

# עיון אמוני-מדעי במהות החומר

”והלימוד הזה הולך הוא ומתבסס על פי המדע ההולך ומתחדש, המתקרב בשבילי החול אל מרכז הקודש” (אורות הקודש ב', תיב).

עם ראשית הופעתו של עם ה' התגלה כי המציאות החומרית אינה קבועה וכובלת כפי שהיא נראית. "ויבקעו המים" – כל מימות שבעולם נבקעו יסוד החומר בעולם, מסביר המהר"ל, נבקע ומעתה כבר לא יחסום כל כך בעד האור האלוקי להופיע במציאות. בני בניהם של אותם גאולים המשיכו במפעל עולמי זה ועל ידי המדע הם קעקעו את תפיסת החומר מעיקרו.

בחוברת זו מציג המחבר את המהפכות המדעיות בהבנת מהותו של החומר, ואת משמעותן כחלק מתפיסה אמונית-מדעית שלמה.

**דניאל תורג'מן**, דוקטורנט מהמחלקה לפיסיקה של החלקיקים ואסטרופיזיקה, מכון ויצמן; חוקר במאיץ החלקיקים הגדול ב-CERN, ומרצה בתחום 'תורה ומדע' במסגרות שונות.

דניאל תורג'מן

## תוכן עניינים

1.....	חי העולמים
4.....	נגד קיום עצמאי של החומר
8.....	גסות החומר
11.....	מדוע איננו יכולים לעבור דרך קירות? .....
13.....	$m=E/c^2$
17.....	תורת השדות הקוונטיים
19.....	יהי מסה
23.....	אין חומר בעולם כלל
28.....	יסולם מוצב ארצה וראשו מגיע השמימה
30.....	השתלשלות העולמות
31.....	לחיות במרחב האלוקי
33.....	נהיגה או נהיגה?
35.....	הסתכלות אידיאית אחדותית
37.....	חתימה
39.....	נספחים
39.....	מכניקת הקוונטים
41.....	המודל הסטנדרטי
44.....	ההבדל בין השדות

## חי העולמים

מיוחסת לפילוסוף היווני דמוקריטוס האמרה ימצד האמת, רק אטומים והריק. דמוקריטוס היה מאבות האסכולה המטריאליסטית הסוברים כי רק החומר קיים. אין רוח, אין אלוקים, אין ייעוד ואין מטרה, רק חומר.<sup>1</sup>

דתות ופילוסופים רבים חולקים על תפיסה זו וסוברים שיש משהו מעבר לחומר. אך ביהדות לא הסתפקו בדחיית המטריאליזם בלבד. אין די באמירה כי בנוסף לחומר יש גם עולם של רוח, זאת אפילו אם החומר נברא בעבר ומונהג בהווה על ידי הבורא. אלא עיקרון חוזר ונשנה בדברי רבותינו הוא האמונה כי הקביה מחייה ומהווה (מביא לידי הווייה וקיום) את העולם החומרי באופן תמידי. כך כותב השליה:<sup>2</sup>

**הנה סברת העולם היא כך: הבורא ברוך הוא חידש הכל יש מאין המוחלט וכביכול זוה יזו מהם, רק אם לעת מהעתים רוצה לשדד אותם, וכל זמן שאינו משדד, או מנהיגם בכח שהושג להם בעת הבריאה.**

**אמנם אמיתת האמונה הנראה בעיני, הוא: השם יתברך מחדש בטובו בכל יום תמיד מעשה בראשית, ככוונה מכוונת, שופע שפעו, ואילו היה מונע רגע אחד, היה הכל כלא היה, בטל המציאות. והוא פירוש הפסוק (דברים ז, ט) וידעת היום והשבת אל לבבך כי ה הוא האלקים בשמים ממעל**

---

<sup>1</sup> לתפיסת מציאות בדיכ יש נגזרות מעשיות, ובהינתן תפיסה של המציאות כמו זו של דמוקריטוס, אין פלא שתלמידו היה אפיקורס. אפיקורס היה הראשון שהעמיד את תכלית המוסר על יסוד השגת האושר האישי. אכן, כאשר ניטלת מן המציאות כל ערך עליון לא נותר כיעד אלא ההנאה. אפיקורס עצמו התרחק מהנהנתנות ושם דגש על עינוגים אינטלקטואלים ונפשיים, אבל ההמונים כבר לא נכנסים לרזולוציות אלו, כאשר מעמידים את האושר האישי במרכז המוסר כל אחד כבר יגדיר לעצמו מה מביא לו יותר אושר. ובהעדר ערך עליון כבר אין לעם הארץ סיבה פנימית לא להיגרר אחר התאוות.

<sup>2</sup> עשרה מאמרות, מאמר ראשון.

## ועל הארץ מתחת אין עוד. אין הפירוש כי אין אלוה זולתו אלא רצה לומר, שאין עוד מציאות בעולם זולת מציאותו יתברך.

השל"ה מתאר שכל קיומו והווייתו של העולם תלויים באופן תמידי  
בבורא, ולמעשה כלולים בתוכו. ברמב"ם עיקרון זה מנוסח על דרך  
השלילה<sup>3</sup>, ור"ח חיים מוולוז'ין ובעל התניא חוזרים על אותו העיקרון פעמים  
רבות ומבססים אותו על מקורות נוספים מחז"ל ומהקבלה<sup>4</sup>. יש להדגיש,

---

<sup>3</sup> יסוד היסודות ועמוד החכמות לידע שיש שם מצוי ראשון. והוא מציא  
כל נמצא, וכל הנמצאים משמים וארץ ומה שביניהם לא נמצאו אלא  
מאמתת המצאו. ואם יעלה על הדעת שהוא אינו מצוי אין דבר אחר  
יכול להמצאות: (הלכות יסודי התורה א א)

רואים שלעולם החומרי אין קיום מצד עצמו וקיומו התמידי תלוי בא-ל.

כן גם הבין הרב זצ"ל את דברי הרמב"ם:

"הוא שהנביא אומר "וה' אלוהים אמת" (ירמיהו י, י) -- הוא לבדו האמת,  
ואין לאחר אמת כאמיתו. והוא שהתורה אומרת "אין עוד, מלבדו"  
(דברים ד, דלה), כלומר אין שם מצוי אמת מלבדו כמותו: (שם, שם, ד')

ישאין מצוי אמת זולתו, והוא הכלי (עין אי"ה ברכות א קלב)

<sup>4</sup>

אבל הוא ית"ש כמו בעת בריאת העולמות כולם בראם והמציאים הוא יתברך יש מאין  
בכחו הבלתי תכלית, כן מאז כל יום וכל רגע ממש כל כח מציאותם וסדרם וקיומם,  
תלוי רק במה שהוא ית"ש משפיע בהם ברצונו יתברך, כל רגע כח ושפעת אור חדש.  
ואלו היה הוא ית' מסלק מהם כח השפעתו אף רגע אחת כרגע היו כולם לאפס ותהו  
וכמו שיסדו אנשי כנסת הגדולה "המחדש בטובו בכל יום תמיד מעשה בראשית"  
היינו תמיד ממש כל עת ורגע, וראייתם מפורשת כאמור "לעושה אורים גדולים" שלא  
אמר עשה אלא עושה. (נפש החיים שער א פרק ב)

מה שכנוהו ית"ש "מקומו של עולם" אין ערך כלל לענין מקום  
הנושא כל חפץ העומד עליו שעצמות התהוות וקיום הכלי יש לה  
מציאות בפני עצמה. והמקום רק מצלת אותה שלא תפול ותשבר.  
וכן ענין חיות וקיום הגוף ע"י הנשמה. הגוף יש לו מציאות בפני עצמו.  
ואינו מתבטל ממציאותו גם בצאת הנשמה ממנו. אבל העולמות  
כולם כל עיקר התהוות מציאותם כל רגע הוא רק מאתו ית"ש. ואלו  
היה מסלק רצונו ית' מלהוות אותם כל רגע היו לאין ואפס ממש.  
(שם שער ג פרק ב)

אין המדובר שהעולם החומרי אינו קיים ואינו אלא פרי התודעה האנושית בלבד, כפי שמציירים זרמים פילוסופיים שונים. אלא העולם החומרי הפיזיקאלי אכן קיים מחוץ לאדם, אך כאמור, עולם זה מתהווה באופן תמידי מאת הבורא.

## נגד קיום עצמאי של החומר

למה חכמים ראו נושא זה ככל כך עקרוני, וכי מה חסר בתפיסה דואליסטית שבה רבשיע שולט ומנהיג את העולם החומרי אך אינו מקור התהוותו באופן תמידי?

כי בתפיסה כזאת, על אף שאלוקים ברא את החומר בעבר ומנהיגו בהווה, סוף סוף עצם קיומו של החומר הוא קיום עצמאי משלו. ונראה שיש לכך חסרון במספר מישורים - הראשון במישור התיאולוגי, ואחריו (אשר נגזרים מן הראשון) במישורים הקיומי והמוסרי. במישור התיאולוגי תפיסה שבה לחומר יש קיום עצמאי פוגמת במושג אחדות ה' במובנו הרחב:

ה' אלקינו ה' אחד. רוצה לומר כיוון שהוא יתבי' הוא אלקינו בעל הכוחות ומקור שורש נשמתנו וחיותנו ושל כל הברואים והעולמות. ואף שברא והמציא מציאות כחות ועולמות ובריות עם כל זאת הוא בכחינת הוי"ה ואחד מצדו יתבי' שאין הברואים כולם חוצצים ח"ו כלל נגד אחדותו הפשוט יתברך הממלא כל ונקרא גם עתה הויה ואחד<sup>5</sup>:

---

ואפילו ארץ הלזו הגשמית ובחי' דומם שבה חיותו וקיומן הוא דבר ה' מי' מאמרות המלוכש בהן ומקיימן להיות דומם ויש מאין ולא יחזרו לאין ואפס ממש כשהיו וז"ש האריז"ל שגם בדומם כאבנים ועפר ומים יש בהם בחי' נפש וחיות... (תניא אגרת הקודש פרק כה)

<sup>5</sup> נפש החיים שער ג פרק יא

מפסקה זו אנו למדים כי אין להבין את המושג *אחדות ה'* במובנו המצומצם – אלוקים אחד בשמיים ולא שניים. אלא, כאחדות היממלא כלי ושאין דבר שאינו כלול באחדות זו. ומשזו היא ההבנה, אזי אם לחומר היה קיום עצמאי מבלעדי ה' משמעות הדבר הייתה חסרון באחדות ה' הכוללת כל. את הקושי שלכאורה הברואים הינם מחוץ לאלוקות, מיישב נפש החיים על ידי החלוקה: מצדו ומצדינו. מצדינו יש בריות וכוחות הפרודים מהאלוקות, אך מצדו יתברך אין בריאה החוצצת נגד אחדותו הפשוט. עיקרון זה חוזר מספר פעמים לאורך הספר. כיצד ייתכנו שתי הבחינות גם יחד? אולי המשך מאמר זה יפתח פתח להבנה.

