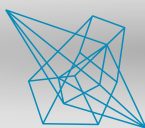
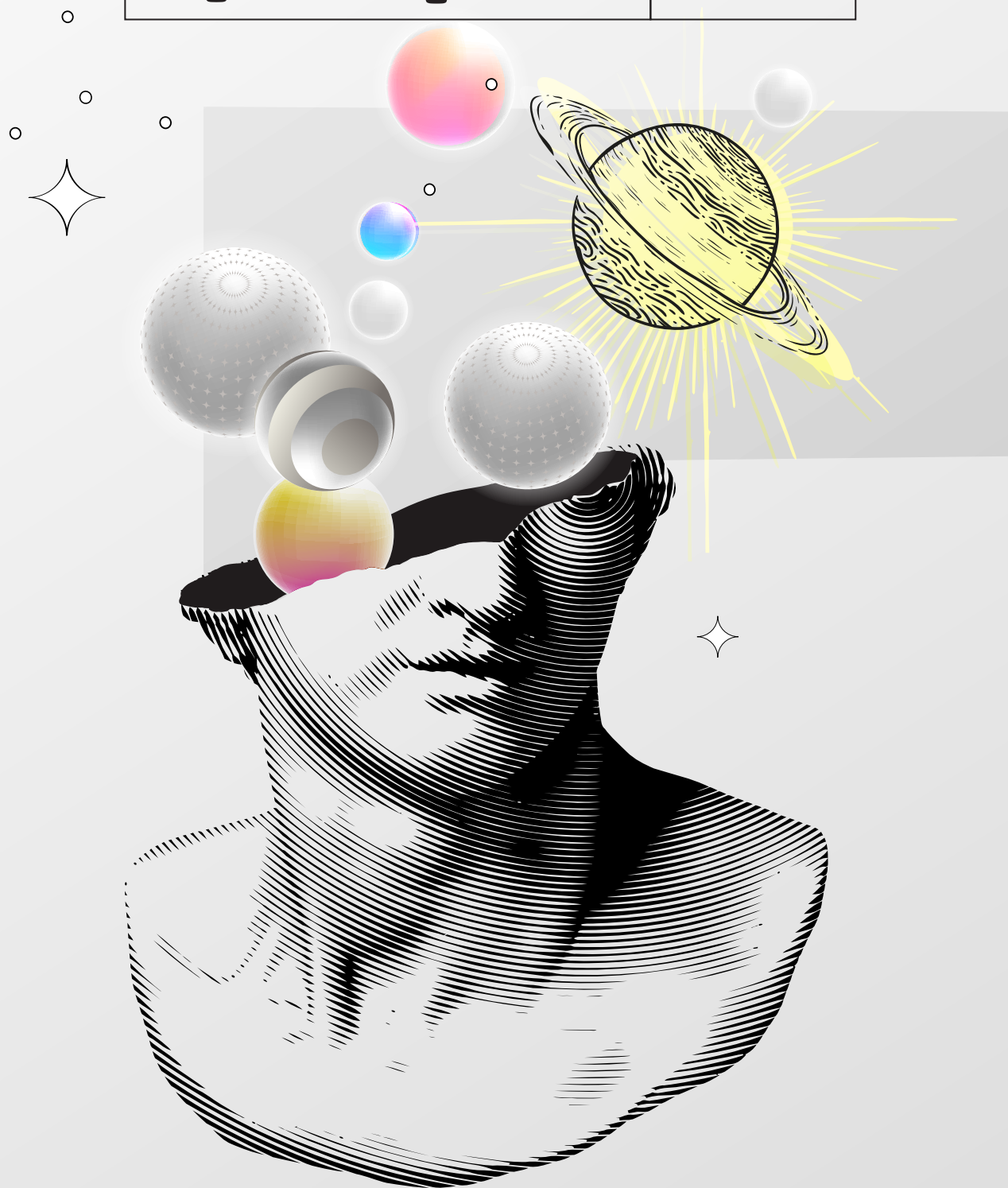


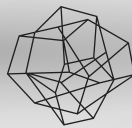
כתב העת של רשת אסכולה | אפריל 2020

# עיין ערך:

# 01



אסכולה  
רשת הבוגרים



מרכז מדעני העתיד  
MAIMONIDES FUND

<b>עיון ערן:</b>	<b>01</b>
------------------	-----------

- 03** דבר המערכת
- 04** הכירו את המערכת
- 05** אנרגיה אפלה ואנושות מזוייפת:  
למה ואיך צריך להשמיד את היקום  
איתי בלוך
- 07** בשבח חוסר ההכרעה  
שלו אלי
- 10** אקראיות הקרדיט - מקרה בוחן  
אופיר טל פרידמן
- 12** INFINITY  
אלכסנדרה דנישבסקי
- 13** הפרדוקס של מנון ומגבלות המתמטיקה  
נמרוד נקדימון
- 17** ימי לפני המוהר  
תומס מור | תרגום: נמרוד נקדימון
- 18** על חיות ומחלות  
יהונתן בן סימון
- 20** וילהלם רנטגן - פרס נובל לפיזיקה 1901  
איל וולך
- 23** נוזלים יוניים  
רון רפאלי
- 25** PROF. MARSTON AND THE WONDER WOMEN  
המלצה על סרט - איתמר דריימן

+

**קריקטורה**  
יונתן שוקרון  
ע"מ 9

+

**יצירה**  
ליאת בר  
ע"מ 22

# דבר המערכת

עד לא מזמן, העולם האקדמי היה שונה מאוד. הקבלה לפקולטות המדעיות באוקספורד בשנת 1900 דרשה בעיקר שליטה ביוונית, לטינית והיסטוריה. בגרמניה של תחילת המאה ה-20, פרופסורים היו דמויות מרכזיות בהשפעתן על דעת הקהל, והסטודנטים של מקס ובר היו נקהלים באלפיהם לשמוע את נאומיו על הקפיטליזם כביטוייה המחודש של הרוח הפרוטסטנטית. במאה ה-18, הנער הסקוטי דיוויד יום טייל באירופה במטרה לדבר עם כמה שיותר מלומדים. בגיל 23 הוא כתב את "מסכת טבע האדם", אחד הטקסטים הקאנוניים של המטאפיזיקה. תלמידו אדם סמית' כתב את "עושר העמים", החיבור שייסד את הכלכלה המודרנית.

קשה לדמיין דברים כאלה קורים היום, במידה רבה בשל החלוקה החדה של הידע האנושי לתחומים ולתתי-תחומים, חלוקה שנראית בעת הזו מובנת מאליה. לפני שנים לא רבות, חוקרים ברוב התחומים יכלו לקרוא ולהבין במידה מספקת מחקרים מרוב התחומים, לטוב ולרע. היום, באופן כמעט פרדוקסלי, ככל שאנו הולכים ומעמיקים בתחומינו, אוצר המילים המשותף שלנו קטן. למי מאיתנו שיזכה לעסוק כל חייו במחקר יהיו לעיתים קרובות פחות ממה קולגות בשבע יבשות. אין לנו עניין או יומרה לשפוט את האופן שבו מתנהל העולם האקדמי, וסביר להניח שמדובר בהתפתחות מתבקשת לאור ריבוי הידע, שאין לו אח ורע בשום תקופה, אך הפירוז הזה של שטחי מחקר עוקר מהשורש את השיח של קהילת החוקרים בכללותה; ובביטולו המקיף של דיון חובק דיסציפלינות מובלעת ההנחה שאין לעוסקים במחקר ובמדע, ולאנשים משכילים בכלל, תחומי עניין משותפים מכוח עיסוקם.

על כן, נשאלת השאלה מה בכלל קושר בין חוקרים מתחומים שונים, אם קיים דבר כזה. פעם, כאמור, ענפי הידע היו נגישים יותר ומועטים, אך אולי חשוב מכך, ההשכלה, שהיוותה תנאי בסיסי לעיסוק רציני בכל תחום, הייתה רחבה בהרבה. חוקרים ידעו לטינית, ובמקרים רבים גם יוונית, וקראו רבות מהיצירות הגדולות של העולם העתיק ושל תקופתם. הם אוחדו על ידי טקסטים יותר מכל דבר אחר. ואם בעינינו אין זה מידתי לייחס חשיבות שכזו לטקסטים - שהרי מדובר באנשים שמרכז עיסוקם לעיתים קרובות לא היה טקסטואלי - הרי שהמצב שאנו נקלענו אליו נדמה לא מידתי אף הוא. ההשכלה הכללית שאנחנו רוכשים בבתי הספר דלה מאוד, וגם בתום 12 שנות לימוד קשה לראות בטקסטים שקראנו בבית הספר גורם מלכד. למדנו אולי 20 שירים, ועל פילוסופיה בכלל אין מה לדבר. במקרים רבים אפשר לספור על יד אחת את כמות הספרים שקראנו שנכתבו לפני מלחמת העולם הראשונה. בסופו של יום ושל מסלול רציני במערכת החינוך, רובנו יודעים יותר מתמטיקה מכל פרופסור בתקופת הנאורות, אבל מתמטיקה ומפואטיקה אין לנו מושג.

ומה לכל זה ולרשת? ובכן, אותה שאלה בדיוק נשאלת עלינו: מה עושה אותנו לקהילה, באותו מובן שהקהילה המדעית נקראת קהילה? השתתפנו בתיכון בתוכניות מצוינות, וחלקנו מגיעים לאירועים של הרשת, פיזית או וירטואלית. אבל ממש כמו שהמדענים ההם התגבשו סביב שיח פנימי, כזה שנע על הציר שבין עולם מושגים ייחודי להם ובין יצירות קאנוניות, גם אנחנו יכולים להיתרם רבות משיח פנימי שכזה. כמוהם, אנחנו יכולים להיחלק על סמך העמדות שלנו בנוגע לקיומם המציאותי של המספרים, או של היופי, בנוגע לתיאוריות עדכניות, לסרטים או לספרות. זו מטרתו של כתב העת - להוות במה לשיח מעמיק שיהיה ייחודי לאסכולה. מטבע הדברים יש כאן עיסוק רב במדעי הטבע ובתחומי המחקר של הכותבים, ולצידם עיסוק ענף במדעי הרוח. לא בכדי הדגשנו את תפקידם כעמודי התווך של הקהילה המדעית דאז - בלעדיהם, קשה מאוד להבין את ההקשר הרעיוני שבתוכו אנו פועלים. מהדורה ראשונה זו של כתב העת מדגימה היטב את רוחב הדיון שכיוונו אליו - תוכלו למצוא כאן מאמר על ניטשה, מחקר על אנרגיה אפלה, קטעי שירה אנגלית ועוד. אנו מקווים שהשיח שנוצר כאן יהדהד הרבה מעבר לגבולות הגיליון, ובמהרה יהפוך לחלק בלתי נפרד ממה שעושה את רשת אסכולה למה שהיא. קריאה מהנה.

# הכירו את המערכת

\*המשתתפים מוצגים לפי סדר ה-א"ב



**איתמר דריימן**

למד פילוסופיה באוני' ת"א וחוזר בשנה הבאה כדי להמשיך את התואר. כותב שירה ופרוזה קצרות, מסיים לערוך את ספרו בימים אלה. מנהל (יחד עם שלו אלי) את הסטודיו, קהילת היוצרים של רשת אסכולה.



**אופיר טל פרידמן**

מגוייס טרי לצה"ל וסטודנט לתואר מתקדם בפיזיקה באוניברסיטת תל אביב. חוקר פיזיקה מחוץ לשיווי משקל וחומר רך עם פזילות לביופיזיקה.



**נמרוד נקדימון**

מלש"ב. למד מדעי הרוח ביאס"א וכתב עבודת גמר על חוש הומור כמידה טובה לפי האתיקה של אריסטו. מתעניין במיוחד בפילוסופיה יוונית ובשירה אנגלית.



**דניאל חרסונסקי שריד**

לומדת רפואה ומדעי המחשב במסלול צמרת באוניברסיטה העברית, אוהבת לקרוא, ללמוד (מי לא?) ולרקוד.



**גולן הופמן**

ש"ש בחווה תעסוקתית לאנשים עם צרכים מיוחדים. כתבה עבודת גמר על חומר שמרחיב עורקים. מתגייסת לקורס פראמדיקים. מתעניינת בביולוגיה ובמחול.

מעוניינים לכתוב לגיליון הבא של עיין ערך?  
שלחו את הצעתכם לכתובת המייל:  
[HaAscolaPaper@gmail.com](mailto:HaAscolaPaper@gmail.com)

# אנרגיה אפלה ואנושות מזוייפת: למה ואיך צריך להשמיד את היקום?

## מאת איתי בלוך

### אנרגיה אפלה, מקומה של האנושות בפיזיקה, מוחות קוונטים בוואקום

ואקום הוא למעשה מילה נרדפת למילה כלום. הוואקום הוא מה שנקבל אם נוציא את כל החלקיקים מנפח מסוים. ברמה האינטואיטיבית, בכלום... אין כלום. אבל אחת התחזיות המעניינות של תורת השדות הקוונטית היא שגם בוואקום חלקיקים ואנטי חלקיקים כל הזמן נוצרים ומושמדים. התהליכים הללו מייצרים מצב לא אינטואיטיבי, שבו גם לוואקום או "כלום" יש אנרגיה ממוצעת. הצפיפות של אנרגיית הוואקום נקראת "הקבוע הקוסמולוגי". כמה באמת קבוע הקבוע הקוסמולוגי? בעבר חשבנו שהוא צריך להיות תכונה יסודית של היקום - קבוע בזמן ובמרחב, אך כפי שאסביר במאמר זה, כיום אנחנו כבר לא בטוחים שזה המצב.

על פי תורת היחסות הכללית, אנרגיה מעקמת את המרחב, ובפרט, קבוע קוסמולוגי חיובי גורם להתרחבות מואצת של היקום. ככל שהקבוע הקוסמולוגי גדול יותר, כך ההתרחבות מהירה יותר. המקור של 70% מצפיפות האנרגיה ביקום אינו מובן לנו, ואנו מכנים רכיב זה של צפיפות אנרגיית היקום בשם "אנרגיה אפלה". התיאוריה המובילה להסבר של מקור האנרגיה האפלה משייכת אותה לאנרגיית הוואקום והקבוע הקוסמולוגי (אם כי גם זה חלק קטן מתיאוריה מפורטת יותר, שתהיה חייבת לכלול כבידה קוונטית שעוד איננו יודעים לתאר). כל זה מוביל אותנו לאחת הבעיות הגדולות ביותר בפיזיקה המודרנית, "בעיית הקבוע הקוסמולוגי": התחזית שלנו לגבי מה שצריך להיות הקבוע הקוסמולוגי גדולה בערך ב-120 סדרי גודל מהערך האמיתי. לשם המחשה, 120 סדרי גודל זה יותר מהיחס בין הנפח של כל היקום הנראה ובין אטום מימן אחד. במילים אחרות, היקום מתרחב הרבה הרבה יותר לאט ממה שהיינו מצפים.

אחד הפתרונות המוכרים יותר לבעיית הקבוע הקוסמולוגי הוצע על ידי סטיבן ויינברג לפני כ-30 שנה ומשתמש ב"עיקרון האנתרופי" [הערה: אין קשר למילה אנטרופיה]. באופן בסיסי העיקרון האנתרופי אומר שלא ניתן להתייחס אל קיום האנושות כאל דבר מובן מאליו. איך זה רלוונטי לקבוע הקוסמולוגי? כדי להבין זאת, עלינו לדון תחילה בשאלה כמה גדול היקום שלנו.

