

הטכנולוגית

מתמטיקה

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

המאה ה-20 מתחילה כמאה אופטימית מבחינה מדעית: אוניברסיטאות פורחות בכל אירופה וארצות הברית. המחקר המדעי מקבל דפוסים של שיתוף פעולה בינלאומי, עיתונים וכנסים מדעיים הופכים לדרך של המדענים לדווח על המצאותיהם, וגם על רעיונותיהם המוצעים לדיון עמיתיהם ולביקורת. העולם המדעי גם מבסס את פרסי הנובל כערוץ הוקרה ופירסום להשגים המדע. לא ניתן למשל לחשוב על התפתחות התורה הקוונטית או הביולוגיה המולקולארית בכמה עשורים במצב של בידוד בין חוקרים וללא שיתוף ברעיונות ומחשבה קולקטיבית ביקורתית אך מאידך קונסטרוקטיבית.

בולט בייחודו אלברט איינשטיין: כוכב בודד שנדחה ע"י האקדמיה הברלינאית עקב יהדותו, והגה בתקופה קצרה, תוך עבודה במשרד פטנטים שוויצרי, ארבע פריצות דרך מדעיות: היחסיות הפרטית, קינטיקה אטומית בתנועה בראונית, האפקט הפוטואלקטרי (הביטוי לתורה הקוונטית), והיחסיות הכללית. למרות גאוניותו, גם איינשטיין לא יצר בחלל ריק: את הבסיס המתמטי לתורת היחסיות הפרטית למד מאישתו שעשתה דוקטורט בנושא טרנספורמציות לורנס. את התנועה הבראונית הכירו נסיונית כ-100 שנים, ואיינשטיין הסביר אותה באופן כמותי בעזרת קינטיקה אטומית והמתמטיקה של מספרים אקרעיים. ואת האפקט הפוטואלקטרי מצאו נסיונית מדענים כ-20 שנים לפניו (היינריך הרץ, פיליפ לנרד וג'ג. תומפסון) בשפורפרת הריק- הכלי שאיפשר לגלות את האלקטרון והפוטון, והביא לפריצת הדרך באלקטרוניקה. איינשטיין לא קיבל פרס נובל על תורת היחסיות מאחר וציפו בספקנות לאישור נסיוני ל"כיפוף" קרני אור ע"י כוכב. עד שהמדידות אישרו את תורת היחסיות הכללית (די בדוחק בעצם), כבר זכה בפרס נובל על עבודותיו האחרות. פצצת האטום היתה ללא ספק הוכחה רבת עצמה ליחסיות. אגב למרות תרומת האפקט הפוטואלקטרי לתורת הקוונטים, איינשטיין לא "אהב" את המיקריות היצוקה בבסיס התורה, והאמין כי "אלהים אינו משחק בקוביה". הוא ניסה כל חייו למצוא תורה אוניברסאלית שתכיל את היחסיות והקוונטים אך לא הצליח.

המאה העשרים התדרדרה במהירות לשתי מלחמות עולם בהם פירות המדע נוצלו ע"י מדינות להרג מליוני בני אדם: הכימיה האורגאנית לסינטז גאז החרדל שקטל מליוני חיילים בשוחות במלחה"ע הראשונה וגם ציקלון ב' שהרג מליוני יהודים במחנות ההשמדה במלחה"ע השניה, הארונאוטיקה – לבנית מטוסי סילון ורקטות, והפיזיקה – ליצירת פצצת האטום.

מאידך, המדענים גם תרמו למיגור הנאצים: הרדאר שעזר במערכות הגנה נגד מטוסים, הסונאר בגילוי צוללות, המתמטיקה שהתגייסה לפיצוח האניגמה ויצרה את התשתית הלוגית למחשבים, תורת האינפורמציה שנרתמה לתיכנון מערכות התקשורת במלחמה, הרדיו, הטלפון, האלקטרוניקה, ועוד.

המלחמה הקרה הפכה את המדע לכלי שרת בידי המעצמות, ולתג יוקרה לאומי: הן בזירת הנשק האטומי, והן במירוץ לחלל. ולמרות כל זאת, המאה ה-20 נגמרת שוב באופטימיות כשהמלחמה הקרה נראה שהסתיימה, הנשק הגרעיני מפוקח, תעשית הכימיה מייצרת תרופות, פלסטיקה וחמרים מורכבים, הרפואה מציעה תרופות למחלות שהרגו מליונים במאות הקודמות במגיפות ובמוות מזיהומים (שאינן זמינות אמנם עד היום בעולם השלישי), והביולוגיה מתרכזת בהארכת תוחלת ואיכות חיים ומלחמה בסרטן – "קיסר כל המחלות". ולבסוף, העולם מייצר מספיק מזון לכל אוכלוסית העולם, אם כי שוב עקב מגבלות מדיניות לא תמיד לכולם גישה לעזרה תזונתית שהאו"מ מציע). מדעני הסביבה נאבקים בהתחממות הגלובאלית.

