

# חדשנות: עבר ועתיד

יואל מוקיר

אוניברסיטת נורת'ווסטרן ובית ספר ברגלס לכלכלה, אוניברסיטת ת"א

הרצאה למכון אהרון

29.4.2026



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

## האם הצמיחה הכלכלית היא ברת-קיימא?

במאמר הקלאסי על הצמיחה הכלכלית, סולו הצביע על "קללת הקעירות" --- צמיחה שמבוססת על הצבר הון תיכנס ברבות הימים לתפוקה שולית פוחתת ותתפוגג.

מה שאפשר להוסיף הוא שתפוקה שולית פוחתת זו מתארת גם את הצמיחה נוסח סמית (הנובעת מרווחי סחר והתמחות) וגם את הצמיחה נוסח נורת, הנובעת משיפורים מוסדיים (ז"א הקצאת מקורות יותר יעילה והורדה בהוצאות עסקה).



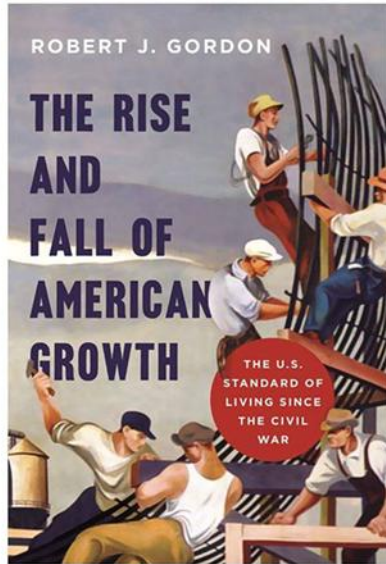
**האם זה נכון גם כן לשיפורים טכנולוגיים?**

האם הדברים כך גם לגבי צמיחה נוסח שומפטר (מבוססת על שינויים טכנולוגיים)?

האם נגיע לעולם שבו "כל מה שאפשר להמציא כבר הומצא"?



# רבים סבורים כך



*American Economic Review* 2020, 110(4): 1104–1144  
<https://doi.org/10.1257/aer.20180338>

## Are Ideas Getting Harder to Find?<sup>†</sup>

By NICHOLAS BLOOM, CHARLES I. JONES, JOHN VAN REENEN,  
AND MICHAEL WEBB\*



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

## במילים אחרות:

כל הפירות הנמוכים כבר נקטפו, ההזדמנויות הקלות כבר מוצו, החידושים בעלי תשואות השוליים הגבוהות כבר נעלמו.

עובדה: בעשורים האחרונים העלייה בפריון הכולל (TFP) הואטה מאוד.

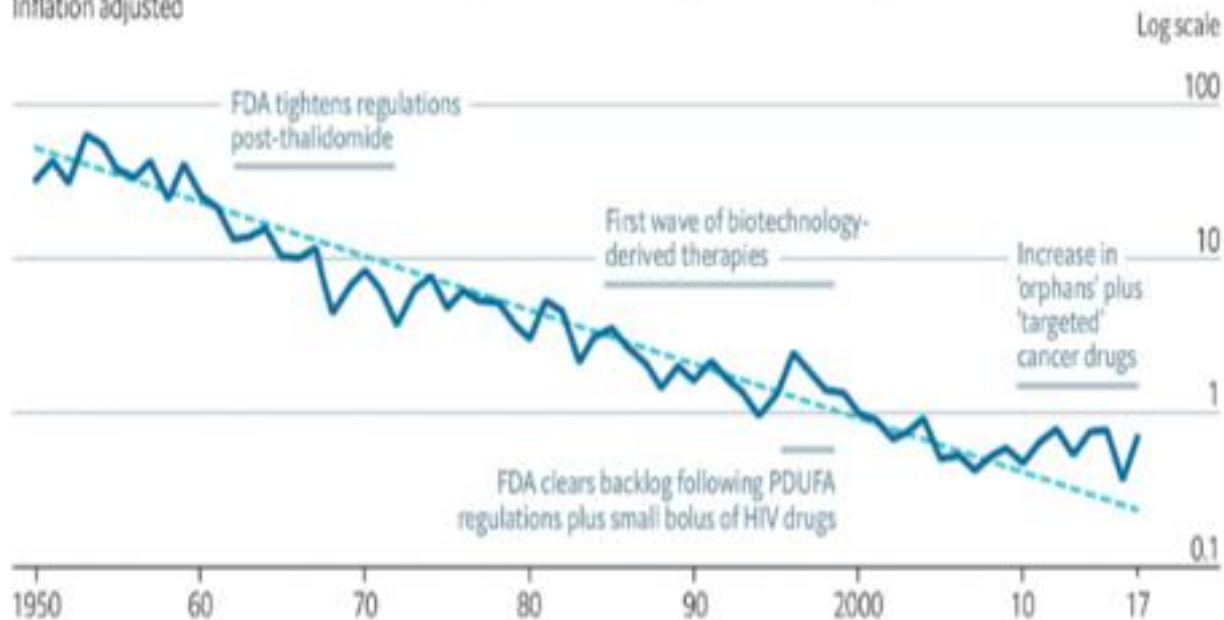


# דוגמה מעניינת: חוק "אירום":

## Eroom's law

United States, number of new molecules approved\* per \$1bn global R&D spending

Inflation adjusted



Source: Scannell et al. (2012), with additional post-2012 data by Scannell et al.

\*By US Food and Drug Administration (FDA)

The Economist

# אך האם המָּשֶׁל של עץ הפירות באמת משקף את המציאות?

התקדמות המדע והכלים שעומדים לרשותנו מהווים סולמות להגיע לענפים הגבוהים יותר של העץ.

יתר על כן: הפירות בענפים הגבוהים של העץ טובים יותר, כי הם חשופים יותר לשמש.

[המְטפורה הזאת עצמה בוודאי שכבר נכנסה לתפוקה שולית פוחתת...]



# חוץ מבינה מלאכותית... פריצות דרך בעשור האחרון

1. ביולוגיה מולקולרית (עריכת גנים בעזרת CRISPR ) והפלטפורמה של mRNA.
2. עולם האנרגיה: שיפורים דרמטיים בהבנה ובייצור של טכנולוגיית מצברים ושיפורים דרמטיים בכורים גרעיניים מבוססים על ביקוע גרעיני ( מעל לכל: למזער פסולת גרעינית)
3. טכנולוגיית חלל, למשל LEO (לוויינים במסלול נמוך סביב כדור הארץ)
4. ביאולוגיה סינתטית: שימוש במיקרובים לייצר חומרים אורגניים, כמו חלבונים חדשים.
5. התקדמות עצומה לאורך חזיתות רבות במדעי החומרים: למשל מוליכי-על בטמפרטורה גבוהה, וחומרים חדשים בעקבות גרפין וכדומה.
6. באופן אך טרם מוכנים לשימוש כלכלי: מחשבי קוונטום וכמובן היתוך גרעיני שנחשב ל"גביע הקודש" של הטכנולוגיה, טכנולוגיות התחדשות ביולוגית...



## מה מלמד העבר על העתיד?

אם הדפוסים של חדשנות שמשלו בעבר יחזיקו מעמד גם בעתיד:

"זוהי רק ההתחלה" --- "עוד לא ראיתם כלום!"

לפחות מנקודת הראות הטכנולוגית הטהורה, יש מקום לאופטימיות.



# כדי לראות זאת, יש לפתוח את הקופסה השחורה של סולו

איך התפתח הידע השימושי (useful knowledge) בעבר?

