור הארץ תנאים ייחודיים המאפשרים חיים. יש לו מים ואטמוספירה, והוא נמצא בדיוק במרחק המתאים מהשמש. בנוסף השדה המגנטי של כדור הארץ מגן עלינו ועל האטמוספירה שלנו מרוח סולארית – זרימה של חלקיקים טעונים ואנרגטיים הנפלטים מן השמש. השדה המגנטי מסיט את החלקיקים הטעונים ממסלולם ובלעדיו הרוח הסולרית הייתה תולשת לנו את האטמוספירה (כפי שכנראה קרה למאדים אשר לו אין שדה מגנטי²). כמו כן, כדור הארץ עשיר במגוון יסודות, גם יסודות נדירים המשחקים תפקיד חיוני בכל עולם הביולוגיה (כגון זרחן³).



איור 1. המגנטוספירה של כדור הארץ. מקור: ו. תורנהיל

הגישה הדתית המקובלת רואה בהתקיימותו של צירוף מקרים זה הכוונה אלוהית. ביטוי לכך ניתן למצוא בספרו החלוצי של פרופ' נתן אביעזר "בראשית ברא" (עמ' 36):

2. "European Space Agency," [Online]. Available: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cluster/Earth_s_magnetic_field_provides_vital_protection

3. "Royal Astronomical Society," [Online]. Available: <https://phys.org/news/28-04-paucity-phosphorus-hints-precious-path.html>

היווצרותם של כוכבי לכת – שהיא תנאי הכרחי לקיומו של האדם – נבעה מסדרת מאורעות נדירים. המדען החילוני יראה בכך צירוף מקרים מוצלח שזימן הטבע ותו לא; אבל ליהודי המאמין יש הסבר שונה לחלוטין לאותו "צירוף מקרים מוצלח".

וכן בעמ' 47 (דגשים במקור):

במקרה רחוק כדור-הארץ מן השמש במידה מספקת כדי להימנע מאפקט החממה, ולכן המים שלנו לא התאדו ולא נעלמו, מחד גיסא. ומאידך, במקרה קרוב כדור הארץ לשמש במידה מספקת כדי לזכות בחום מספיק, ולכן מימי האוקיינוסים לא הפכו לקרח. בין כוכבי הלכת, כדור הארץ הוא היחיד, אפוא, המספק את התנאים הדרושים לקיומו של המין האנושי.

...אנו עדים לסדרת מאורעות נוספים שההסתברות להתרחשותם היא נמוכה, אבל הם חיוניים לקיומם של אוקיינוסים וימים שמעליהם פרושה אטמוספירה המאפשרת נשימה. בשנים האחרונות הולך ומתברר למדענים כי "הטבע" מעמיד דרישות חמורות לאפשרות קיומם של חיים – ואף על פי כן כולן התמלאו באופן מפתיע. תופעה זו מעוררת עניין רב בקרב חוקרים וזכתה לשם "העיקרון האנתרופי" (Anthropic Principle). אולם היהודי המאמין יעדיף להשתמש בביטוי "העיקרון האלוקי", על דרך הכתוב "אצבע אלוקים היא" (שמות ח', טו).

אכן זהו צירוף מקרים נדיר ביותר למצוא את כל תנאים אלה הדרושים לחיים מתקיימים על פלנטה אחת, אבל במחשבה שניה "הַבֵּט נָא הַשְׁמִימָה וְסִפֹּר הַכּוֹכָבִים אִם תּוּכַל לְסַפֵּר אֹתָם". ביקום הנראה ישנם כמאה מיליארד גלקסיות, ובכל גלקסיה קיימים כמאה מיליארד כוכבים. זהו מספר אסטרונומי של 10^{22} כוכבים (1 ולאחריו 22 אפסים). סביב מספר לא מבוטל מהם קיימות מערכות פלנטריות. נראה שברוב המכריע של מערכות פלנטריות אלו אין תנאים המתאימים ליצירת חיים אבל לא נתפלא אם בכמה מהן יש תנאים מתאימים. וכמובן, אנו נמצא את עצמנו על פלנטה נדירה שיש בה את כל התנאים הנדרשים לקיומם של חיים, מכיוון שמלכתחילה החיים יתפתחו רק על פלנטה שיש בה את כל התנאים הנדרשים לקיומם של חיים.

משך הם פני הדברים נראה כי התקיימותם של התנאים על כדור הארץ המאפשרים את קיומנו אינה אלא תוצאה מתבקשת של הסתברות עיוורת. האם קיימת אפשרות לפשר בין עובדה זו לבין הרצון הדתי לראות בכך משהו מכוון?

ב. כולן לא בראתי אלא בשבילך

כדי להציע סינתזה כזו נביא דוגמה ממאין החלקיקים הגדול בשווייץ, שם מדענים חיפשו את החלקיק הנדיר והחמקמק – חלקיק ההיגס. הסיכוי לייצור חלקיק היגס מהתנגשות של פרוטונים הינו כו 10 מיליארד, ועל כן היה על המדענים להביא מיליארדים על גבי מיליארדים של פרוטונים לידי התנגשות כדי לייצור את אותו חלקיק ההיגס בודד.⁴ אותו חלקיק היגס שנוצר הינו מצד אחד תוצר אקראי של מיליארדי התנגשויות, אך מצד שני הוא הוא הסיבה של כל אותן התנגשויות מלכתחילה ובעבורו כולן נעשו.

ההסתכלות שאנו מציעים כאן בנוגע לתנאים הייחודיים של כדור הארץ אינה ש"אלוקים התערב כדי ליצור בעבורנו צירופי מקרים ייחודיים" אלא "אלוקים ברא יקום כל כך גדול כדי שייצא אותו מקום נדיר שבו החיים יתפתחו". אם התנאים הנדרשים ליצירת חיים הינם כל כך נדירים, נניח אחד למאות מיליארדים, אז אלוקים יברא מאות מיליארדי כוכבים כדי שההסתברות הכוללת תהיה שהתנאים יתמלאו והחיים אכן יתפתחו.

כך גם ניתן להבין את דברי התנחומים של הקב"ה לכנסת ישראל כפי שמובאים במסכת ברכות (לב ע"ב):

"ותאמר ציון עזבני ה' וה' שכחני" (ישעיהו מ"ט, יד)...

אמר לה הקב"ה בתי י"ב מזלות בראתי ברקיע ועל כל מזל ומזל בראתי לו שלשים חיל ועל כל חיל וחיל בראתי לו שלשים לגיון ועל כל לגיון ולגיון בראתי לו שלשים רהטון ועל כל רהטון ורהטון בראתי לו שלשים קרטון ועל כל קרטון וקרטון בראתי לו שלשים גסטרא ועל כל גסטרא וגסטרא תליתי בו שלש מאות וששים וחמשה אלפי רבוא כוכבים כנגד ימות החמה וכולן לא בראתי אלא בשבילך ואת אמרת עזבתני ושכחתני.

לאחר החורבן ציון בוכה שהקב"ה זנח אותה. הקב"ה משיב לה שיש מספר עצום של כוכבים בשמים וכולן הוא ברא בעבורה ואין יעלה על הדעת שהוא יכול לשכוח אותה?

4. בפועל, אין די במאורע אחד, שכן כדי להוות הוכחה ישנו צורך ליצר מספיק מאורעות כאלה כך שלתופעה תהיה מובהקות סטטיסטית מספקת. אבל אין זה מעניינו של מאמר זה.