להיבט התיאולוגי שהבאנו לעיל השלכות במישור הקיומי של האדם. שהרי הכרת יחס פנימי בין האדם לאלוקיו מביאה להרמוניה בין האדם לאלוקיו, ובלעדי זה האלוקים יצטייר כגורם חיצוני וזר. "ההוראה האמתית הצריכה ביותר להרים קרן ביראת האלהים ואהבתו ונועמו, הוא הַרְאוֹת הַיִחַשׁ הַפְּנִימִי שִׁישׁ בֵּין הַשֵּׁם ית' לִיצוּרֵי<sup>6</sup>. הרב זצ"ל מדגיש שכדי להביא את האדם ליראת ה' שיש בה אהבה ונועם, על האדם לדעת שמקור פנימיותו מאת ה'. אך לפי הדעה הכוזבת שיש לחומר קיום עצמאי:

**לא הי' אפשר להיות גם בנבראים יחש פנימי אל כוראם ית', שהרי היסוד החומרי, לפי זה הטעות, הוא נמצא זולתו [זולת הכורא], והוא [החומר] יסוד הקיום הפנימי של הנבראים. נמצא שהטועה בדעה זו הנפסדת זומה כמי שאין לו אלה, כי לא יוכל לזומם נפשו להכיר את קונו מאמתת מציאותה וקיומה הפנימי.<sup>7</sup>**

---

<sup>6</sup> עין אי"ה, ברכות א, קלב.

<sup>7</sup> שם. במהלך הפסקה הרב מדבר על הדעה הכוזבת של קדמות החומר (התפיסה האפלטונית שאלוקים לא ברא את החומר, אלא עיצב ויצר ממנו את העולם). בהמשך הרב משווה בין דעה זו

סוף סוף האדם מורכב גם מגוף חומרי, והגוף החומרי הינו מרכיב מאוד משמעותי בחייו של האדם. ומכיוון שכך אזי, לפי ההשקפה שלחומר קיום עצמאי מבלעדי ה; יוצא שישוד קיומו של חלק מאוד מהותי בחיי האדם עומד בנפרד ובמנותק מהאלוקות. במצב זה דעת האלוקים של האדם נפגמת והוא אינו יכול להכיר את קונו מפנימיותו. האדם מזהה את האלוקים כגורם מחוצה לו, עומד מעליו וכופה.

במקום אחר הרב כותב שתפיסת החומר כמשהו בעל קיום עצמאי חוסמת את אור ה' מלהופיע בתוך העולם ובאדם:

**ומנתקת אותו [את האדם] בעומק חייו כחשאי משלהבת החיים של הדבקות הרעננה של מקור החיים, מקור הרחמים, מקור החסד, וגודל העונה.<sup>8</sup>**

על כן החשיבות הרבה והמשמעות הקיומית של האמונה כי הקביה מהווה ומחייה את העולם בכל עת. כי אפילו אם הקביה ברא את העולם בעבר אבל כעת החומר מנותק ועומד בפני עצמו, אזי נמצא כי עכשיו בפועל קיימים 2 רשויות – האלוקית והחומרית. ומה לעשות, והאדם והעולם מורכבים מחומר. ובתפיסה דואליסטית כזאת האדם היה יכול לשבח יברכי נפשי את ה' אבל בשום אופן לא יוכל קרבי את שם קדשו.

במישור המוסרי יש לסוגיה זו אותם ההשלכות הנובעות מסוגיית בריאת העולם. שהרי לא לחינם בריאת העולם פותחת את התורה כולה ומהווה

---

לבין הדעה שיש לחומר קיום עצמאי משלו בהווה, שהרי הצד שהשווה שבהם שבשניהם מדובר על חומר שקיומו עצמאי ונפרד מהאלוקות.

<sup>8</sup> קובץ 1 קפח. וראו הערה קודמת.

אחד מעיקרי האמונה, אלא מפני שיש לה משמעות עמוקה ומקיפה כל:  
יש בעל הבית לבירה. לידיעה זו יש השלכות מוסריות<sup>9</sup>:

**החידוש המוחלט, בלא קדימת חומר ושום ישות כל דהי, הרי  
הוא מבסס את המחשבה האידיאלית, שאין מצוי אמת כי  
אם הטוב הגמור.**

מכיוון שיש לעולם "בעל הבית" שברא את כולו מאפס מוחלט, ומכיוון  
שבעל בית זה הוא הטוב והצדק והחסד הגמור, אדי חייב להיות שבאמת  
בסופו של דבר אין שום מציאות מלבד הטוב. ידיעה זו נוסכת אמונה  
בעולם וביטחון בתיקונו השלם<sup>10</sup>:

**כי מאחר שאין שום מציאות, לא כללית ולא פרטית, נמצאת  
כי אם, מידי ד', יוצר ובורא כל, והוא ב"ה הוא מקור הצדק  
והמוסר, אייכ אין שום מציאות בעולם, שהצדק והמוסר לא  
יתגשמו בעולם בחיים ובמציאות.**

עוד כותב הרב<sup>11</sup>:

**היסוד הישראלי, מחידוש העולם מיסודו ושרשו, מאפס  
המוחלט, השוללת כל חומר וכל כח, רק הכל מעשה אלהים  
המה. וכיון שהכל בא מסוד הידיעה האלהית מדבר ד', הכל  
מוכיל אליו.**

---

<sup>9</sup> קובץ ב, קלב.

<sup>10</sup> עולת ראיה, ח"א, עמ' ק"ד.

<sup>11</sup> קובץ ה, קמג.



אם הכל הוא מעשה אלוקים, אז בסופו של דבר הכל מוביל לייעוד האלוקי. זוהי המשמעות העמוקה של יסוד חידוש העולם בכתבי הרב. עד כדי כך שהנצרות, אפי' שמצהירה על אמונתה בכתוב בִּיבִּיבֵל, עדיין יזונה אחרי קדמות החומר (שם). זאת מכיוון שהנצרות מדברת על גאולה/מ העולם והתייאה מתיקונו. אין די בהצהרה דוגמטית שאלוקים ברא את העולם בעבר, שהרי אם מתייאים מן העולם בהווה אזי העיקר חסר מן הספר. נמצאנו למדים כי התוצאה המבוקשת מאמונת בריאת העולם היא זהה לתוצאה המתקבלת מהאמונה שה מקיים את העולם באופן תמידי בהווה – הכל הוא מעשה אלוקים ולכן הכל מוביל אליו.<sup>12</sup>

## גסות החומר

לאור כל האמור עולה קושי מעשי: קשה לראות כיצד ומאיפה החומר הדומם "מתחיה". את הנשמה והרוח קל לנו לתאר בעיני רוחנו כהשתלשלויות המקבלות חיים וקיום תמידי ממקור החיים, אך לא כך הדבר בנוגע לחומר.

בדור האחרון היו שניסו לראות את הכוחות האלקטרוסטטים הנותנים לחומר את מבנהו עדות על החיות המחיה את כל החומר בכל רגע. אמנם באמת אין זה פותר דבר - שהרי החלקיקים היסודיים עצמם אינם אלא

---

<sup>12</sup> סוגיה זו של היחס לעולם החומר וההבדלים בה בין היהדות לנצרות מקבילה לסוגיית הרע וההבדלים בה בין היהדות לנצרות. ביהדות אנו מברכים על הרעה יִבְרוּךְ דִּיין האמתי ומאמינים (על אף שאיננו תמיד מבינים) במקורו האלוקי והטוב של הרע. בנצרות הרע מקורו מהשטן, אשר על אף היותו מלאך שנברא על ידי האל בעבר, המלאך מרד וכעת מיוחסים לו כוחות ורצונות עצמאיים. גם מכאן אנו רואים, שרק באמירה שמשהו נברא בעבר על ידי הבורא אין בהכרח כדי למנוע את ההבנה מוטעית שכעת בריאה זו מהווה יישות עצמאית.

דומם והקושיה חוזרת למקומה. כיצד ולמה עלינו לחשוב שחלקיקי היסוד, מעין כדורי ביליארד קטנים, ימתהווים ממשוה אחר? על פניו נראה כי דינה של אמונה זו להישאר בגדר אמונה עיוורת ותו לא.

הבה ננסה לאפיין מה בדיוק יש בו בחומר שמביא אותנו לקושי דלעיל. מהם התכונות של החומר שהופכים אותו ל"חומר"? החומר תואר על ידי ניוטון כמורכב מ"חלקיקים מוצקים, מסיביים, קשיחים ובלתי חדירים"<sup>13</sup>. אכן המסה של החומר נותנת לו את תכונת "הכבדות" האופיינית והיותו יקשיח ובלתי חדיר נותנת לו את התכונה של ינוכחות" המצרה ודוחקת חומר אחר והיותו יתופס מקום. בגלל תכונות אלה החומר מתואר בכל מקום כ"גס", "כבד", "עבה", "גשמי" וכן הלאה<sup>14</sup> זאת בדיכ כדי לציין את ריחוקו מהמציאות הרוחנית.

אחרי ניוטון בא אנטואן לבואז'יה, אבי הכימיה המודרנית, והוכיח כי כמות החומר תמיד נשמרת. בכל ריאקציה כימית, הראה לבואז'יה, סך המסה של התוצרים היוצאים תמיד תהיה שווה לסך המסה של המגיבים הנכנסים. ואם בריאקציה מסוימת תימדד הפרש, אזי יש לחפש מסה זו בתוצרים נוספים חמקמים שלא זוהו מתחילה. ואכן, כך גילה לבואז'יה את קיומו של החמצן. לפי זה לא ניתן ליצור או להעלים חומר, אלא רק לפרק אותו לרכיביו היסודיים ולהרכיבו מחדש. יוצא כי חלקיקי היסוד של החומר הינם קבועים וקיימים, אולי אפילו נצחיים. הם פשוט "שם",

---

<sup>13</sup> אופטיקה עמ' 400. ניוטון היה מאמין הדוק מאוד, והוא האמין בבורא העולם ובשליטתו המוחלטת על עולם החומר, אבל כאמור לעיל, עניינו של מאמר זה להתמודד גם עם תפיסה דואליסטית שבה לחומר יש קיום עצמי.

<sup>14</sup> לדוגמה דעת תבונות סימן קכו.

עומדים בפני עצמם וללא צורך בגורם כלשהו שיקיים אותם. מאפיין זה עומד כחוצץ ליכולת שלנו לראות את החומר כדבר שימתהווה.

המאפיינים שנמנו לעיל הינם בניגוד גמור לאור. לאור, כמובן, אין מסה. כמו כן, נוכחותו אינה תופסת מקום הדוחקת דבר אחר (האור מפנס אחד לא יחסום את האור מפנס שני). וכן ניתן לייצר ולהעלים אור. כאשר מדליקים נורה מייצרים אור חדש שלא היה שם מתחילה, וכשהאור הזה פוגש משטח שחור הוא נבלע ונעלם. נכון, עדיין יש את חוק שימור האנרגיה. אי אפשר לייצר אור מבלי לשלם אנרגיה (בד"כ מחשמל) וכן כאשר האור נבלע במשטח שחור האנרגיה שלו לא נעלמת אלא הופכת לחום. אבל סוף סוף האור שייצרנו לא היה קיים לפני שנדלקה הנורה ולאחר שהדלקנו את הנורה האור התחדש ובא לידי קיום. זאת בניגוד, כמובן לחומר.

בימינו, יש מדפסות תלת-מימד אבל אי אפשר פשוט לחבר מדפסת כזאת לשקע חשמלי ולצפות שהיא תתחיל להדפיס חומר מהאנרגיה של החשמל. חייבים לספק למדפסת חומר גלם והמדפסת רק מעצבת את החומר מחדש. קיומו בר החלוף של האור מעוררת בנו שאלות. מה עומד בבסיס קיומו באותה שבריר שניה? איך הוא קיים כאשר הוא קיים? שאלות אלו לא כל כך עולות לנו כאשר אנו חושבים על חומר קבוע ודומם. קיומו בהווה (לאחר שכבר נברא בעבר הרחוק בבריאת העולם) נראה לנו מובן מאליו.