בפתרון של ויינברג (כמו גם בפתרון המוצג בחלק השני של מאמר זה) לבעיית הקבוע הקוסמולוגי, היקום הינו מגוון וגדול הרבה יותר ממה שאנו מכירים. קוסמולוגים נוהגים לכנות בשם "היקום הנראה" את כל מה שאנו מסוגלים למדוד. בשל מגבלות יחסותיות, אור מאזורים ביקום שרחוקים מאיתנו בלמעלה מכ-13.8 מיליארד שנות אור לא הגיע אלינו עד היום בשל המהירות הסופית של האור, ולכן עד היום לא ראינו אותם. לכן למעשה ייתכן ש"היקום הנראה" הוא רק חלק קטן מהיקום "המלא", שהוא גדול הרבה יותר.

דמיינו שמיכת טלאים עצומה, שבכל טלאי, התכונות של היקום טיפה שונות. אף שבאופן נאיבי היינו מצפים שהקבוע הקוסמולוגי יהיה קבוע בכל היקום "המלא", מסתבר שהוא משתנה בין טלאי לטלאי. לפי הפתרון הנ"ל, הקבוע הקוסמולוגי הממוצע אכן תואם את התחזיות (גדול יותר ב-120 סדרי גודל מהקבוע שלנו), אך אין זה הכרח שבכל הטלאים הקבוע אכן יהיה כזה. כעת תצוץ הביקורת: אפילו אם אכן כך, מה ההסתברות שדווקא בטלאי שלנו יימדד קבוע קוסמולוגי יוצא דופן ורחוק כל כך (120 סדרי גודל) מהנורמה של הקבועים הקוסמולוגיים? כאן נכנס לתמונה העיקרון האנתרופי: מתברר שאם "יקום נראה" כלשהו (אחד הטלאים בשמיכה הגדולה) מתרחב מהר מדי, לא יכולים להיווצר בו כוכבים וגלקסיות, ולכן לא יכולה להיווצר בו גם אנושות. לפיכך, מה שהופך את הקבוע הקוסמולוגי הקטן למיוחד זה אנחנו! כל אנושות שאי פעם התקיימה או תתקיים תלויה בהימצאותו של קבוע קוסמולוגי קטן בטלאי שלה. לכן, בכלל לא מפתיע שזה מה שמדדנו אחרי הכול.

זה אולי נשמע כאילו הסיפור סופר ונגמר, והבעיה פתורה, אבל למעשה יש בעיה מאוד חמורה במה שתיארתי, והיא שהיקום חי לנצח. בפיזיקה קוונטית, חלקיקים ואנטי חלקיקים נוצרים ונהרסים כל הזמן, אך למעשה אין שום מניעה תיאורטית שמבנים גדולים יותר יופיעו לשבריר שנייה וייהרסו. בעצם, יש הסתברות (קטנה מהסיכוי שתזכו בלוטו מדי יום במשך מיליארד שנים), שמוח שלם יופיע, יחשוב "אני חושב משמע אני קיים", וייהרס. אם היקום חי לנצח, לא רק שזה יקרה, זה יקרה אינסוף פעמים. מוחות כאלו נקראים "מוחות בולצמן". ואז נשאלת השאלה: איך אתם יודעים שאתם לא מוח בולצמן? היקום אומנם נצחי, אך טווח הזמן שבו התנאים הפיזיקליים מאפשרים קיום של אנושות "אמיתית" (כזו שאינה פלקטואציה של הוואקום) הוא מוגבל וסופי (בין השאר בשל התגברות האנטרופיה - סוג של כאוס). אם אנושיות אמיתית נוצרות רק מספר פעמים סופי בהיסטוריה של היקום, אבל אינסוף מוחות בולצמן יופיעו בשלב זה או אחר, ההסתברות שאתם לא מוח בולצמן היא אפסית. בעיה זו היא תת-בעיה במה שנקרא "בעיית המידה" (שהיא שונה מבעיית המדידה). אז איך פותרים את הבעיה של הנצח? התשובה מאוד פשוטה: כל שצריך זה להשמיד את היקום.

### השמדת בעיית הקבוע הקוסמולוגי: בחירה דינמית של אנרגיה אפלה נמוכה

העיקרון הבסיסי של המודל שאני ועמיתיי הצענו, מכתוב שאזורים ביקום "המלא" עם קבוע קוסמולוגי גדול מושמדים ביקום המוקדם, ולמעשה לאחר מיליארדי שנים (= כיום), המקומות היחידים שנשארים הם כאלו עם קבוע קוסמולוגי קטן, כמו היקום שלנו.

<<<

כמובן שאנשים רבים ושונים חזו את סוף העולם, ולרוב לא פרסמו את תחזיתם בעיתון מדעי. מה שמייחד אותנו הוא (מעבר לעובדה שיש הרבה מתמטיקה שלא תיארתי מאחורי התיאוריה), שיש לנו תחזיות על דברים שאפשר למדוד שיאששו את התיאוריה. תחילה, אנו חוזים שבמאיץ החלקיקים הגדול בשוויץ, ה-LHC, נמצא בשנים הקרובות מדידות שהפיזיקה כפי שאנו מכירים אותה לא יכולה להסביר. בנוסף, אף שה"מים" גורמים לתופעה דרסטית, גם ה"אדים" מדידים, ואפשר לראות את ההשפעה שלהם על התפתחות היקום בעזרת טלסקופים שדרכם רואים אור שמגיע אלינו מן היקום המוקדם. לבסוף, כמובן שיש את התחזית שהיקום יושמד, אך מן הסתם אנו מקווים שתחזית זו לא תאושש בזמן הקרוב.

לסיכום, אני ועמיתיי מציעים מודל שבכוחו לפתור את אחת הבעיות הגדולות ביותר בפיזיקה המודרנית, בעזרת מציאת מנגנון שמשמיד אזורים ביקום אשר נראים שונים ממה שאנו רואים. המנגנון הוא בעל כמה תחזיות מעניינות, ויש גם כמה דברים נוספים שאפשר לחקור ולהסביר באמצעותו, כמו למשל את השאלה אם לכל יקום מושמד יש יכולת ליצור מפץ גדול חדש.

את המאמר המלא (המופנה לאנשים בעלי ידע ברמה גבוהה בחלקיקים ובקוסמולוגיה) ניתן למצוא בקישור:  
[arxiv.org/pdf/1912.08840.pdf](https://arxiv.org/pdf/1912.08840.pdf)

כדי להבין את המודל שלנו יש לדמיין שבכל היקום יש "אדי מים" (= תורת שדות קונפורמית בטמפרטורה סופית) שמקיפים אותנו, אך לא מתקשרים איתנו למעט דרך כוח הכבידה. כאשר אדים מתקררים ל-100 מעלות צלזיוס, משהו מיוחד קורה והם הופכים למים. אצלנו, כאשר היקום מגיע לטמפרטורה מספיק נמוכה (הרבה מתחת ל-100 מעלות צלזיוס), ה"אדים" שבתוכו הופכים ל"מים". הקבוע הקוסמולוגי ב"מים" הוא מספר שלילי, כך שבתהליך של הפיכת אדים למים, הקבוע הקוסמולוגי הופך ממספר שלילי לחיובי. כמו שקבוע קוסמולוגי חיובי גורם להתרחבות של היקום, כך קבוע קוסמולוגי שלילי גורם להתכווצות היקום, עד שהוא חוזר לנקודה יחידה ולמעשה מושמד.

כאשר היקום מתרחב, ה"אדים" מדוללים, ובכך מתקררים, ולכן ככל שהיקום מתרחב מהר יותר, כך ה"אדים" הופכים ל"מים" מוקדם יותר, והיקום מושמד מוקדם יותר.

לכן, 13.8 מיליארד שנים מאז שהיקום התחלק ל"טלאים", היקומים היחידים שנשארו הם אלו שבהם הקבוע הקוסמולוגי קטנטן, בדיוק כמו היקום שלנו. ומחר (או בעוד כמה מיליארדי שנים), גם ה"אדים" שלנו יהפכו ל"מים", ויתחיל תהליך שייגמר בהשמדת היקום כולו. תיאוריה חביבה בסך הכול, לא?



**איתי בלוח**, בוגר תוכנית אודיסיאה תל אביב. דוקטורנט. חוקר בתחום החלקיקים וקוסמולוגיה, עם נגיעות למידת מכונה ומחשוב קוונטי. מתאמן באקרובטיקה אווירית כשיש מרחב, וכותב מד"ב כשיש זמן. מתעניין במיוחד באיך היקום עובד ולמה. אם מישהו יודע, נא ליצור איתי קשר: [ItayBlochM@gmail.com](mailto:ItayBlochM@gmail.com)

# בשבח חוסר ההכרעה

## מאת שלו אלי

### שיר הלל לנווד

אשרי המבולבל,  
הוא שאינו יודע,  
שמטיל ספק,  
שלא מתפתה לגאווה התשובה  
ומקבל עליו את עול השאלה.  
הוא שאינו בטוח,  
שעומד תמה וסחרחר מול עולמו  
ולא טומן ראשו בספרים עתיקים  
ולא מתבצר בידיעה אלמותית.

כי כל היודע איבד את חירותו.  
כל המשוכנע בחד משמעי -  
מנוון הוא.

כל מי שמכיר את המוחלט,  
שפתר חידת הווייתו  
ופטרה מעליו,  
התדרדר להיות חפץ  
הממלא ייעודו  
ותו לא.

אך אנא, גם בהכירך בכך  
שאינ קצה לשבילי הארץ הזאת  
אל תשלים עם חוסר המהות.  
אל תאבד עניין בהשגת ייעודך.  
כי כך תאבד את הדרך היחידה להתעלות  
אל מעבר לקיום בעולם הזה.  
כך תיתן לו למשול בך, להביסך.

אל תיתן לו.  
גִּבֵר אתה עליו  
מרוד בו

בחיפושך הבלתי נלאה,  
בהתעניינותך הבלתי פוסקת  
בכל גווני העולם וסתריו,  
בנדודיך לעולמי עד.

תנו דעתכם על הפעם הבאה שתדברו או תתווכחו עם חבריכם על סוגיה כלשהי - פוליטית, חברתית, פילוסופית וכדומה. על פי רוב, כל אחד מהמשתתפים מגיע לשיחה עם עמדה מסוימת (או מגבש אותה תוך כדי דיבור) ומרגע זה מקדיש את מירב מאמציו להגנה על תפיסתו: אנחנו נעזרים באמצעים רטוריים ומבטאים מהלכי מחשבה, כל זאת כדי לחזק את צדקתנו. בוודאי! תענו רובכם, הרי בני אדם מטבעם רוצים להיות צודקים, ובכלל, מה פסול בניסיון של כל אחד מהצדדים לשכנע ולבסס את רעיונותיו?

אך האדם החושב, שלא מהסס להטיל ספק בנקודת מבטו, ויכול להבין שקיימת כאן בעיה מתחת לפני השטח. אומנם הפרקטיקה של הדיון והעימות נהדרת כשלעצמה ואף תרמה לאורך ההיסטוריה לליטוש התרבות והחשיבה האנושית, אבל אופי הדיונים מרמז על המגרעה העיקרית והכה נפוצה שלנו - הניסיון למצוא "אמת", להגן עליה בקנאות ולהישען עליה כפתרון בלעדי. אנו רגילים לחשוב מתוך מטרה להגיע למסקנה סופית חד-משמעית, לפענח את העולם ולהיאחז במסקנותינו לגביו. למעשה, ירשנו את הפרקטיקה הזאת ממסורת עתיקת יומין של התרבות המערבית, שבה מי שלא עקבי בדעותיו הופך למגוחך, ומי שלא מכריע בסוגיה מסוימת נתפס כלא ענייני. אך עלינו להיזהר מהנטייה הזאת, כי האמת האבסולוטית איננה אלא משענת קנה רצוף.

ראשית, נסתייג ונאמר לזכותה של התרבות המערבית שמאז ומתמיד היא נקטה במתודולוגיות שונות כדי לא להיות מקובעת, ואכן הצליחה בכך. בין השאר, היא הניחה את הדיון והספקנות כנר לרגליה. הדיון אמור לשמש ככלי להבעת תפיסות שונות, על מנת להימנע מהומוגניות מחשבתית. כך לדוגמה נהג אפלטון, ולכן כל כתביו חוברו כדיאלוגים. אפלטון האמין כי הפילוסופיה מתקיימת הלכה למעשה רק בדיאלוג, שכן דרך ביטוי זו מונעת קיבעון מחשבתי ומאפשרת התנגשות תפיסות המולידה את חקר האמת. המתודולוגיה השנייה שהוזכרה כאן היא הספקנות, שמוצאת את ביטויה המודרני הטהור אצל רנה דקארט. דקארט, בהגותו, מטיל ספק בכל טענה או מחשבה, אפילו הפשוטות והטריוויאליות ביותר, על מנת לכוון מהבסיס את "התבונה הטהורה".

כל זה נהדר, אבל הכלים האלה טומנים בחובם הנחה סמויה שיש לעקור מן השורש: ההנחה כי יש איזו אמת חד משמעית לגבי העולם, שהם נועדו לחשוף. בכך הם עלולים לעודד אותנו להיצמד לאותה "אמת" ברגע שאנחנו חושבים שמצאנו אותה. כלומר, השיטות הללו נועדו לכאורה להוליך אותנו לעבר יעד מסוים, אך מה אם אין יעד יחיד וברור? מה אם איננו אמורים ללכת בקו ישר, אלא לתעות אנה ואנה? שהרי ההליכה הנוקשה בעקבות תפיסה חד-משמעית מובילה לניוון ולשעבוד של רוח האדם, בעוד השיטות הנלהב האינסופי במרחב חסר הגבולות של האינטלקט, הוא-הוא מימוש חירות הרוח.

מי שהיטיב להבין זאת יותר מכול היה פרידריך ניטשה. בספרו "אנושי, אנושי מדי" הוא כתב כך:

"מי שקנה לו, ולו במידת-מה, את חירות התבונה, לא יוכל לראות עצמו עלי אדמות אלא כנווד, אם כי לא כנוסע בדרך אל יעד סופי: כי אין יעד כזה, ואף-על-פי-כן רוצה הוא להביט ולראות בעיניים פקוחות איזה מין דברים קורים בעצם בעולם; לכן אסור שתהיה נפשו כרוכה יותר מדי אחר כל דבר לחוד; בו עצמו חייבת להיות מעין נוודות, המוצאת את הנאתה בתמורה ובחלופיות. אדם כזה אמנם צפויים לו לילות קשים לפעמים [...]."

ובאמת, ניטשה לא הותיר לנו משנה סדורה; כתביו מלאים בגישות שונות ומגוונות. לעיתים מבקרים אותו על חוסר עקביות, אך זו למעשה מכוונת, מהותית, ובלתי נפרדת מהגותו. ניטשה אמר שאינו מאמין באף שיטה או תורה חד-משמעית. אידיאלים כאלה הם לטענתו אלילים שיש לנתץ. לעומת זאת, יש לקדש את החשיבה העצמאית האקטיבית, לשנות את דעותינו ולבדוק את כל מה שאנו מאמינים בו, כדי שלא תהיה לנו "אמת" יחידה להישען עליה. באחד ממכתביו כתב: "אם ברצונך להשיג שקט נפשי ואושר - האמן. אם ברצונך להיות תלמיד של האמת - חפש".