כיצד עלינו להבין דברים אלו? האם יש להם בסיס במציאות? הרי כוכבים אלו אינם משפיעים עלינו בשום צורה, ואפילו אם כולם היו נעלמים בן רגע לא הייתה לכך שום השפעה מבחינתנו. כיצד, אם כן, יש לומר כי נבראו עבורנו? פרופ' אביעזר הציע להסביר זאת על ידי העובדה שהכוכבים הם אלה ש"בישלו" ופלטו את היסודות הכבדים, אשר מבלעדיהם לא הייתה ביולוגיה ומהם אנו עשויים (כדברי השיר האמריקני "we are stardust"). זה נכון, אבל בשבילנו היה די בכוכבים שבשכונה שלנו, של הגלקסיה בלבד ולא היו נדרשים כל אותם כוכבים המוזכרים בגמרא (¹⁹10 במספר). אך על פי ההסתכלות שהבאנו לעיל הדבר ברור: הכוכבים לא נבראו בשביל לשמש אותנו, אלא הקב"ה ברא את כל אותם כוכבים כדי שיצא אותו כוכב אשר סביבו אותה פלנטה שיש בה את כל הדרוש להתפתחותם של חיים ולהופעתם של האדם ושל עם ישראל (גם מתוך אלה שיש בהם את התנאים לחיים, עדיין ישנו סיכוי קטן להתפתחותם של חיים מורכבים בצורת יצור חברתי חושב. ראו הערה "בורא עולמות ומחריבן" בסוף המאמר). אם זה מה שנדרש אז זה מה שיהיה. "בתי" אומר הקב"ה לכנסת ישראל "את כל זה בראתי כדי שתוכלי את לבוא לידי קיום. כולן לא בראתי אלא בשבילך"

ג. למה דווקא כך?

למה בורא עולם בחר לפעול דווקא בדרך זו?

לשאלה זו מספר פנים וננסה לפרוס אותה לשאלות ממוקדות יותר.

מראשית אחרית

נתחיל מן השאלה: האם לא היה עדיף לבורא עולם להתערב באופן אקטיבי במהלך הבריאה כדי ליצור את התנאים הרצויים? למה לו לפעול בדרך זו הבלתי יעילה בעליל?

על שאלה זו יש לענות כי התערבות אלוקים במהלך התפתחותו של כדור הארץ מפחיתה משלמותה של הבריאה הראשונית, אשר כביכול מתבררת כדורשת תיקונים. זאת גם הסיבה שבגללה קיים בחז"ל יחס לא רצוי כלפי ניסים (שבת נג ע"ב):

מעשה באחד שמתה אשתו והניחה בן לינק, ולא היה לו שחר מניקה ליתן, ונעשה לו נס ונפתחו לו רדין כשני דרי אשה והניק את בנו.

אמר רב יוסף: בא וראה כמה גדול אדם זה, שנעשה לו נס כזה! אמר לו אביי: אדרבה, כמה גרוע אדם זה שנשתנו לו סדרי בראשית!

"סדרי בראשית" הינם חוקי הטבע, ונס או התערבות חיצונית יש בהם כדי לרמוז שמסגרת חוקי הטבע אינה שלמה וטעונה "מקצה שיפורים".

כאן יש להעיר הערה חשובה: יש לחלק בין שני סוגים של ניסים. ישנם ניסים, כמו זה המתואר כאן, אשר באים להשלים ליקוי במציאות. לסוג כאלה של ניסים אביי מייחס את התואר "גרוע" שכן הם מצביעים על ליקוי במציאות. ויש סוג אחר של ניסים, ואלה כל הניסים המופיעים בתנ"ך, אשר באים לצורך אמירה מסוימת, למשל "למען ספר שמי בכל הארץ". ניסים כאלה לא באו כדי להציל את המצב, אלא המצב נוצר כדי להביא להופעת הניסים.⁵

לגבי שאלת היעילות – אכן במאיץ החלקיקים היו נחסכים הרבה תקציבים אילו היה אפשר לגרום שייוצרו רק חלקיקי היגס. אך אצל ריבוננו של עולם תקציב אינו שיקול. מהו "השיקול" האלוקי? להגיע למטרה של יצירת חיים (ובאופן ספציפי האדם והאומה ישראלית) ביקום, באמצעות החוקיות הנפלאה של סדרי בראשית.⁶

"במאמר אחד יכול להבראות"

אולי, אם כן, אלוקים היה יכול לכוונן את כל הפרמטרים השונים מראש, ללא צורך להתערב במהלך התפתחות הבריאה?

הקושי באופציה זו הינו שאת כל אותם פרמטרים הרצויים היה צריך להכניס "ביד" באופן מלאכותי, ואז, שוב דומה המצב להתערבות חיצונית. אם יש צורך שכדור הארץ יהיה במרחק מסוים מהשמש, אלוקים יכוונן מראש את

5. ראו מאמר תחיית המתים לרמב"ם, ולדוגמה ראו עיונים בפרשת שבוע, הרב אלחנן סמט, סדרה ראשונה פרשת בא "ההונאה במשא ומתן עם פרעה".

6. על כך יש להוסיף, כי אולי "חוסר יעילות" זו גם משרתת את הרצון האלוקי: מרחב היקום על מיליארדי מיליארדי כוכביו מאפשר לנו להכיר במעט את גדולתו ואינסופיותו "שאו מרום עיניכם וראו מי ברא אלה המוציא במספר צבאם לכלם בשם וקרא מרב אונים ואמין בן איש לא נעדר" (ישעיהו מ', כו). מכל מקום, אם זה היה כל הסיפור היה קשה לפרש את דברי הגמ' "כולן לא בראתי אלא בשבילך". לדברי הנחמה יש פשר רק במובן של "כולן לא בראתי אלא כדי שיהיה לי אותך, ואיך אוכל לשכוח אותך".

המרחק המתאים מהשמש. יש צורך במים? אלוקים יכולים מראש שיהיה מים. יש צורך בזרחן?... וכן הלאה וכן הלאה. שוב חזרנו לסדרה של כיוונונים.

עיקרון זה משתקף בשאלת המשנה במסכת אבות (פ"ה מ"א):

בעשרה מאמרות נברא העולם.

ומה תלמוד לומר, והלא במאמר אחד יכול להבראות?

אלא להיפרע מן הרשעים שמאבדין את העולם שנברא בעשרה

מאמרות וליתן שכר טוב לצדיקים שמקימין את העולם שנברא

בעשרה מאמרות.

קושיית המשנה משקפת עדיפות לפעולה אחת מאשר עשר פעולות נפרדות מצד הבורא (גם אם נעשו כולם מראש). בתשובתה, המשנה אינה סותרת עמדה זו, אלא עונה שבכל זאת הייתה סיבה מוסרית לדבר (להיפרע מן הרשעים וליתן שכר לצדיקים), אבל העיקרון נשאר.⁷

ואם היינו רוצים מערכת כזאת שאלוקים יכולים כוונן רק פרמטר אחד, אך פרמטר זה יהיה קשור וישיע על שאר הפרמטרים? על פניו זו אשליה. זאת מכיוון שאפיונם של קשרים אלה עצמם גם ייחשב ככיוון של הפרמטרים מראש.

אם כן נראה כי הדרישה שתנאים ספציפיים יתקיימו במערכת, מחייבת את קידום "באופן ידני" בתנאי ההתחלה – או בפרמטרים או בקשרים שבין הפרמטרים. האם יש דרך לעקוף זאת, כלומר לקבל את הערכים הנדרשים מבלי לקודד אותם בתוך תנאי ההתחלה? התשובה היא שכן – על ידי ריבוי סטטיסטי וברירה מתוך ריבוי זה. ביקום שלנו אין שום פרמטר שמחייב את כדור הארץ להיות דווקא 149.6 מיליון ק"מ מהשמש. חוקי היסוד הינם "נקיים" מפרמטרים ואילו ציגים כאלה של כיוון עדין. הריבוי הסטטיסטי הוא מה שמקנה ליקום שלנו את האפשרות לייצר את התנאים הנדירים המורכבים הדרושים לחיים מתוך חוקים ותנאי התחלה הרבה יותר פשוטים.