גם לפני המאה ה-17 היתה התקדמות בידע שימושי: במאה ה-15 האירופים למדו לבנות ספינות מתקדמות שיכלו לחצות את האוקיינוסים; למדו להתיך ברזל; להדפיס ספרים; שכללו טחנות רוח ומים; בנו כלי נשק משוכללים שהביסו את הצבאות בעולם החדש ובאסיה ועזרו להם לבנות אימפריות קולוניאליות.

אך ההתקדמות היתה איטית ונתקלה במעצורים ומחסומים.

מדוע פתאום נפתחו שערי הקדמה בתחילת המאה ה-17? יש כאן שני מרכיבים: הרחבתו והעמקתו של ס"ה הידע השימושי; והפצת ידע זה בין אנשים שיכלו לעשות בו שימוש.



# ה"קופסה השחורה" מורכבת משני חלקים

1. ידע "מה" (ידע הצהרתי) propositional knowledge מורכב ממה שאנו קוראים היום "מדע" אבל גם ידע נוסף כמו גיאוגרפיה, כללי חשבון ואקטואריה, וכיו"ב.

2. "איך" (ידע ביצועי) prescriptive knowledge מורכב מהוראות שיש להם פורמט של מתכון: הוראות מדויקות איך לייצר מוצר או שירות מסויים. לרוב ידע זה היה ידע מובלע (tacit knowledge) שמועבר במגע ישיר בין אנשים.



# הדינמיקה ההסטורית בנויה מן האינטראקציה של שתי קבוצות אלה

מצד אחד המודל ה"קלאסי" מראה ש

מדע טהור ← מדע מיושם ← המצאות ← הנדסה ← ייצור

בנוסף לזה הציע נתן רוזנברג קשר נוסף

המצאות ← ידע ביצועי ← מחקרים מדעיים ← מדע טהור



ניתן לראות שיש כאן לולאת משוב חיובי ( positive feedback loop ).

אם הפרמטרים של המשוב מספיק חזקים, המערכת יכולה להתבדר ולא להתכנס, כאשר הידע ההצהרתי מושך את הידע הביצועי כלפי מעלה, והידע הביצועי מושך את הידע ההצהרתי. אם קשרי הגומלין מספיק חזקים, המערכת יכולה לעבור ממערכת יציבה של steady state למערכת שממשיכה לצמוח בקצב הולך וגובר.

הטענה: המהפכה המדעית של המאה ה-17 וה"נאורות התעשייתית" של המאה ה-18 שינו את הפרמטרים של המערכת הדינמית של לולאת המשוב.



## אחד העקרונות הבסיסיים של הנאורות התעשייתית

הנאורות התעשייתית (ראה Mokyr, 2009; Mokyr, 2002) היתה תנועה (חלק מן הנאורות) שהתמקדה על קדמה חומרית, ז"א צמיחה כלכלית.

הם לקחו מבייקון את האמונה שקדמה מדעית וחדשנות הם המפתח לצמיחה ולהגדלת העושר החברתי ופיתחו תכנית שלמה שמטרתה היתה להמריץ ולזרז את ההתקדמות הטכנולוגית.

אחד המרכיבים היה הרעיון לשפר את הקומוניקציה בין אנשי מדע וידע הצהרתי לבין תעשיינים ואנשי ייצור כמו מהנדסים שחלשו על ידע ביצועי, והקשר בין שתי קבוצות אלה התפתח מאוד בתקופה זו. זה כשלעצמו השפיע על הפרמטרים של לולאת המשוב.



## המצאות יצרו כלים חדשים לאנשי מדע

הפרמטרים גם היו פונקציה של הכלים שהיו למדענים, שקידמו את המדע.

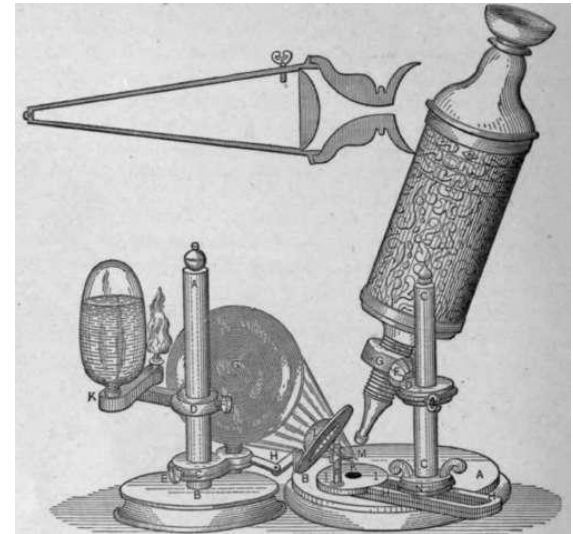
במאה ה-17 הומצאו מספר לא קטן של כלים שעזרו למדענים לגלות תופעות חדשות שברבות הימים הובילו לתוצאות חשובות.



## כלים של המהפכה המדעית של המאה ה-17



הטלסקופ של גלילאו



המיקרוסקופ של הוק



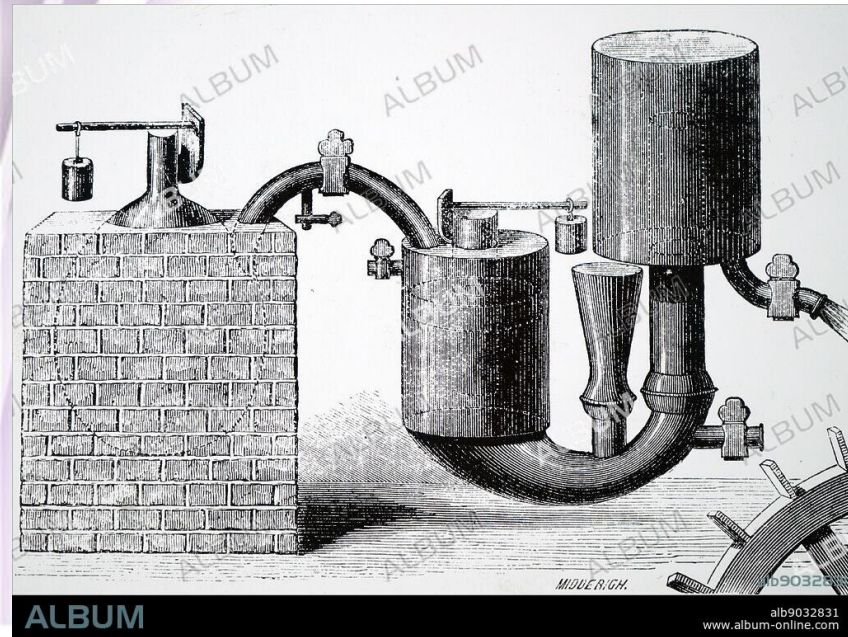
# טוריצ'לי ממציא את הברומטר ומגלה את האטמוספירה