יש שיגידו כי עצם השימוש במונח "אמת" בעייתי כאן, משום שניטשה כופר בקיומה של אמת אבסולוטית, ועל כן עולות כמה שאלות: את מה אנחנו מחפשים? אם אין בכלל אמת שניתן להשיג ולהישען עליה, לשם מה החיפוש? האין זו שליחות חסרת מטרה? ומה תוקפו של מסע ללא יעד? על כך נענה שמושג האמת מקבל כאן משמעות רחבה יותר. הוא לא מתפוגג, אלא מתרחב. הוא הופך למרחב של גישות, דעות, אופני חשיבה, פרספקטיבות, עולם ומלואו שבו תועה האדם החושב, המנסה להתעלות אל מעבר לאפסות ולניווט שבהיצמדות לנקודת מבט אחת. כל עוד אנו תועים במרחבי החשיבה אנחנו חיים במלוא מובן המילה. לכן ניטשה אומר לנו לא לוותר לעולם ולהמשיך בהשתנות ובחיפוש הכמעט אבסורדי, אף שאין להם "יעד סופי".

כדי ליישם זאת הלכה למעשה, עלינו לקבל חשיבה מאתגרת אך מתגמלת בהרבה, שאינה מגיעה לנקודת הכרעה, אלא מערערת על רעיונותיה באופן מתמיד. עלינו להתרגל לדון עם עצמנו ועם סובבינו מנקודות מבט שונות ומתחלפות ולא לקפוא על השמרים. חוסר ההכרעה הזו הוא דרך חיים עבור האדם החושב, שלא מתפתה ל"גאוות התשובה" ומקבל עליו את "עול השאלה". באופן דומה, גם החיפוש אחר משמעות לחיים צריך להיות תמידי, ואל לו להגיע לנקודת מיצוי. ניטשה עצמו היה מאבות הפילוסופיה האקזיסטנציאליסטית (הקיומית), שבבסיסה הרעיון כי האדם הפרטי צריך לחפש בעצמו אחר מהות חייו, ואין לו אף מהות חיצונית מוכתבת מראש ("הקיום קודם למהות").

באופן מפתיע, רעיון חוסר ההכרעה נחל הצלחה כבירה רק בתחום ספציפי: ביקורת האומנות. בתחום זה נפוצה מאוד הטענה שהמשמעות שהייתה בראשו של היוצר אינה בהכרח המשמעות היחידה ליצירתו, שכן היצירה מתעלה מעל ליוצרה ולכן אנו מקבלים פרשנויות שונות שלה. ההוגים הסטרוקטורליסטיים היו אומרים שהמחבר של טקסט מסוים אינו מודע בעצמו למהותיותו ולמשמעויותיו, שכן את הללו הכתיבו לו הלכי הרוח התרבותיים של תקופתו. הפוסט-סטרוקטורליסטיים, עצמחו מהסטרוקטורליזם, הרחיקו לכת ואמרו שלטקסט מעולם לא הייתה ולא תהיה משמעות יחידה; משמעויותיו מתפשטות ומתחברות לאובייקטים נוספים הנמצאים מחוצה לו. דומה שהתרבות העכשווית התרגלה ל"מות המחבר" והפנימה אותו. אנו קוראים יצירה (לאו דווקא כתובה, אלא כל סוג יצירה) מתוך פתיחות למשמעויות מגוונות בה. רבים יגידו היום שאין פרשנות אחת נכונה ולכן יציגו בדבריהם פרשנויות שונות. למרות זאת, אנו מתקשים ליישם את אותה גישה כלפי המציאות. עלינו להפנים כי "מות המחבר" שניסח רולאן בארת הוא בן דודו של "מות האלוהים" הניטשיאני. אמירתו של בארת בדבר עצמאותו של הטקסט מחייבת אותנו להיות פתוחים לקבלת פרשנויות שונות שלו, ואף לתנועה ביניהן. באופן דומה, ניטשה מסביר לנו כי מרגע שאין יוצר לעולם, המכונן לו משמעות יחידה ואינהרנטית, אנחנו נידונים לנדוד לעד בין פרשנויות שונות של המציאות, ואל לנו להיאחז באחת מהן.

לסיום, ניזכר שוב באמירתו של ניטשה, "אם ברצונך להשיג שקט נפשי ואושר - האמן. אם ברצונך להיות תלמיד של האמת - חפש". מעניין לדעת שהפילוסוף רב ההשפעה הזו באמת לא זכה למנוחה ורוגע בחייו. יום אחד, בהיותו בן 45, טייל ברחוב ולפתע התמוטט ומאז איבד את שפיותו. 11 שנה אחר כך המשיך לחיות מרותק למיטתו, ממלמל דברים חסרי פשר, עד שנפח את נשמתו בשנת 1900. על כך אמר פרנץ רוזנצווייג כי "נפשו [של ניטשה] לא נרתעה מכל מרום, אלא מטפסת הייתה בעקבות אותו טפסן הרפתקן הקרוי רוח עד לפסגה התלולה של טירוף הדעת, אשר אין ממנה הלאה".

אומנם אנו רוצים לשמור על חיינו ושפיותנו, אך כל עוד אנחנו כאן, מתקיימים בעולמנו הרב-משמעי, הבה נכריע פחות ונדוד יותר.

"אמן טוב נותן לאינטואיציה להובילו.  
מדען טוב שחרר עצמו ממושגים  
ושומר מחשבתו פתוחה למה שישנו.  
הלך טוב הוא חסר תוכניות  
ואינו מבקש להגיע". (דאו דה ג'ינג)



**שלו אלי,** בוגר תוכנית אודיסיאה תל אביב.  
חייל השלים תואר ראשון בפיזיקה ובמדעי המחשב.  
כותב שירה ופרוזה, מדי פעם מצייר ובאופן כללי  
חובב אמנות מושבע. ממובילי "הסטודיו" - קהילת  
האמנים של אסכולה. אוהב מאוד לטייל, לדבר על מדע,  
תרבות ופילוסופיה. shaleveli11@gmail.com



# קריקטורה



קריקטורה מאת יונתן שוקרון

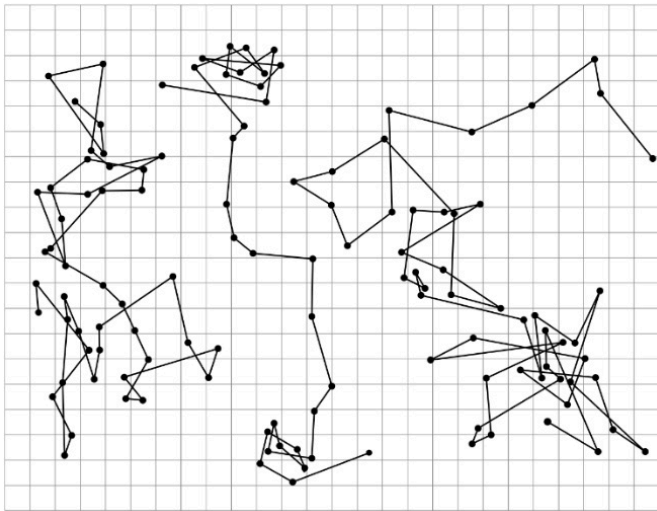


**יונתן שוקרון**, בוגר מחזור ב' תוכנית אלפא ירושלים.  
פקח טיסה בבח"א 28. כתב עבודת גמר על האדם הדניסובי:  
מצייר על כל מחברת, דף או משטח ששייכים לו.  
מתעניין במה שלא שימושי ובעוד כמה שטויות.  
[jshuqrun@gmail.com](mailto:jshuqrun@gmail.com)

# אקראיות הקרדיט - מקרה בוחן

## מאת אופיר טל פרידמן

בעקיפין באמצעות משוואה 2 ולאשש בצורה סופית את נכונות התורה האטומית - בדיוק מה שעשה הפיזיקאי הצרפתי ז'אן בטיסט פרן בשנת 1909 על ידי מדידה דקדקנית של מיקומי חלקיקים מיקרוסקופיים. הוא מצא את מספר אבוגדרו כ:  $7,05 \cdot 10^{23}$ , גדול בכ-17% מערכו האמיתי. אם מביאים בחשבון את היעדר הכלים באותה תקופה, זה די קרוב!



איור 1 - מסלולים של חלקיקי מסטיקא, אבקה המופקת משרף של עצי אלה בעלי רדיוס של 0.5 מיקרומטר, כתלות בזמן בקפיצות זמנים של 30 שניות. שוחזר מהמאמר המקורי של פרן.

מאז, פרט לשימושים הנרחבים בפיזיקה, המודל של תנועה בראונית וההכללות שלו מצאו שימושים בכל תחום שמעורבים בו תהליכים אקראיים, כגון תנועה של בעלי חיים וחיידקים, מידול של מניות, וגנטיקה של אוכלוסיות. למעשה, מאמרו המצוטט ביותר של איינשטיין הוא לא אף עבודה על יחסות, אלא מאמרו הראשון על תנועה בראונית.

אומנם שלושת המדענים שהוזכרו כאן זכו לתהילה המגיעה להם (התופעה נקראה על שם בראון, משוואה 2 זכתה בשם "קשר איינשטיין", ופרן זכה בפרס נובל), אבל כפי שקורה לרוב, אינספור מדענים נוספים שתרמו להבנת התופעה נשכחו.

ין אינגנהוז, פיזיולוג הולנדי שאחראי בין היתר לגילוי תהליך הפוטוסינתזה, תיאר תנועה של אבקת פחם מעל 40 שנה לפני בראון, אך כשל בהבנת חשיבות הגילוי, ורק ציין אותו בחטף בתוך עבודה בנושא אחר. והוא ממש לא היחיד: ביוטר ב-1819, הצבע סטיבן גריי ב-1695, ליסטר וברוניאר ראו זאת בחומרים שאינם מן החי, וניידהאם, בופן, גליצ'ן, דרומונד ועוד ראו את התופעה בחומרים ביולוגיים. רוב העבודות הללו היו מוכרות, ובראון אף ציטט אותן במאמרו, ולכן נשאלת השאלה מדוע דווקא הוא זכה לתהילה.

בשנת 1827 הסתכל הבוטנאי רוברט בראון במיקרוסקופ על תרחיף של גרגירי אבקה של פרחים במים, ושם לב שהם זזים בצורה אקראית. המסקנה המתבקשת הייתה שמכיוון שמדובר בדברים מן החי, תנועתם נובעת משריפת אנרגיה - כמו החיידקים שאז כבר היו מוכרים. בראון לא עצר שם, והסתכל על חלקיקים קטנים מחומרים שאינם מן החי. להפתעתו גילה שגם הם זזים בצורה כזו, ובכך שלל את האפשרות שהתנועה מגיעה מתהליך אקטיבי.

כעת הגיע תורם של הפיזיקאים להבין את התופעה, שקיבלה בינתיים את השם "תנועה בראונית". למרות מאמצים רבים, נדרשו כמעט שמונים שנה עד שב-1905 הציג איינשטיין לראשונה מודל מלא המסביר את התופעה, בליווי פיתוח מתמטי נכון המאפשר אימות ניסיוני של המודל.

מבלי להיכנס לעובי הקורה, ההנחה הבסיסית של המודל הייתה שהנזל שבתוכו נמצא החלקיק (שמבצע תנועה בראונית) בעצם מורכב מחלקיקים קטנים יותר (מולקולות), המתנגשים בו כל הזמן. התנגשויות אלו גורמות לחלקיק לבצע תנועה אקראית, והמרחק הממוצע  $\lambda t$  שיעבור החלקיק בזמן  $t$  ניתן לתיאור על ידי הקשר הבא:

1.

$$\lambda_t = \sqrt{2Dt}$$

כאשר  $D$  נקרא "מקדם הדיפוזיה".

חשוב לציין שבשל האמצעים הניסיוניים המוגבלים של אותה תקופה, הקיום של אטומים ומולקולות היה רק בגדר תיאוריה, שקמו לה מתנגדים רבים.

איינשטיין המשיך, והצליח למצוא ביטוי למקדם הדיפוזיה:

2.

$$D = \frac{TR}{3\pi N_{av} r \eta}$$

קבוע הגזים  $\rightarrow$   $TR$   $\leftarrow$  טמפרטורה  
 $\rightarrow$  צמיגות  $\leftarrow$  רדיוס החלקיק  
 $\leftarrow$  מספר אבוגדרו

נשים לב שאת הטמפרטורה, רדיוס החלקיק והצמיגות אפשר למדוד, וקבוע הגזים כבר היה ידוע באותו זמן - משמע שהנעלם היחיד פה הוא מה שלימים נודע בתור "מספר אבוגדרו", בערך מספר אטומי המימן בגרם מימן.

איינשטיין סיכם את המאמר שלו באבחנה שאם משהו יצליח למדוד את  $\lambda t$ , להראות שהוא אכן מתנהג לפי הקשר במשוואה 1 ולחלץ את מקדם הדיפוזיה למערכת הזו, הוא יוכל לחשב את מספר אבוגדרו

לסיום אביא מדבריו של הפילוסוף הרומאי לוקרטיוס משנת 60 לפני הספירה, שמוכיחים שלא משנה עד כמה מקורי רעיון מסוים, כנראה יש איזה מישהו שחשב עליו לפני 2000 שנה:

*Observe what happens when sunbeams are admitted into a building and shed light on its shadowy places. You will see a multitude of tiny particles mingling in a multitude of ways [...] their dancing is an actual indication of underlying movements of matter that are hidden from our sight [...] It originates with the atoms which spontaneously move of themselves. Then those small compound bodies that are least removed from the impetus of the atoms are set in motion by the impact of their invisible blows and in turn cannon against slightly larger bodies. So the movement mounts up from the atoms and gradually emerges to the level of our senses so that those bodies are in motion that we see in sunbeams, moved by blows that remain invisible.*

מדהים! אומנם במקרה שמתאר לוקרטיוס - ריצוד של חלקיקי אבק שאפשר לראות בעין - התנועה לא נגרמת מפגיעות של אטומים אלא מזרמי אוויר (הצבה בקשר איינשטיין תראה שהתנועות של חלקיקים בגודל כזה קטנות מדי), אך כיוון המחשבה שלו נכון.

ההיסטוריה של תנועה בראונית מספקת בעיניי מקרה בוחן מרתק של התקדמות מדעית ושל האופן בו שהיא נזכרת בתודעה הציבורית. תגליות רבות מתרחשות על ידי מספר גדול של אנשים באופן עצמאי, אך בסוף נכנסים לספרי הלימוד רק שמות בודדים - אלה שהיו במקום הנכון ובזמן הנכון, שהשכילו להבין את ההשלכות המלאות של עבודתם, ודיווחו על תוצאותיהם לקהל הרחב ביותר.

התשובה היא שבראון השכיל לבדוק מספר רב של חומרים בתנאים שונים, ובכך הבין שהתופעה היא אוניברסלית, משמע לא קשורה לחומר מסוים, ושהבעיה היא פיזיקלית ולא ביולוגית, בשונה ממה שחשבו רוב קודמיו.