מורכבות מתוך פשטות

כאן כבר ניתן לגעת בעוד סיבה עמוקה ומהותית שעל פיה סדר הבראה חייב להיות דווקא כזה, ללא כיוונונים של פרמטרים ספציפיים מראש. סיבה זאת נוגעת באמונת היסוד של היהדות כי ה' "אחד". מתוך האמונה כי כל

7. לא ניתן לומר כי עשרה מאמרות אלה הן הן הכיוונונים העדינים הדרושים לחיים מכיוון שאין התאמה ביניהם (למשל, איזה מאמר מתאר את הכיוון העדין שיצר לכדור הארץ שדה מגנטי?).

המגוון העשיר שאנו רואים בעולם נובע ממקור אחד אחדותי, שאין בו מורכבות, עומדת בפנינו השאלה כיצד עושר ומגוון אלו התפרטו מתוך אותו מקור אחדותי? ובלשונו של המהר"ל (נצח ישראל פרק ג): "איך יבוא הריבוי מן האחד הפשוט?"⁸ ("ריבוי" במובן של מגוון ולא כמות). כלומר, בבסיס התפיסה של א"ל אחד הבורא את העולם קיימת הבנה של השתלשלות והתפרטות מן האחדותי הפשוט אל המורכב המגוון. כיום בעזרת המדע אנו מבינים איך מתנאי התחלה פשוטים של כדור אנרגיה מתרחב (המפץ הגדול) קיבלנו את המציאות העשירה שאנו מכירים כיום – כלומר מורכבות מתוך פשטות. אך אם ערכיהם של כל הפרמטרים היו מקודדים באופן ידני מראש בתוך תנאי ההתחלה של היקום – אזי בעצם כל המורכבות הייתה כבר מההתחלה. כלומר מורכבות מתוך מורכבות.

על כן, על פי כל האמור, מבין שתי האפשרויות לברוא את מערכת השמש שלנו, דווקא זו אשר אינה "חסכונית" (שיקול כזה אינו קיים לפני הבורא) אך נובעת מחוקי יסוד ותנאי התחלה פשוטים אלגנטיים וסימטריים, וללא "הכנסה ביד" של אילוצים וערכים ספציפיים, היא היותר מתאימה על פי האמונה היהודית.

ד. על שאלת הכיוון העדין של היקום

לאחר שראינו את ערכה של המורכבות היוצאת דווקא מן הפשטות ואת האופן שזו נעשתה בנוגע לכיוון העדין של הפרמטרים של מערכת השמש שלנו, נוכל כעת לגשת לשאלת הכיוון העדין של היקום כולו.

8. מהר"ל גם מביא שם את הסברה כי מפני קושיא זו היו שהסיקו שיש ריבוי מקורות: "שהיו הראשונים טועים אחר העבודה זרה מחמת שהיו אומרים כי ההתחלה אי אפשר שתהיה אחת, שאם היה ההתחלה אחת איך יבוא מזה ריבוי בעולם. וכבר הסכימו על זה איזה חוקרים בחכמתם כי מן דבר שהוא אחד, לא יבוא רק אחד. כי הרבוי, אשר יש בו דברים מחולקים, איך יושפע זה, מדבר שהוא אחד, דברים שהם מתחלפים".

כבר אריסטו שאל את השאלה הזו (כפי שמוצא במ"נ חלק ב פרק כב):

"גזרה מוסכם עליה מאריסטו ומכל מי שנתפלסף, כי הדבר הפשוט אי אפשר שיתחייב ממנו אלא פשוט אחד, אם היה הדבר מורכב יתחייבו ממנו דברים כמספר מה שבו מן הפשוטים אשר הורכב מהם, והמשל בו, כי האש אשר בו הרכבת שתי איכויות, והם החום והיובש, יתחייב ממנו שיחמם בחומו, וייבש ביובשו, וכן הדבר המורכב מחמר וצורה, יתחייבו ממנו דברים מצד החמר שלו ודברים מצד צורתו, אם היה רב ההרכבות, ולפי זאת הגזרה אמר אריסטו שלא התחייב מהשם חיוב ראשון אלא שכל אחד פשוט לא דבר אחר".

עיקר קושייתם של הפילוסופים והראשונים נסבה סביב אותה קפיצה ראשונה מן האחד אל השניות, ולא נוכל לעסוק בשאלה עמוקה זו במסגרת מאמר זה. מכל מקום, רואים שבבסיס ההבנה של א"ל אחד הבורא את העולם קיים תהליך של השתלשלות והתפרטות מן הפשוט למורכב.

היקום מתגלה כמקום המתאים במדויק ליצירת חיים. קבועי הטבע, כגון עוצמתם של הכוחות או מסתם של חלקיקי יסוד, הינם כאלה ששינוי קל באחד מהם היה יכול לשנות באופן קיצוני את העולם כפי שאנו מכירים אותו. שינוי קל במסתם של חלקיקי יסוד היה מונע את קיומם של אטומים וגרעיני אטומים. בלעדיהם היקום היה מקום עקר ללא כימיה וללא חיים. שינוי קטן בכמות האנרגיה האפלה היה גורם לכך שהחומר ביקום לא היה יכול להתגבש לכדי כוכבים ופלנטות. בלעדיהם, ללא מצע וללא מקור אנרגיה, התפתחותם של החיים לא הייתה מתאפשרת (ראו נספח לדוגמאות מפורטות).

איך זכינו לערכים מכווננים כל כך?

פתרון אפשרי אשר דנים בו בקהילה המדעית הוא קיומם של יקומים מרובים (מה שמכונה ה "Multiverse"). על פיו קיימים יקומים אין-ספור אשר בכל יקום חוקי פיזיקה וקבועי טבע שונים, וכמובן אנו נמצאים דווקא ביקום שקבועי הטבע הינם כאלה אשר תומכים בהתפתחותם של חיים, כי אחרת לא היינו יכולים להתפתח כאן מלכתחילה.

רבים מהעולם הדתי (בעיקר מהנוצרי אבל גם מהיהודי) תקפו טענה זו בכך שקיומם של יקומים מרובים הינו השערה, אולי אפילו כזו שלא ניתן להוכיח: "לא ידוע לנו שום דבר על ניסיונות אחרים, יקומים אחרים עם חוקי טבע שונים [...] האם זה סביר יותר מההנחה הפשוטה יותר על יישות אחת שיצרה את היקום שלנו ואת חוקיו?"⁹

ראשית יש להעיר כי אמנם אין לנו כעת שום הוכחה ישירה בדבר קיומם של יקומים מרובים אך מצד שני לאופציה זו יש בסיס והתכחות לה תהיה לא מדעית.¹⁰

9. הרב מיכאל אברהם, "מבט שיטתי על יחסי אבולוציה ואמונה", ספר "לדעת בארץ דרכיך" הוצאת מכון לב, כרך א.

