

מאמר זה הוא השני בסדרה של שמונה מאמרים בנושא אנרגיית ההיתוך שכתבו תום תמרקין ופאט בון, בשיתוף פעולה, כדי לדבר אל אזרחי ארה"ב... למעשה לכל אזרחי העולם... וזאת, על הגורל האומלל של פיתוח אנרגיית ההיתוך והצורך להחיותה ולסיים את המלאכה. תחילה, כתב תום תמרקין את המאמרים הללו, אך אלו נחשבו למדעיים ו"כבדים" יתר על המידה, למי שאינם מדענים. בפברואר 2011 פנה מר תמרקין למר בון וזה הסכים לערוך את גרסת המקור, להכניס בה נופך אישי ולפרסם את המאמרים בטורי החדשות השבועיים שהוא מקיים בערוצי תקשורת שונים. המאמרים מבוססים על ארבע שנות מחקר אינטנסיבי וראיונות עם מדענים בתחום הפלזמה בעלת האנרגיה הגבוהה והיתוך וביקורים בכל המעבדות המובילות בתחום ההיתוך.

היתוך: התשובה של הטבע לבעיית האנרגיה

פורסם ב-7 במאי 2011

אני מקווה שאתם מבינים כמה אתם מיוחדים.

- דאגה לנוחיות האדם והישרדותו בכל תנאי מזג אוויר.

בכל דרך בה נוצר היקום – בין אם על פי ההשקפה המאוחרת של ה"מפץ הגדול" או התיאור המעמיק של ספר בראשית כאשר אמר הבורא "יהי..." – ידוע לנו שלכדור הארץ יש שלושה מקורות אנרגיה, שהם תוצר של שני תהליכים מדעיים בסיסיים. ושלושה המקורות הללו הם **אטומיים מטיבם**.

אחת, כדור הארץ הוא מיוחד מבחינת החיים שיש עליו, כפי שאנו מכירים אותם ואשר מקור האנרגיה שלהם הוא הפוטוסינתזה, מאנרגיה שנוצרה על ידי השמש. האנרגיה העצומה הזו שבשמש נוצרת מהיתוך של מימן להליום – והאנרגיה שמשחררת בתהליך זה. מדענים רבים מתארים את כדור הארץ כסוללה אורגנית ש"הוטענה ומוטענת" על ידי השמש, במהלך כל קיומם, במסגרת מה שאנחנו מתארים כמערכת הסולרית.

שתיים, כדור הארץ ייחודי מבחינת הכמויות הגדולות של יסודות כבדים, בקיעים, המתקיימים בטבע – כגון אורניום ותוריום. יסודות אלו נדירים מאוד במקומות אחרים ביקום, שם המימן וההליום מהווים עד 99 אחוזים מהיסודות הזמינים.

אני מבין זאת כאשר אני חושב על הכדור הזה שמסתובב על צירו ושעליו אנחנו חיים. אני בטוח שאתם מבינים כי כדור הארץ המבורך שלנו הוא חלק ייחודי ביקום מכוון היטב והוא עצמו מכוון היטב. כפי שאמר אלברט איינשטיין באחד מהגיגיו: "כדור הארץ אינו מקרי; מבחינה מדעית אין להעלות זאת על הדעת."

בכל מחקרי החלל החדשים שלנו לא התגלה אף לא כוכב אחד אחר שתוכנן בצורה כה מופלאה, עם תנאים ליצירת חיי אנוש והתפתחותם. האדם, מכוח תבונתו וכושר החשיבה שלו, נבדל משאר צורות החיים. האדם שולט בחייו, בנפרד מסביבתו, בעוד שכל צורות החיים האחרות צריכות להתאים עצמן לסביבתן והיא שולטת בהן.

מרכיב בסיסי ביכולתו של האדם לשלוט בחייו הוא **הגישה לאנרגיה**.

ככל שיותר בני אדם מצטופפים בכוכב המיוחד שלנו, כך יש לפתח יותר אנרגיה ולהפכה לזמינה. בהחלט יש צורך באנרגיה למטרות הבאות:

- חקלאות, בכל הצורות ולייצור מי שתייה;
- תחבורה;
- ייצור כל המוצרים והסחורות הדרושים לבני אדם;

שלוש, כדור הארץ ייחודי מבחינת הכמויות הגדולות של "דאוטרונים" או אטומי מימן כבד ברחבי היקום, כמעט כל 2 מתוך 100,000 אטומים של מימן הם דאוטרונים, אך על פני כדור הארץ היחס הוא 1 ל-5,500. רק באוקיינוס השקט מצויים אטומים מיוחדים אלו בכמות של 10^{42} בקירוב.