גם בפיתוחים תיאורטיים המצב דומה: היו כמה מדענים שקדמו לאיינשטיין, כאשר אולי המקרה הדרמטי (והאלמוני) ביותר הוא ויליאם סאת'רלנד האוסטרלי, שב-1904 הבין את התהליך שמתרחש ואף חילץ שנה לפני איינשטיין את קשר איינשטיין (או שמא קשר סאת'רלנד). במכתבים בין איינשטיין לחברו מישל בסו, איינשטיין מזכיר את עבודתו של סאת'רלנד, כך שהוא בהחלט היה מודע לה.

לסאת'רלנד היו כמה בעיות שגרמו לכך שלא זכה לכבוד המגיע לו על הגילוי. אומנם הוא פיתח תיאוריה זהה לזו של איינשטיין והניח את קיומם של אטומים, אך הוא לא חשב על כך שאפשר בעצם להוכיח את קיומם באמצעות דיפוזיה. בנוסף, הוא קבר את הביטוי במאמר ארוך שעסק בנושא אזוטרי למדי. אולי משמעותית אף יותר הייתה העובדה שבעוד איינשטיין גר אז בשווייץ וכתב בגרמנית - השפה של הפיזיקה התיאורטית באותה תקופה - סאת'רלנד גר באוסטרליה וכתב באנגלית.

ראוי להזכיר גם את עבודתו של הכלכלן לואי בשלייה שפיתח ב-1900 מודל של תנועה בראונית, אך במקום לדבר על פיזיקה דיבר על מניות ועל התנודתיות שלהן כתוצאה מ"חבטות" של קניות ומכירות - רעיון מהפכני שעורר התנגדות רבה בתקופתו, ובמהרה עבודתו נשכחה ועברה מתחת לרדאר, עד שהתגלתה מחדש בשנות השישים של המאה ה-20 וזיכתה אותו בכבוד המגיע לו בתור ה"אבא" של המתמטיקה הפיננסית (לאחר מותו).



**אופיר טל פרידמן**, בוגר תוכנית אודיסיאה תל אביב. מגוייס טרי לצה"ל וסטודנט לתואר מתקדם בפיזיקה באוניברסיטת תל אביב. חוקר פיזיקה מחוץ לשיווי משקל וחומר רך עם פזילות לביופיזיקה. [otf2000@gmail.com](mailto:otf2000@gmail.com)



# INFINITY

---

## מאת אלכסנדרה דנישבסקי

"...I know these will all be stories someday. And our pictures will become old photographs. We'll all become somebody's mom or dad. But right now, these moments are not stories. This is happening... I can see it. This one moment when you know you're not a sad story. You are alive, and you stand up and see the lights on the buildings and everything that makes you wonder. And you're listening to that song and that drive with the people you love most in this world. And in this moment I swear, we are infinite."

"And how does that make you feel?" The make-believe psychologist asks inside my head.

"I dunno," I respond, chuckling awkwardly. "Happy?" I shrug. "What's the definition of happy?" I turn to my fingers as they diligently type in the google search bar: definition of happy.

Happy –  
adjective

feeling or showing pleasure or contentment.

"But that's not accurate, is it?" I say, more to myself than to the make-believe psychologist. "But I'm not sad either, right?"

"No, I don't believe you are." They take over, pushing their glasses up their nose while perusing an old dictionary.

"Sad - adjective. feeling or showing sorrow; unhappy."

"No, that's not quite right." I decide.

"Perhaps it's nostalgia, then." Says the hidden philosopher in the depths of my mind.

"Nostalgia?" I turn to them, confused.

"Yes, nostalgia - noun. a sentimental longing or wistful affection for the past, typically for a period or place with happy personal associations."

"But," I blink, trying to gather my thoughts, "How can it be nostalgia if it's something I never had?"

"Perhaps," Appears the old author from the deepest reaches of what one would call my 'soul', "It is yearning."

"Yearning?" I say, outraged. Such a confusing word for such a confusing feeling - "You are not making things any easier, author." I exclaim.

"Allow me to explain." They say hastily, grabbing a random book from a shimmering make-believe bookshelf. "Yearning - noun. a feeling of intense longing for something."

"No, I disagree." I fold my hands over my chest. "I simply disagree with you all." I sigh, because I'm even more lost than I was before.

"And maybe," A small voice in my head suggests, one that I cannot yet name, "Maybe that's just exactly what it is. Infinite."

"Infinite?"

"Infinite - " They all recite together. "adjective. limitless or endless in space, extent, or size; impossible to measure or calculate."

"Yes." I rest my hands on my knees, ready to finally call it a night. "Yes, I think that's exactly what it is. Infinite."



**אלכסנדרה דנישבסקי**, בוגרת מחזור א' של תוכנית אלפא במכון ויצמן. חיילת. כתבה עבודת גמר על השפעת lincRNAs - על תהליך ההתמיינות של ניורובלסטומה לניורונים. אוהבת לשיר, לנגן, לקרוא ספרים וקומיקס ולכתוב. alexxd148@gmail.com

# הפרדוקס של מנון ומגבלות המתמטיקה

## מאת נמרוד נקדימון

### קטע מ"מנון":

**סוקראטס:** בן-בליעל אתה, מנון, וכמעט שהולכתני שולל.

**מנון:** ובמה, סוקראטס?

**סוקראטס:** מבין אני לשם מה המשלת עלי משל.

**מנון:** לשם מה, לדעתך?

**סוקראטס:** כדי שאגמול לך כגמולך, ואמשיל גם עליך משל. הרי יודע אני על כל היפים כי שמחים הם כשיומשל עליהם משל - שכן כדאי להם הדבר, כיון שיפוח הן, דומני, גם ההמשלות על היפים - אך לא אגמול לך בכך. ולדידי: אם הדג המשתק אף הוא עצמו משותק, וכך מביא גם את זולתו לידי שיתוק, כי אז דומה אני לו, ולא - אינני דומה לו<sup>2</sup>, שהרי לא בשעה שיש עם עצמי עצה לרוב מביא אני את זולתי לידי אבדן עצה, אלא כשבעצמי אובד אני עצה יותר מכל אדם אחר, מביא אני מתוך כך גם את זולתי לידי אבדן עצה, וכן גם עכשיו, בדבר סגולה טובה, אינני יודע מהי, ואילו אתה אולי ידעת זאת בטרם תגע בי, וכעת היית כמי שאינו יודע. אף על פי כן נכון אני לעיין יחד אתך ולשתף עצמי בחיפוש אחריה.

**מנון:** ובאיזו דרך תחפש, סוקראטס, אחרי דבר שאינך יודע כלל מהו? שהרי מה בין הדברים שלא ידעתם תשים לך מטרה בחיפושך? ואפילו יזדמן לך כאשר יזדמן - כיצד תכירנו לדעת שהוא דבר זה שלא ידעתו?

**סוקראטס:** מבין אני מה ברצונך להגיד, מנון. הלא אתה מעלה טענה נצחית זו: שאי אפשר לו לאדם לחפש לא אחרי מה שידע ולא אחרי מה שלא ידע. כי מה שידע ודאי לא יחפש - שהרי כבר ידעו, ודבר כזה אינו טעון כלל חיפוש, ולא מה שלא ידע - שהרי לא ידע כלל מה יחפש!

[סוקראטס מסביר ש"החיפוש והלימוד - כולו זכירה"]

**מנון:** כן, סוקראטס; אולם כיצד תאמר שאין אנחנו לומדים, אלא זכירה היא מה שנקרא בפנינו לימוד? היש בידך ללמדני שכך הוא?

**סוקראטס:** הרי גם קודם אמרתי, מנון, שבן בליעל אתה. והנה שאלתני אם יש בידי ללמדך, בידי אני הטוען כי אין לימוד אלא זכירה - ומיד יהיה גלוי לעין שאני אומר דבר והיפוכו!

**מנון:** לא. בחיי זיוס, סוקראטס! לא מתוך כוונה זו, אלא מפאת ההרגל דיברתי מה שדיברתי; ואם יש בידך להראותני איזו דרך שהיא שכדברך כן הוא - הראני נא!

**סוקראטס:** לא קל הדבר, אולם נכון אני להשתדל למענך. קרא לי אחד מבני לווייתך המרובים הללו, ככל אשר תבחר ואתן לך בו דוגמה.

**מנון:** ברצון רב. גש הנה!

**סוקראטס:** יווני הוא ומדבר יוונית?

**מנון:** בוודאי, הריהו יליד ביתי.

הדיאלוגים הסוקרטיים שכתב אפלטון בתחילת המאה הרביעית לפנה"ס נתפסים בתרבות המערב כחיבור שייסד את הפילוסופיה כתחום דעת. אף על פי שקיימים שרידים להגות מפותחת שקדמה להם ביוון ובהודו, נהוג לומר שמדובר בהגות הרבה פחות שיטתית מבחינת ההיצמדות שלה לשיטת הוכחה, שהיא אחת התכונות הבולטות של הדיאלוגים, ומכאן שקשה לקרוא לה תחום ידע במובנו השגור של המונח. ובאמת, חידושו הגדול של אפלטון טמון בחשיבות שהוא מייחס להגדרת מושגים, ובמיוחד להגדרת ה"סגולות הטובות" (virtue באנגלית או arete ביוונית), אותן תכונות שעושות את האדם לטוב. למעשה, בקטע המובא בהמשך ניתן לראות שלתפיסתו של סוקרטס, מורו של אפלטון והדמות שמובילה את רוב הדיאלוגים, הידע כולו מתמצה בהגדרת מושגים. בכל דיאלוג בן שיחו של סוקרטס מנסה להגדיר מושג אחר שהוא בטוח בידיעתו אותו, כמו "אומץ", והלה מביא אותו פעם אחר פעם לידי "אפוריה" - תחושת בלבול ומבוכה הנובעת מסתירה. שיטתו של סוקרטס אינה משאירה מקום להשתכנעות מהדעה הרווחת, וגם לא מניסיון אמפירי; שכן פעולת ההגדרה מניחה היכרות עם המושא המוגדר, וכשלעצמה היא שכלית גרידא. לשון אחר, ההגדרה היא לא יותר מהכללה או ניסוח של עובדות, ומכאן שהזיהוי בין הגדרה לידיעה שולל את האפשרות שעובדות כשלעצמן הן צורה של ידע. הדגש הבלעדי שסוקרטס נותן לחשיבה על חשבון תצפית, בין היתר, זר לאינטואיציה שלנו, אבל הוא חשוב מאוד להבנת התפיסה שלנו לגבי ידע, כפי שאנסה להדגים.

בקטע הבא, מנון, המשוחח התורן, מאתגר את תפיסתו של סוקרטס בטענה שהיא הופכת את הדיון כולו לסמנטי. הרי אם שניים מנסים להגדיר יחד דבר מה, הם חייבים להניח שהדיון נסוב סביב, ובכן, אותו הדבר, ואם כן, הדיון עקר מיסודו ועוסק בהכרעה בין ניסוחים שונים. סוקרטס בתגובה טוען שלעולם איננו ממש לומדים, אלא רק נזכרים, ומכאן שטיבו של כל דיון אינו לגלות דבר חדש, אלא רק להביא לידי זיכרון או ניסוח. זו נשמעת כמו תגובה נצחית, אבל היא מקבלת משנה תוקף כשסוקרטס "מלמד" נער חוק במתמטיקה בהסתמך אך ורק על דברים שהוא כבר יודע, כמו אורכה של צלע או שטחה של צורה. לדעתי, הבחירה במתמטיקה אינה מקרית, היות שמדובר בתחום שהוא הגיוני כולו, במובן שכל טענה בו נובעת מאיזו הגדרה. זאת בניגוד לרוב תחומי הידע, שבהם התצפית הכרחית - הזיכרון הרי לא יכול לחשוף בפנינו מין חדש של עטלפים. הנקודה הזו מעלה ספק בנוגע לתפקיד של המתמטיקה בכל התחומים הללו, ונדמה שמדובר במעין שפה, ומכאן שהתורמה שלה היא בניסוח מדויק של תצפיות, ולא בגילוי של משהו חדש, שהרי היא כולה אקט של "היזכרות", של הוצאת ידע מן הכוח אל הפועל. יתרה מכך, הדבר נכון רק עבור אותם תחומים שבכלל ניתן לגלות בהם משהו מלבד הסיבות עצמן, שהן הרי לא בנות-כימות<sup>1</sup>. בתחומים כמו היסטוריה, עצם ההצבעה על תכונה כגורם היא מטרת המחקר, ויהיה מגוחך לנסח אותה באופן מתמטי, גם אם הדבר אפשרי.

**סוקראטס:** ובכן, שים נא לבך לראות אחת משתיים אלו: אם ייזכר או אם ילמד מפי.

**מנון:** ודאי אשים לב.

**סוקראטס** [מצייר בחול]: הגד-נא לי, נער: המבין אתה ששטח מעין זה ריבוע הוא?

**הנער:** מבין אני.

**סוקראטס:** אם כן, ריבוע הוא שטח ששווים בו כל הקווים האלה שהם ארבעה?

**הנער:** בוודאי.

**סוקראטס:** והללו העוברים באמצעיתו, כלום לא יהיו אף הם שווים? **הנער:** כן.

**סוקראטס:** ושטח כזה אפשר שיהיה גדול יותר או קטן יותר?

**הנער:** בוודאי.

**סוקראטס:** ואם צלע זו תהיה בת-אמתיים וזו בת-אמתיים, בן כמה אמות יהיה הריבוע כולו? עיין-נא בדבר בדרך זו: אילו היה אמתיים מצד זה ואמה אחת מזה, הרי שהיה שיעורו פעם אחת בן שתי אמות?

**הנער:** כן.

**סוקראטס:** ומאחר שגם מצד זה בן-אמתיים הוא, הרי שיהיה פעמיים בן שתי אמות?

**הנער:** כך יהיה.

**סוקראטס:** הוא יהיה, איפוא, שתי פעמים בן-אמתיים?

**הנער:** כן.

**סוקראטס:** ושתי פעמים אמתיים כמה הן? חשב-נא והגד!

**הנער:** ארבע, סוקראטס.

**סוקראטס:** ואפשר שיהיה שטח שני, כיפולו של שטח זה אך עשוי כמוהו, כלומר שכל הקווים שלו יהיו שווים זה לזה, מעין הקווים של הלז?<sup>3</sup>

**הנער:** כן.

**סוקראטס:** הבה נסה-נא לומר לי מה יהיה אורכו של כל קו מקווי השטח ההוא. הרי קוו של הלז הוא בן-אמתיים, ושל הכפול ההוא מה?

**הנער:** ברור, סוקראטס, שהוא כפול.

**סוקראטס:** הרואה אתה, מנון, שאינני מלמד אותך מאומה אלא שואל לכל דבר ודבר? ועכשיו הוא סבור שהוא יודע מה הקו שעליו ייבנה הריבוע בן שמונה האמות; וכי לא נראה לך?

**מנון:** כך נראה לי.

**סוקראטס:** והוא יודע?

**מנון:** לא ולא.

**סוקראטס:** אלא סובר שעל הקו הכפול ייבנה?

**מנון:** כן.

**סוקראטס:** התבונן-נא, איפוא, כיצד ייזכר בזה אחר זה, כפי שצריך להיזכר. - הגד-נא לי: על הקו הכפול, אומר אתה ייבנה השטח הכפול? מתכוון אני לשטח מעין זה, שלא יהא ארוך מכאן וקצר מכאן, אלא שווה מכל צדדיו כזה שלפנינו, אך כפליים כמוהו, בן שמונה אמות. ראה-נא אם עודך סובר שעל הקו הכפול ייבנה.