J. F. Donoghue, "The Multiverse and Particle Physics," Annual Reviews of Nuclear and Particle Science, 26.

התנאים הדרושים לקיומם של יקומים מרובים בעלי חוקי פיזיקה שונים הינם שניים: א) בתורה היסודית השורשית של חוקי הפיזיקה תהיה האפשרות להתממשות שונה של קבועי הטבע וחוקי הפיזיקה. ב) שיהיה מנגנון שיממש בפועל ויאכלס את מרחב האפשרויות שהתיאוריה היסודית מציעה. נראה כי קיימים מועמדים רציניים מאוד לשתי דרישות אלו:

א) בתחילת דרכה, חשבו כי לתורת המיתרים יהיה פתרון אחד שיסביר את כל חוקי וקבועי הפיזיקה בעולמנו. תקווה זו החלה להתבדות כאשר באמצע שנות ה-90 החלו לגלות עוד ועוד

שנית, וזה עיקר עניינו של מאמר זה, האם זו באמת "הנחה פשוטה" ש"יישות אחת יצרה את היקום שלנו ואת חוקיו" כפי שהם, על כל הכוונונים שבהם? מבחינה תיאולוגית, איך עלינו להבין זאת? ככוונונים עדינים ואילוצים שבורא עולם הכניס "ביד" כדי שהמערכת תעבוד? כיוון את מסתו של חלקיק זה ככה, את מסתו של החלקיק ההוא ככה, את הכמות של האנרגיה האפלה ככה וכן בכל הפרמטרים החופשיים שדרשו כיוון עדין. יש כאן שתי בעיות: א) השאיפה הדתית לראות בכיוון העדין שיש ביקום סדרה של התערבויות אלוקות ניסיות אינה מדריך "אנשי החכמה", כפי שמגדיר זאת הרמב"ם (מאמר תחיית המתים):

שאיפתנו ושאיפת כל אנשי החכמה מיחידי סגולה הפך שאיפת ההמון. כי המוני בעלי התורות יותר חביב עליהם ועָרֵב לסכלותם לעשות את התורה והשכל שני קצוות הסותרים זה את זה, ומבארים כל דבר נגד המושכל, וטוענים בו שהוא נס, ומתרחקים מכך שיהא דבר על דרך הטבע... ואנחנו שואפים לאחד בין התורה והמושכל, ונתאר כל הדברים כפי סדר טבעי אפשרי בכל אלה, זולתי מה שנאמר בו בפירוש שהוא נס, ואין שום אפשרות לבארו כלל, רק אז נאליץ לומר שהוא נס.

אפשרויות שונות לפתרונות של תורת המיתרים, כל אחד המוביל לחוקי וקבועי פיזיקה שונים. עם הזמן הערכות שונות אף הציגו את מספר האפשרויות כ- 10^{500} (בקצרה: על פי תורת המיתרים כל החלקיקים השונים המוכרים לנו אינם אלא עירורים שונים [מלשון לעורר, excitations] או תדרים שונים באותם מיתרי יסוד. המסגרת המתמטית של תורת המיתרים מחייבת את קיומם של לפחות עוד 6-7 ממדים נוספים על שלנו, אך כדי להגיע לשלושה ממדים המוכרים לנו הממדים הנוספים נדרשים לקרוס ולהתקפל (compactification). המיתרים עדיין נעים בתוך הממדים הנוספים אך למתבונן החי בעולם המאקרוסקופי התלת-ממדי החוקים הפיזיקאליים מתגלים כשונים על פי אופן התקפלות הממדים הנוספים).

אפילו אם לא נרצה להסתמך על תורת המיתרים, קיימות עוד אפשרויות אשר הינן יותר קרובות לידע הפיזיקאלי של ימינו אשר גם מאפשרות מנעד של קבועי טבע שונים, ראו בהרחבה מקור שבראש הערה זו.

ב) כפי שהצגנו בתנאים לעיל, האפשרות העקרונית של חוקי פיזיקה שונים אינה שווה הרבה ללא מנגנון שיאכלס ויממש את אותן אפשרויות עקרוניות. מועמד רציני ביותר למנגנון כזה אכן קיים: תפיחה קוסמית (ראו מאמרי "פיענוח פרשת הבריהא - רבדים וקריאה מדעית" מגדים, הוצאת תבונות, מכללת הרצוג, גיליון נח תשע"ט). על אף שאינה מוכחת עדיין, יש לה לתיאוריה זו תמיכות חזקות מאוד מכיוונים שונים, וזאת כדי להסביר את מה שאנו רואים ביקומנו אנו. ואם תפיחה קוסמית הינה נכונה לגבי יקומנו אנו, אזי זהו מנגנון ליצירת יקומים אינספור. במילים אחרות, יקומים מרובים אינה תיאוריה או "המצאה", אלא תוצאה של תיאוריה. ואם אנו מובילים לקבל תיאוריה מסוימת, אזי עלינו לקבל גם את כל השלכותיה. כפי שמרגע שקיבלנו את תורת היחסות הכללית, למשל, עלינו לקבל את כל השלכותיה, גם אלה אשר אינם מה שהיינו חושבים (לדוגמה, קיומם המפתיע של חורים שחורים).

ב) בציור כזה היקום מתחיל מרמת מורכבות לא מבוטלת ועם סט שלם של פרמטרים הנקבעים מן החוץ.

לכן מבחינה אמונית ישנה עדיפות לחוקיות יותר שורשית, פשוטה יותר ונקיה מערכים "שרירותיים" של פרמטרים. חוקיות הקרובה יותר לשורשיות האלוקית האחדותית.

כיצד, אם כן, נעשה המעבר מאותה חוקיות שורשית פשוטה למורכבות ולכיוונון העדין של חוקי וקבועי היקום שלנו? אנו עדיין רחוקים מלהבין את החוקיות היסודית ביותר, ואולי יתברר כי איכשהו החוקיות היסודית כן מאפשרת פרמטר אחד שקובע את כל שאר הפרמטרים, וללא צורך בקביעה ידנית מראש של הקשרים שבין הפרמטרים. אך נכון להיום הדרך היחידה הידועה והמובנת לנו היא זו שבאמצעות הריבוי הסטטיסטי.

אם כן, בנוגע לשאלת הכיוונון העדין של היקום: הבאנו את הבסיס התאורטי העצמאי לקיומם של יקומים מרובים.¹¹ ראינו כי החכמה האלוקית כבר בחרה בשיטה זו של כיוונון עדין באמצעות ריבוי סטטיסטי בנוגע לתנאים הנדרשים לחיים על כדור הארץ (וזאת כנראה הדרך היחידה לפרש את דברי הגמ' בברכות "כולן לא בראתי אלא בשבילך"). וכמו כן, הסקנו שמבחינה אמונית על פניו אופן הבריאה צריך להיות בסדר כזה של מורכבות מתוך פשטות וללא כיוונון פרמטרים מרובים בצורה מלאכותית. סדר שהדרך היחידה הידועה והמובנת לנו כיום לעשות זאת היא על ידי הריבוי הסטטיסטי. נקודות אלו מובילות אותנו להתייחס ברצינות לאפשרות קיומם של יקומים מרובים, דווקא מן הכיוון התאולוגי-אמוני.

סיכום

העולם שלנו מתגלה כמקום המכוון במדויק ליצירת חיים. ההכוונה האלוקית במעשה הבריאה אינה מוכרחת להתבטא בהתערבות אלוקית ישירה בערכיהם של גדלים שונים. ניתן לראות את הריבוי הסטטיסטי הקיים ביקום כאמצעי המאפשר תוצאה של הערכים הרצויים ללא קידוד מראש. בריאה בסדר כזה מאפשרת קבלת מורכבות מתוך חוקי יסוד ותנאי התחלה יותר ויותר פשוטים, סדר התואם השתלשלות מן האחדות האלוקית. אותו עיקרון ניתן ליישום

11. ראה הערה 8 לעיל. בסיס התאורטי אשר גם נתמך מן הכתובים, כפי שעולה במאמרי "פיענוח פרשת הבריאה – רבדים וקריאה מדעית" מגדים, הוצאת תבונות, מכללת הרצוג, גיליון נח תשע"ט.

גם בנוגע לשאלת הכיוונון העדין של קבועי הטבע של היקום כולו. כל האמור אינו הופך את האדם לתוצאה מקרית אגבית, אלא ניתן לראות זאת כפי שמתארת זאת הגמ' "כולן לא בראתי אלא בשבילך".