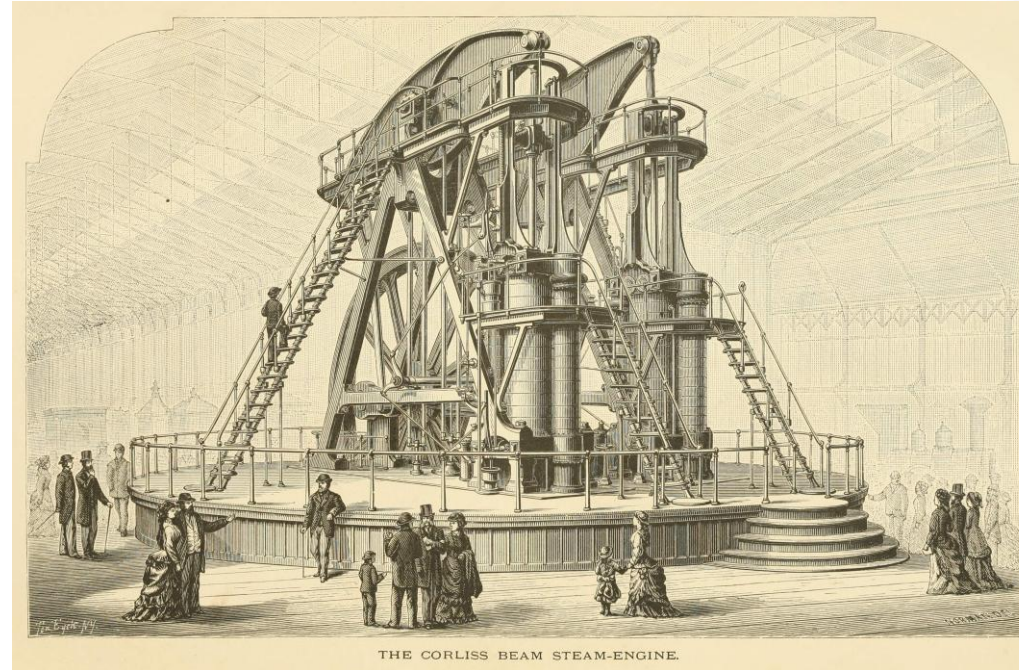
# אוטו וון גואַריקה ממציא את משאבת הַנְקוּם



## שהוביל לזה:



המודל של מכונת הקיטור של דניס פֶּפֿון,  
1707



מנוע הקיטור של קורליס, (1849)



# פחות ידוע: שתי המצאות של תקופת הנאורות:



אודיומטר משמש בכימיה לתיאור מכשיר למדידת נפח גזים (ובמקור – להערכת "איכות האוויר", מכאן השם היווני.

טוב/צלול = eudios

הומצא על ידי המדען והפילוסוף האנגלי הדגול ג'וזף פריסטלי ב-1772 (גם גילה את החמצן)



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY



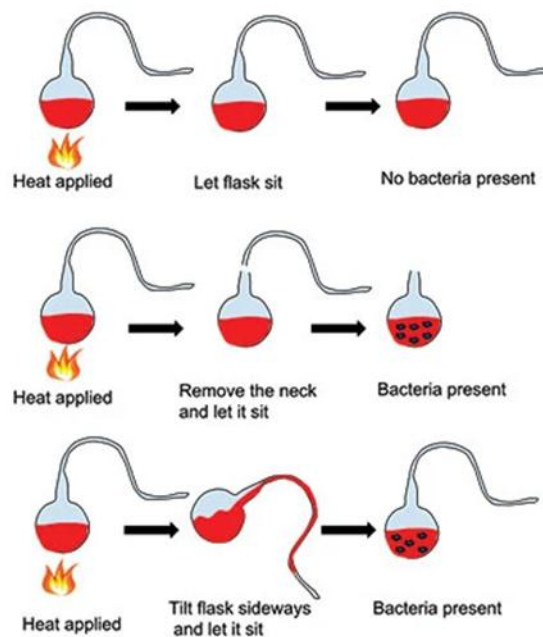
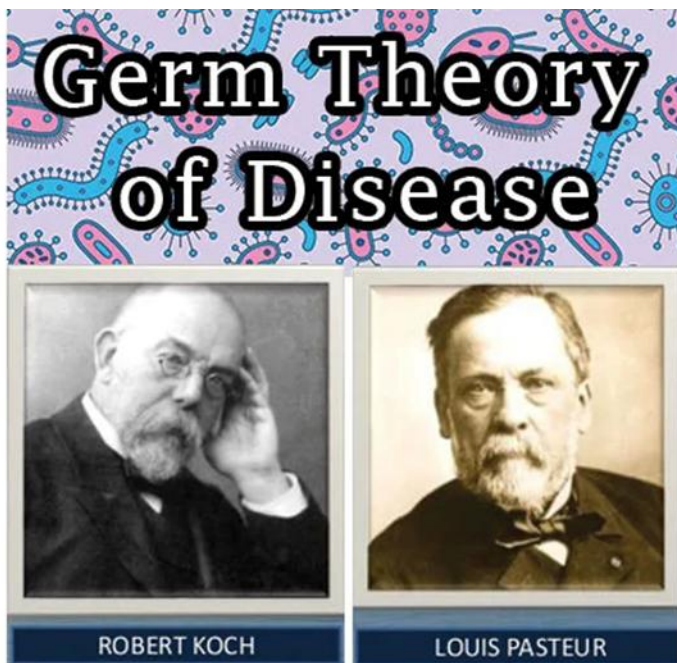
קלורימטר: מכשיר שהומצא על ידי פייר-סימון לפלס ואנטואן לואאסייה ב-1782-83 שנועד למדוד את התהליך של מדידת החום של תגובות כימיות או של שינויים פיזיקליים, וכן (heat capacity) של קיבול החום.

## התפתחות קריטית לאנושות

השיפורים בטכנולוגיית המיקרוסקופ במאה התשע־עשרה: ג'וזף ג'קסון ליסטר (1786–1869) (אביו של המנתח המפורסם יותר), פיתח את האובייקטיב האכרומטי למיקרוסקופ (1830). הבעיה שהוא פתר הייתה שמיקרוסקופים מוקדמים סבלו מעיוותים כרומטיים ומרחביים, שגרמו לעיוותי צבע ולטשטוש של התמונה שהקשתה על ההבחנות הקריטיות.



ההמצאה של ליסטר אפשרה להבחין בחיידקים במיקרוסקופ ובכך היתה תנאי הכרחי לתגליות של פסטר וקוך שפיתחו את תורת החיידקים, התגלית ששינתה את העולם הרפואי והדמוגרפי עם השלכות חשובות ביותר עבור רווחה כלכלית.



מימין: הניסוי  
המפורסם של  
פסטר משנת  
1862 שבו הוכיח  
התהוות שאין  
ספונטנית  
וחיידקים נוצרים  
מחיידקים אחרים,  
צעד מכריע  
בהיסטוריה של  
הבקטריולוגיה

ומה לגבי המאה ה-20? יש דוגמאות ללא סוף

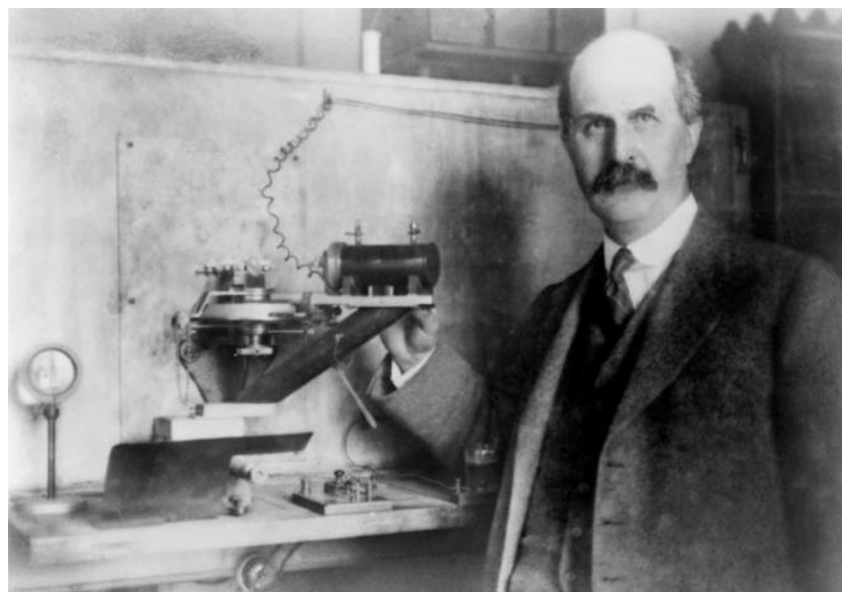
אחת המעניינות ביותר: קריסטלוגרפיה וספקטרוסקופיה. שניהם נשענים על האינטראקציה בין קרני רנטגן עם המבנה האלקטרוני של אטומים בחומרים מוצקים.