אולי בצדק אתם שואלים כעת... "במה מדובר, פרופ' פט?" אני אומר לכם. מדובר בהישרדות האדם על פני הכוכב המיוחד הזה. למדתי עם קבוצת מדענים ופיזיקאים על שלושה מקורות אנרגיה אלו, שבהם תלוי עתידנו. רק אחד מהם הוא תקוותנו הסופית.

התשובה השלישית לבעיית האנרגיה, זו שאנו מכירים, אבל הגרועה ביותר, היא אנרגיה המופקת מתגובות גרעיניות היוצרות חום על ידי "בעירה" של דלקי מאובנים פחמניים. דלקים אלו נוצרו באמצעות פוטוסינתזה בשילוב תהליכים בחיי הצמח והחי, מאנרגיה שסיפקה השמש. על אף שיש מדענים המעריכים כי הסלע שאנו מכנים כדור הארץ הוא בן 4.6 מיליארד שנים – יש המזהירים אותנו כי בתקופת 300 השנים שאנו חיים בה כעת יכלו המאגרים השמישים של דלק מאובנים.

אין ספק כי חובה על האדם, במהלך הזמן שנותר לנו, לנצל את תבונתו וכושר החשיבה שלו כדי להשתלט על התשובה השנייה והראשונה לבעיית האנרגיה – זאת מכיוון שדלקי מאובנים הם סופיים, אין להם תחליף ואי אפשר לייצרם שנית.

מתחילים להבין את התמונה?

התשובה השנייה – שהיא בגדר בחירת ביניים - היא אנרגיה שנוצרת בריאקציה אטומית של ביקוע יסודות כבדים כגון אורניום, יסוד מספר 92, איזוטופ מספר 235, או תוריום, יסוד מספר 90, איזוטופ מספר 232. זה ממש "סינית" בשבילי, ממש לא התחום שהוכשרתי לעסוק בו, אבל אני רוצה ללמוד מה שאני יכול ללמוד, כל עוד אנחנו יכולים.

תוריום 232 מצוי יחסית בשפע על פני כדור הארץ. אורניום 235 נדיר הרבה יותר. מעריכים כי על פני כדור הארץ יש מספיק תוריום 232 שמיש לסיפוק צרכי האנרגיה של ארה"ב, ברמה הנוכחית, ל-1,000 השנים הבאות. אבל מדובר בארה"ב בלבד, שהיא חלק קטן מהכוכב הזה.

יחד עם זאת, ביקוע יסודות בריאקציה אטומית מעשי ידי אדם מנוגדת לטבע ולדרך בה נוצר היקום שלנו. בין אם מאמינים שהעולם נברא בידי האל או בעקבות אירוע אקראי של "מפץ גדול", המדענים היהודים והנוצרים מהם למדתי הראו לי שהיקום וכדור הארץ שלנו נבראו בתהליך היתוך. הבריאה היא תהליך של בנייה על ידי שילוב יסודות, לא הפרדתם.

הפרדת אטומים גורמת לבעיות רבות, כגון קרינה גרעינית, פסולת רדיואקטיבית ומסוכנת, המתקיימת זמן רב, ריאקציות שרשרת אפשרויות של פיצוצים, התכת ליבות כורים (כמו בפוקושימה ו'צרנוביל) ושימוש לרעה באנרגיה אטומית לצרכי מלחמה והשמדה.

מהי אם כן התשובה בה נבחר? ... מהי ברירתנו היחידה?

התשובה הראשונה ותקוותנו היחידה בטווח הרחוק היא אנרגיה שנוצרת בתהליך של היתוך גרעיני, שבו שני יסודות אטומים קלים מותכים לאטום מעט כבד יותר, כאשר בתהליך זה משתחררת אנרגיה דינמית. למדענים (ואני איני כזה), דוגמא מוכרת היטב ומובנת היא ריאקציית ההיתוך הבאה: $D + T \rightarrow He4 + n$ (הליום) (3 מימן) + (2 מימן) D (נייטרון) + n (יחידות אנרגיה) $+17.6 \text{ MeV}$ ישנן תגובות היתוך רבות אחרות, לכל אחת מהן יתרונות וחסרונות משלה.