ה. הערות לסיום

לתזה שהצגנו בגוף המאמר מספר השלכות ונדון בהן להלן.

1. הפוטנציאל לחיים מעיד על בורא

רבים, בייחוד מהעולם הדתי, מביאים את התקיימותם של התנאים העדינים הנצרכים לחיים כהוכחה לקיומו של בורא תבוני. כפי שראינו בגוף המאמר התקיימותם של התנאים על כדור הארץ, וייתכן גם כי התקיימותם של התנאים בקבועי הטבע של היקום כולו, הינם תוצאה אקראית אחת מיני רבים ולכן לא יכולים להוות הוכחה על כיוונון מכוון.

ברצוני להציע הסתכלות אחרת, לאו דווקא מהתקיימותם של תנאים מיוחדים לחיים אלא מעצם הפוטנציאל לחיים שיש בחוקי היסוד.¹² ניקח לדוגמה אדם כלשהו שזכה בפיו. האם מאורע זה קרה במקרה סתם ככה? התוצאה שדווקא אדם זה זכה הינה מקרית, אך התוצאה שאדם כלשהו זכה היא תוצאה מכוונת

12. לעניות דעתי זה אינו הראיה מן המורכבות וגם לא הראיה הקוסמולוגית. הראיה הקוסמולוגית היא בעצם השאלה "למה יש משהו ולא כלום?". בבסיסה ההנחה כי לכל דבר בעולם שלנו יש סיבה, ולכן יש שתי אפשרויות: או גרסיה אינסופית של סיבות, או "שובר רקורסיה" סיבה ראשונה שאינה תלויה בדבר אבל אז אינו דומה לשום דבר ביקום שלנו, הבה נקרא לו "אלוקים". ראינו כי הינה הוכחה חזקה, אבל רק מוכיחה קיומו של אלוקים פילוסופי, סיבה ראשונה שאינה רוצה כלום מן העולם. הראיה מן המורכבות טוענת שאם אנו רואים דבר מורכב במציאות זה אומר שמישהו תכנן או סידר אותו. לראיה זו יש את היתרון שאם היא נכונה היא מוכיחה את קיומו של אלוקים שרצה בחיים ובאדם. מכל מקום, ראינו כי אינה נכונה תמיד שהרי אם נעשה מספיק ניסיונות אקראיים יכול להיווצר דבר מורכב גם ללא תכנון או רצון (אם נגריל הרבה מאוד פעמים שרשרת של 14 אותיות אקראיות, מתישהו ייצא לנו הצירוף "להיותאללהיות" ללא תכנון או רצון). ובנוגע לעולם שלנו, אם ישנם מספיק יקומים בעלי חוקים שונים נוכל לקבל יקום בעל קבועי טבע כמו שלנו גם ללא תכנון או רצון. כפי שהבאנו בגוף המאמר הרב מיכאל אברהם מנסה בכתביו לתקוף את קיומם של יקומים מרובים בכך שזה פתרון אדי-הוק ואין לנו שום ידע על מנגנון היווצרות של יקומים. כפי שפירטתי בהערה 8 טענות אלה אינן נכונות: יקומים מרובים אינם פתרון אדי-הוק בשביל ויכוח תיאולוגי אלא תוצר של תאוריה מדעית, וכן יש לנו ידע ובסיס עצמאי לחשוב שמנגנון כזה קיים. עוד מקשה הרב מיכאל כי "עדיין נשאל מי יצר את החוקים שעומדים בבסיס ההסברים הללו?" (שם). קושיה זו נכונה אבל היא בעצם מחזירה אותנו לראיה הקוסמולוגית – מה הסיבה הראשונה של הכול. מה שאני מבקש להראות כאן הינו ראייה מן הפוטנציאל – היא אינה מתבססת על המורכבות של המציאות בפועל, אלא על הפוטנציאל של היסוד, כפי שאפרט בגוף המאמר.

של קיומו של מפעל הפיס. לאקראיות יש משמעות רק בתור מאורעות אקראיים של משהו, ו"משהו" זה מכיל מראש בפוטנציאל את אותה התוצאה הספציפית של המאורע האקראי. אם יגרילו באופן אקראי שרשראות של אותיות למשך זמן אינסופי אפשר שתצא מכך כל הספרות האנושיות, אבל לא תצא כוס תה אחת. אם יגרילו מספרים אקראיים לא יצא מכך ולו אות אחת.

נביא עוד דוגמה מהאבולוציה: לאחר כל מה שניתן לומר על התהליכים האקראיים שהביאו אותנו עד הלום, עדיין כל התהליכים האקראיים האלה לא היו עושים דבר אילולי חלקיקי היסוד המופלאים, "אבני הפלא" הנקראים אטומים, בעלי כוחות ותכונות ייחודיים אשר רק על ידם לתהליכים האקראיים הייתה משמעות כלשהי. אם היינו זורקים אבני לגו רגילות אחת על השנייה במשך כל זמן חיי היקום לא היה יוצא דבר. זאת מכיוון שאין להם את כוחות אלקטרוסטטיים ותכונות קוונטיות הדרושים לייצר כימיה. אם כן, כל הביולוגיה הנפלאה אינה תוצר של אקראיות אלא מימוש של חלקיקי היסוד המופלאים המאפשרים זאת מראש. האקראיות רק נותנת להם את ההזדמנות.

הטענה האתאיסטית היא שתכונות אלה הן תוצר אחד אקראי של גנרטור המייצר עולמות עם חלקיקים בעלי תכונות שונות. מצוין, אבל בגנרטור זה יש את היכולת לייצר חלקיקים שיש להם את היכולת לייצר חיים. כלומר הפוטנציאל לחיים כבר נמצא מראש בתוך הגנרטור. כך גם כל פעם שנעמיק יותר בחוקים היסודיים – לעולם אלה החוקים היסודיים שכוללים בתוכם מראש את הפוטנציאל לתוצרים שיצאו מהם. אם כך אזי מראשית הבריאה, מחוקיה היסודיים והפשוטים ביותר, קיים פוטנציאל ליצירת גופו של האדם החושב. אני הקטן עומד נפעם מול ידיעה זו וכורע על ברכיי אל מול גדלותו של הבורא "מֶה גָּדְלוֹ מַעֲשָׂיוֹ ה', מֶאֱדָר עֲמָקוֹ מִחִשְׁבֹתָיו".

2. השגחה

במאמר זה צידדנו בחוסר התערבותו האקטיבית של אלוקים במהלך הבריאה. עמדה זו אין בה כדי לטעון כי אין ה' משגיח ופועל באופן אקטיבי בתוך חיי האדם וההיסטוריה האנושית. השאלה המעניינת היא: איך הקב"ה עושה זאת מבלי לשבור את חוקי הטבע? לעיון בסוגיה זאת יש להקדיש מאמר ייחודי. רק אומר בינתיים כי זו שאלה נפרדת, אני נוהג לייחס לנושאים אלה את המושגים "מעשה בראשית" – חוקי הטבע הדטרמיניסטיים של הבריאה, ו"מעשה מרכבה" – איך הקב"ה רוכב ומנהיג את העולם על גבי חוקי הטבע הדטרמיניסטיים (אך לא ברור לי כלל האם אלו הם כוונותיהם המקוריות של המושגים).