הובילו בדרך זו או אחרת למעל 20 פרסי נובל.





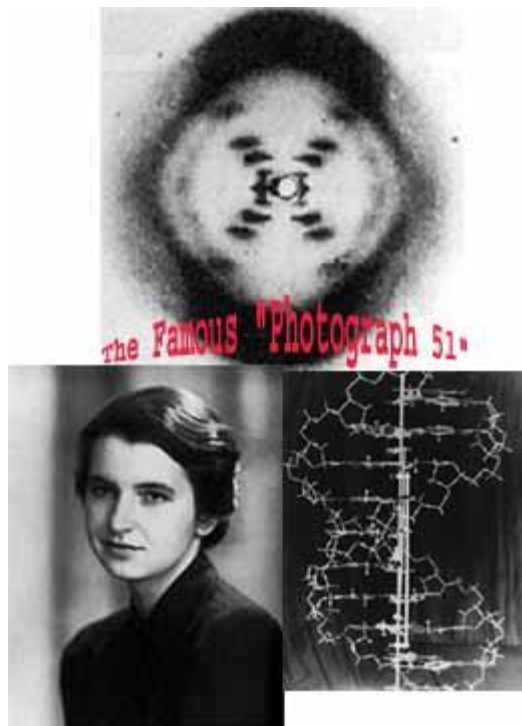
מקס פון לאוה, זכה בפרס נובל  
ב 1914



ויליאם הנרי בראג, זכה בפרס נובל ב 1915  
(יחד עם בנו לורנס)



## היישום המפורסם ביותר:



רוזלינד פרנקלין השתמשה ב  
ספקטרוסקופיה של קריסטלים  
כדי להראות את המבנה של  
דנ"א. התגלית זכתה בפרס נובל  
ב 1962 (אך פרנקלין נפטרה ב  
1958)

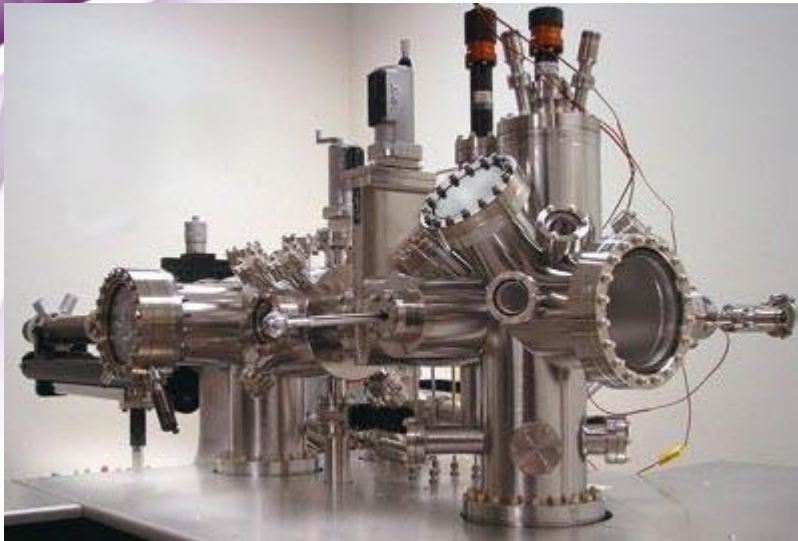


## ומה לגבי ימינו?

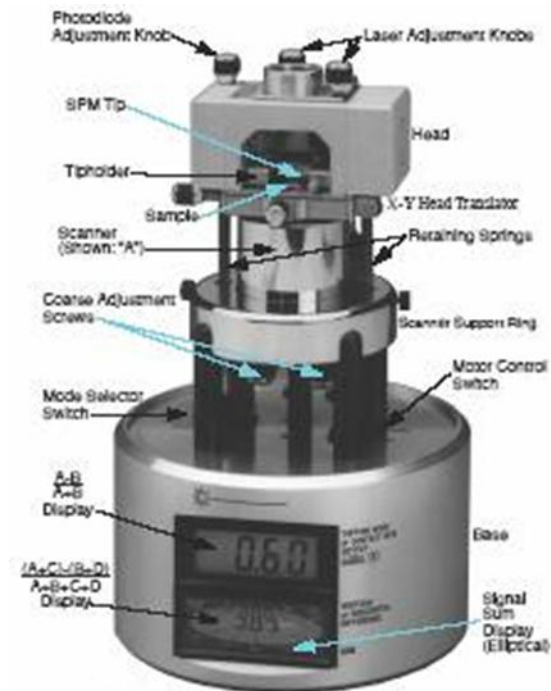
אין שום ספק שב 20-30 השנים האחרונות כמות ואיכות הכלים שעומדים לרשותם של חוקרים עלתה בצורה תלולה.



## שיפורים מסחררים בכלים ישנים: מיקרוסקופים

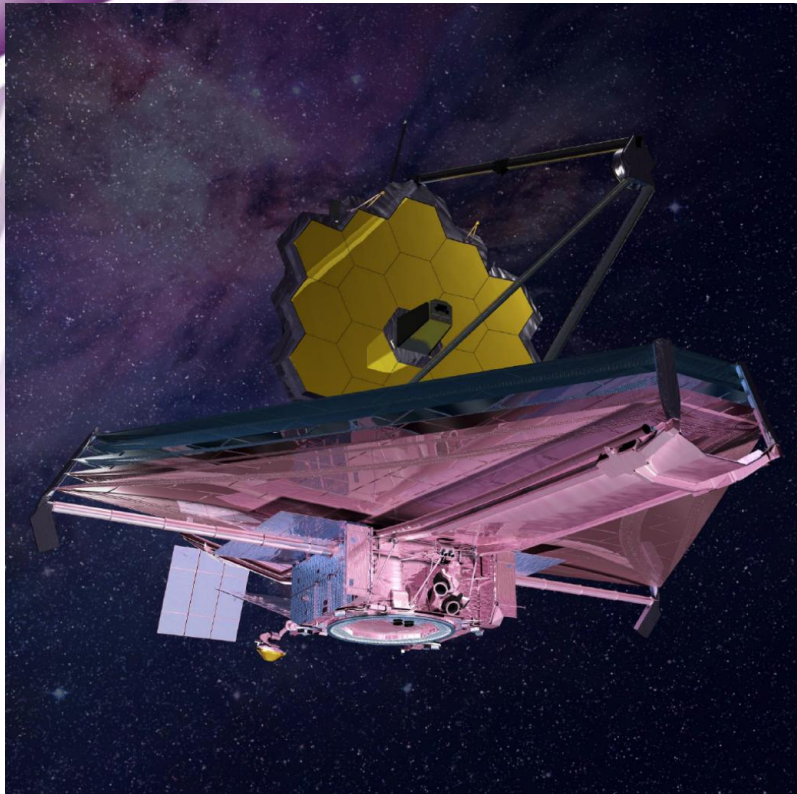


בשנת 1981 בנו גרד ביניג והיינריך רורר, בשווייץ, את מיקרוסקופ IBM|שעבדו ב- המנהור הסורק הראשון, על סמך בנוגע לתופעת המנהור הקוונטי ממצאיהם (QT).