נסכם הבדלים אלה בין חומר ואור בטבלה דלהלן:

חומר	אור
יש מסה	אין מסה
תופס מקום במרחב	אינו תופס מקום במרחב
יציב וקיים - יחוק שימור החומר	ניתן ליצירה ובליעה

בהמשך המאמר נראה כי חומה בצורה זו המבדילה בין חומר לאור החלה להיסדק על ידי משוואתו המפורסמת של אינשטיין  $E=mc^2$  והתמוטטה כליל עת התגלה חלקיק ההיגס במאיץ החלקיקים הגדול ב-2012. מתברר שכמו לאור, גם לחומר במהותו אין מסה, הוא אינו תופס מקום במרחב, וחלקיקים הינם ברי חלוף וקיומם בהווה הוא נגזרת ממשוה עמוק יותר.

### מדוע איננו יכולים לעבור דרך קירות?

נתחיל דווקא מן ההבדל השני שציינו: היותו של החומר תופס מקום ומשהו שניתן למישוש. אמרנו שאור אינו דוחק אור אחר לעומת חומר שכן דוחק חומר אחר. אך הסיבה שאנו לא יכולים לדחוף את היד דרך הקיר, למשל, אינה בגלל שחלקיקים דחוסים ממלאים את כל נפחו של ידינו ואת נפחו של הקיר ולכן אין מקום לשניהם באותו נפח. זה אינו, שהרי רוב הנפח הוא למעשה חלל ריק. אלא הסיבה שלא ניתן להכניס את שניהם לאותו נפח הוא בגלל הדחיה בין האלקטרונים באטומים שלנו לבין האלקטרונים באטומים של הקיר. כוח הדחיה האלקטרומגנטי

ההדדי הוא מה שלא נותן לשני חומרים להימצא באותו חלל. לאור אין מטען משל עצמו, וזאת הסיבה שאנו יכולים להעביר את ידינו דרך אלומת אור.

שמה כעת תגידו שמה שמגדיר חומר הינו היותו בעל מטען היכול לדחות חומר אחר? גם זה אינו. שהרי קיימים חלקיקי חומר חסרי מטען. לדוגמה השמש פולטת כמות אדירה של חלקיקים קלילים חסרי מטען הנקראים נייטרונים (מלשון נייטרלי, חסר מטען, והסיומת 'ינו' פירושה 'קטן אחד' באיטלקית). בכל שניה עוברים דרך כל סנטימטר של גופינו כ 65 מילארד נייטרונים כאלה. זוהי כמות אדירה של חלקיקי חומר שעוברת דרך גופינו, אך מכיוון שאין להם מטען אלקטרומגנטי הם לא ימדברים עם האטומים שלנו ולכן עוברים דרכם כמו רוח רפאים. כמו כן, מדענים חושבים שאנו שוחים כל העת דרך חלקיקים של חומר אפל. גם כאן מדובר בחלקיקים של חומר ללא מטען ולכן גם הם עוברים דרכינו כמו רוח רפאים. זאת על אף שיש לחומר האפל מסה.

מצד שני האור הוא צורה של הכוח האלקטרומגנטי ולו אין מטען אבל קיימים כוחות אחרים שלהם יש מטען משל עצמם (לדוגמה, הכוח החזק. עוד על הכוח החזק בהמשך המאמר ובנספח 'המודל הסטנדרטי'). לכן אילו היינו רוצים לייצר חרב אור כמו במלחמת הכוכבים, למשל, היינו צריכים לעשות זאת באמצעות הכוחות ההם. לכוחות ההם יש מטען משל עצמם ולכן משיפיעים אחד על השני ובכך מסוגלים לתפוס מקום.

סיכומו של דבר: חומר אינו יתופס מקום. אפשר שיהיו 2 חלקיקי חומר, אפילו בעלי מסה, באותו מקום.

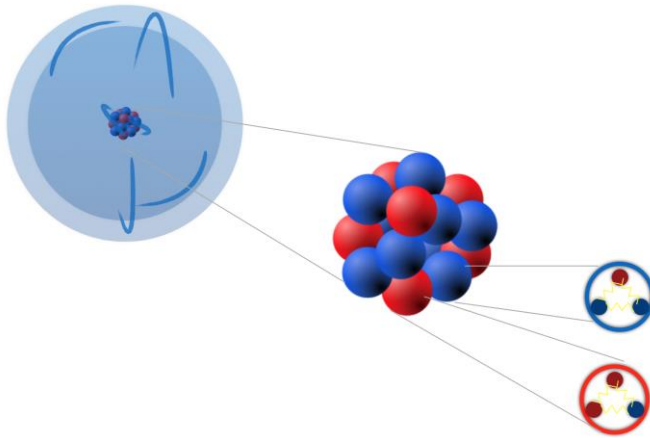
$$M=E/C^2$$

נחזור חזרה להבדל הראשון שהזכרנו על היות החומר בעל מסה. גם תפיסה זו התחילה להתערער עם פרסומו של תורת היחסות הפרטית של אינשטיין ב- 1905 וממה שעכשיו הינה המשוואה המפורסמת ביותר בפיסיקה:  $E=mc^2$ .

$E$  מייצגת את האנרגיה של גוף<sup>15</sup>,  $m$  את מסתו, ו- $c$  את מהירות האור (שהינו מספר קבוע בעל ערך גדול וערכו המדויק אינו חשוב לענייננו). כדי להסביר מה משוואה זאת אומרת, ראשית נעביר אגפים:  $m=E/c^2$ . מה שכתוב כאן זה שמסתו של גוף הינה פרופורציונלית לסך כל האנרגיה שלו. לדוגמה: לקפיץ יש יותר מסה כאשר הוא דרוך מכאשר הוא משוחרר, ולגוף כלשהו יש יותר מסה כאשר הוא חם מכאשר הוא קר, זאת בגלל תוספת האנרגיה הפוטנציאלית והתרמית שהתווספו להם. בפועל בדוגמאות אלה תוספת המסה המגיעה מהאנרגיה זניחה לחלוטין ביחס למסה שכבר הייתה לגופים מתחילה, ולכן אין אנו חשים בהבדל. אבל במקרה של הפרוטון כלל וכלל לא. הפרוטון מורכב משלשה חלקיקים יסודיים המכונים "קווארקים" (איור 1).

---

<sup>15</sup> חוץ מהאנרגיה הקינטית, כלומר האנרגיה שיש לגוף בעקבות מהירותו. כי אנרגיה זו תלויה מערכת ייחוס ואינה מוסכמת על כל הצופים. למשל, ברגע זה אנו מבחינתנו לא זזים, אבל ביחס לצופה במרכז הגלקסיה אנו נעים במהירות של 792,000 ק"מ לשעה.



איור 1 - כל החומר הנראה ביקום מורכב מאטומים. לאטומים גרעין, המורכב מפרוטונים בעלי מטען חיובי וניטרונים חסרי מטען (נייטרליים), וסביבו מצויים אלקטרונים שליליים. הפרוטונים והניטרונים של הגרעין מורכבים גם הם כל אחד מ-3 קוואקים.

לפרוטון 2 קוואקים מסוג  $u$  ואחד מסוג  $d$  ולניטרון 2 מסוג  $d$  ואחד מסוג  $u$ . לקוואק  $u$  מטען של  $+2/3$  ולקוואק  $d$  מטען של  $-1/3$ , וכך יוצא שלפרוטון סך של מטען  $+1$  ( $1 = 2 \cdot 2/3 + 1 \cdot (-1/3)$ ) ולניטרון יוצא סך של מטען  $0$  ( $0 = 2 \cdot (-1/3) + 1 \cdot 2/3$ ).

כמו קפיץ דרוך, קוואקים אלו מוחזקים ומתוחמים יחד על ידי כוח חזק המכונה "הכוח החזק". בגלל האנרגיה של כוח זה, מסתו של הפרוטון גדולה פי 100 ממסתם של הקוואקים המרכיבים אותו. הוא הדין לגבי

הנייטרון. כלומר 99% מהמסה של הפרוטונים והנייטרונים הינה בעצם אנרגיה.

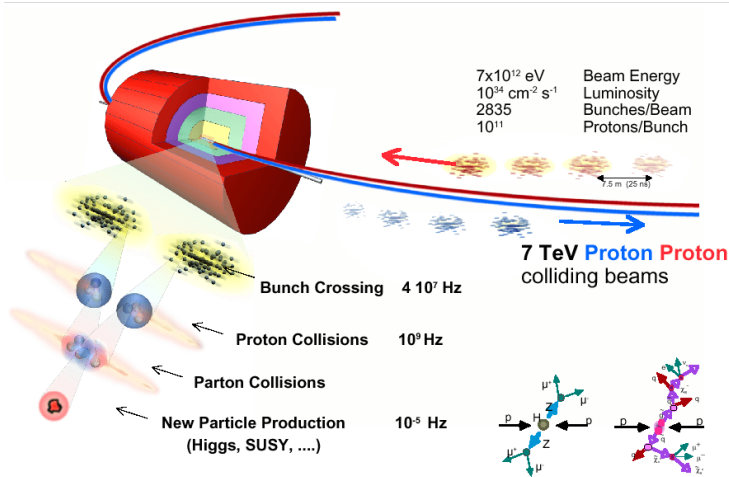
חשבו על זה רגע: כמעט כל המסה של החומר המוכר מקורה בפרוטונים ונייטרונים (שהרי באטומים יש גם אלקטרונים אבל המסה שלהם קטנה פי 2000 ולכן זניחה). ועכשיו אמרנו ש99% מהמסה של הפרוטונים והנייטרונים הינה בעצם אנרגיה. זאת אומרת ש99% מהמסה של החומר שסביבנו הינה בעצם אנרגיה. זוהי מסקנה מאוד מהפכנית הנוגעת לאיך אנו תופסים העולם סביבנו.

אכן מסקנה מרחיקת לכת, אך לא מהפכה טוטאלית של ממש. שהרי תמיד יהיו את חלקי היסוד, האלקטרונים והקוורקים, אשר להם מסה עצמית.

לכאורה...

כדי להמשיך יש להסביר מעט מה קורה בתוך מאיץ החלקיקים הגדול של CERN. במסלול מעגלי תת קרקעי באורך 27 ק"מ מאיצים צברים של פרוטונים עד מהירות של 99.999998% ממהירות האור, בשני כיוונים מנוגדים של המסלול. מביאים פרוטונים אלו להתנגשות בשתי נקודות בהן שוכנים גלאי ענק, שם האחד CMS ושם השני ATLAS. להתנגשות ראש בראש של פרוטונים תוצרים שהגלאי קולט ורושם, והם מועברים להמשך אנליזה בידי פיזיקאים.