בכל זאת אולי כן ניתן ללמוד משהו מעיון זה לדרכי הא"ל בהיסטוריה: ראינו כי השגת תוצאה ייחודית אינה מחייבת כיוונון עדין באופן ידני אלא פוטנציאל + ריבוי סטטיסטי. האם יכול להיות שזהו גם חלק מדרכי הא"ל בהיסטוריה? על דוד נאמר "מִצָּאֲתִי דָּוִד עֶבְדִּי" (תהלים פ"ט, כא), האם יכול להיות שדוד הינו סגולה פנימית של שבט יהודה שהבשילה והתגלתה איפשהו? ובאדם שאותה סגולה הבשילה ויצאה בפועל מתוך כל אותם בחורי יהודה, על פי חוקי הנשמות שאין אנו מכירים אותם, על אותו אדם אומר ה' "מִצָּאֲתִי דָּוִד עֶבְדִּי". כמו החיים ביקום, הסגולה חייבת להתגלות, השאלה היא היכן? על איזה כוכב ובאיזה אישיות?

ייתכן שכך אפשר להסביר את הסתירה בין תיאור "יצירת" עם ישראל ("עם זו יצאתי לי") ו"בחירת" עם ישראל מכל העמים ("רק בצִבְתִּיךָ חָשַׁק ה' לְאַהֲבָה אוֹתָם, וַיִּבְחַר בְּזֶרְעוֹ אַחֲרֵיהֶם בְּכֶם מִכָּל הָעַמִּים"). יצירת הסגולה הכמוסה מראש ובחירה מתוך כל בני נח את אותה אישיות שבה סגולה זו התממשה והתגלתה בפועל, אברהם.¹³

3. "בורא עולמות ומחריבן"

בגוף המאמר כתבנו "הקב"ה היה ברא את כל אותם כוכבים כדי שיצא אותו כוכב אשר סביבו אותה פלנטה שיש בה את כל הדרוש להתפתחותם של חיים ולהופעתם של האדם ושל עם ישראל".

יש להדגיש נקודה זאת מכיוון שיתכן שמתוך המספר העצום של כוכבים שיש קיימות פלנטות רבות שיש בהן את התנאים הדרושים להופעת חיים. אבל רק קיומם של התנאים לחיים אינו מספיק, וכנראה היו דרושים עוד סדרה ארוכה של צירופי מקרים כדי ליצור אדם ואולי גם את האומה הישראלית.

לדוגמה, חיים פשוטים חד-תאיים פרוקריוטים ('פרו' = קדום, לפני; 'קריון' = גרעין; פרוקריוט = 'לפני הגרעין', כלומר ללא גרעין המרכז את החומר הגנטי) התפתחו ראשונה. כדי לאפשר צורות חיים מורכבים יותר היה צורך בגרעין ובספק אנרגיה שישפכו לתא את האנרגיה הרבה הדרושה לנהל חומר גנטי מרובה. לא הייתה דרך לתאים הפרוקריוטים לעבור משוכה זו באופן עצמאי. כדי ליצור ספק כוח מפותח יותר הם היו צריכים חומר גנטי מורכב יותר, אבל לשם כך היו צריכים קודם ספק כוח מפותח יותר וחוזר חלילה. כנראה במקרה נדיר חד-פעמי,

13. ייתכן אמנם כי התיאור של "בחירת" עם ישראל מבין העמים מכוונת אלינו כדי לעורר בנו הכרת תודה. אך בתיאור על דוד אין אפשרות לומר כך מפני שהפסוק לא נאמר לדוד ולכן אינו יכול לבוא כדי לעורר בו הכרת תודה.

נוצרה סימביוזה בין תא פרוקריטי אחד בר מזל לבין פרוקריט אחר שהתחיל לתפקד רק בתור ספק כוח (הנקרא בשם "מיטוכונדריה"). ממאורע חד-פעמי זה כל החיים המורכבים על כדור הארץ התפתחו.

כפי שכתבנו לאורך כל המאמר – אין אנו מבקשים לראות במאורע חד פעמי זה התערבות אלוקית ניסית, אלא תוצר סטטיסטי של ניסיונות רבים. לשם כך היו דרושים לא רק פלנטה אחת שתתמוך בחיים אלא רבים. לכן ייתכנו עוד הרבה פלנטות שבהם מתקיימים התנאים הדרושים לחיים אבל ברובם התפתחו רק חיים פשוטים פרוקריטיים (אולי אפילו זה לא).

כמו כן, כדור הארץ שלנו עבר מספר מאורעות של הכחדה המונית (נוהגים לציין חמישה עיקריים, האחרון שבהם הייתה הכחדת הדינוזאורים לפני 66 מיליון שנה) אולי בגלל התנגשות מקרית עם אסטרואיד גדול. תוצר לוואי של אירועי ההכחדה ההמונית הינו סילוקן של אוכלוסיות רבות, לעתים דווקא השליטות, פינויין של גומחות אקולוגיות מיצורים, ופתיחתן לתחרות. כך, למשל, לפני הכחדת הדינוזאורים התקיימו אוכלוסיות מדולדלות ולא מפותחות של יונקים לצידם של זוחלי הענק. אוכלוסיות אלו התקשו להתמודד על קיומן עם הזוחלים, ונדחקו לסביבות חיים שוליות. ההכחדה פתחה בפניהן סביבות חיים עשירות, בים וביבשה, והייתה נקודת הזינוק למהלך אבולוציוני מהיר ואדיר ממדים, אשר הוביל להתפתחות עולם היונקים המגוון של היום.¹⁴

לכן, אפילו אם קיימות פלנטות רבות שיש בהן את התנאים הדרושים לחיים, ועל חלק קטן מתוכן התפתחו חיים חד-תאיים פשוטים, ועל חלק קטן מתוך אלה קרה צירוף מקרים נדיר והחיים הצליחו לפתח צורות מורכבות יותר, ועל חלק קטן מתוכן התרחשו מאורעות מקריים של הכחדה המונית, אבל רק ארבע כאלה, אזי עדיין נמצא בהם רק דינוזאורים (או משהו דומה). לכן כנראה צריך ריבוי סטטיסטי של פלנטות עם התנאים לחיים כדי שייצא אחד, עם האדם ועם ישראל.

לאחר שראינו את התפקיד החשוב שיש במאורעות הכחדה המונית ניתן כעת גם להבין את המדרש המפורסם והתמוה לכאורה שהקב"ה "בורא עולמות ומחריבן" (קהלת רבה פרשה ג, יד 1).

המהר"ל הביא את קושיית בני אדם על מדרש זה: "והמדרש הזה הוא לקצת בני אדם בתכלית הריחוק, שיהיה בורא וראה העולם שאין טוב ומחריב אותו

ויברא אחר, אף לאומן בשר ודם אין ראוי דבר כזה, כל שכן בבורא עולם אשר לא ייעף ולא ייגע ואיננו בן אדם ויתנחם איך אפשר לומר כזה. אבל בני אדם לא ירדו לפנימית המאמר הזה ולא עמדו בסודו" ומביא שם תשובה על פי דרכו.

אך מאחר שראינו את התפקיד החשוב שיש במאורעות הכחדה המונית כדי לאפשר לצורות חיים אחרות להתפתח נוכל להבין זאת כחלק מסדר הבריאה המובילה להתפתחות האדם.

4. האם אנו לבד?

ראינו בהערה הקודמת טיפה מצירופי המקרים שהיו דרושים כדי שיתפתחו חיים מפותחים כאן על כדור הארץ. אם אנו לא רוצים להסביר זאת בצורה ניסית על-טבעית אזי עלינו להסיק מכך שכנראה היו הרבה ניסיונות כאלה, כלומר קיימים לא מעט פלנטות שיש בהן את התנאים הדרושים לחיים, וכנראה גם כאלה שיש להם צורות חיים פשוטים יותר שלא התפתחו לכדי יצור חברתי חושב.

ניתן לשאול כעת האם קיימות עוד ציוויליזציות ביקום? בינתיים אין לנו מידע על כך אבל בהקשר זה אולי מעניין לציין שמדברי הגמ' בברכות ("כולן לא בראתי אלא בשבילך") עולה כי הקב"ה ברא כ-10¹⁹ כוכבים בשביל שתצא ציון. על פי היחס הזה ובהינתן שיש כ-10²² כוכבים ביקום הנראה, האם זה אומר שיש עוד כ-1000 ציוויליזציות ביקום?