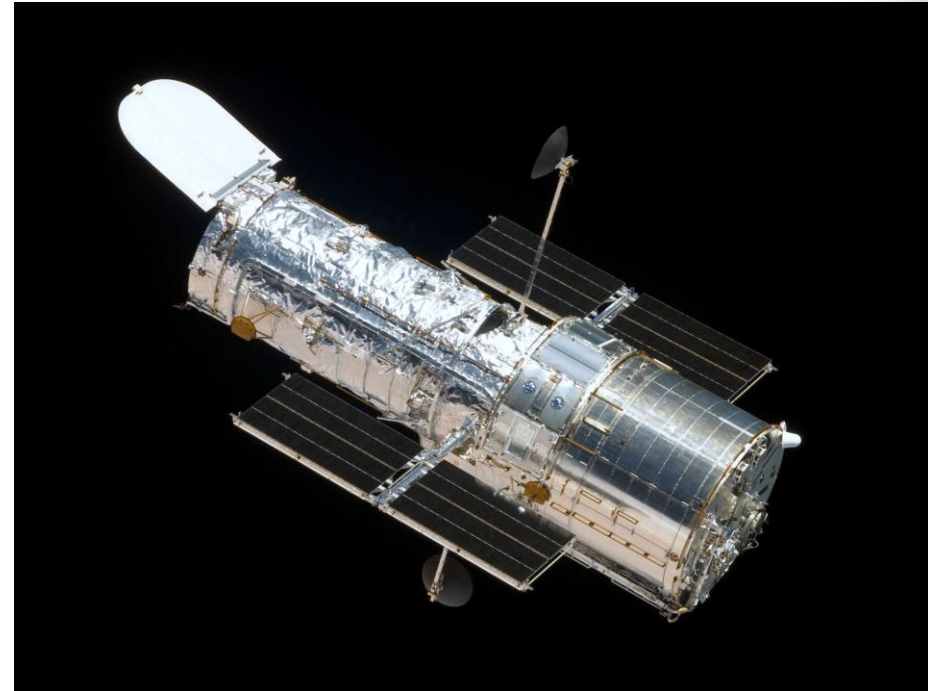


מיקרוסקופ מן הסוג שפיתחו בציג והל ושזכו בפרס נובל ב- 2014. מיקרוסקופיה מבוססת פלואורסצנציה סלקטיבית – הם השתמשו בפלואורסצנציה Selective Fluorescence (Stimulated Emission Depletion Microscopy) כדי לסמן מולקולות בודדות. שיטה שמכבה אור – גדלה מאוד. בציג סביב נקודה מוארת כך שהרזולוציה זיהוי מיקום מולקולות בודדות לפי הפעלה – PALM (Photo-Activated Localization Microscopy) פוטולוקליזציה שלהן.

## כמו כן כלים אסטרונומיים



טלסקופ חלל ג'יימס ווב, שוגר ב 2021



טלסקופ חלל הבל, שוגר ב1990



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

# אבל יש כל כך הרבה יותר...

מחשבי רב עוצמה:

ב סוף 2025, המחשב המוביל בעולם היה אל קפיטן, במרכז המחשבים הלאומי  
Lawrence Livermore National Laboratory במעבדות לורנס ליורמור  
עם יכולת של 1.809 אֶקספּלופים (  $\text{Exaflop} = 10^{18} \text{ flops}$  ) בסקלת  
HPL

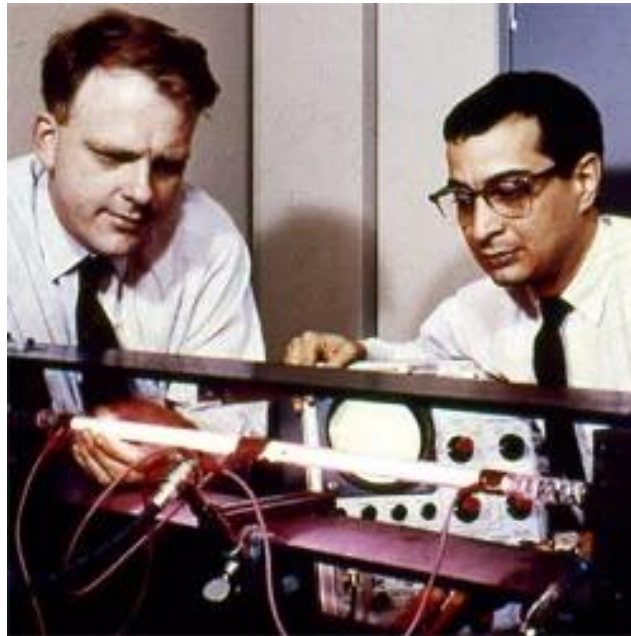
(מודד עד כמה מהר מחשב יכול לפתור מערכת גדולה וצפופה של משוואות ליניאריות, תוך שימוש באריתמטיקה של  
נקודה צפה בדיוק כפול(double precision)).



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

## לייזרים ככלי מחקר

מאות רבות של שימושים רבי עוצמה. ההמצאה עצמה זכתה בפרס נובל ב-1964.



ויליאם בנט ועלי ג'בן המציאו את הלייזר המבוסס על גז הליום-ניאון שפעל באופן המשכי ולא בפולסים (דצמבר 1960)

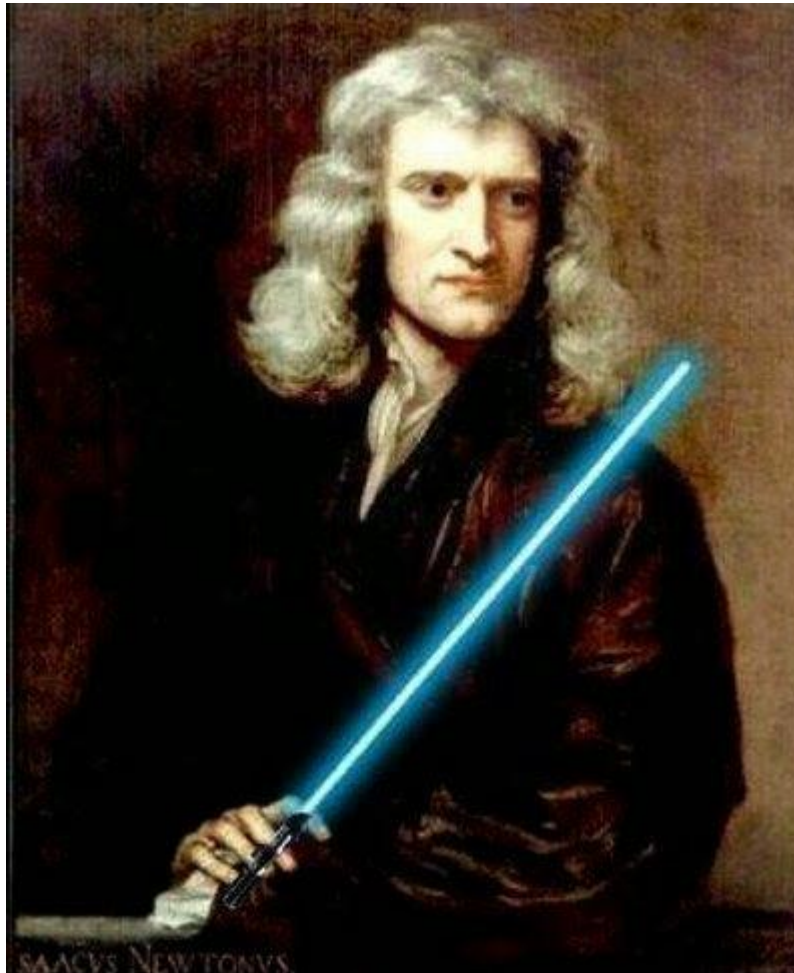


## מדגם של שימושים מדעיים בלייזר

- Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)
- MALDI: Matrix-assisted laser desorption/ionization (used in mass spectrometry in for instance analytical protein chemistry)
- Particularly useful in biochemistry (e.g. photochemistry) and very high level magnification microscopes..
- Laser ablation (used to study e.g. the neural system by removing specific cells).
- Laser based *lidar* (Light raDAR) technology has application in geology, seismology, remote sensing, and atmospheric physics.
- Laser annealing (in material science, esp. metals).
- Laser interferometers used in detect gravitational waves, one of the holy grails of modern physics.
- And, the holiest grail of all: research in nuclear fusion. So far, no breakthrough.