מה שחשוב לדעת מכל זה הינו שאין אנו מביאים את הפרוטונים לידי התנגשות כדי לשבור אותם ולגלות מה יש בתוכם. אנחנו יודעים מה יש בתוכם וממה הם מורכבים (הקוורקים כנ"ל). אנחנו מנגשים אותם כדי לייצר חלקיקים חדשים, אחרים, שלא היו בתוך הפרוטונים כלל. למשל, מהתנגשות של פרוטונים יכולים לצאת אלקטרונים או מיואונים או חלקיקי היגס, ועוד שלל חלקיקים שאינם קשורים לפרוטון עצמו ולא היו שם מלכתחילה. כיצד זה אפשרי? גם כאן אנו משתמשים במשוואתו של איינשטיין  $E=mc^2$ , אך הפעם על ידי אנרגיה אנו מייצרים מסה. הסיבה שאנו מביאים פרוטונים לידי התנגשות אינה כדי לחקור את מרכיביהם, כאמור, אלא מפני שקל להאיץ אותם, ועל ידי המהירות שנקנה להם נצליח לרכז כמות אנרגיה גדולה מאוד באזור קטן מאוד ומהיכוז הגדול של אנרגיה זו יוצאים חלקיקים חדשים.

מיד אפשר לשאול: כיצד זה עובד? מה המנגנון? שאלה זאת מצריכה אותנו להיכנס מעט לתחום של תורת השדות הקוונטיים. תחום שדרכו נוכל גם לגעת בתפקידו של יחלקיק היגס המפורסם.

## תורת השדות הקוונטיים

מכניקת הקוונטים התגבשה בשנות ה-20-30 של המאה הקודמת. קוונטי פירושו כמות, ובמכניקת הקוונטים לחלקיקי היסוד תכונות כמותיות בדידות. למשל הכוח האלקטרומגנטי (דהיינו אור) מגיע במנות בדידות של אנרגיה אשר נקראות פוטונים<sup>16</sup>.

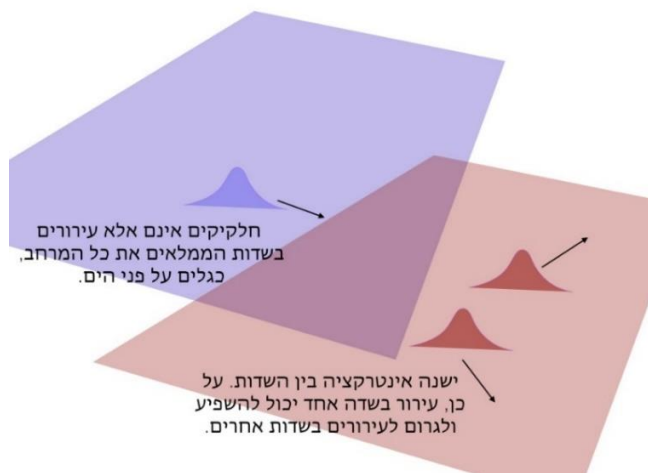
הבעיה במכניקת הקוונטים בפני עצמה היא שהיא אינה מתואמת עם תורת היחסות הפרטית. לדוגמה, אין במכניקת הקוונטים בפני עצמה דרך לייצר חלקיקים חדשים מאנרגיה כפי שמאפשרת תורת היחסות וכפי שראינו שקורה בפועל במאיצי החלקיקים. במכניקת הקוונטים מספר החלקיקים הוא קבוע - אתה מתחיל ומסיים עם אותו מספר של חלקיקים.

כדי לתאר את המציאות ברמה היסודית ביותר, הצליחו מדענים לפתח תורה הכוללת גם את תורת הקוונטים וגם יחסות פרטית. איחוד זה הוליד את הצורך לדבר על שדות הממלאים את כל המרחב כמה שעומד בתשתית החומר (שדה הוא משהו בעל ערך כלשהו בכל נקודה במרחב). החלקיקים המוכרים הינם בעצם עירורים בשדות אלו כמו גלים על פני הים (עירור משמעותו שינוי ממצב המנוחה). אלקטרון בודד הוא בעצם

---

<sup>16</sup> להרחבה בנושא מכניקת הקוונטים ראו נספח א.

עירור בישדה האלקטרוני הממלא את כל החלל, וקווארק בודד הוא בעצם עירור בישדה הקווארקי הממלא את כל החלל במקביל לישדה האלקטרוני, וכן הלאה. כל סוג חלקיק אחר הוא בעצם עירור בשדה משלו הקיים במקביל לכל שאר השדות.



כמו כן, כל האלקטרונים ביקום הינם בעצם עירורים שונים באותו שדה הממלא את כל היקום. זאת הסיבה שאלקטרון הנוצר פה בכדור הארץ הינו זהה בדיוק לאלקטרון הנוצר בגלקסיה בקצה הקוסמוס - שניהם עירורים של אותו השדה (וכן הדבר גם לכל סוג אחר של חלקיק). בנוסף, השדות מקושרים באופן המאפשר להם להשפיע אחד על השני. עד כאן תיאור בזק של יתורת השדות הקוונטיים אשר הינה המסגרת, ויחד עם ההגדרה אילו שדות קיימים (שדה האלקטרוני, הקווארק, הפוטון, הגלואון,

וכו) ומה עוצמת הקשרים ביניהם, משלימים את מה שמכונה "המודל הסטנדרטי" לתיאור המציאות<sup>17</sup>.

כעת ניתן להבין כיצד זה שמהתנגשות בין פרוטונים יוצאים אלקטרונים. אנרגיה של עירור בשדה אחד מועברת לשדה אחר, ובכך מעוררת בו גלים (=חלקיקים) חדשים. יכולתם של חלקיקים להיווצר מאנרגיה הינה תופעה שקשה ליישבה עם התפיסה הפשוטה שחלקיקים הינם כדורים קטנים, אך כן הולמת את ההבנה שחלקיקים הינם עירורים בשדות, כמובא לעיל.

## יהי מסה

אמרנו לעיל שהכוח האלקטרומגנטי בא במנות בדידות הנקראות פוטונים. גם "הכוח החזק" המחזיק יחד את הקווארקים מגיע במנות בדידות הנקראות גלואונים (גלוי מלשון דבק). כמו כן, קיים כוח נוסף, יהכוח החלש, אשר גורם לדעיכות רדיואקטיביות מסוימות וגם כוח זה מגיעה במנות בדידות. מנות אלה הם למעשה עירורים בשדות, כל אחד בשדה שלו, כפי שתואר בסעיף הקודם.

בתחילת שנות השישים הטרידה את המדענים השאלה: הפוטון הוא חסר מסה, וכן הגלואון הוא חסר מסה, אך לעירורים של הכוח החלש יש מסה (ועוד מסה גדולה, כי 90 ממסתו של הפרוטון).

---

<sup>17</sup> להרחבה ראו נספח "המודל הסטנדרטי" לקמן.

איך קרה שלעירורים של כוח יש מסה?? מילא לחלקיקים/עירורים של חומר (דהיינו האלקטרונים והקווארקים), אבל לחשוב שלמנות של כוח תהיה מסה נשמע מאוד משונה. (אצל המדענים הקושי לא היה רק כי זה נשמע משונה, אלא מכך שעל פי כל התשתית התאורטית המתמטית לא היתה אמורה להיות מסה לעירורים של הכוחות מצד עצמם).

בשנת 64 פרסמו היגס ועוד מספר מדענים רעיון: אם קיים עוד שדה נוסף בעל תכונה מסוימת, נקרא לו "שדה היגס", אזי הקישוריות של שדה זה עם השדה של הכוח החלש תגרום לעירורים של הכוח להתנהג בדיוק כאילו יש להם מסה. כלומר, מצד עצמם אין לעירורים של הכוח החלש מסה, אבל האינטראקציה בינם ובין שדה היגס מייצרת מעין "חיכוך" שנראה ומתנהג לכל דבר ועניין כמו מסה. איך אפשר להוכיח דבר כזה? היגס המדען שיער כי אם שדה כזה אכן קיים, אזי צריך להיות לו גם עירור משלו מה שזכה לכינוי "חלקיק היגס". בעתיד, קיוו המדענים דאז, את החלקיק הזה יהיה אפשר לייצר ולגלות במאיצי החלקיקים.

עד כאן, בסעיף זה דיברנו על המסה המשונה שיש לעירורים של הכוח החלש. אבל בשנת 65 גילו שגם לאלקטרונים ולקווארקים לא יכולה להיות מסה עצמית. כלומר, כמו לכוח החלש, התשתית התאורטית המתמטית הראתה שלא יכולה להיות להם מסה מצד עצמם כאיזה "נתון" שבו יחד עם עצם קיומם, אבל בפועל אנו יודעים שלחלקיקים אלה יש מסה.

גם כאן הפתרון לסתירה נעוץ בקיומו של שדה היגס ובקשרים שלו עם השדות האחרים. ב-1967 סטיבן ווינברג עדיין לא היה מודע לתאוריה של היגס, אך בשלהי אותו קיץ האירה בו התובנה שאם קיים שדה כזה, בעל אותה תכונה כפי שתיאר היגס, הוא יספק ריווח כפול:

1. יהיה אפשר להבין שהכוח החלש והכוח האלקטרומגנטי הם בשורשם אותו כוח<sup>18</sup>.

2. הוא יכול לספק הסבר למסה של חלקיקי החומר.

עבור עירורים בשדות החומר הפרטים הטכניים המתמטיים מעט שונים מאשר עירורים בשדות הכוח, אך העיקרון אותו עיקרון. אינטראקציה של דה כלשהו עם שדה ההיגס גורמת להתנהגות כמו מסה בעירורים של השדה. כפי עוצמת הקישוריות בין השדה לבין שדה ההיגס כך תגדל מה שנראה כמו מסה אצל ה"חלקיק".

המסה של החלקיקים נובע מהקישור שלהם לשדה ההיגס. כאשר חלקיקים מתקדמים במרחב הם כגופים השוחים בתוך מים - כפי שמידת הקישור למים משפיעה על יכולת ההתקדמות בה, כך מידת הקישור לשדה ההיגס משפיעה על מסתו של החלקיק.

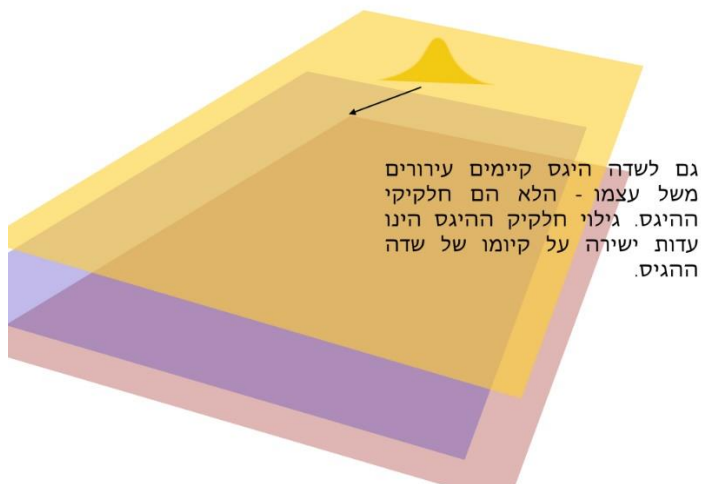


---

<sup>18</sup> ראו מאמרי "מיקומו של גן עדן"

נהוג להמשיך זאת לשני גופים שונים השוחים במים. האחד דג חלקלק והאחר אדם הלובש מעיל דובון. הדג ישחה הרבה יותר מהר מכיוון שמידת הקישוריות שלו למים, דהיינו מידת החיכוך שלו עם המים, קטנה - הוא הרי חלקלק. ידידנו לבוש הדובון יתקדם לאט בגלל הקישוריות/חיכוך הגדולה שלו למים שסביבו. כך גם כל חלקיקי היסוד. האלקטרון הוא קל מכיוון שמידת הקישוריות שלו לשדה ההיגס הינה קטנה, לעומתו המיואון (בן הדוד המסיבי של האלקטרון) הוא פי 200 יותר מסיבי כי מידת הקישוריות שלו לשדה ההיגס פי 200 יותר עוצמתית. הפוטון הוא חסר מסה מכיוון שלו אין כלל אינטראקציה עם שדה ההיגס.