**הנער:** כך אני סובר.

**סוקראטס:** הרי כפול יהיה קו זה, אם נאריך אותו מקצהו זה בקו שני שאורכו כאורכו שלו?

**הנער:** בוודאי.

**סוקראטס:** ועל זה, אומר אתה, ייבנה שטח בן שמונה אמות בכוח ארבעה קווים בני אותו אורך?

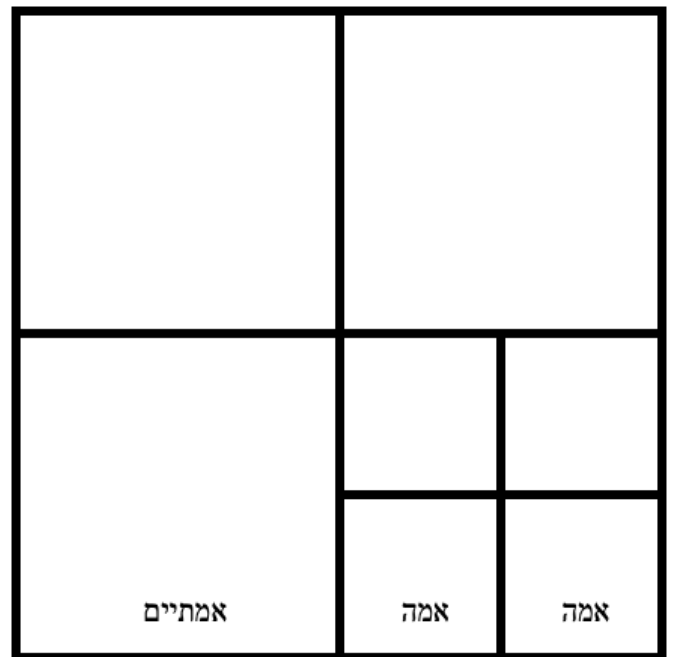
**הנער:** כן.

**סוקראטס:** אם-כן, נצייר נא עליו את הקווים, ויהיו ארבעתם שווים, וכי לא על שטח זה אמרת שבן שמונה אמות הוא?

**הנער:** בוודאי.

**סוקראטס:** וכי אין כאן בתוכו ארבעה ריבועים שכל אחד מהם שווה לריבוע זה בן ארבע האמות?

**הנער:** כן.



1 אני מבטיח להפסיק לכתוב לכתב העת אם מישוהו יכמת "פלגים שמרנים", "כוח אלסטי", או "אידאה של צדק". המייל שלי מצורף בסוף המאמר.

2 [מנון אומר לסוקרטס לפני כן: "דומה אתה בעיני דמיון גמור, הן במראה פניך הן בשאר בחינות, לאותו דג-ים הנקרא 'משחק'; שאף הוא גורם שיתוק לכל הקרב ונוגע בו, ודומני שגם אתה הבאתני עכשיו למצב כזה; שהנה באמת ובתמים משותק אני בנשמתי ובלשוני, ואין בפי מה שאשיב לך."]  
הערות המתרגם: שם הדג ביוונית: נארקי (באנגלית Torpedo). השם היווני נוצר מהפועל "נרקאן" שפירושו "להיות קופא ומשותק", וממנו נוצרה המילה "נארקוסיס".

3 והאם ייתכן ריבוע נוסף ששטחו כפול משטח הריבוע הראשון?

4 אפלטון, כתבי אפלטון, כרך ראשון, תרגום י. ג. ליבס. (ירושלים ותל-אביב: שוקן, 1997), 435-429, סימנים 80-83.

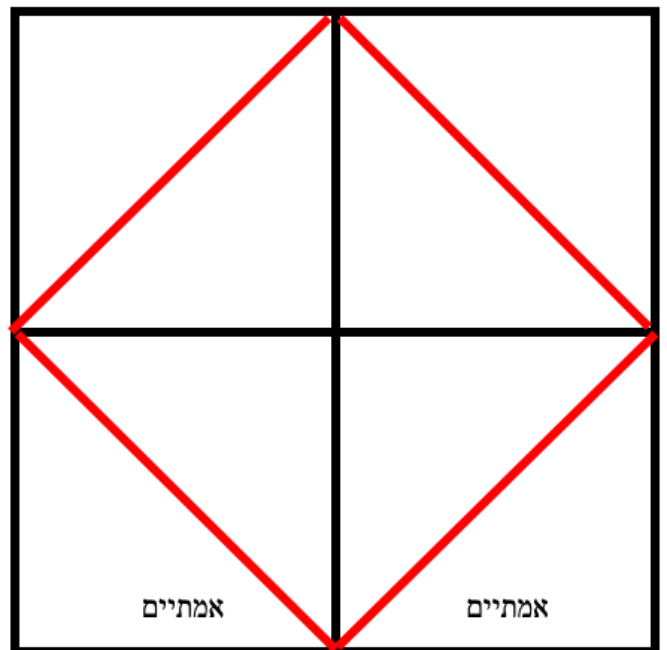
**סוקראטס:** מה יהיה, איפוא שיעורו? לא פי ארבעה כשטח הזה?

**הנער:** כמובן.

**סוקראטס:** וכי כיפולו הוא, כשהוא גדול ממנו פי ארבעה?

**הנער:** לא, בחיי זיוס!<sup>4</sup>

כשהנער מבין בהמשך הדיאלוג שכדי להגיע לריבוע ששטחו שמונה אמות, על אורך הצלע להיות גדול משתיים אך קטן מארבע, הוא מסיק שהתשובה היא שלוש, אך סוקרטס עוזר לו להבין שהשטח של הריבוע שייבנה כך יהיה תשע אמות (מרובעות). קל לנו ללעוג לנער הבור, אבל חינוך מתמטי היה נחלתם של מתי מעט באותה תקופה, גם לא של עבד בדרגה גבוהה, כפי שהביטוי "מבני בית" מרמז. חשוב מכך, באותה תקופה לא היה מושג של שורש או של מספר אי-רציונלי, והמתמטיקה נעשתה באופן מילולי, כפי שמודגם בדיאלוג, מתוך הפרדה בין מתמטיקה טהורה למתמטיקה שימושית. אגב, אפשר לראות בכך עוד עדות לקשר ההדוק שהיוונים ראו בין שפה לידע. למרות כל ההגבלות, הייתה להם מתמטיקה מפותחת ואלגנטית מאוד, שפתרונו של סוקרטס, לבנות ריבוע באמצעות אלכסוני הריבועים (מסומן באדום), הוא דוגמה טובה לה:



אבל הטקסט מן הסתם לא מחדש במתמטיקה שלו, אלא במנגנון הידיעה שהוא מציג. נדמה שמושג הזיכרון שסוקרטס מעמיד שונה מזה המוכר לנו, בכך שהוא כולל לא רק את מה שידענו, אלא גם את מה שנובע מכך. גם אם לא לכך התכוון, הרי שהדרך שבה הנער "נזכר" היא בהחלט דרך של הסקת מסקנות, ומה שרלוונטי לדיונו הוא שהידע יוצא מן הכוח אל הפועל, ולא ממש נוצר בנו. אם אנחנו יודעים, למשל, אך ורק את סדר הימים בשבוע, ושאתמול היה יום רביעי, האם אנחנו לא יודעים גם שהיום יום חמישי? כשהמסקנה נובעת באופן הכרחי מההנחות, היא כלולה בהן. זה ההיגיון שמנחה את סוקרטס כשהוא טוען שהנער כבר יודע את הפתרון לחידה, כיוון שהוא יודע מה זה שטח, ואת אורכן של כל הצלעות שלפניו. למרות שבדרך כלל לא נצליח להוציא מהידיעות שלנו את כל מה שמתחייב מהן, הסקת מסקנות כשלעצמה לא יוצרת ידע חדש במובן זה שהוא לא כלול במה שידענו קודם. כלומר, ידה של הלוגיקה משגת רק את מה שההנחות מאפשרות לה, וכל תפיסה אחרת חייבת לספק תיחום שונה של מגבלות הלוגיקה או לטעון בעל כורחה שאין לה מגבלות, ושלא צריך דבר בלתי כדי

לגלות כל דבר. ניסיון תיחום שכזה, המציב גבולות להסקת מסקנות בלי להתחשב במושג של הנחות, משול לניסיון לקבוע את המרחק המרבי שירייה תקשת תגיע אליו בלי להתחשב בחיזים - ולא פלא שאין לסוקרטס יומרה כזו. הוא צריך מצד אחד לתת דין וחשבון על כך שנדמה שאנשים לומדים, ומצד שני להידרש לביקורת של מנון על מנגנון הגילוי, שבמקרה או שלא במקרה נוגעת במיוחד לדגש שסוקרטס שם על הגדרות. על כן הוא טוען שמקורה של כל "למידה" הוא בסוג של עיסוק בהנחות שאנחנו כבר אוחזים בהן; אם באמצעות הסקת מסקנות מדברים שכבר ידענו ואם באמצעות היזכרות של ממש.

הנחה מובלעת בטיעון הזה היא שדינם של כל תחומי הידע זהה, שהרי ההדגמה עם המעוין משקפת בעיני סוקרטס את הידע כולו. לדעתי, המדע האמפירי מהווה דוגמת-נגד ברורה לתחום ידע שונה מהותית ממתמטיקה, בכך שאינו נסמך על היגיון. הראיה המכריעה לכך היא לדעתי העובדה שישנם דיונים שרק תצפית נוספת, שנאספה בעין מזוינת או בלתי-מזוינת, יכולה להכריע ביניהם. למיטב ידיעתי, היוונים העתיקים כמעט שלא הכירו סוג כזה של ידע, בעיקר בגלל שלא היו להם מכשירי מדידה מעבר לסרגל ומחוגה, ובחושם הרי כולנו בדרך כלל תופסים את המציאות באותו אופן. על תנועת הכוכבים לא היה ויכוח - רק על מציאת התיאור המדויק והפשוט ביותר שלה, והוא הדין בשאר תופעות טבע כמו התאדות, בעירה, חלוקת החי למינים, ולעיתים אף בתופעות אנושיות כמו פחדנות או צדק. במרבית המקרים היה קונצנזוס בנוגע לתופעה עצמה, אך לא לגבי תיאורה המילולי או המתמטי. ספק אם התרגיל של סוקרטס היה מצליח אם, למשל, היה שואל את הנער אם גוף בנפילה חופשית נופל בקצב קבוע. הנער היה משיב שכן, ואז סוקרטס, בהינתן שהיה יודע שהתשובה שלילית, היה מקשה ושואל, נגיד, אם מניסיונו של הנער, לחפץ ייקח זמן כפול ליפול מגובה שתי קומות מאשר מגובה של קומה. הנער היה משיב שזה זמן קצר מדי, אבל נדמה לו שכן, והדיאלוג היה נגמר כאן. את התשובה האמיתית יוכלו לגלות רק מי שיש להם מכשירי מדידת זמן מדויקים ובניין גבוה יחסית - השימוש בשכל כשלעצמו לא מספיק כאן. באופן כללי ניתן לומר שהמתמטיקה נחוצה למדע בה במידה שדיוק בתצפיות נחוץ לו. אין עוררין על כך שהמספרים הם דרך ייחודית לדייק במסירת עדות על המציאות כהווייתה, אבל אני מבקש להטיל ספק במסוגלותה של המתמטיקה ליצור חידוש בהבנה שלנו את העולם, ולא את התיאוריות שלנו, כמו גם בשימוש המסיבי בה.

ניקח דוגמה ממאמרו של אופיר טל-פרידמן על תנועה בראונית, שהתפרסם אף הוא בגיליון זה. התופעה של תזוזה אקראית לכאורה של חלקיקים זעירים הייתה מוכרת במשך זמן רב מאוד. בעזרת מכשירים מדויקים יותר או פחות הצליח ז'אן באטיסט פרן לצייר את תנועת החלקיקים - חידוש של ממש, בצורה הרבה יותר מדויקת מזו שניתן להשיג באמצעות התבוננות בעין בלתי-מזוינת. ויליאם סאת'רלנד ניסח אותה כקשר מתמטי - אבל מה הוא גילה בכך? נדמה שהוא העביר אותנו בדיוק את אותו תהליך שסוקרטס העביר את הנער: הוא הסב את תשומת ליבנו אל תצפית שכולנו הכרנו, והראה לנו שמתחייב ממנה איזה ניסוח מתמטי. ההנחה של מידול מתמטי היא שהתופעה עצמה מוכרת לנו, ומכאן שכושר הניבוי של המידול הוא אפס. הניסוח של סאת'רלנד מתימרת לגלות משהו רק בנוגע לתנועות בראוניות, אבל עצם העובדה שאנחנו מכנים תנועה מסוימת "בראונית" מעידה על כך שאנו יודעים באיזו תנועה מדובר, גם בלי להכיר את הניסוח המתמטי. אין בכך טענה נגד השימוש במתמטיקה במדע, וזו הרי תהיה גוזמה לאור ההתקדמות שהיא חוללה; אבל יש בכך בכדי להטיל ספק בנחיצות של העיסוק במתמטיקה מעבר לתיאור גרידא של התופעות.

<<<

הביקורת הזו רלוונטית בעיקר למחקר תיאורטי ולמדעי החברה. יש ספק רציני ביכולת של סימולציות כמו PhET, או של כל מחקר מתמטי-תיאורטי, לגלות משהו על המציאות. אם המתמטיקה כשלעצמה לא מגלה דברים, העימות בין תזה לאותם ניסוחים מתמטיים של חוקי הטבע יכול לכלול יותר לגלות אם אותה תזה נובעת מהם או לא. אם היא נובעת, היא יכולה לשפר את ההבנה שלנו את התיאוריה, אבל לא את הטבע, והעדויות הברורה לכך ביותר היא שאין לה סיכוי לסתור את התיאוריה הקיימת, אלא אם כבר קיימת סתירה בין שתי תצפיות או פיתוחים מתמטיים שלהן. טיכו ברהה חידש בתחום האסטרונומיה כשהוא גילה בעזרת מכשירים מדויקים שמסלולו של כדור הארץ אינו מעגלי לגמרי, מדידות שעל בסיסן קפלר טען שמדובר במסלול אליפטי. על סאת'רלנד באמת קשה לומר שהוא עשה משהו דומה.