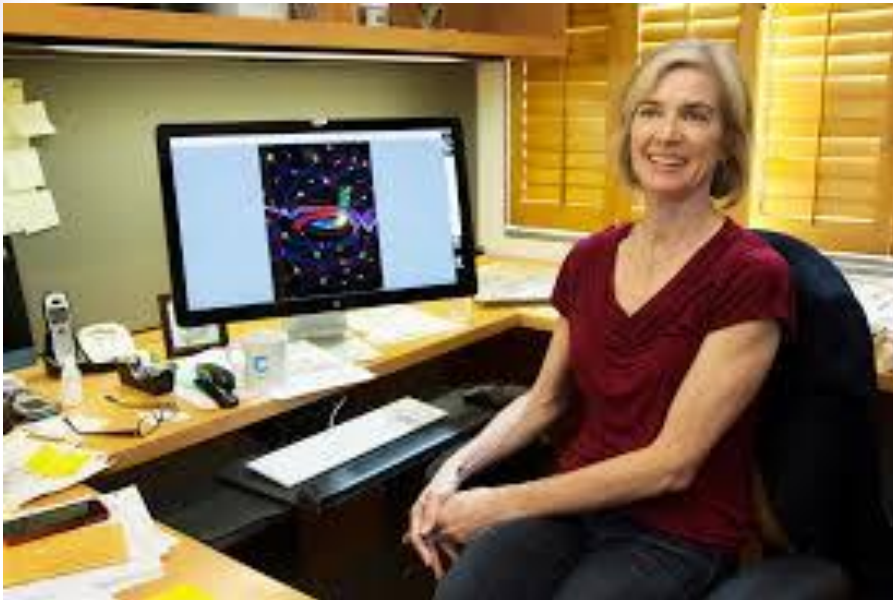
ניתן לדמיין מה היה עושה אייזיק ניוטון אילו היה לו לייזר

אולי באמת היה לו?



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

# התפתחות מהפכנית בכלים של מחקר בגנטיקה: CRISPR



Jennifer Doudna



## וכמובן בינה מלאכותית

כיום לא ברור אם הבינה המלאכותית תהיה המצאה יחסית צנועה, המצאת מקרו כמו החשמל ומכונת הקיטור, או קפיצה שמשנה היסטוריה כמו המצאת החקלאות או הכתיב.

מה שברור הוא שכבר כיום הבינה מלאכותית משמשת בתור עוזר מחקר שלא היה כמוהו. היתרונות רבים:

לא מתעייף, לא מתחצף, לא מתפלסף, ולא מתעופף. לא לוקח כמה שבועות חופש כדי לנסוע לפלורידה בחופשת טרימסטר. נכון – עושה שגיאות וממציא דברים. אבל מודה בשגיאות ומתקן בניגוד לעוזרי מחקר בשר ודם..



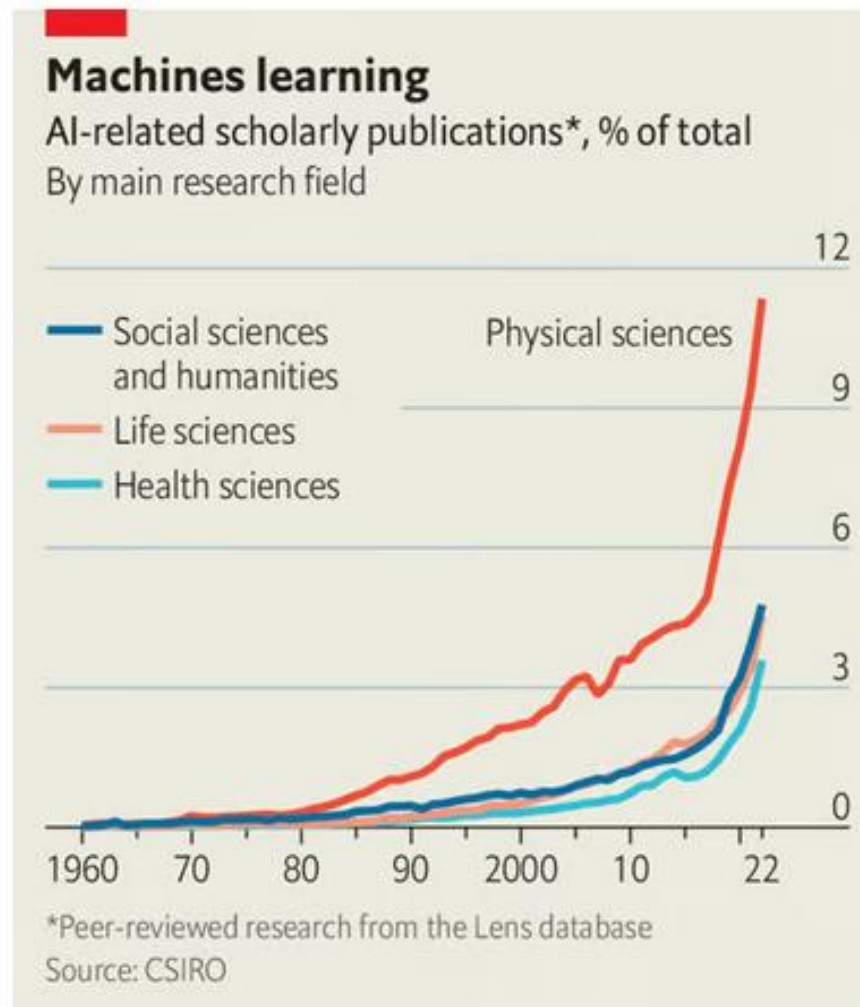
## אבל עובד מהר

"בינה מלאכותית מהווה כיום את עוזר המחקר הטוב בעולם משום שהיא משלבת יכולת לעבד כמויות עצומות של מידע במהירות ובדיוק, לזהות דפוסים וקשרים סמויים בנתונים מורכבים, ולהציע השערות, סיכומים וכיווני מחקר חדשים בזמן קצר. היא מאפשרת לחוקרים להתמצא במהירות בספרות מדעית רחבה, לנתח נתונים ניסיוניים בקנה מידה שלא היה אפשרי בעבר, לאוטומט משימות שגרתיות ולהקדיש יותר זמן לחשיבה יצירתית ולפרשנות מדעית עמוקה. בכך, הבינה המלאכותית אינה מחליפה את החוקר האנושי אלא משמשת לו כלי עזר רב-עוצמה, המאיץ את קצב הגילוי המדעי ומשפר את איכות המחקר."

**נכתב על ידי chatgpt ב 15 שניות**



# יישום של בינה מלאכותית למחקר מאז 1960



# בינה מלאכותית היא אם כן דוגמה מוחצת לקשר הישיר שבין ידע ביצועי וידע הצהרתי

אם כך, האם יש מקום לאופטימיזם לגבי העתיד?