בוודאי שלכנסת ישראל חשיבות רבה בעיני ה', והדבר מתבטא בנבואה ובהשגחה לאורך ההיסטוריה, אבל אם נניח כי איננו הציוויליזציה היחידה ביקום זה אינו סותר את יסודות האמונה¹⁵ ואפילו לא את חשיבותו של עם ישראל בעיני ה', כפי שמשתקף בדברי ה' לכנסת ישראל בגמ' בברכות.

15. כך על פי הרמב"ם (מ"נ ח"ג, יג, יד), וחזר על הדברים הרב קוק זצ"ל (מאמרי הראיה עמ' 110):

בדבר תכלית הבריאה, שהרמב"ם כתב שאין לצייר שהכל הוא רק בשביל האדם אלא שיש מגמה עליונה של ההויה כולה הידועה רק ליוצרה, הרי אנחנו צריכים להחזיק טובה לרבינו על אשר גילה את דעתו, שהיות כל ההויה כולה בכללותה רק לצורך האדם אין זה יסוד התורה עומדת עליו. כי הלא כל הכופרים שנתרבו בעולם, ביחוד מאז שנתרחבו הגבולים הקוסמיים על פי שיטתו של קופרניקוס והבאים אחריו, לא יסדו את כפירתם כי אם נגד זה היסוד, שחשבו שכל עיקר האמונה מושרש הוא רק על היות האדם מרכז היש כולו. ובעת שהציור היה שהארץ עומדת באמצע והגלגלים סובבים עליה, היה ציור זה נח להתקבל, אבל עכשיו שהציור נתרחב עד כדי התפסה שכל הכדור הארצי כולו לא נחשב כ"א כמו גרגיר קטן בתהום אין סופי, באו מזה לכפירה מוחלטת. ועל כן צריכים אנו להתפאר בהשקפתו של רבינו שהציל את מעמד האמונה בכללותו במה שהורה שגם אם נאמר שהתכלית של כל ההויה הוא כולל יותר ממין האדם, בכל זאת יש מקום לתורה ואמונה.

14. י. ע. מ. הרסגור, "גליאלו", [Online]. Available: <http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=12592>.

נספח - "תִּלְהָ אָרֶץ עַל בְּלִימָה" הכיוון העדין ביקום

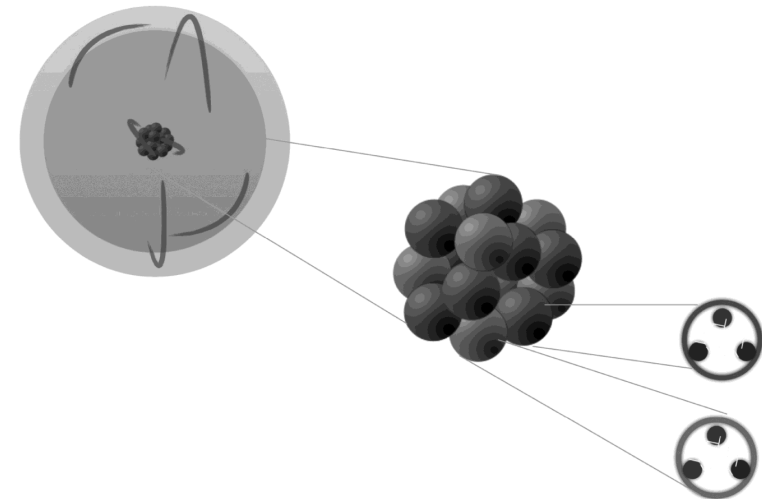
בנספח זה נביא מספר דוגמאות לתנאים הדרושים כדי לאפשר חיים ביקום, בכך הקורא יכול לראות כמה ייחודיים הם החיים וכמה קיומנו אינו מובן מאלין.

יהיו כאן שני סוגים של דוגמאות לתנאים הדרושים לחיים: כאלה הנצרכים לחיים כפי שאנו מכירים אותם וכאלה הנצרכים לחיים בכלל, בכל צורה שהיא. נתחיל מן הדוגמאות מן הסוג השני הכלליות יותר. לצורך כך נקדים בסקירה כללית של מבנה האטום ומרכיביו.

אטומים וגרעיני אטומים

אנטומיה של האטום

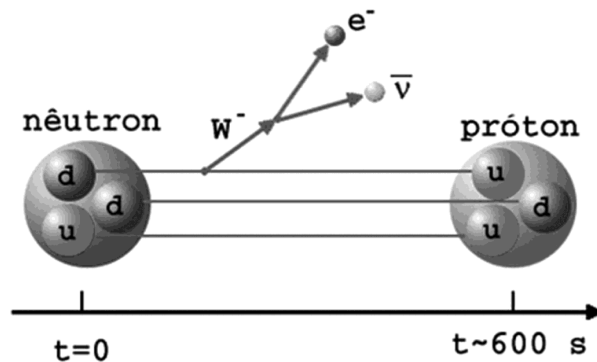
כל החומר הנראה ביקום מורכב מאטומים. לאטומים גרעין, המורכב מפרוטונים בעלי מטען חיובי וניטרונים חסרי מטען ("ניטרליים"), וסביבו מצויים אלקטרונים שליליים (ראו איור). הפרוטונים והניטרונים של הגרעין מורכבים גם הם כל אחד מ-3 קוורקים. לפרוטון 2 קוורקים מסוג up ואחד מסוג down ולניטרון 2 מסוג down ואחד מסוג up. לקוורק up מטען של $+2/3$ ולקוורק down מטען של $-1/3$, וכך יוצא שלפרוטון סך של מטען $+1$ ($2/3+2/3-1/3=1$) ולניטרון יוצא סך של מטען 0 ($2/3-1/3-1/3=0$).



איור 2. לאטום גרעין חיובי ואלקטרונים שליליים. גרעין האטום מורכב מפרוטונים וניטרונים. הפרוטונים והניטרונים מורכבים משלושה קוורקים כל אחד.

מסתם של הקוורקים

חשיבותו של הכיוון העדין מתגלה בנוגע למסתם של החלקיקים. בעולמם של חלקיקי היסוד קיימת תופעה של דעיכה ומעבר מסוג אחד של חלקיק לסוג אחר.¹⁶ חלקיק מסיבי העומד בפני עצמו ידעך באופן ספונטני – כלומר ישחרר אנרגיה ויהפוך לחלקיק קל יותר. וזאת תחת המגבלה של חוק שימור המטען – סך המטען בהתחלה יהיה שווה לסך המטען בסוף. דוגמה לדעיכה כזאת הינה זו של הניטרון החופשי (היותו של הניטרון במצב קשור בתוך גרעין האטום מייצבת אותו והוא אינו דועך). ניטרון חופשי ידעך תוך 15 דקות (בממוצע) לאלקטרון+פרוטון (קוורק down הופך לקוורק up+אלקטרון. ניתן לראות כי סך המטען נשמר: $-1/3=2/3-1$)



איור 3. ניטרון עצמאי ידעך לפרוטון תוך מספר דקות. מקור: scienceblogs.com

הניטרון דועך לפרוטון ולא ההפך הינה מכיוון שהניטרון קצת יותר כבד מהפרוטון. זאת אודות לקוורק down שהינו קצת יותר כבד מהקוורק up. אבל אם קוורק down היה עוד קצת יותר כבד מהקוורק up אזי הניטרון היה דועך לפרוטון גם בהיותו בתוך גרעין האטום. במצב כזה שום אטום חוץ ממימן (אטום המימן הינו פרוטון בודד שמסביבו אלקטרון) לא היה יציב. היקום היה מלא במימן אך ללא שום אפשרות של יצירת מולקולות או הכימיה הפשוטה ביותר.