המודל שתואר לעיל הוכח במאיץ החלקיקים הגדול. ב2012 הצליחו לייצר ולזהות את יחלקיק ההיגס, אותו עירור בשדה ההיגס המעיד בעצם על קיומו של השדה.



המשך המחקר של עוד ועוד נתונים מהמאיץ אישש את מידת קישוריותם של כל אחד מהשדות השונים לשדה ההיגס עצמו.

כעת המהפכה היא טוטאלית, כל המסה של כל החומר בעולמנו היא סוג של "אנרגיה מקופלת". המסה אינה "נתון" קבוע וקיים מאז בריאת העולם, אלא תופעה שמתהווה באופן תמידי בגלל השפעות הדדיות בין שדות. אין בעולמנו דבר כזה "מסה עצמית".

## אין חומר בעולם כלל

המהפכה הושלמה. כל ההבדלים אשר ציינו שמאפיינים חומר אינם אלא התנהגות חיצונית ולא תכונה עצמית של החומר. יוצא שהחומר במהותו יותר דומה לסוג של אור מאשר כל דבר "חומרי":



חומר	אור
יש מסה	אין מסה
תופס מקום <del>רחב</del>	אינו תופס מקום במרחב
יציב וקיים - יחוק שימור החומר	ניתן ליצירה ובליעה



חומר ואור
אין מסה
אינו תופס מקום במרחב
ניתן ליצירה ובליעה

נסכם את מה שאמרנו לעיל:

1. כל המסה של כל החומר בעולמנו היא סוג של יאנרגיה מקופלת. המסה אינה ינתון קבוע וקיים מאז בריאת העולם, אלא תופעה שמתהווה באופן תמידי בגלל השפעות הדדיות בין שדות. אין בעולמנו דבר כזה ימסה עצמית. החומר במהותו הוא חסר מסה, ורק הקישוריות בין השדה שלו לשדה ההיגס מולידים את תכונת המסה. (אגב, בראשית היקום לשדה ההיגס עדיין לא הייתה את התכונה שהקנתה מסה לשדות האחרים. לכן, בראשית היקום כל שדות החומר היו חסר מסה

לא רק במהות אלא גם בפועל. רק לאחר תהליך מסוים, שדה ההיגס רכשה תכונה כזאת שגרמה לכך שכל החומר ביקום ינתעבה ונהיה גם כהיום הזה<sup>19</sup>)

2. קיומו של החומר, כמו האור, אינו דבר קבוע אלא ניתן ליצירה ובליעה, להתהוות והתאינות.

3. חומר אינו יתופס מקום. אין מניעה שחומר יהיה באותו מקום עם חומר אחר, אילולי המטען הדוחה, דבר שיש גם לסוגים של שדות כוח.

חשוב להדגיש שמסקנות אלו אינן עולות לא מתורת הקוונטים בפני עצמה ולא מתורת היחסות בפני עצמו, ואפילו לא מתורת השדות הקוונטיים בלי מנגנון שדה ההיגס שתואר לעיל.

במהפכה של תורת הקוונטים אכן השתנתה פלאים תפיסתנו את החומר וכן תפיסתנו את החוקים המנהיגים אותו, אך המסה של חלקיק נשארה ינתון - תכונה עצמית של החומר. כמו כן, לא משנה כמה תהפוך את משוואת שרדינגר (המשוואה המתארת את התפתחות החלקיק בזמן על פי תורת הקוונטים) עדיין תישאר עם אותו חלקיק - אין בליעה ויצירה של חלקיקים. החומר נשאר מסיבי ויחוק שימור החומר עומד בעינו - ההבדל התהומי בין אור לחומר עדיין קיים.

בתורת היחסות הפרטית ראינו שיש קשר בין חומר לאנרגיה אבל חסר המנגנון. המשוואה  $E=mc^2$  אינה מסבירה לנו איך החלקיקים המסיביים שאנו רואים אינם אלא אנרגיה, היא רק מצהירה שכך הדבר. יתרה מכך,

---

<sup>19</sup> רמחיל דעת תבונות קכו. עוד ראו מאמרי-מיקומו של גן עדן.

אפשר לטעון שאפילו את זה אינה עושה - המשוואה רק מציינת את יחס ההמרה בין מסה לאנרגיה, אך אפשר עדיין לראות את המסה כדבר העומד בפני עצמו (בדומה להמרת מטיח שכל מטבע קיים ועומד בפני עצמו).

גם המציאות הפנטסטית על פי תורת השדות הקוונטיים אינה מספקת מצד עצמה שהרי על פיה אפשר שיווצרו עירורים בעלי מסה עצמית.

רק לאחר ההבנה שלחלקיקים/עירורים באמת אין מסה מצד עצמם, והם מקבלים מסה דרך מנגנון ההיגס, מתבהרת עד כמה תפיסת העולם המטריאליסטית היא רחוקה מהמציאות. במקום תפיסת עולם מטריאליסטית שבה החומר הינו דבר דומם מסיבי וסגור, קיים ועומד בפני עצמו, עולה כי העולם החומרי במהותו יותר דומה לסוג של אור מאשר כל דבר "חומרי". האמונה הרואה את החומר כדבר מסיבי ודומם הגיע אל סופו.

אפילו האתאיזם הייתה צריכה "לשפר עמדות לאחור" ובמקום המטריאליזם להתבסס על הפיזיקאליזם- האמונה כי כל מה שקיים הוא פיזיקאלי ואין משהו שאינו פיזיקאלי. זוהי כמובן נסיגה גדולה עבור האתאיזם. מציאות לחלוטין מטריאלסטית הייתה אזור הנוחות המועדפת והטבעית ביותר עבור האתאיזם. הבאנו בתחילת המאמר את אמרתו של דמוקריטוס כי "מצד האמת, רק אטומים והריק". אכן, אם אין שום דבר חוץ מחלקיקי חומר אזי אין מקום לשום מציאות רוחנית. אבל כפי שראינו זה אינו המצב. לא שעכשיו הוכחנו את המציאות הרוחנית, אלא שמציאות פיזיקאלית העשויה מחומר דומם, כפי שהבינו לפני המהפכות של המאה ה-20-21, התאימה במיוחד לתפיסה אתאיסטית, ולעומתו התפיסה האמונית של עולם חומרי המתחיה הייתה מבוססת

אמונה עיוורת בלבד. כעת המציאות הפיזיקאלית נראית בדיוק כפי שמציאות פיזיקאלית המשתלשלת ממציאות רוחנית אמורה להיראות, וזה אינו בדיוק איך שהאתאיזם קיווה מתחילה.

דומה הדבר לגילוי היווצרות היקום על ידי המפץ הגדול. אלפי שנה, מהפילוסופים היוונים ועד המדענים של שנות ה-50-60 של המאה העשרים, אם היו שואלים "מי ברא את העולם? התשובה המושכלת הייתה: "העולם כלל לא נברא. העולם קדמון, תמיד היה ותמיד יהיה. הבט בכוכבים, אלפי שנה האנושות מביטה לשמים ואותם הכוכבים נמצאים שם, קבועים ואינם זדים. היקום לא משתנה אלא קדמון ונצח". בראשית המאה ה-20 כאשר צצו רמזים שונים לכך שליקום היה התחלה, רוב ככול המדענים הוסיפו "פלסטרים" תיאורטיים מלאכותיים רק כדי לא להגיע אל המסקנה המטרידה. רק לאחר גילוייה של קרינת הרקע הקוסמית בשנות ה-60 כבר לא היה מנוס והקהילה המדעית אימצה את הקביעה כי ליקום היה התחלה. גם במקרה זה, כמו במקרה שלנו על אופיו של החומר, "שערי תירוצים לא ננעלו" והאתאיזם "שיפרה עמדות לאחור". אך אי אפשר להתכחש לכך שהמציאות כפי שמתגלה על ידי המדע תואמת בעיקרה לתפיסה האמונית.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> לפירוט בנושא פרשת הבריאה והמדע ראו "פיענוח פרשת הבריאה - רבדים וקריאה מדעית" מגדים, הוצאת תבונות, מכללת הרצוג, גיליון נח תשע"ט.

## יסולם מוצב ארצה וראשו מגיע השמימה

חשוב להבהיר: **האור אינו דבר רוחני**, אך כעת הדרך מפולשת לראות איך העולם החומרי מתחיה ומשתלשל מהעולם הרוחני וכל קיומו הינו פתוח ותלוי במציאות עליונה יותר. לחומר יש מקור שמהווה אותו באופן תמידי, שדות הממלאים את כל המרחב. וכן לשדות אלה יש מקור שמהווה אותם, וכן הלאה למציאויות יותר ויותר אבסטרקטיות.

ואולי השדות השונים קיימים בזכות עצמם כמו שחשבנו על החומר?

ראשית, לחומר היה "חזקה" על היותו קבוע וקיים בזכות עצמו. כשאנו מביטים על כדור ביליארד כבר נראה לנו שאנו מצליחים לסמן בכך את כל ערכו. שום דבר בכדור הביליארד לא מעורר אותנו לשאול "מה מהווה אותו?". עמדת המוצא היא כי הוא פשוט קיים ומה שאנו רואים זה מה שיש. נדרשה לא פחות ממהפכה כדי לעקור "חזקה" זו ולהבין אחרת. אבל לשדות הקוונטים אין שום "חזקה" כזאת. בנוגע לשדות שכל מהותם האונטולוגית אינה ברורה ושממלאים את כל המרחב-זמן ואנו אפילו לא מצליחים להבין מניין הם מתחילים והיכן הם מסתיימים, כבר אין סיבה אפרוירית לחשוב שהם פשוט קיימים ואינם נגזרים ממשהו עמוק יותר.

שנית, וזה העיקר, כבר עכשיו המדע יודע שחייב להיות משהו עמוק יותר, תורה יסודית יותר אשר תורת השדות הקוונטים היא מימוש פנומנולוגי שלה. אנו יודעים זאת כי המשוואות שלנו, כפי שהם כיום, מתבדרות כאשר כוללים בהן השפעות כבידתיות. דבר זה מורה כי יש צורך בתורה יסודית יותר אשר כוללת בתוכה את התופעות הידועות גם מתורת השדות הקוונטים וגם מכבידה. אנו עדיין רחוקים מהאנרגיות הגבוהות

הדרושות לגשש תורה יסודית כזאת בניסויים, אך, כדי לסבר את האוזן, מועמד תאורטי פופולרי לתורה כוללת כזאת היא תורת המיתרים.