הבעיה היא לא בטכנולוגיה, שתמשיך להתפתח בקצב מואץ, אלא במוסדות.



# דגלס נורת היה מודאג מהתפתחות המוסדות



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

# מה הם יחסי הגומלין בין מוסדות וקדמה טכנולוגית

מצד אחד, המבנה המוסדי משפיע על היכולת של כל משק לייצר חידושים וליישם אותם באופן שמדרבן צמיחה כלכלית. בין הגורמים שהיו חשובים היסטורית:

1. תמריצים: אילו תמריצים היו קיימים לחדשנות בידע הצהרתי (למשל מוניטין ופרסים למדענים שתרמו תרומות חשובות) וידע ביצועי (למשל מערכת פטנטים אפקטיבית).
2. שוק רעיונות תחרותי, מבוזר, ופתוח. העדר רשות מרכזית שמחליטה אילו מחקרים לעשות ומי רשאי לעשות אותם --- למרות שיש תשומה מסויימת מצד הרשויות.
3. חופש תנועה ומדיניות הגירה ליברלית כך שפרטים יצירתיים יכולים לעבוד במקום שהם יכולים למצות את הפוטנציאל שלהם.
4. מוסדות שמעודדים ומספקים הון אנושי, במיוחד הון אנושי הנחוץ לידע שימושי ל UTHC.
5. ממשל שהוא Goldilocks ז"א מסייע ומעודד, מודע לכשלי השוק ביצירת ידע שימושי אבל עושה מיקור חוץ לסקטור הפרטי את ההחלטות העיקריות (אלא אם כן יש מצב חירום כמו מגיפה). שלטון חוק וזכויות קניין בטוחות.
6. תרבות ידידותית לחדשנות: נון-קונפורמיזם, נכונות "למרוד" במוסכמות, פתיחות לרעיונות רדיקליים, סובלנות לאקסנטריות.



# תנאים אלה הלכו ותפסו יותר ויותר אחרי 1500

בטווח הארוך הם הביאו ליצירת ידע שימושי ולצמיחה כלכלית. פרטים נוספים  
הם בספרי A Culture of Growth



הבעיה היא שמאז 1600 היתה קדמה טכנולוגית הולכת ומתעצמת, אבל לא ברור כמה היתה קדמה מוסדית בהסטוריה מאז.

הבעיה היא שכאשר הטכנולוגיה משתנה, מוסדות צריכים להתאים את עצמם למציאות חדשה. אך יש נוקשות מוסדית, ומוסדות משתנים לאט כתגובה לזעזועים טכנולוגיים (ואחרים).

כאשר הטכנולוגיה משתנה יחסית לאט, מוסדות יכולים להתאים את עצמם על פי רוב. כך למשל המהפכה התעשייתית גרמה לתעסוקה של ילדים בבתי חרושת; המוסדות הגיבו בהעברת חוקים שהגבילו ולבסוף אסרו עבודת ילדים. המהפכה התעשייתית גם נזקקה לאוריינות של העובדים --- והמוסדות הגיבו בחוקי חינוך חובה וחינם.



הביולוגיה האבולוציונית מלמדת שצורות חיים יכולות להתאים את עצמן לשינויים סביבתיים --- בתנאי שאלה לא מתרחשים יותר מדי מהר. אבל אם יש זעזועים דרמטיים וקיצוניים, הם נוטים להיכחד.

השאלה הגדולה אם המוסדות יוכלו להתאים את עצמם לעולם שבו הטכנולוגיה משתנה מהר מאוד. בינתיים לא ברור אם יש לנו תיאוריה קוה־רנטית שמסבירה מדוע ואיך מוסדות משתנים.

יש חשש שאם הקדמה הטכנולוגית תהיה מאד מהירה, יוצרו פערים הולכים וגדלים בין היכולות הטכנולוגיות של אומות והמבנה המוסדי שלהם, וזה יביא לחיכוכים ולמשברים.



לדוגמה אם שיפורים טכנולוגיים יביאו לריכוז כוח כלכלי בידיים של מתי מעט (כפי שקרה בארה"ב בתקופה המכונה Gilded Age) זה יסכן את הפלורליזם שהיא קריטית למשטר דמוקרטי.

אנשים כמו אילון מאסק ולרי אליסון מרכזים יותר כוח פוליטי ויכולים להביא לכשל מוסדי חמור ולהחלשת ה Inclusive Society שעליו מדברים אסמוגלו ורובינסון. החלשת הדמוקרטיה ועלייתן של תנועות פופוליסטיות נובעת בחלקה מהתקדמות טכנולוגית (למשל דרך רשתות חברתיות ללא רגולציה).

דוגמה אחרת: סין. הטכנולוגיה מגבירה את היכולת של הממשל הטוטליטרי לעקוב אחרי כל פרט ולחלוש על חיי היומיום ביעילות גבוהה בהרבה מאשר הרודנות של העולם הסובייטי. זה נותן לממשל שם עוצמה שהסטאסי במזרח גרמניה לא חלם עליו.



## ולבסוף: איך המסגרת הזאת עוזרת להבין את המשק הישראלי של ימינו?

ישראל היא הנס הכלכלי של העולם בעשורים האחרונים. היום התל"ג לנפש שלה קרוב מאד לצרפת וספרד וגבוה מאיטליה. אחוז עובדי ההיי-טק בישראל אף גבוה מזה במשקים קטנים אחרים שפיתחו סקטורים דומים כמו אסטוניה וסינגפור (12-14% שהוא כפול מן הממוצע של OECD)

זאת, למרות מספר לא קטן של מכשולים:

- חלק גדול של האוכלוסיה (חרדים, הסקטור הערבי) אינם חלק מכוח העבודה שתורם לקדמה טכנולוגית ולא תורמים ל UTHC.
- חלק ניכר מן התל"ג (כ 9% כיום) מוקדש להוצאות בטחון.
- ישראל מנותקת כלכלית מן המשקים שסובבים אותה גיאוגרפית.
- צמיחת אוכלוסייה חיובית מקטינה את הצמיחה לנפש.



## מתוך ששת העקרונות לעיל, איך המצב בישראל נראה?

מעל לכל: לעם היהודי יש מסורת של אלפיים שנים של השקעה בהון אנושי כפי שהראו בוטיצ'יני ואקשטיין.

רק אחרי 1750, בעקבות הנאורות וה"השכלה" החל הון אנושי זה להיות מושקע בידע שימושי. אך מן הזמן הזה, הזרם של היצירות היהודית הפך לבלתי ניתן לעצירה.

האם זה בר קיימא?



**תמריצים:** ישראל נותנת תמריצים רבים לאנשים שתורמים לחדשנות. סקטור ההיי-טק יצר מיליונרים לא מעטים.

ובנוסף לכך יש יוקרה חברתית לא מבוטלת קשורה בתעסוקה בסקטור זה המתבטאת בפרסי ישראל.

**הנה רשימה חלקית:**

- גיל שוֹנֵד: "חומת האש" למחשבים: פרס ישראל לחדשנות וטכנולוגיה
- אמנון שעשוע: פרס ישראל ופרסים אחרים על תרומה לבינה מלאכותית
- איל וולדמן: פרס ישראל על מפעל חיים בתחום המיקרוצ'יפים
- עדי שמיר: קריפטוגרף וחוקר בתחום אבטחת המידע, פרס ישראל על מפעל חיים 2008
- דב פרוהמן: פרס ישראל על המצאת זכרונות EPROM

ואחרים רבים. החשיבות של פרסים אלה שהיא ממריצה את כולם להשקיע מאמץ מתוך תקווה לזכות בפרס הגדול בהגרלת החדשנות. רובם אינם זוכים אבל התקוה ממריצה אותם להכפיל מאמצים.