16. להסבר מפורט של מה שעומד מאחורי תופעה זו ראו מאמרי "לה' הארץ ומלוואה" – משמעות גילוי בזון היגס לאדם המאמין (מעשה חושב, כרך א, חורף תשע"ו).

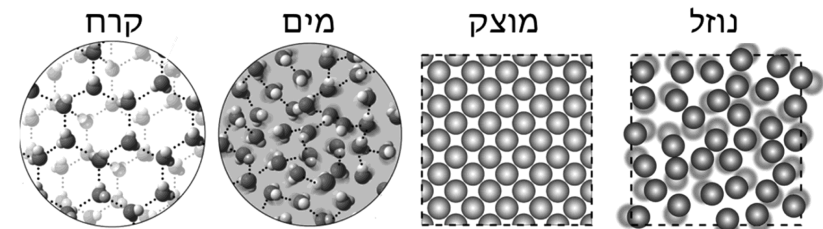
מדיוק זה פירושה שהאנרגיה האפלה ביקום הייתה חיובית מדי או שלילית מדי, ולא היה כלום.

קעת נעבור לדוגמאות הקשורות לחיים כפי שאנו מכירים אותם.

קרח

כידוע מים הינם הכרחיים לחיים כפי שאנו מכירים אותם, אבל לולי העובדה הלכאורה טריוויאלית שקוביות קרח צפות כנראה שהחיים לא היו יכולים להתפתח על כדור הארץ (ואולי לא באף מקום אחר). זאת מכיוון שאם קרח לא היה צף כדור הארץ היה קופא – הקטבים היו מתרחבים ומתפשטים מכיוון שהקרח בים היה שוקע ושכבות הקרח היו נערמות עד לקיפאון עמוק של כל האוקיאנוסים. הקרח הלבן גם מחזיר את אור השמש מבלי שזו תחמם את הארץ וכך מתפתח מעגל חיזוק: יותר קרח על פני כדור הארץ – פחות אור הופך לחום – יותר קרח, וחוזר חלילה.

תופעה זו שחומר מסוים במצבו המוצק צף ולא שוקע בנוזל שלו הינה נדירה ואינה מובנת מאליה – בדרך כלל חומר במצבו המוצק יותר צפוף ולכן יותר כבד מאשר כשהוא במצבו הנוזלי, אך לא כך הדבר במים. ראו איור:



בד"כ חומר במצב מוצק צפוף יותר מאשר כשהוא במצב נוזלי
המבנה הגבישי של הקרח גורם למרווחים יותר גדולים בין המולקולות בהשוואה למים

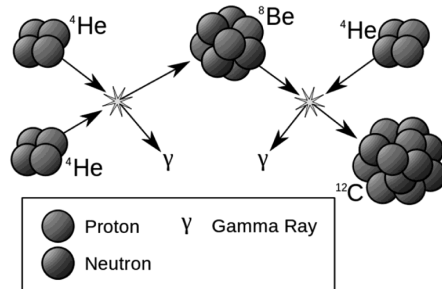
איור 5. מבנה גבישי של מים ומוצק גרי

פחמן

הפחמן מהווה את היסוד החשוב ביותר ליצירת החיים כפי שאנו מכירים אותם. זאת מכיוון שהפחמן הוא היסוד היחיד שהוא גם קל וגם יכול להתחבר לעוד ארבעה אטומים אחרים. תכונות המאפשרות לו להיות שלד יעיל ליצירת מולקולות מורכבות חזקות ודינמיות אשר נצרכות ליצירת חיים. למשל, הסיליקון הוא היסוד הבא אשר יכול להתחבר לעוד ארבעה אטומים

אך הוא כבד מדי בכדי ליצור מולקולות מורכבות חזקות ודינמיות.²⁰

משכך הם פני הדברים מעניין לגלות כי עצם היווצרותו של הפחמן ביקום הינו צירוף מקרים יוצא דופן. פחמן נוצר על ידי היתוך גרעיני בתוך כוכבים בתהליך חיבור של שלושה גרעיני הליום (הנקראים גם "חלקיקי אלפא", ולכן התהליך נקרא "תהליך אלפא משולש"²¹). בשלב ראשון שני גרעיני הליום ניתכים ליצור ברליום, ומיד צריך גרעין ההליום השלישי להינתך ויחד הם מייצרים את הפחמן המיוחל (ראו איור). אלא שבשנות החמישים האסטרופיזיקאי הבריטי פרד הויל הבין שיש משהו לא הגיוני בתהליך. על פי החישובים, ההתכה השנייה לא אמורה לקרות אלא אם כן יש לפחמן מצב מעורר מיוחד שמתאים בדיוק לאנרגיות של גרעיני גרעיני ההליום+ברליום. בדקו ומצאו שמצב כזה, בדיוק באנרגיה המתאימה, אכן קיים. אילולי היה לפחמן מצב מעורר מיוחד זה בדיוק באנרגיה המתאימה, היקום היה מקום ללא פחמן וכנראה ללא ביולוגיה.



איור 6. היתוך בתהליך "אלפא משולש". מקור: Borb on Wikipedia Commons

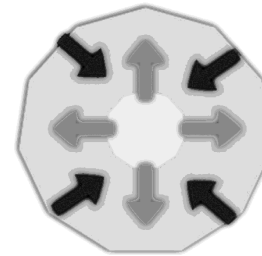
חולשתו של כוח הכבידה ביחס לכוח האלקטרומגנטי

את כוח הכבידה אנו חווים בצורה הכי בולטת במשך היום יום, אך האמת היא שהוא הכי חלש מבין הכוחות. כוח אלקטרוסטטי בין שני חלקיקים טעונים הוא חזק פי 10^{37} (כלומר פי 10,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000) מאשר כוח הכבידה ביניהם. הוכחה פשוטה: הכוח המגנטי של מגנט קטן

²⁰. ראו:

<https://www.khanacademy.org/science/biology/properties-of-carbon/carbon/v/carbon-as-a-building-block-of-life>
<https://www.khanacademy.org/science/biology/properties-of-carbon/carbon/v/silicon-based-life>
<https://blogs.scientificamerican.com/lab-rat/shine-on-you-crazy-diamond-why-humans-are-carbon-based-lifeforms/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha_process

שעל המקרר יותר חזק מכל כוח המשיכה של כל כדור הארץ. הסיבה שאנו חווים כל כך את כוח הכבידה היא מפני שהמטענים של הכוח האלקטרוסטטי יכולים לבטל אחד את השני (ישנם מטענים חיוביים וישנים מטענים שליליים), וכך סך המטען הינו אפס, אבל בכוח הכבידה אין דבר כזה וכל מסה מסתכמת.



איור 7. שיווי משקל בין כוחות הכבידה פנימה ולחץ מהאנרגיה הגרעינית כלפי חוץ מייצבים את הכוכב

לעוצמתו של כוח הכבידה תפקיד חשוב בהיווצרותם של כוכבים. כוכב נהיה יציב כאשר כוחות הכבידה המושכים את מסת הכוכב פנימה (חצים הכהים באיור) מתאזנים על ידי כוחות אחרים הלוחצים החוצה (חצים בהירים). אם כוח הכבידה היה חזק יותר אזי כוכבים היו נוצרים ממסה קטנה יותר. לכוכבים כאלה לא היה אורך החיים של מיליארדי השנים הנדרשים לתהליכים אבולוציוניים להתפתח.

והרשימה עוד ארוכה...

לקריאה נוספת של ספרים פופולריים בתחום:

Just Six Numbers, Martin Rees

The Goldilocks Enigma, Paul Davies