על פי תורת המיתרים כל השדות השונים, כולל כבידה, הינם בעצם תדרים שונים של הפרעות במרחב-זמן עצמו. לפי זה רק המרחב-זמן קיים. ומה מקיים את המרחב-זמן ובתוך מה הוא נמצא? כאן כבר אנו מגיעים למגבלות המדע, שכן ביסודו המדע יודע לתאר רק שינויים בזמן ובמרחב, ובהעדר זמן ומרחב כבר אין למדע מה למדוד ומה לתאר. אך מעניין לציין שהקביה נקרא 'מקום' על כך שהוא מקומו של עולם, כלומר המרחב נמצא בתוכו. וכן שמו 'הויה' מציין הויה ויהיה כלומר, הקביה מקיף את הזמן ומחוץ לזמן, הזמן נמצא בתוך הקביה ולא להפך.

ובחזרה לענייננו, אין זה עקרוני אם תורת המיתרים נכונה או לא. העיקר שהשדות נחשבים כפנומנולוגיה של תורה יסודית יותר. פתאום יש כאן שאלה 'מה מהווה את השדות?'. בתפיסה המטריאליסטית של החומר אף אחד לא חשב לשאול 'מה מהווה את כדור הביליארד?' קיומו תמיד היה מובן מאליו (מקסימום שאלו 'ימניין החומר הגיע מלכתחילה?' אבל מאז שנוצר, קיומו התמידי היה מובן מאליו).

התחדשה לנו ההבנה שהמציאות הפיזית היא מעין השתלשלות ממציאות יסודית ויסודית יותר, כמעין 'סולם מוצב ארצה וראשו מגיע השמימה'. איננו רואים עדיין לאן בדיוק מגיע ראש הסולם אבל מה שחשוב הוא שיש כאן סולם, ולא חומר סגור שכל מציאותו וקיומו עומד בפני עצמו. פיזיקאים בתחום הפיזיקה היסודית מבינים זאת היטב והגיע העת שתובנה זאת תחלחל ותהיה גם נחלת הכלל.

## השתלשלות העולמות

תמונת המציאות הפיזיקאלית שתוארה לעיל תואמת להפליא את תיאורי השתלשלות העולמות אצל המקובלים.

הרמח"ל כותב<sup>21</sup>:

והנה מן העיקרים הגדולים שבידנו בעניין זה הוא, שכנגד כל מה שנמצא בנמצאים השפלים, נמצאים למעלה כוחות ובדלים, שמהם משתלשלים ויוצאים בסדר אחד של השתלשלות שגורה חכמתו יתברך, השפלים האלה, הם ומקריהם, ונמצאים הכוחות ההם שורשים לנמצאים השפלים האלה, והנמצאים השפלים ענפים ותולדות לכוחות ההם, ונקשרים זה בזה כטבעות השלשלת.

כמו כן כותב המלב"ים<sup>22</sup>:

והתבאר בחכמת האמת כי אורות השכליים השתלשלו ע"י לבושים ומטכים רבים מהשכל העליון ומהאור הקדמון והאור ההוא התפשט ע"י מטכים רבים ואטפקלריות שונות לבושים וחלונות עד שהתגשם האור ההוא

מסכם זאת חוקר הקבלה ד"ר אפרים גוטליב כן<sup>23</sup>:

---

<sup>21</sup> רמח"ל, דרך ה', פרק ה', בחלקי הבריאה ומצביהם.

<sup>22</sup> מלב"ים, בראשית א', ג'.

<sup>23</sup> ד"ר אפרים גוטליב, מחניים פ"ד, התשכ"ג

בתיאור השתלשלות העולמות שבכתבי המקובלים אין  
הינתקות וישנן חוליות המקשרות את שלשלת הבריאה  
מלמעלה למטה

בכתבי האר"י ז"ל ישנו אף פירוט שהכלים הגשמיים נעשים על ידי  
אינטראקציות בין האורות<sup>24</sup>:

ואז מכים ומבטשים (האורות) זה בזה, והרי נתבאר בחינת  
הכלים איך נעשו והוא מן ההכאה והבטישה כנוכר

לא עולה במחשבה צורה יותר קרובה לתיאור המציאות כפי שאנו  
מכירים אותה כיום, בלשונם של המקובלים.

### לחיות במרחב האלוקי

ידיעה זו יש בה כדי לנסך באדם את התפיסה שהוא חי במציאות שהינה  
רוחנית ביסודה. הוא יודע כי המציאות הפיזית הגשמית הנראית לעיניו  
אינה משקפת את מה שהיא באמת. "עולם" מלשון הַעֲלָם - העולם מעלים  
את טבעו האמת! מבעד לחומר הוא רואה את המציאות המשתלשלת  
מהרוחני אל הגשמי. אדם כזה זוכה "לחיות במרחב האלוקי" באופן  
תמידי. מתחזקת אצלו ההכרה שהעולם החומרי הוא כמעין "סידור" כזה  
שמישהו סידר, כמו תפאורה של הצגה. וזאת למה? כדי שנוכל אנו  
לשחק בהצגה. כי ההסתרה וההעלם שהעולם מסתיר את מציאותו  
הרוחנית הם מה שמאפשרים לבני האדם את המרחב לבחור בבחירה

---

<sup>24</sup> עץ חיים, ו', ד'.



חופשית. אילו העולם היה משקף נאמנה את מציאותו הרוחנית בני האדם כבר לא היו יכולים לבחור ברע, ולכן גם לא הייתה כל כך ערך לבחירתם בטוב.

להכרה זו שהאדם יחי במרחב האלוקי השלכות מעשיות. באופן כללי זה ירחיק אותו ממקסם השווא של החומריות ויקרב אותו לבחור על פי שיקולים של אמת. באופן ספציפי הכרה זו עומדת כתריס המונע מהאדם לשקוע לכפירה או ספקנות. אדם כזה לא יהרהר ינה, אולי (חלילה) אין אלוקים ואין רוח, מה שרואים זה מה שיש. שהרי הוא יודע שהעולם שסביבו הוא באמת מציאות רוחנית ומה שאנו חווים זה רק את קצה קצהו שהתגשם. בהינתן שכך אין דרך סבירה יותר להסביר את פלא המציאות המשתלשלת מאשר סידור שסידר מי שאמר והיה העולם.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> כי בבואנו לבחור בין 2 מודלים נבחר את המודל שסביר יותר שהוליד את המציאות הנתונה לעומת המודל האחר ("מבחן יחס הנראות"). במקרה שלנו, מודל אחד אתאיסטי ומודל אחד אמוני. המודל האמוני מנבא מציאות משתלשלת מהרוחני אל הגשמי, ואילו על פי המודל האתאיסטי סביר יותר לצפות שלא יהיה אלא חומר מטאריסליטי בלבד. מראש אתאיסט היה משער רק בסיכו נמוך מאוד שהמציאות הפיזית משתלשלת ממציאות שורשית יותר. מכיוון שהוראינו לדעת כי המציאות היא אכן משתלשלת ממציאות יסודית יותר, אזי יותר סביר שהמודל האמוני הוא המודל שעומד מאחורי המציאות. שהרי לדידו זוהי התוצאה הסבירה והמתבקשת, ואילו המציאות כפי שהיא אינה סבירה על פי המודל האתאיסטי. דחוק מאוד לחשוב שהמציאות היא בדיוק כפי שמנבאת המודל האמוני, ולא כפי שמנבאת המודל האתאיסטי, ובכל זאת לסבור שהמודל האתאיסטי צודק.

## נהיָה או נהיָה?

השלכה הלכתית לתפיסה זו התעוררה לפני כ-400 שנה. בעל חידושי חכמת מנוח, ר' מנוח הנדיל, דייק לנקד את ברכת "שהכל נהיה בדברו" בסגול. זאת מכיוון שבברכת שהכל עלינו להודות לה' גם על שמהווה את הכל תמיד בהווה. ברכת שהכל מצטרפת לרוב ברכות הנהנין אשר ניתקנו בלשון הווה כגון "המוציא לחם מן הארץ" ועוד. את הדין בגמרא ברכות לח. סביב היות ברכת "המוציא" בלשון עבר ראה בעל חכמת המנוח כדרישה שתהיה לשון הברכה גם בלשון עבר. ובכך לשון הברכה מכוונת על עבר הווה ועתיד. כך גם ראו סוגיה זו ראשונים כגון תוס' ר"ד ושיטה מקובצת. על פי הבנה זו היו מגדולי אשכנז שהנהיגו לברך "שהכל נהיָה בדברו" בסגול. כך מובא על הגרי"א בספר מעשה רב (ע"ז) וכך מביא בעל ערוך השולחן<sup>26</sup>:

**ונראה לי דהכתוב תפס זה שהוא כולל גם לשון הווה, מפני שהקדוש ברוך הוא מחדש בכל יום תמיד מעשה בראשית, וכן בורא בכל עת ובכל שעה, שהשגחתו אינו נפסק אפילו רגע אחת, ולכן אומרים לשון שכולל הכל, דעל דבר זה שאוכל הוא לשון עבר ועוד הוא לשון הווה, כלומר שגם כעת ברגע זו בורא.**

**ולכן גם בברכת "שהכל" צריך לומר 'נהיָה' בסגול"ל שהוא לשון בינוני כמו 'בורא' (מגן אברהם סימן ר"ד סק"י"ד וכן**

---

<sup>26</sup> אורח קס"ז ז.

כתב במע"צ ובמחצית השקל), ויש רוצים לומר 'נהיה' היוד  
בקמ"ץ (עיין מגן אברהם סק"ח) שהוא לשון עבר גמור,  
ואינו עיקר, והעיקר לומר בסג"ל היוד.

רואים שתפיסה זאת שורשית כל כך עד שהפוסקים ראו לנכון לשנות  
מניקוד הברכה המקובלת. אמנם מצד דקדוק הלשון, ניתן להבין גם נהיה  
בקמץ כמתייחס להווה, ונהיה בסגול כמתייחס דווקא לעתיד<sup>27</sup>. לכן,  
אפשר עדיין להחזיק בקמץ ולתפוס בתפיסה שהקב"ה מהווה הכל תמיד.

שונה היא גישתו של היעב"ץ<sup>28</sup>:

בזדאי הדין עמהם מאחר שהיא ברכה כוללת לכל המציאות  
ואיך יתכן לומר שהכל מתהווה ונעשה עכשיו בדבר. והלא  
העולם בכללו כבר עשוי מששת ימי בראשית ואינו מקבל  
הווייתו להווה (ואף שאנו אומרים המחדש בטובו בכל יום  
מעשה בראשית, הוא ד"א שהרי אין אנו אומרים העושה או  
מהווה בכל יום מ"כ וזה ברור). על כן אין ספק שצ"ל נהיה  
בקמץ.

לענ"ד יש כאן השפעה של תפיסה פיזית של המציאות, שהרי עינינו  
רואות אשר"הארץ לעולם עומדת ואיך יתכן לומר שהכל מתהווה ונעשה  
עכשיו בדברו?. תפיסה זאת היא שגורמת לאחוז בהבנה שהברכה  
המכוונת לעבר בלבד. אשרינו שדורנו זכה ולו ניגלים מוסדות תבל.

---

<sup>27</sup> ר' אוריאל פרנק-חומרות, הידורים ושיבושים בלשון העברית: על תיקוני שגיאות ועל שגיאות  
מתקנים בפרק ינראה לי שהכל נהיה בדברו

<sup>28</sup> חלק א סימן צד

יודעים אנו שלא רק ייתכן אלא כך הוא באמת: הכל נהיה בדברו - גם בהווה.