אבל חשוב מכך הוא מקומה של המתמטיקה במדעי החברה, שהרי גם אם התפקוד היחיד שלה במדע המדויק הוא לחשוף את הטענות הגלומות בלאו הכי בתצפיות, היא עדיין תורמת הרבה למחקר המודרני, גם אם איננה ממש מגלה. לעומת זאת, נדמה לי שהאמונה שניתן ללמוד משהו בעל ערך על טיבה של התנהגות אנושית מסטטיסטיקה, מקבילה לאמונה שניתן לנתח רומן בעזרת ספירת כמות הפעמים שכל אות מופיעה בו. מטרתם של תחומי ידע היא להסביר דברים - אם את נפילתן של אימפריות ואם את גדילתם של צמחים - ואפשר בהחלט להאמין שההסתכלות המתמטית מסייעת לנו לתפוס תופעות מצידן הכמותי. אבל כאן נשאלת השאלה: מה יש לכמת? לכאורה גלום מעין "פרדוקס מנון" בביטחוננו של חוקר בידיעה אילו תכונות יש לבטא בעזרת מספרים. אם החוקר ידע לחפש את היחס דווקא בין אורך הגל לצבע, הניסוי בעצם כבר הצליח עוד לפני שהתרחש בפועל, ואם לא ידע, איך יגלה? במדעים מדויקים ניתן להצדיק זאת בעזרת ההפרדה הברורה בין התכונות הנמדדות לבין המדידות עצמן, כלומר, גם אם החוקר משער שיש איזשהו קשר בין אורך גל לצבע, הוא לא יודע בדיוק באיזה יחס מספרי מדובר. אבל במדעי החברה והרוח, הגדרת התכונות שהן הסיבות לתופעות היא לא איזו פעולה מקדימה למחקר - היא חלק הארי של המסקנה שלו. פסיכולוג מניח את המבוקש אם הוא שואל את עצמו באיזו מידה יצריהם המודחקים של אנשים מתווים את הנושאים שיצחקו אותם, ולא באופן כללי, אילו מצבים נפשיים מובילים לחוש הומור כזה וכזה ובאיזו מידה. זו דרך בכלל לא רעה להטמיע את התזה שלו מבלי להצטרך אפילו להוכיח אותה, אבל היא מן הסתם לא מדעית. אומנם חוקרים נדרשים להניח הנחות רבות, שהרי מעט מאוד מחקרים בוחנים מחדש את היסודות של הדוקטרינה כולה, אבל אסור לכלול בהנחות הללו את הגורם שהוא מושא המחקר, גם אם ככיוון כללי שאין לידו מספר.

גם בסוציולוגיה ובהיסטוריה יש אינספור דברים שניתן לראות בהם סיבות מהותיות לתופעה. רוב מלאכת המחקר בתחומים הללו היא הצבעה על הגורמים המהותיים באמת, וכיוון שכך המתמטיזציה שלהם נדמית עקרה. אין הבדל של ממש בין הטענה שנפילתה של האימפריה הרומית התרחשה בגלל 80% כשלים בירוקרטיים ו-20% התחזקות השבטים הגרמאניים, ובין הטענה שנפילתה הייתה בגלל 70% זה ו-30% זה, וגם אם היה, לב הטענה הוא שאלו שתי הסיבות העיקריות, וכל הכבוד להיסטוריון שיצליח להוכיח זאת. אפשר לספור מטבעות, מבנים וגופות, אבל ההכרעה בדבר החשיבות שלהם לא יכולה להיות כמותית מאותה סיבה שאי אפשר לחבר שני אגסים עם שלושה תפוחים ולקבל חמישה פירות מעורבים. הקריטריונים לחשיבות של נתון כמותי להסבר היסטורי לא יכולים "להשתכלל", כי הם שונים זה מזה, וחמור מכך, משפיעים זה על זה כך שניתן להבין אותם רק כמקשה אחת, וזו אולי הסיבה שהיסטוריונים נוטים לחפש

מספר מצומצם של סיבות. ראייה נוספת לריבוי הגורמים הפוטנציאליים היא העובדה שמדובר בתחומים שאין בהם מכשירי מדידה, שהם הצידוק שמצאנו קודם לכן לשימוש במתמטיקה. בסוציולוגיה, סקרים מנסים לעיתים קרובות לתפוס את המקום הזה, אבל יש הבדל מהותי בין תיאור של תופעה לתיאור של האופן שבו היא תופסת את עצמה. האמונה שניתן להוציא מסקרים איזו מסקנה בלתי-אמצעית על מי שמילא אותם גם היא בעייתית, שהרי כשחוקר סבור שהוא מכיר כל כך טוב את הנפש האנושית עד שהוא יודע מה הוביל נבדק לסמן "3" ולא "4" בלי להכיר אותו אפילו קצת, ובכך, ניתן להגיד בנימה הומוריסטית שלחוקר כזה נשאר מעט מאוד לגלות על נפש האדם. עם כל הכבוד ליכולת לתקן הטיות, האמונה שיש אוסף קבוע של תכונות או מצבים שהוא זה שאחראי לתשובה מסוימת טומנת בחובה הנחה קיצונית על הדמיון הצורני בין נפשות שונות ועל היכולת שלנו לדעת אותו. אלו תחומים שהמתמטיזציה זרה להם מטבעם, ובירור מושגי, משל זה שעורך סוקרטס, מתאים יותר לניסוח וביאור התופעות האנושיות שהן מושאי המחקר.

סיכומו של דבר, לא סתם סוקרטס בחר במתמטיקה כתחום שבו ידגים את תזת ההיזכרות שלו. מדובר בצורה של ידע שאין לה קשר לגילוי תופעות שלא נודעו קודם לכן, אלא אך ורק לחשיפת המשמעויות המובלעות בלאו הכי בהנחות שאנו מכנים אקסיומות מתמטיות. אגב, השאלה אם ההנחות האלה נכונות מכוח עצמן, תצפיתיות, טמועות בנו מלידתנו, או שרירותיות, היא למעשה זו שמפרידה בין האסכולות של הרציונליסטים, האמפיריציסטים, הקנטיאנים והרלטיביסטים, לפי הסדר. המתמטיקה בהחלט יכולה לסייע למדעים האמפיריים, שכל עניינם תצפית, בכך שהיא מאפשרת תיאור מדויק של כמויות ושל היחסים ביניהן. נדמה שאין היא יכולה לגלות משהו בכוחות עצמה, ומכאן שמחקר תיאורטי יכול לחשוף רק אמיתות המוכללות באותם ניסוחים מתמטיים של המציאות, ושאלם אותם ניסוחים יתגלו כשגויים, אזי גם כל המחקר התיאורטי שעומד עליהם ייחשף כשגוי. נוסף על כך, המתמטיקה נדמית כמעט חסרת ערך בכל תחום שאין מטבע העיסוק בו הפרדה בין התכונה למידה שלה, שהרי אין למתמטיקה שום כוח במציאת התכונות הרלוונטיות למדידה, מה גם שלא בהכרח יש צורך למדוד בכל תחום מחקר, בטח ובטח שלא בתחומים שאין בהם מכשירי מדידה. בצדק מעמיד סוקרטס את המתמטיקה לצד הדיון המושגי, וטוב נעשה גם אנחנו אם נראה בשניהם כלים שכל תכליתם לחשוף את טיבן המלא של אמונותינו, אם בנוגע למה שיש לתאר במספרים ואם בנוגע למה שיש לתאר במילים.

**בימים אלה מתארגנת קבוצת קריאה בטקסטים קלאסיים בזום. בפגישה הראשונה נדבר על "מנון". להצטרפות ולפרטים נוספים ניתן לפנות אליי (נמרוד): 054-3941493**



**נמרוד נקדימון**, בוגר תוכנית אלפא טכניון.  
מלש"ב. למד מדעי הרוח ביאס"א וכתב עבודת גמר על חוש הומור כמידה טובה לפי האתיקה של אריסטו.  
מתעניין במיוחד בפילוסופיה יוונית ובשירה אנגלית.  
nimrod@nakdimon.com





## ימי לפני המוהר

תומס מור | תרגום: נמרוד נקדימון

## The Time I've Lost in Wooing

Thomas Moore

ימי לפני המוהר,  
כשצדתי את הצוהר  
לנפש דרוה,  
כזו עם אור,  
עולים עלי כמו הר.  
תורה תמיד קראה לי,  
אך על חוכמה לא בא לי,  
כל משנתי -  
נערת  
וכלום היא לא גילתה לי.

חיוך של אשת חיל,  
הטיל קסמו לקייל,  
כמותו רוחות  
שהשפחות  
פוגשות בגיא עת ליל.  
גם מול יופייה - רק יה לי,  
אך ציד עינה הרע לי:  
אם הפנתה  
את מבטה,  
ברחתי כִּמו גאלי.

ואי ימי הטוהר?  
האם לבי בסוהר  
של זמן ואור  
כבר לא שיכור  
מהצצה בזוהר?  
חדל, הפסק הסבל  
של התרת החבל!  
יש לחוכמה  
קמצוץ עוצמה  
למול נצנוץ של הבל.

The time I've lost in wooing,  
In watching and pursuing  
The light, that lies  
In woman's eyes,  
Has been my heart's undoing.  
Though Wisdom oft has sought me,  
I scorn'd the lore she brought me,  
My only books  
Were woman's looks,  
And folly's all they've taught me.

Her smile when Beauty granted,  
I hung with gaze enchanted,  
Like him the Sprite,  
Whom maids by night  
Oft meet in glen that's haunted.  
Like him, too, Beauty won me,  
But while her eyes were on me,  
If once their ray  
Was turn'd away,  
Oh! winds could not outrun me.

And are those follies going?  
And is my proud heart growing  
Too cold or wise  
For brilliant eyes  
Again to set it glowing?  
No, vain, alas! th' endeavour  
From bonds so sweet to sever;  
Poor Wisdom's chance  
Against a glance  
Is now as weak as ever.

Thomas Moore, Irish Melodies (London: Boosey & Co.), 130-131. Available online:  
[www.libraryireland.com/Irish-Melodies/The-time-ive-lost-in-wooing-1.php](http://www.libraryireland.com/Irish-Melodies/The-time-ive-lost-in-wooing-1.php)



# על חיות ומחלות

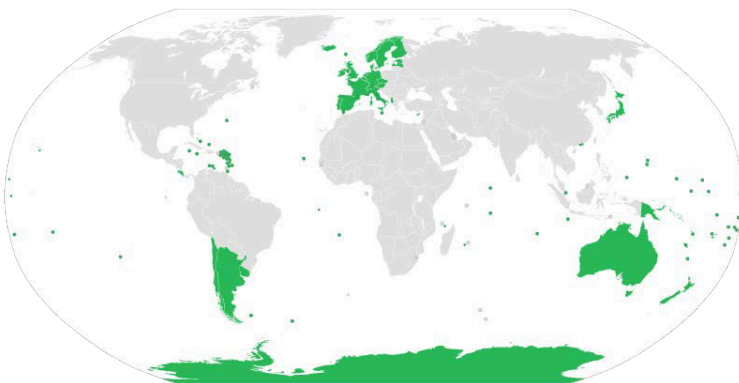
## מאת יהונתן בן סימון

כיוון שהשינויים הללו ברמה המולקולרית או האקולוגית הם נדירים יחסית, העברות זואוונטיות מתרחשות בדרך כלל באמצעות חיות שאיתן יש לבני אדם מגע מתמיד: חיות משק, כלבים, חתולים ועוד.

לאחר שהנגיף "קופץ" יש הרבה פרמטרים שיקבעו אם תיווצר מחלה, או אפילו מגפה. הווירולנטיות (עד כמה הפתוגן "אלים") היא פרמטר חשוב - ככל שפתוגן יהיה אלים יותר, כך גדל הסיכוי שהוא יצליח ליצור מחלה חדשה במאכסן החדש, אבל אם הוא יהיה אלים ברמה שתהרוג את המאכסן לפני שהמחלה תספיק להפיץ את עצמה, המחלה תדעך. לכן, מחלות כמו שפעת (ואולי הקורונה בעתיד) שמידבקות בקצב לא קטן וברוב החולים לא קטלניות - הן אלו שמתקבעות.

שפעת היא דוגמה למחלה שבחלק מהמקרים היא זואוונטית ובחלק לא. שפעת נגרמת מזנים רבים של וירוסים, חלקם אנושיים. לפעמים נוצר שילוב של חומר גנטי משפעת אנושית ומשפעת של חיה אחרת, מה שיוצר זן חדש שבחלק מהמקרים הופך לאלים ביותר, כמו שקרה עם השפעת הספרדית ב-1918.

מחלה זואוונטית קלאסית היא כלבת. מחלה זו יכולה להדביק כל יונק, אך נושאים אותה בעיקר טורפים בכלל וכלבים בפרט, וכמו כן גם קופים ועטלפים. הפתוגן במחלה הוא וירוס, והיא נחשבת למחלה הקטלנית בעולם כיוון שבהינתן הדבקה, לחולה אין סיכוי לשרוד (קיים טיפול ניסיוני ובעייתי שהצליח פעמים בודדות בשם פרוטוקול מילווקי). הדרך היחידה למנוע כלבת לאחר חשיפה לנגיף היא בעזרת חיסון שניתן בכמה מנות לפני שהזיהום מתחיל, וכמו כן ניתנים חיסונים לאנשים הנמצאים בסיכון מוגבר לחלות בכלבת.



המדינות בירוק הן מדינות ללא כלבת כיום.  
מקור התמונה: ויקימדיה, מקור הנתונים: WHO

הדבר הגדול ביותר ב-2020 כנראה לא יהיה האולימפיאדה, וגם לא הבחירות לנשיאות ארה"ב, וסביר שלא מלחמה או פיתוח טכנולוגי. הכותרת הגדולה של 2020 היא הקורונה, או ליתר דיוק COVID-19, מחלה נשימתית הנגרמת מהנגיף SARS COV-2, שלכולנו נמאס לשמוע עליה כל רגע בחדשות. בעוד שהפאניקה והבהלה לא משאירות יותר מדי מקום לדיבור מדעי סביב המחלה, אחד הדברים שהופיעו אך מעט בתקשורת הוא הניסיון להבין מהו מקור הנגיף.

אנחנו חיים בעולם שבו הרפואה המודרנית הפכה הרבה מחלות זיהומיות נפוצות לנשלטות; עולם שבו חתכים עמוקים כבר לא גורמים לקטיעת גפיים; מחלות כמו חזרת וחצבת כבר לא הורגות ילדים על ימין ועל שמאל; וחיידיקים כמו כולרה בקושי גורמים לתחלואה בעולם המפותח. עם זאת, מחלות זיהומיות מגיעות לכותרות כל כמה שנים. בין אלה ניתן למנות את הופעת האיידס בשנות ה-70 של המאה העשרים, הסארס בתחילת שנות ה-2000, התפרצויות חזרות ונשנות של אבולה באפריקה, זיקה בברזיל, ואפילו עכברת וכלבת בגולן.

מה שמשותף לכל המחלות הנ"ל, וככל הנראה גם לנגיף הקורונה החדש, הוא שכולן מחלות זואוונטיות, מחלות שמועברות מבעלי חיים לבני אדם. ההעברה יכולה להיות ישירה, ואז גורם המחלה, או ה"פתוגן", מועבר ישירות מבעל חיים לאדם (דרך נשיכה, באוויר, אכילה של בעל החיים...). דוגמה לכך היא שפעת החזירים שהתפרצה ב-2009 כתוצאה מנגיף שעבר לבני אדם מחזירים. דרך העברה נוספת היא באמצעות וקטור - בעל חיים (יתוש, קרציה וכן הלאה) שמעביר את המחלה מבעל חיים אחד לאחר, ולרוב לא יחלה בה בעצמו. מחלות אלה מתאפיינות לעיתים במחזור חיים מסובך מאוד של הפתוגן. דוגמה למחלה כזו היא לישמניאזיס (שושנת יריחו) המועברת מבעלי חיים כגון מכרסמים, שפני סלע וכלבים לבני אדם באמצעות זבובי חול. דרך שלישית היא זיהום במים או במזון, כדוגמת הסלמונלה.