נראה שזהו ה"תהליך" בהא הידועה, ה"מפץ הגדול" אם תרצו, שבו האל החל – או ברא – את כל מה שאנחנו מכירים.

זה גם התהליך הבסיסי של השמש, היוצרת אנרגיה שנותנת לנו חיים עכשיו.

זו הנקודה העיקרית: לכדור הארץ שלנו יש מספיק מימן (דאוטריום) כדי לספק אנרגיה לעולם כולו, פשוטו כמשמעו, לנצח.

לכן היתוך גרעיני מבוקר הוא הבחירה הראשונה, התשובה של הטבע לבעיית האנרגיה, מכיוון ש:

- היא עולה בקנה אחד עם חוקי הבריאה של היקום;
- אין בה אף אחד מההיבטים השליליים הקשורים לביקוע, או הפרדת אטומים;
- זהו למעשה מקור בלתי מוגבל של אנרגיה זולה (כאשר זה יפותח ויופעל), המסוגל לספק 100 אחוזים

מדרישות האנרגיה השנתיות והרציפות של כדור הארץ.

מחשבה לסיום. לבעלי החיים ולבני האדם תכונות שונות, "נפש" ו"נשמה". נפש היא האינסטינקט של בעל החיים להישרדות, נוחות ורבייה. הנשמה היא בעלת אופי נעלה יותר, השתקפות של האל עצמו. הנפש רואה את התמונה הגדולה יותר ומבינה כיצד כולנו קשורים ותלויים איש ברעהו. לנו, לבני האדם נפש ונשמה כאחד – לעתים קרובות מתנגשות זו בזו.

נצטט מדברי [המדען/המחבר הדגול ד"ר ג'ארלד שרדר](#): "כשהנפש והנשמה פועלים יחד, ניתן להשיג מטרות נעלות".

זו תקוותי בכותבי מאמר זה.

תום תמרקין הוא המייסד והמנכ"ל של USCL and EnergyCite®. בשנות השבעים למד לתואר ראשון באוניברסיטת Northern Arizona. החוג הראשי שלו היה פיזיקה והחוג המשני כימיה ומתמטיקה יישומית.



לזכותו נרשמת המצאת ה"מד החכם" לרשת החשמל, בשנת 1991... הרבה בטרם מושג הרשת החכמה הפך לפופולרי. בשנת 1992, פורסמה כתבה בכתב העת *Public Power Magazine*, ששימשה כבסיס ל"מד החכם", שהוא כעת המרכיב העיקרי בתוכנית התמרוץ והמענק לצרכני חשמל של מחלקת האנרגיה של ארה"ב, כאשר הדגש הוא על שימור אנרגיה ומודעות. תום מחזיק בחמישה פטנטים שקיבל בנושא מערכת המד החכם וכעת יש לו בקשות פטנטים המחכות לאישור. תום מתגורר בקרמייקל, קליפורניה, עם אשתו מזה שלושים שנים, אמילי.

פאט בון הוא אגדה הוליוודית מהלכת בתחום אמנות הבימה ונמנה עם צאצאי החלוץ האגדי,



דניאל בון. פאט מכר למעלה מ-45 מיליון אלבומים, 38 משיריו הגיעו למקום הראשון במצעד "ארבעים להיטי הצמרת". הוא כיכב ביותר מ-12 סרטי פעולה בהוליווד. הוא סיים בהצטיינות יתרה את לימודיו באוניברסיטת קולומביה, בניו-יורק, בשנת 1958. פאט ידוע בשל דבקתו בערכים שמרניים, דבר שתרם לפרסום ולפופולאריות שלו מראשית עידן הרוק אנד רול ועד ימינו. כיום הוא עדיין פעיל בטלוויזיה ובחוגים בהם הוא נושא נאומי מוטיבציה בנושאים שונים. בשנים האחרונות, מפרסם פאט מאמרים וספרים והוא מנהל מותג תקליטים משלו בשם Lion & Lamb. ספרו הראשון של פאט, "Twixt Twelve and Twenty", בהוצאת Prentice Hall, הגיע למקום הראשון ברשימת רב המכר בארה"ב. פאט מתגורר בבורלי הילס, קליפורניה, עם אשתו מזה 59 שנים, שירלי.