### הסתכלות אידיאית אחדותית

נסיים בדבריו של הרב זצ"ל אשר זיהה את המהפכה שתוארה כאן עוד בשלביה הראשוניים. בפסקה שלהלן הרב מתאר השלכותיו האמוניות של מה שנראה כשקילות אנרגיה-מסה של איינשטיין. כמו כן, הרב מתאר שזוהי תחילתו של תהליך שעוד ימשיך והמדע ההולך ומתחדש, המתקרב בשבילי חול אל מרכז הקודש<sup>29</sup>:

כשמסתכלים בעולם, בהסתכלות אידיאלית, שאור הקודש מאיר עליה את זהותו, אין רואים דבר פרטי מצד פרטיותו, כי אם בכל חויון, בכל פלוגה, אפילו הקטנה שבקטנות, מהחלקים הישיים והמעשיים, רואים הופעה תוצאת תנועת הכל. והלימוד הזה הולך הוא ומתבסס על פי המדע הולך ומתחדש, המתקרב בשבילי החול אל מרכז הקודש, המתעלה מעל הסקירה האטמית אל הכרת התנועה והכרת נבעת אשר יוכל כל אדם להיות נראה לדבר עומד בפני עצמו, לעצם פרדי, אך תנועה נסקרת כי אם בתור תוצאה מן הכל, נפעלת מכל, ופועלת על כל. ובה היש כולו מתעלה מהאמללות שבריסוקו, והריסותיו נבנת

---

<sup>29</sup> אוריק ב, תיב.

בבני שלם, של יצר כל, בחכמה וחסדים נאמנים. ובה מקרבת אותם ההכרה של טבע החומר אל המדע האצילי העליון, שיסוד הקדוש, המחיה את הכל, גם את המוסר, היחיד והצבור, הולך ומתגלה על ידה, והפלוסופיה ביסודה נגאלת ממאסר החושך המלפף אותה, הבנה קיר של ברזל בין העולם והאדם לאביהם שבשמים. אין התגברות השכלית בצורתה ההגימית צריכה עוד להיות משברת את עצמתה כדי לקלוט אל תוכה את חיי האמונה הרוממים, המשיבים את הנשמה למקור חיה, ונותנים לה את עצמתה, הטבעית לה בכל מלאה. הרי היא הידיעה של ההשגחה הפרטית, לא בצדה המוקטן, המפרד את הפרטים מן הכללים, וממעט בשביל כך את חייהם, ולא בצורה המבליעה את הפרטים, עד שנדמה לעין הסוקר שמציאותם בטלה היא ונכחדת. הידיעה האלהית, שהפלוסופיה תובעת את הכללתה והאמונה והמוסר תובעים את פרטיותה היא מתבררת על ידי אותה הסקירה ההולכת ומתבררת, החובקת את המדע הנסיוני, וההשערי, את כל תעופות הרגשות היותר פנימיות, וההשכלות היותר חודרות ומובלטות, וההגיון נשאר עומד על בסיסו, ומתאחו באחיות אמת, ביסוד התום של הקדושה והאמונה אשר בתומת ישרים. המציאות כולה הרי היא עולה בציור האמת שלה, והפרטיות מתגדלת לצורה כללית, והולכת ומתאדרת היא בתוך הכלליות הגדולה הבלתי גבולית, שדוקא שם היא מוצאה את איתנותה והידיעה האלהית, ברום אמתה, בכלליותה, היא היא גם הפרטית היותר חודרת, המלאה אמת, ומחודרת חטיביות, שלא יפול צרור ארץ. והבינה העליונה, החובקת כל

עולמים, והחכמה האזריכלית, המיוחדת לכל עולם, ולכל בריה, הרי הן מתייחדות בחוכמתן, והענפים מתאחדים בשרשיהם, בשביעת יניקת זיו לשדם לרויה. וברוחו של כל ישר לב, של כל צדיק אוהב צדקות, ההרמוניה הזאת מפעמת את צלצוליה. ורוח הקודש, רוח קודש קדשים, הולך ומתגבר להחיות עולמי עד, וכל אשר בהם.

## חתימה

עם ראשית הופעתו של עם ה', באביב ההיסטוריה האנושית כולה, נתגלה כי המציאות החומרית אינה קבועה וכובלת כפי שהיא נראית. גם הים הגדול יכול הוא להיבקע מפני גאולים אשר דרכו יעבורו. עם ישראל יצא מתחת מאסר מצרים ויחד אתו החל העולם כולו להשתחרר ממסגרי החומר. "ויבקעו המים" – כל מימות שבעולם נבקעו יסוד החומר בעולם, מסביר המהריל<sup>30</sup>, נבקע ומעתה כבר לא יחסום כל כך בעד האור האלוקי להופיע במציאות.

בני בניהם של אותם גאולים ממשיכים במפעל עולמי זה. תכונת החירות מכבלי החומר עדיין זורם בקרבם. לא רק בבחירי הצדיקים אלא גם בבנים השובבים. הראשונים הצביעו על החומר כהשתלשלות המתחיה תמיד מהאור העליון מלמעלה, ואלה האחרונים עקרו את יסודות החומר מלמטה.

---

<sup>30</sup> גבורות ה', פרק מ'.

ראש וראשון להם היה אלברט איינשטיין, "עטרת תפארת לעם חכם  
ונבון"<sup>31</sup> אשר שבר את התבניות של המרחב והזמן וחשף את השקר  
שבחומר על ידי עיקרון שקילות המסה והאנרגיה. המשיך בדרכו סטיבן  
ווינברג, היהודי הכופר בעיז החולם על אחדות עולם הטבע, אשר לו נגלו  
מוסדות תבל וַיֵּרְאוּ אִפִּיקֵי מַיִם וחשף את מנגנון התהוותה התמידית של  
המסה בחומר ואיחד במקורם כוחות שונים.

בעיקר אלה הם שני אלה אשר פרצו את חומות החומר והפכו את מהותו.  
לא עוד דבר דומם וסגור, אלא התממשות של אורות שונים.

גרשנו את העננים הכבדים של האלילות, הננו הולכים ומנצחים את ענני  
החושך הקלים מהם של החומריות.

---

<sup>31</sup> אגרות הראייה, ד, א'קסא.

## נספחים

### מכניקת הקוונטים

יִקוּוֹנְטִי פִירוּשׁוֹ כְּמוֹת, וּבִהְקֶשֶׁר שֶׁל תּוֹרַת הַקוּוֹנְטִים הוּא בֵּא לְצִיֵּין שֶׁלְחֻלְקֵי הַיִּסוּד תְּכּוּנֹת כְּמוֹתִיּוֹת בְּדִידוֹת. לְמִשָּׁל, לְאֶלְקָטְרוֹן שֶׁסָּבִיב הָאָטוֹם לֹא יִכּוּלָה לִהְיוֹת כָּל כְּמוֹת שֶׁל אֲנֵרְגִיָּה קִינֵטִית (אֲנֵרְגִיָּה שִׁישׁ לְגוֹף בְּעֻקְבוֹת הַמְהִירוֹת שֶׁלוֹ) שֶׁנִּרְצָה, אֲלֵא רַק כְּמוֹיּוֹת סְפִצִּיפִּיּוֹת בְּדִידוֹת.

זֶה מוֹזֵר, כִּי לְצוֹרֵךְ הַהֲשׁוּאָה, לְלוּיֵין הַמְקִיף אֶת כְּדוֹר הָאָרֶץ יִכּוּל לִהְיוֹת כָּל מֵהִירוֹת שֶׁנִּרְצָה, לֹא דוּוֹקָא בְּכְמוֹיּוֹת סְפִצִּיפִּיּוֹת. הַסִּיבָה שֶׁזֶה קוֹרָה בְּעוֹלָם שֶׁל חֻלְקֵי הַיִּסוּד הוּא כִּי מֵתְבַרֵּר שִׁישׁ מִשֶּׁהוּ יוֹתֵר יִסוּדִי מֵהַחֻלְקֵי שֶׁמֵתְגַלֶּה אֵלֵינוּ. מֵאַחֲרֵי הַחֻלְקֵי יֵשׁ פּוֹנְקָצִיָּה שְׁנוֹתֶנֶת אֶת הַהִסְתַּבְּרוֹת לְמִצּוֹא אֶת הַחֻלְקֵי בְּמִצֵּב מְסוּיִם (לְמִשָּׁל בְּמִקּוֹם אֹו בְּמֵהִירוֹת מְסוּיִמִּים). וְהַפּוֹנְקָצִיָּה הַזֹּאת צְרִיכָה לְקִיִּים תְּנָאִים מְסוּיִמִּים שֶׁמְגַבִּילִים אוֹתָהּ, וְלִכֵּן מוֹצֵאִים אֶת הַחֻלְקֵי רַק בְּמִצֵּבִים הַמֵּתְאֲפָשְׂרִים מֵהַפּוֹנְקָצִיָּה הַיִּסוּדִית. זֶה שֶׁאֵנּוּ מְדַבְּרִים עַל פּוֹנְקָצִיָּה וְלֹא חֻלְקֵי מִשְׁחַרֵּר אוֹתָנוּ מִלְּחֻשׁוֹב עַל מִשֶּׁהוּ שֶׁהוּא מְמוּקָם בְּמִקּוֹם אֶחָד בְּרַגְעַ נְתוּן.

הַפּוֹנְקָצִיָּה הַפְּרוּשָׁה בְּמִרְחֵב יִכּוּלָה לִהְיוֹת רְגִישָׁה לְכָל תְּנָאֵי הַשִּׁפָּה בְּבֵת אַחַת, כְּמוֹ שֶׁמִּשְׁטַח הַתּוֹף אֵינּוּ בְּמִקּוֹם אֶחָד בְּלִבָּד אֲלֵא מוֹשְׁפֵעַ מְכָל תְּנָאֵי הַשִּׁפָּה בּוֹ זְמַנִּית. בְּאַמְצָעוֹת דִּיבּוּר עַל הַפּוֹנְקָצִיָּה אֵנּוּ מְצִלִּיחִים לְחֻשָּׁב בְּאִיזָה מְצִבִּים הַחֻלְקֵי יִכּוּל לִהְיוֹת בְּדִיוֹק רֵב מְאוּד. מֵה שְׁמוּזֵר הוּא שֶׁמָּה שְׁמוּזְדִּים בְּסוֹפּוֹ שֶׁל דְּבַר זֶה תְּמִיד הַחֻלְקֵי הַנְּקוּדָתִי עֲצָמוּ וְלֹא הַפּוֹנְקָצִיָּה שֶׁמֵאַחֲרָיו. הַפּוֹנְקָצִיָּה כִּבִּיכּוֹל רַק אוֹמֵרֶת לְחֻלְקֵי



הנקודתי איפה ובאיזה מצבים הוא יכול להיות. ואז בעקבות התערבות כלשהו עם מערכת חיצונית החליקיק בוחר באקראי מתוך האפשרויות שהפונקציה מאפשרת.

כל זה ממש מוזר, ואפילו איינשטיין ממש לא אהב את הקטע שחליקיק "בוחר באקראי" מתוך האפשרויות שהפונקציה מאפשרת (אלוקים לא משחק בקוביות!). הוא טען שכנראה קיימים משתנים חבויים שאנו פשוט לא מודעים אליהם והם גורמים לחליקיק להיות במצב מסוים. אבל בשנות ה-80 הוכח שזה לא המצב, אין משתנים חבויים מקומיים ומכניקת הקוונטים, עם המוזרות שבה, היא אכן תיאור של מה שיש.<sup>32</sup>

כפי שכתבנו בגוף המאמר, מכניקת הקוונטים שינתה פלאים את תפיסתנו את החומר, אך ההבדל התהומי בין אור לחומר עומד בעינו – המסה היא תכונה עצמית של החומר ויחוק שימור החומר עדיין תקף.