ישנן מחלות זואוונטיות רבות, חלקן מפורסמות כמו כלבת, על חלקן בטח לא שמעתם כמו מרבורג, חלקן נגרמות מחיידקים כמו אנתרקס, טפילים פרוטוזואים כמו מחלת השינה האפריקאית, וירוסים כמו שחפת, פטריות כמו היסטופלזמוזיס ואפילו חלבונים (!) במקרה של מחלת הפרה המשוגעת. למעשה, רוב המחלות של בני אדם מקורן בחיות, אך כשמדברים על מחלות זואוונטיות הכוונה היא בדרך כלל לכאלה שנגרמות מפתוגנים שגם בהווה מועברים מחיות לבני אדם.

בכדי שפתוגן "יקפוץ" מבעל חיים אחד לאחר הוא צריך לעבור שינוי. השינוי הזה יכול להיות קשור למנגנון ההדבקה, לדוגמה: וירוס שמשנה את הרצפטור אליו הוא נקשר על פני התא המאכסן. הפתוגן גם יכול לסגל התאמה נגד המערכת החיסונית של בני אדם ולהצליח בהדבקה שלהם. לפעמים גם שינויים אקולוגיים בבעל החיים שמעביר את המחלה הם אלה שגורמים לפתוגן לעבור בין מאכסנים ממינים שונים.

<<<



בתמונה: פנגולין, עזבו חתולים - זה באמת חמוד. מקור התמונה: ויקימדיה

מחקר חדש עוד יותר שנעשה על הקורונה החדשה גילה שוירוס שדומה לה ב-99% נמצא בפנגולינים. כן, פנגולין זו חיה: יונק שיש לו שריון קשקשים. עובדה עצובה היא שאלו החיות הנסחרות ביותר באופן בלתי חוקי בעולם.

הסינים משתמשים בפנגולינים ברפואה. מיותר לציין שלפנגולינים אין סגולות רפואיות אבל את הסינים זה לא מעניין, וכל מיני הפנגולינים בעולם נמצאים בסכנת הכחדה בשל הסחר הבלתי חוקי בהם. הסחר הזה גורם גם למעבר וירוסים מפנגולינים לבני אדם, אבל עד שלא יהיו הוכחות חותכות לכך, אי אפשר לקבוע בוודאות שהם המקור לקורונה.

בין אם הקורונה פה בכדי להישאר ובין אם זו "סתם" עוד התפרצות של וירוס זואונוטי, מחלות זיהומיות ימשיכו לרתק אותנו, תרתי משמע.

המחלה הורגת עשרות אלפי אנשים בשנה בעולם המתפתח, כאשר חוסר פיקוח וטרינרי על חיות בית ומשק וחוסר גישה לחיסונים הם הסיבות העיקריות לכך. בעולם המפותח כלבת כמעט שלא קיימת, ולמעשה היא נכחדה מעל פני רוב אירופה. בארץ, כלבת קיימת בעיקר אצל כלבים משוטטים, תנים וזאבים, ובעיקר כתוצאה מזליגות של המחלה מהמדינות השכנות אלינו. משרד החקלאות אחראי על פיזור חיסונים לחיות בר בשטחים פתוחים כדי לצמצם את המחלה, ומלבד כמה התפרצויות קטנות בתנים בשנים האחרונות, נראה שהמחלה בארץ נמצאת תחת שליטה.

נחזור לקורונה. אומנם לא נמצא "patient zero" והחשדות שהנגיף התחיל בשוק פירות הים בוואן לא אומתו, אך סביר מאוד להניח שמדובר בנגיף זואונוטי, במיוחד מאחר שכבר הייתה התפרצות של נגיף קורונה ב-2003 בסין, שככל הנראה עבר מעטלפים לבני אדם.

מחקר מהיר שנעשה מצא שהוירוס שהתפרצותו דומה מאוד (ב-96%) לוירוס שנמצא בעטלפים מהסוג פרספ בסין.

עטלפים מהווים מאגר נפלא נפלא לוורוסים, בין הסיבות לכך ניתן למנות מבנה חברתי מורכב, צפיפות גבוהה, הפצה למרחקים עקב תעופה, שימוש בתרדמת, ומערכת חיסונית מתמרוגש תדחוי להם להיות נשאים של וירוסים רבים ללא תסמינים מיוחדים. כאשר בני אדם באים במגע עם עטלף (הדבר קורה בתדירות גבוהה במקומות בהם אנשים אוכלים עטלפים) וירוסים עם פוטנציאל זואונוטי יכולים לעבור.



בתמונה: עטלף מהסוג פרספ מהגולן. מקור התמונה: יהונתן בן סימון



**יהונתן בן סימון**, בוגר תוכנית אודיסיאה תל אביב. סיים תואר ראשון בביווגיה בהדגש אקולוגיה ואבולוציה באוניברסיטת ת"א ומתגייס בקרוב. מאוד אוהב טבע, טיולים, צלילה, צילום, מוזיקה ואוכל. jonathan240@gmail.com

# וילהלם רנטגן פרס נובל לפיזיקה 1901

## מאת איל וולך

התשובה התבררה כשלילית. פיזיקאי גרמני בשם היינריך גייסלר בנה בשנת 1857 צינור שקוף שבו הונחו שתי אלקטרודות, כך שהאחת 'השליכה' אלקטרונים על האחרת. תחילה נעשו ניסויים בריק, והתברר שאכן נוצר זרם, אפילו בהיעדר חומר; בניסויים מאוחרים יותר מילאו את הצינור בגז דליל שלא השפיע על מעבר האלקטרונים, אבל הגיב ביצירת צבעים מרשימים. העיקרון נמצא עדיין בשימוש בנורות פלואורסצנטיות (שלעיתים מכונות בטעות "נורות ניאון"). עוד לפני גילוי האלקטרון, ובלי להבין במדויק את התהליך, פיזיקאים השתמשו בקרניים כדי לבחון את ההתנהגות של חשמל שזורם באוויר או בריק, ולא דרך חומר.

רנטגן, כמו רבים אחרים בתקופתו, חקר את הקרניים בתוך שפופרות. השפופרת הכילה את האלקטרודות וגז דליל, ומנעה גם יציאה של אור, פרט ליציאה דרך חלון שהיה אטום לאוויר אבל פתוח לאור ואפשר לראות את החשמל שנע בתוכה ואת האור שהוא ייצר. בשלב מסוים כיסה רנטגן גם את החלון הזה בנייר שחור, והפעיל את הניסוי, כשלתע הוא שם לב לנצנוץ בפינת החדר שלו.

בשביל להבין את מקור הנצנוץ צריך להבין איך נהוג היה לצלם באותה תקופה. צילום אנלוגי - שהיה נפוץ עד המאה ה-20 - קלט אור שהגיע מהאובייקט המצולם ופגע במשטח שמטרתו הייתה "לתפוס את הצבע". האור הזמני השאיר כתם קבוע על החומר הייעודי. כך, מראה חולף - תמונה שעוברת - מתקבע על לוח הצילום, וממנו ניתן לפתח תמונה. רנטגן גילה שלמרות שהחדר היה חשוך והשפופרת נעטפה בצבע שחור - היא עדיין הצליחה להשאיר את חותמה על לוח צילום שהונח בצד לשימוש מאוחר יותר. התהליך כולו יצר נצנוץ, שהבזיק בזווית העין של רנטגן. לפי סיפורים אחרים, לוח הצילום היה בכלל במגירה, מוגן מכל אור מסביבו, ובכל זאת נצבע בעקבות הקרינה שיצאה מהשפופרת.

רנטגן הבין שיש לו תוצאה מעניינת ביד - קרינה שמתנהגת כמו אור ונוצרת מאותם מקורות, אבל מסוגלת לחדור גם דרך חפצים אטומים - והוא החליט לחקור את תכונותיה באופן מעמיק יותר. הוא גילה, בסדרה של ניסויים נוספים, שאומנם הקרינה חודרת דרך דף, אבל היא לא יכולה לחדור דרך כל דבר. הוא כינה אותה "קרינת X", שכן לא היה ברור לו מה המקור שלה, והתחיל לבצע את מה שהיום מכונה "צילום רנטגן" - יצירת קרינת רנטגן במכוון והעברתה דרך אובייקט עד ללוח הצילום. זה היה דומה מאוד לצילום רגיל - רק שאת התאורה מחליפה קרינת הרנטגן, ובמקום המצלמה יש לוח צילום.

בשנת 1901 פנתה האקדמיה השוודית למדעים לקיים את צוואתו של אלפרד נובל. נובל, יליד שוודיה, הגיע במהלך חייו להישגים רבים, אבל המשמעותי ביותר היה המצאת הדינמיט. מסופר שכשאחיו, לודוויג נובל, מת בשהותו בצרפת, העיתונות הצרפתית חשבה שמדובר באלפרד ודיווחה על מותו תחת הכותרת "Le Marchand de la mort est mort"; "סוחר המוות מת". לפי הסיפור, נובל הזדעזע מהרעיון שיירשם בספרי ההיסטוריה כ"סוחר המוות", ובחר להקדיש בצוואתו את מרבית ממנו להענקת פרס שנתי "לאלה אשר הנחילו את התועלת הרבה ביותר לבני האדם" בתחומי הפיזיקה, הכימיה, הפיזיולוגיה והרפואה, הספרות והשלום.

שישה אנשים נבחרו לזוכים הראשונים בפרס נובל - פרדריק פאסי וז'אן אנרי דִיֶּן זכו בפרס נובל לשלום, סִילִי פֶּרִידוֹם זכה בפרס נובל לספרות, אמיל אדולף פון בֶּרְיִינג זכה בפרס נובל לפיזיולוגיה, יאקובוס ואן 'ט הוף זכה בפרס נובל לכימיה ו-וִילְהֵלְם קוֹנְרַד רֶנְטְגֶן זכה בפרס נובל לפיזיקה. במאמר נעסוק ברנטגן ובתגלית שלו.

בהכרזה על הזוכה בפרס, ועדת פרס נובל מכריזה גם במשפט על הסיבות להענקת הפרס. במקרה של רנטגן, נאמר שהוא זכה בפרס "בהוקרה על השירותים יוצאי הדופן שהעניק בגילוי הקרניים שלאחר מכן נקראו על שמו". את הקרניים המדוברות אנחנו מכירים כקרני רנטגן, אף שהוא עצמו לא קרא להן כך, וכדי להבין את סיפורן ואת משמעות הגילוי יש ללכת אחורה בהיסטוריה.

וילהלם קונרד רנטגן נולד בשנת 1845 בפרוסיה. את הקרניים שיעניקו לו תהילה עולמית הוא גילה ב-1895, כאשר עבד באוניברסיטת וירצבורג והשתמש במכשיר שהיה פופולרי מאוד בעולם המדע אז - שפופרת קרן קתודית, התקן שנכח בחיינו עד לא מזמן, שכן בעקרונות שלו השתמשו כדי לבנות את טלוויזיות ה"קופסה" הישנות שהיו נפוצות עד תחילת המאה ה-21.

חשמל נוכח בחיי היומיום שלנו מכל עברינו. מאז המצאת נורת החשמל בשנות השבעים של המאה ה-19, אינספור רכיבים חשמליים משמשים את כולנו. לכולם מאפיין אחד משותף שמעניק להם את שם התואר "חשמלי" - הם פועלים על תנועה של זרם חשמלי, כלומר על תנועה של אלקטרונים ממקום למקום בתוך חומר.

ברוב מוליכי החשמל, זרם משמעו אלקטרון ש"קופץ" בין אטומים. האלקטרון נע צעד אחר צעד מאטום לאטום, וכך נוצר זרם חשמלי - תנועה של אלקטרונים. בעקרונות האלה השתמש בנג'מין פרנקלין כבר במאה ה-18, כאשר הציע לחבר למבנים גבוהים "כליאי ברק" כדי שברקים יפגעו בהם ויעברו לקרקע בלי הפרעה, במקום לעבור דרך המבנה עצמו וליצור נזק לו וליושביו. במאה ה-19, פיזיקאים השתעשו בשאלה אחרת - האם אנחנו חייבים להשתמש בחומר מוליך בתווך? האם יש צורך בחומר שיספק את אותם "שלבי סולם" שהאלקטרון מטפס בהם זה אחר זה?

ותומס אדיסון שלח אליו מכשיר נוסף לצילום רנטגן, אבל בסופו של דבר לא בוצע צילום לאיתור הקליע. היסטוריונים חלוקים בשאלה מדוע אחת הסברות היא שהם לא בטחו ביכולתו של המכשיר לפעול בעבור אדם עב-בשר כמו מקינלי, או שחשבו שאי הנוחות של הנשיא תהיה גדולה מדי. גרסה אחרת טוענת שבמכשיר של אדיסון היה חסר רכיב חיוני. כך או אחרת, הנשיא מת מהנמק שיצר הקליע; מיקום הקליע בתוך גופו של מקינלי לא נמצא מעולם.

שנים מאוחר יותר, נמצא התיאור הנכון של הקרניים - קרני רנטגן, למעשה, דומות מאוד לקרני אור, רק מורכבות מחלקים עוצמתיים יותר. אין הדבר אומר שהקרניים בהכרח חזקות יותר. ניתן להשוות זאת להליכה תחת מטח ברד או שלג יורד שפוגעים בקרקע. העוצמה הכוללת היא כמו כמות המשקעים שפוגעים בקרקע, אבל המשקעים הללו יכולים להיות שלג רך, או ברד קשה. ניתן להתמודד עם כמות גדולה מאוד של שלג, אבל מספיקה כמות קטנה של ברד קשה כדי לגרום לפגיעה.

כמו השלג והברד, כך גם קרני אור לעומת קרני רנטגן. "אבני הברד" מהן עשויה קרינת רנטגן חזקות ואגרסיביות מאוד, עד כדי כך שהן יכולות לעבור דרך דברים, כל עוד אינם צפופים מדי - למשל דף נייר, או עור של בן אדם. דברים צפופים יותר, כמו טבעת מתכת או עצם, כן עוצרים אותן. אותה עוצמה של הקרניים מאפשרת להן לחדור דרך העור שלנו אל תוך תאי הגוף. אור נראה אינו מסוכן לגופנו, כמו השלג, אבל מספיקה כמות נמוכה מאוד של קרני רנטגן כדי לפגוע בתאים בגופנו. הקרניים פוגעות בדנ"א וגורמות לאי-סדרים ולשיבושים במבנה שלו, שמתבטאים במגוון מחלות, שבראשן סרטן. זו הסיבה שכיום כל המערכות שמשמשות בקרני רנטגן, החל במכשירי שיקוף בשדות תעופה וכלה במכשירי צילום שיניים, מעוטרות במגוון סימני אזהרה שמטרתם למנוע חשיפה מרובה למשתמשים.

קרינת רנטגן מסוכנת לגוף האדם, אך אפשר להתגונן מפניה. היא אינה חודרת דרך מתכות, בייחוד מתכות כבדות כגון עופרת, ולכן בביקור אצל רופא שיניים, לפני הצילום יש ללבוש סינר כבד שמטרתו לצמצם את החשיפה שלנו לקרינה. רנטגן הבין שיש גם סכנות בקרינה - אף שלא הבין מה פשרה - והיה מחלוצי השימוש במגיני עופרת, ואת מותו מסרטן ב-1923 בגיל 77 אין מקשרים לעבודתו. אבל רופאים וטכנאים רבים נפגעו מהקרניים - הראשון ביניהם היה קלרנס מדיסון ג'אלי שסייע לתומס אדיסון בעבודתו, וב-1904 מת מסרטן בידיו שנגרם מהקרינה.