## שוק רעיונות תחרותי

**שוק רעיונות:** קיים בארץ שוק רעיונות תחרותי מאד בשטחי ה STEM, פחות אולי בשטחים אחרים. ישראלים נוטים להיות תחרותיים ואין מוסד ריכוזי שחולש על שוק הרעיונות ומדכא רעיונות חדשים כמו הכנסיה הקתולית והאינקויזיציה בימי הבניים או טרופים ליסנקו בברה"מ הסטליניסטית. יתר על כן, במשק פתוח וקטן, החדשנות בישראל מתחרה עם כל העולם.

מה פירושו של "שוק רעיונות תחרותי"? כלכלנים מתכוונים בדרך-כלל לארבעה דברים: חסמי כניסה נמוכים להצעת רעיונות חדשים; מנגנוני סלקציה חזקים (רעיונות טובים מקבלים מימון, מתרחבים או מיושמים); הפצה מהירה של רעיונות מוצלחים; סובלנות לכישלון ולדעת מיעוט והזדמנות שניה לאלה שכשלו פעם.

סקטור ההיי-טק בישראל מצטיין בכל הקריטריונים האלה.



## ניידות גיאוגרפית

**חופש תנועה וניידות:** החדשנות בישראל נהנית מניידות במובן שישראלים רבים נעים בין ישראל לארצות אחרות, במיוחד בארה"ב. ישראל גם נהנתה מיבוא הון אנושי מרוסיה וארצות אחרות. נכון שיש מידה מסויימת של זליגת מוחות ( בריין-דריין ) אך האופציה של ישראלים לנדוד דווקא היא מבטיחה שהממסד הפוליטי מאולץ, פן סקטור זה יתמוסס.\*

\* אחת הטענות המשכנעות נגד הרפורמה המשפטית בישראל שהועלתה ע"י כלכלנים בכירים היתה שאם ישראל תפסיק להיות מדינת חוק דמוקרטית, רבים מעובדי ההיי-טק יעזבו את הארץ, ועלול להיווצר "כדור שלג" שיפגע אנושות בסקטור זה.



## **"הזנב העליון של התפלגות ההון האנושי"**

**הון אנושי:** חשוב להדגיש שמה שחשוב פה הוא לא הממוצע אלא UTHC ז"א הזנב העליון של התפלגות הכשרונות הטכניים, המתמטיים, והיזמות. מבחינה זו דבריו הנבונים של דוד יום עדיין תופסים:

**"Those who cultivate the sciences in any state, are always few in number: The passion, which governs them, limited: Their taste and judgment delicate and easily perverted: And their application disturbed with the smallest accident. Chance, therefore, or secret and unknown causes, must have a great influence on the rise and progress of all the refined arts." (Hume 1742).**

אך מה שיום לא העריך דיו זה שכדי לשפר את ה"מדעים" ה"מעטים" שהוא מדבר עליהם זקוקים לחינוך והוראה --- הון אנושי.



## האם ישראל עומדת במבחן זה?

בישראל שומרים את מיטב המשאבים בחינוך למקצועות STEM ומקדישים אותם לתלמידים "מחוננים" --- ז"א UTHC. בין השאר כמובן:

- יחידה 8200 ודומות לה בצה"ל שמקנות הדרכה מואצת בידע דיגיטלי מתקדם.
- מחלקות מהוללות במקצועות STEM בטכניון, מכון וייצמן, והאוניברסיטאות
- תוכניות כמו תכנית אודם, או תכניות ידועות של צה"ל להשקיע בהון האנושי של צעירות וצעירים כמו "תלפיות" ו"חבצלות".

[אודם היא אחת התכניות הבולטות ביותר היום לתלמידי תיכון מצטיינים, בשיתוף משרד החינוך, מערכת הביטחון וצה"ל. היא משלבת תיכון בפנימייה עם לימודי בגרות מדעיים ברמות מתקדמות (5 יחידות ב-מתמטיקה ופיזיקה ועוד הרחבות טכנולוגיות). קורסים אקדמיים והעמקה בתחומי טכנולוגיה והנדסה במהלך שנות התיכון.]

## • תכניות מצויינות לנערים ונערות מחוננים

בתי ספר ותכניות מצוינות Israel Arts and Science Academy (IASA) תיכון פנימי לילידי ישראל שמיועד לתלמידים מחוננים ומצטיינים בתחומים מדעיים ואחרים. תוכניות במדינות כוללות STEM של אוניברסיטאות ומרכזי מצוינות מסלולים כמו אודיסאה (העמקה במדעים והקניית קרדיט אקדמי בבגרות), אקדמיה בתיכון (לימודים אקדמיים בצמוד לבגרות), ו-אלפא/אידה/אודיסי המופעלות ע"י האוניברסיטה העברית לפיתוח מצוינות מדעית.



## התערבות הממשל

ישראל היא משק "מעורב" של שוק חופשי ומבנה קפיטליסטי מובהק, אך יש הכרה מלאה בנושאי בטחון לאומי ובכשלי השוק הדורשים התערבות ממשלתית. לכן קיימת "הרשות לחדשנות" ומשרד מדע, וכן יועצים מדעיים לממשלה. שיתוף פעולה בין משרדי הבטחון והחינוך בתכניות כמו אודם.

הממשלה ערה לבעיות של מימון וגיוס הון, ומנהלת תכניות שונות של הלוואות למיזמים טכנולוגיים רבי-סיכון. דוגמאות: תכנית "יזמה" ( Yozma ) שנוסדה ב 1993 וחודשה לאחרונה וזכתה לפרק שלם בספר של סנור וזינגר *Startup Nation*. יש הכרה עמוקה (אפשר מוגזמת) בתפקיד המכריע של עליונות טכנולוגית בבטחון חוץ ופנים.



## אך יש מקום לדאגה

דאגה מס' 1: הסכנה של משק קטן ופתוח.

הניידות האישית מהווה סכנה: אם התנאים בארץ ישתנו לרעה, האליטה הטכנולוגית והמדעית יארזו מזוודות וייעלמו. (דוגמה היסטורית: ביטול האדיקט של נאנט ב 1685).

דאגה מס' 2: משטרים פופוליסטיים נוטים להתנפל על אליטות, כולל אליטות אינטלקטואליות באוניברסיטאות וה UTHC. לא ברור כמה הסכנה גדולה בארץ.

דאגה מס' 3: תלות גבוהה במימון חיצוני, הסקטור פגיע למה שקורה בשוקי הון בעולם.

דאגה מס' 4: האם יש צדק בביקורת של סיביל היילברון בספרה The Dark Side of the Startup Nation שמצביעה על ההשפעה של הייטק על אי השוויון ועל החשש שיווצר משק דואלי של שני סקטורים, אחד שנראה כמו סיליקון ולי והשני שנראה כמו בגדד, עם מעט מרחב ביניהם.

דאגה מס' 5: חוק קרדוול (Cardwell) מובילות טכנולוגית ( technological leadership ) היא דבר זמני כי העולם מלא מתחרים שאפתנים.



יחד עם זאת:

ישראל היא דוגמה מוחצת ליכולת של יצירתיות כללית בכלל ויצירתיות טכנולוגית בפרט שהתגברה על קללת הקעירות.

וכל משקיף עם חוש הסטורי יכול רק לומר דבר אחד:



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

תודה רבה.



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY



NORTHWESTERN  
UNIVERSITY