---

<sup>32</sup> כיצד ניתן לדעת שאין משתנים מקומיים חבויים? חפשו בגוגל "אי-שיוון בל".

## המודל הסטנדרטי

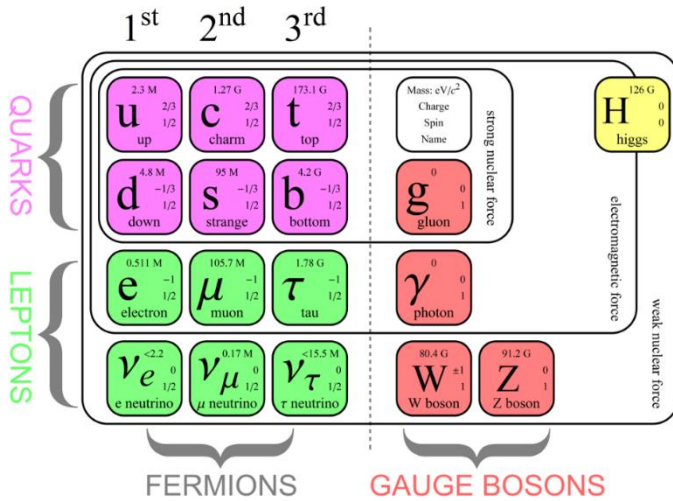


Image by [Matic Lubej](#)

לפניכם טבלה המסכמת את השדות/חלקיקים השונים של המודל הסטנדרטי.

מצד שמאל היפרמיונים, שהם חלקיקי החומר. מצד ימין היבוזונים, שהם הכוחות השונים (ללא כבידה, שאותה עדיין לא הצליחו להכניס באותה מסגרת תחת תורת השדות הקוונטים) וכן את ההיגס.

בשורה העליונה משבצת הלבנה ובה מקרא.

בחלק העליון של כל משבצת מצוין המסה של כל חלקיק. היחידה שמשתמשים בה בפיסיקה של החלקיקים היא האלקטרון וולט (eV).

וה- M מייצג מגה. לדוגמה, מסת האלקטרון היא קצת יותר מחצי מגה אלקטרון וולט. או MeV בקיצור.

מתחת למסה מצוין המטען האלקטרומגנטי של כל חלקיק. מטען האלקטרון הוא כידוע 1- ומטען הקוורקים הם שברים :  $2/3$  לט  $1/3$ -  
down

מתחת למטען מצוינת תכונה נוספת של החלקיקים - ספין. זוהי התכונה המבדילה בין הפרמיונים לבוזונים. לכל הפרמיונים ספין  $1/2$ , נשאי הכוח (gauge bosons) מתאפיינים בספין 1, ולהיגס ספין 0<sup>33</sup>.

הטבלה מסודרת בצורה מקננת כך שכל כוח מקיף את חלקיקי החומר שעליו הוא משפיע. לקוורקים יש מטען גם של הכוח החזק, גם של הכוח האלקטרומגנטי, וגם של הכוח החלש ולכן מוקפים על ידי שלשתם. לאלקטרון, לעומת זאת, אין מטען של הכוח החזק ולכן נמצא מחוץ להיקפו של הכוח החזק.

לפטונים אלה חלקיקי החומר שאינם מרגישים את הכוח החזק (כלומר, החלקיקים שאינם הקוורקים) אשר האלקטרון הוא אחד מהם.

עוד חלקיק שדיברנו עליו היה הניטרינו הקטן וחסר המטען.

אפשר לראות שכתוב במשבצת שלו שמסתו קטנה מ-2.2 אלקטרון וולט (בלי מגה) והמטען שלו שווה ל-0.

---

<sup>33</sup> הרחבה בנושא בנספח הבא.

מכיוון שאין לו מטען חשמלי הוא אינו מדבר עם הפוטון (הנשא של הכוח האלקטרומגנטי) ולכן נמצא כאן מחוץ למסגרת של הכוח האלקטרומגנטי.

אבל הוא כן משתתף, יחד עם כל שאר החלקיקים, באינטראקציות של הכוח החלש, שהנשאים לו הם חלקיקי ה  $Z$  ו  $W$ .

מה עושה הכוח החלש? בקצרה נאמר שהוא אחראי על סוג מסוים של דעיכה ראדיאקטיבית המכונה קרינת בטא.<sup>34</sup>

מה שמפתיע, ואין לנו עדיין הסבר עליו, הוא שקיימים 3 העתקים של הפרמיונים.

כל ימשפחה או ידור, כפי שהם מכונים, הוא העתק של הדור הראשון, חוץ מהמסה.

אפשר לראות כאן לדוגמה את המיואן, הבן דוד השמן של האלקטרון. יש לו אותו מטען ותכונות כמו האלקטרון, רק המסה לו בערך פי 200.

גם בקוורקים יש מנעד גדול מאוד של מסות. הקוורקים  $u$  ו  $d$  בעלי מסות של כמה MeV בודדים, ולעומתם לקוורק  $t$  יש מסה של 173 GeV. כמעט פי 200,000 יותר.

---

<sup>34</sup> להרחבה ראו מאמרי ימיקומו של גן עדן.

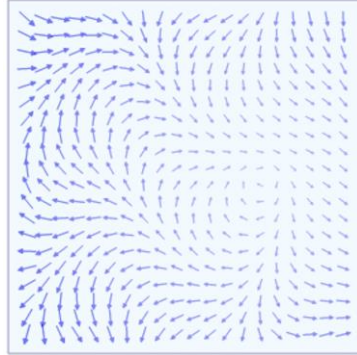
## ההבדל בין השדות

בגוף המאמר דיברנו על שדות מסוגים שונים: השדות שבבסיס הכוחות, השדות שבבסיס החומר וכן על שדה מיוחד שקראנו לו היגס. הצד השווה שבכולם שאצל כולם היחלקיקי הוא בעצם עירור של השדה, וכן אצל כולם לחלקיקים מצד עצמם אין מסה, ורק השאלה האם ובאיזה מידה יש לשדה קישוריות לשדה ההיגס היא אשר קובעת האם וכמה מסה תהיה לו.

אז מה כן ההבדל בין השדות השונים?

נתחיל בהבדל בין שדה ההיגס לשדות הכוחות, שדה ההיגס הוא הכי פשוט – יש לו ערך מספרי אחד בכל נקודה במרחב. דוגמה דומה היא למשל הטמפרטורה באטמוספירה – בכל נקודה במרחב תהיה מספר כלשהו שהיא הטמפרטורה באותה נקודה (שדה כזה מכונה שדה סקאלרי).

לעומת ההיגס, שדות הכוח הינם שדות ווקטורים. בכל נקודה במרחב קיים ווקטור בעל מספר ערכים, כמו חץ בכיוון מסוים. דוגמה לשדה ווקטורי היא הרוח באטמוספירה בכל נקודה במרחב יש ווקטור המצביע על גודל וכיוון הרוח.



שדות החומר הם משהו ביניים. ובשביל להבין אותם קודם צריך להבין איך סקאלר ווקטור משתנים כאשר מסובבים אותם. סקאלר הוא, כאמור, הכי פשוט: הוא אינו משתנה לא משנה איך מסובבים אותו. למשל הטמפרטורה בנקודה מסוימת תהיה אותה טמפרטורה לא משנה כיצד ומאיזה כיוון מסתכלים על אותה נקודה או אם מסובבים את הנקודה סביב עצמה. ווקטור, לעומת זאת, כן תלוי מאיזה כיוון מסתכלים עליו או האם מסובבים אותו. אם מסובבים ווקטור ב-180 מעלות הוא יצביע על הכיוון ההפוך למה שהצביע מתחילה. אם מסובבים את הווקטור 360 מעלות הוא יחזור להצביע באותו כיוון כבראשונה.

שדות החומר נקראים פרמיונים. להם תכונה משונה שכאשר מסובבים אותם 360 מעלות הם הפוך ממה שהיו מתחילה. כדי להחזיר פרמיון לאותו מצב יש לסובבו 720 מעלות.

בזכות תכונה מוזרה זו חלקיקי חומר לא יכולים להיות באותו מצב. לדוגמה 2 אלקטרונים לא יכולים להיות באותה רמת אנרגיה של אטום (ובזכות זה יש כימיה ויש חיים).

למה 2 פרמיונים לא יכולים להיות באותו מצב? כי מקבלים סתירה לוגית: ראשית, יש לדעת כי כל החלקיקים הקוונטים הם ממש אותו חלקיק. לא כמו 2 גולות זהות, אשר דומות במראה אבל לכל אחת יש זהות פנימית משלה, אלא חלקיקים קוונטים ממש אותו חלקיק. לכן, מצד אחד, אם נחליף בין 2 חלקיקים קוונטים זהים נקבל בעצם אותו מצב כבתחילה כי למעשה לא עשינו כלום, החלקיקים אותו דבר. מצד שני, אם מחליפים 2 פרמיונים זה כאילו סובבת ב-360 מעלות (הסבר באיור) ואז המצב הוא הפוך ממה שהיה בתחילה.

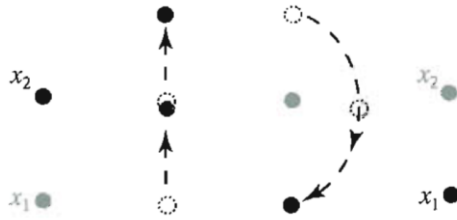
כיצד זה יכול להיות שהמצב הכולל של 2 הפרמיונים הוא מצד אחד זהה למה שהיה קודם (בגלל שהחלקיקים זהים) ומצד שני הפוך ממה שהיה קודם (בגלל שהם פרמיונים)? המוצא היחיד הוא ש-2 פרמיונים לא יכולים להיות באותו מצב.

בזכות עובדה זו האלקטרונים שסביב האטומים לא כולם מתגודדים סביב גרעין האטום, אלא האלקטרון הראשון תופס את רמת היסוד ואחריו תופסים רמות גבוהות וגבוהות יותר. אם כל האלקטרונים היו מתיישבים על רמת היסוד הכימיה הייתה דלה עד בלתי קיימת, ואתה הביולוגיה והחיים.

איור<sup>35</sup> המראה שהחלפת 2 חלקיקים שקול לסך סיבוב של 360 מעלות:

---

<sup>35</sup> מתוך הספר QFT and the Standard Model M. Schwartz.



שלב 1 (שמאל): החלקיק השחור ב  $x_2$  והאפור ב  $x_1$  .

שלב 2: הסחה של 2 החלקיקים יחד למעלה (הסחה יחד לא משנה כלום).

שלב 3: סיבוב של המערכת ב 180 מעלות על הציר של החלקיק האפור. יוצא כי כל חלקיק מסתובב ב 180 מעלות, סה"כ סיבוב: 360 מעלות.

שלב 4: התוצאה היא שהחלקיקים התחלפו: כעת החלקיק השחור ב  $x_1$  והאפור ב  $x_2$  .

קיבלנו אם כן שהחלפת חלקיקים זהה לסיבוב של 360 מעלות.