השימוש בקרינת רנטגן מסוכן, אבל כאשר הוא נערך בהזירות הנדרשת אין בו סכנה ממשית. כיום, כשאנו מבינים את טבען של הקרניים ויודעים איך להתנהל בעבודה איתן, הן מסייעות לנו באופנים רבים. רנטגן, שגילה אותן, זכה לתהילת עולם והיה הפיזיקאי הראשון שזכה בפרס היוקרתי ביותר בתחום הפיזיקה גם כיום, מאה ועשרים שנה לאחר שהוענק לראשונה.



מקור התמונה: ויקימדיה

בתמונה אפשר לראות את אחד מצילומי הרנטגן הראשונים. מצולמת בו יד אדם, ואפשר לראות שהקרינה עוברת דרך הבשר, אבל נחסמת בעצמות ובטבעת שענד המצולם.

כבר ב-1896 הקרניים התבררו כשימושיות מאוד. עוד לפני שהעולם המדעי הבין מהן הקרניים האלה, או מדוע הן מתנהגות כפי שהן מתנהגות, רופאי שיניים נעזרו בהן לצילומי שיניים, וכירורגים איתרו באמצעותן שברים בעצמות. רנטגן מעולם לא הציע הסבר לטיבן של הקרניים, אבל התגלית שלו אפשרה לבני אדם לראות דרך דברים שנראים אטומים - כולל דרך גופם של אחרים. ב-1901 נורה הנשיא האמריקאי מקינלי בידי ליאון צ'ולגוש בבאפלו, ניו יורק. הוא טופל בתנאי שדה, ואף שמכשיר רנטגן פרימיטיבי היה בנמצא, לא נעשה בו שימוש. לאחר כמה ימים בהם חל שיפור, שוב הורע מצבו של הנשיא,



**איל וולך**, השתתף בנבחרת ישראל בפיזיקה.  
דוקטורנט ומלש"ב. חוקר בתחום פיזיקת המצב המוצק.  
קורא כל מה שרק אפשר. [eyalwalach@live.com](mailto:eyalwalach@live.com)





ללא כותרת, ליאת בר



**ליאת בר**, בוגרת תוכנית אלפא טכניון.  
חניכה במכינה קדם צבאית "אופקים למדע".  
למדה בתיכון פיזיקה ואומנות, ועבודת גמר בכימיה.  
אוהבת לטייל, ללמוד ולהיפגש עם חברים.  
[barliatush@gmail.com](mailto:barliatush@gmail.com)



# נוזלים יוניים

## מאת רון רפאלי

דוגמה לתרומה משמעותית של הנוזלים היוניים, קשורה לביצוע תגובות בפאזה נוזלית. ביצוע תגובות בפאזה נוזלית חשוב מאוד לשימוש תעשייתי או למחקר, שכן הפאזה המוצקה מסודרת מדי ולא מאפשרת אינטראקציה ליצירת חומר חדש, ובפאזה הגזית קיימים בין החלקיקים מרחקים גדולים מדי לביצוע התגובה. כאשר מבצעים תגובות בנוזל מקבלים קרבה יחסית בין כל החלקיקים תוך אפשרות תנועה שלהם, מה שמאפשר את קידום התגובה והיווצרות התוצר.

טרם גילוי הנוזלים היוניים, לצורך ביצוע תגובות בפאזה הנוזלית השתמשו בדרך כלל ב-VOC (Volatile Organic Compounds) - מרכיבים אורגניים נדיפות. החסרונות העיקריים של הממסים הללו הם שהם מתנדפים בקלות, ומגיבים עם החמצן שבאוויר ליצירת גזים רעילים ומזהמים. לדברי חברת התרופות הבריטית GSK, ממסים המשמשים לביצוע תגובות מהווים 85% מכלל הפסולת של החברה. בנוסף, הממסים האורגניים הם חומרים פעילים, ולעיתים קרובות גורמים לתגובות משניות (איבוד כסף, זמן וחומרים). נשאלת השאלה: האם השימוש בממסים רעילים, מזהמים ונדיפים הוא גזרת גורל?

כאן נכנסים הנוזלים היוניים לתמונה. הנוזלים היוניים לא מתנדפים בשל הכוחות החזקים בין היונים, ובנוסף הם יחסית ידידותיים כימית וניתן להשתמש בהם שוב לביצוע תגובות. כמו כן, היתרון המשמעותי ביותר של הנוזלים היוניים הוא היכולת ליצור ולזרז תגובות על ידי שינויים בצורת היות שבנוזל היוני. כל אלו הופכים את הנוזלים היוניים לממסים אופטימליים.

יתרון נוסף של הנוזלים היוניים הוא שבניגוד לרוב הממסים האורגניים שאינם קוטביים, לנוזלים יוניים יכולת קיטוב גבוהה יחסית, כך שניתן להמס בהם חומרים רבים שאי אפשר להמס בממסים אורגניים רגילים ואפילו במים. התרכובת סידן פחמתי, למשל, אינה מסיסה במים, אך בנוזלים יוניים היא כן. את התכונות המיוחדות של הנוזלים היוניים אפשר לתעל גם לתחום הרפואה.

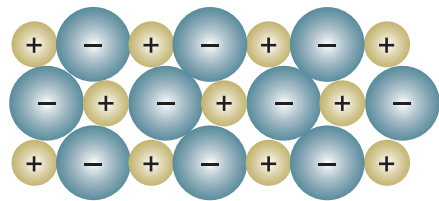
כיום, מחקר וייצור של תרופות מתמקדים בעיקר במוצקים. כדורים, אבקות וכמוסות הם הרוב השולט בעולם הרפואה, ונוזלים נחשבים לרוב כתרופה מוחלשת, או כשלב ביניים עד שהמתופל יוכל לבלוע תרופות באופן עצמאי. למרות זאת, המון תרופות מוצקות ומבטיחות לא יכולות להתמוסס טוב מספיק ולהיספג בגוף. מעניין לדעת שמסך התרופות הנכנסות לפיתוח, בין 40% ל-70% נכשלות רק מפני שלא מצליחים לגרום להן להיכנס למחזור הדם בצורה אפקטיבית, דבר הגורם לבזבז עצום של כסף, זמן מחקר וכוח אדם.

כל מי שלמד קצת כימיה או עסק בתחומים הנושקים לה, מכיר את המושג "יון", חלקיק בעל מטען חיובי או שלילי. תרכובות יוניות בנויות מיונים חיוביים ושליליים המסודרים שכבה אחר שכבה, כמו למשל המלח שאנו אוכלים, המורכב מיון שלילי של כלור (Cl-) ומיון חיובי של נתרן (Na+).

במלח, היונים השליליים והחיוביים נמשכים זה לזה בחוזקה, ונוצר מבנה מסודר, מה שגורם לו להיות מוצק בטמפרטורת החדר. משך שנים רבות רווחה הדעה שכל התרכובות היוניות הן מוצקות בטמפרטורת החדר ומתנהגות באותו האופן, ומדענים לא העמיקו במחקר על התרכובות הללו.

לפני שמהירו החוקרים לחרוץ את גורל כל התרכובות היוניות, ניסו לחשוב על כיוון חדש. היונים בתרכובת היונית מצליחים להסתדר במבנה מסוים ולכן הם מוצקים, אבל מה קורה אם לוקחים יונים גדולים ומסורבלים שקשה להם להיארג במבנה הצפוף של המלחים שאנו מכירים?

הכוחות החזקים בין היונים החיוביים לשליליים נשמרים, אבל הם לא יכולים להתארגן בצורה מסודרת. מסיבה זו, מה שנראה בעין יהיה נוזל (!) שמורכב אך ורק מיונים. עדיין נותר לבדוק - למה זה טוב? מה הנוזלים היוניים יכולים לעשות שנוזלים אחרים או מוצקים יוניים לא יכולים לעשות?



המחשה למבנה סריג יוני טיפוסי. מקור התמונה: shutterstock

העדויות הראשונות לקיומם של נוזלים יוניים התקבלו ב-1888 וב-1914. הנוזלים היוניים שהתגלו לא היו יציבים - הם התפרקו באופן ספונטני במגע עם לחות, אוויר, חומצות ובסיסים, דבר שהקשה את השימוש בהם. לאחר שגם לא מצאו לתרכובות הללו שימושים מעשיים, נפסקו מחקרים ופיתוחים שונים בתחום, עד שהוא נשכח לגמרי מן החזית המדעית.

רק בשנות ה-90 של המאה ה-20 נמצא פתרון אלגנטי לייצוב הנוזלים היוניים, ומאז החלו מחקרים ופיתוחים חוזרים שהביאו לקידום הענף אשר ממשיך לגדול עד היום.

נכון להיום, כחצי מכמות התרופות בשוק הן מוצקים יוניים. ניסיון להחליף את המוצקים בנוזלים יוניים, המסוגלים להתמוסס פי כמה וכמה טוב יותר ולכן להיספג בצורה טובה וחלקה יותר, יכול לתרום באופן משמעותי מאוד ליעילותן של תרופות. אחד המחקרים הנערכים כעת בכיוון הזה עוסק בשילוב בין תרופה אנטי-בקטריאלית לתרופה נוגדת נפיחות המסייעת לשיכוך כאבים, הורדת חום ומניעת קרישי דם. נוזל שכזה לא רק ישלב את התכונות של שתי התרופות, אלא יוכל גם לפעול בגוף ביתר קלות ובכך ניתן יהיה להפחית את המינונים הניתנים כיום.

לצד הפוטנציאל הרפואי הטמון בהם, לנוזלים היוניים יש גם חסרונות משמעותיים. כבר בתחילת העבודה עם הנוזלים היוניים, התברר שהם רעילים במידה זו או אחרת, חלקם ברמה גבוהה מאוד. עד לשנת 2010 הצטבר מידע רב על הרעילות של נוזלים יוניים במאגרי מים, ביבשה, ולבעלי חיים. התמונה שהצטיירה הייתה עגומה - בדיקה של רעילות הנוזלים לגבי שני מינים של דגי ים הראתה שכאשר נוזל יוני מסוג BMIM HSO<sub>4</sub> נמצא בריכוז של 200ppm (parts per million), 50% מהדגים מתו, ובריכוז של 350ppm כל הדגים מתו.

מאמר שפורסם לאחרונה זורע תקווה לאפשרות פירוק ביולוגי של הנוזלים היוניים על ידי חיידקים. מתברר שקבוצת הנוזלים היוניים שבהם כולין, שהוא תוסף תזונה, הוא היון החיובי, והיון השלילי הוא חומצה אמינית, מסוגלים לעבור פירוק בקלות על ידי מינים שונים של חיידקים. כמו כן, בנוזלים מאותה הקבוצה התגלתה רעילות מזערית עד זניחה לבעלי חיים.

כדי לרתום את הנוזלים היוניים לעבודה משמעותית בתחומי המדע והתעשייה נדרשים עוד מחקרים רבים, ובשנים האחרונות החלו להשקיע בפיתוחים שימשו להפיכת תהליכי הסינתזה שלהם לזולים, ידידותיים לסביבה ולא עד כדי כך רעילים.

אני צופה לנוזלים היוניים עתיד גדול. המאפיינים הייחודיים שלהם הופכים אותם למעניינים למחקר ולבעלי פוטנציאל עצום במגוון רחב של נושאים - בכימיה בפרט, ובמדע בכלל.



מקור התמונה: shutterstock



**רון רפאלי**, השתתף בנבחרת ישראל בכימיה.  
סטודנט לתואר ראשון בכימיה בטכניון ומאמן נבחרת גולן בכימיה.  
ronraphaeli@gmail.com



---

## המלצה על סרט PROF. MARSTON AND THE WONDER WOMEN

מאת איתמר דריימן

פרופ' ויליאם מרסטון ידוע בין השאר כפסיכולוג - תיאורטיקן, כממציא אחד מאבות הטיפוס של הפוליגרף וכיוצר של דמות הקומיקס המפורסמת Wonder Woman. אבל עובדות אלו לא עומדות במרכז הסרט. מה כן עומד במרכז? דרמה עלילתית אשר נסובה סביב חייו האישיים הייחודיים של פרופ' מרסטון.

ומהו הערך האישי והאינטלקטואלי שבהיחשפות אל סיפור חייו האישיים? - על פי הפילוסופית והסופרת אייריס מרדוק, לא רק שהספרות טומנת בחובה פוטנציאל אינטלקטואלי, היא טומנת בחובה פוטנציאל אינטלקטואלי שאין בכוחם של המדע או של הפילוסופיה להשיג בלעדיה: הספרות מאפשרת לקורא (או במקרה הזה - לצופה) לראות את המציאות דרך עיניו של אדם אחר, לחוות חוויות שמחוץ להישג ידו - בגוף ראשון. כך, מתאפשר לצרכן האומנות לא רק לפתח חיבה כלפי צורות המחשבה, הרגש וההתנהגות של הזולת, אלא גם להבין אותן ולהזדהות עימן כאילו היה בנעליו. מכיוון שכך, על פי מרדוק, הספרות הינה כלי תצפיתי טוב להבנת טבעה של נפש האדם - טוב הרבה יותר מאשר הכלים התצפיתיים המקובלים. יתרה מכך, הספרות הינה גם כלי מוסרי בעל מסוגלות גבוהה משמעותית להשכין שלום ורעות מאשר המסוגלות של כל תיאוריה רציונלית להטיף לחוק וצדק.<sup>1</sup>

ובחזרה לסרט - ייחודו של הסרט, מבלי לעשות ספויילרים, בכך שהוא מאפשר לצופה להתוודע באמת ובתמים לפרדיגמות רומנטיות ולאורחות חיים רומנטיים שונים מן המקובל. חשוב לציין, כי התהליך המתרחש בסרט איננו מן הסוג שמתעורר, כבמרבית הסרטים ההוליוודיים, כתגובת נגד קפריזית בשם ההתנסויות החדשות אל מול ההגמוניה המונגמית. לעומת זאת, הסרט מתווך אל הצופה בהצלחה מרובה, באמצעות דמויות עגולות ומשכנעות משני המגדרים, התפתחות טבעית, כנה ובת קיימא, אשר מונעת מתוך הסתכלות נבונה פנימה.

כתבה וביימה: אנג'לה רובינסון. שחקנים ראשיים: לוק אוונס, רבקה הול, בלה היתקוט. 2017. 108 דקות. שם הסרט בעברית: פרופ' מרסטון ונשות החיל. ניתן למצוא גם ב-Netflix.



<sup>1</sup> Beatriz Sánchez Tajadura, "Iris Murdoch: How to Philosophize Through Literature" (Final Degree Dissertation in Philosophy, Oxford Brookes University, n.d.), p. 16-25.

כתב העת של רשת אסכולה | אפריל 2020

עיון ערד:

01

רוצים לקחת חלק בגיליון הבא שלנו?  
שלחו את הצעתכם לכתובת המייל:  
[HaAscolaPaper@gmail.com](mailto:HaAscolaPaper@gmail.com)

ועד אז, שיהיה חג שמח!



אסכולה  
רשת הבוגרים



מרכז מדעני העתיד  
MAIMONIDES FUND