המדע בסוף המאה ה-20 משקיע בהפקה וניצול יעיל של אנרגיה מתכלה, ייצור אנרגיות נקיות (שמש, רוח), פיתוח מחשבים ותקשורת ושימושיהם וצבירה נגישה של מידע, מציאת תרופות למחלות פחות נפוצות ולחוליי הזיקנה, אבל גם ממשיך במדע בסיסי – חקר שאלות מכל תחום ונושא הנראות בעלות ענין אינטלקטואלי למדענים גם אם שימושם אינו נראה באופן: למשל אסטרונומיה וחקר החלל, ומתמטיקה תיאורטית.

נסקור את המדעים במאה ה-20 ונעזר ברשימת פרסי נובל ופרסי יוקרה מדעיים אחרים. אינני חושב שניתן לערוך סקירה כזו מבלי לפסוח על מדענים שתרומתם למדע אולי לא הטביעה חותם בהיסטוריה המדעית מסיבות כלשהם, או להפך, להזכיר מדענים עקב בחירה סובייקטיבית שלי הנובעת מהידע והעדיפויות (כמובן ברמות ידע שונות בשטחי המדע השונים). רשימות המדענים אינה בהכרח בעלת חשיבות ללימוד המדע, אך סקירת שטחי המחקר שלהם ותרומותיהם מאפיין חתך של התמורות והמגמות במדעים השונים. ניסיתי לצרף רשימות כאלה של מדענים ומשפט קצר על עבודתם כדי שיהיה קל לחפש מידע מעמיק יותר למתעניין הנקודתי. ההסטוריה של המדע היא סיפור מרתק על מחשבה אנושית ותוצאותיה, וגם אם אינו כלי לניבוי המצאות ומגמות המדע בעתיד, הוא מספק כלים להצגת שאלות מדעיות ולתכנון הדרכים המדעיות לפתור אותן.

ניסיתי לכסות גם שטחי מדע פחות נלמדים, כגון מדעי כדור הארץ, בעזרת סיפרו הנהדר של ביל ברייסון (מאחר ותחום זה הוא בעל חשיבות מרכזית לשימור הסביבה במאה ה-21).

התצוגה מחולקת לשלש:

16.1 מתמטיקה,

16.2 מדעי כדור הארץ וביולוגיה,

16.3 פיזיקה וכימיה.

מתמטיקה

במאות הקודמות המתמטיקה ייצרה תשתיות תיאורטיות מעיקרן לתיאור העולם סביבנו: גיאומטריה, אלגברה, תורת הפונקציות, חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי. חלק מהפיתוחים נבעו מצרכים במדעים אחרים, למשל לתאר חוקי פיזיקה, אך תמיד המתמטיקאים המשיכו לפתח את השטח מעבר לנחוץ הפרקטי... וכמובן גם פותחו שטחים שלא ניראו שימושיים: תורת המספרים, תורת הקבוצות, ועוד.

המאה ה-20 מגייסת את המתמטיקה להערכות כמותיות של העולם סביבנו, עוד לפני פיתוח מחשבים, ובוודאי בעולם הממוחשב: אנליזה נומרית, פיתוח אלגוריתמים מהירים וסטטיסטיקה הפכו לשטחים שימושיים בכל שטחי החיים, לא רק במדע אלא גם בכלכלה, בממשל, בהנדסה ועוד, והמתמטיקה ממשיכה להעשיר את המדע בבעיות תיאורטיות לחלוטין. היופי במתמטיקה נובע מהקשר שמייצרים בין שטחים שנראים תיאורטיים ואבסטרקטיים, לבין שימושים פרקטיים. לדוגמא:

מספרים ראשוניים (שימוש קידוד)
תורת המשחקים (שיערוך כלכלי בבורסה, סימולציה של אבולוציה וחיים)
הסתברויות (ניבוי סטטיסטי, תורה קינטית של הגאזים וטרמודינאמיקה)
חבורות וסימטריה (חוקי שימור בפיזיקה וחלקיקים אלמנטאריים)
טנזורים אופרטורים במרחב רב ממדי, מרחבי הילברט בממד אינסופי (תורת הקוונטים)
כאוס (ניבוי מזג אויר) ופרקטאלים (תיאור גיאומטרי לגופים מורכבים)
גיאומטריה לא אוקלידית (יחסיות כללית)
משוואות דיפרנציאליות חלקיות (הנדסה וחקר חמרים) ומערכות משוואות לא ליניאריות.
לוגיקה מתמטית (הבסיס למחשבים)
"הפרדוקס האולטימטיבי", משפט גבל

וכמובן השימושים במחשבים:

כרטיסים מנוקבים

לוגיקה של מחשבים, מבחן טורנינג, מכונת טורנינג, מחשב פון נוימן,
המרוץ אחר מיזעור המחשב והאצת החישוב

קומפלקסיות חישובית (אלגוריתמי חישוב מהירים במחשבים)

מערכות הפעלה למחשבים, טלפונים חכמים, מיקרומעבדים, מעבדים גרפיים וכו'
תורת האינפורמציה, תקשורת, דגימה דיגיטלית, רשתות מחשבים, דאר אלקטרוני

רשתות נוירונים - תכנות לומדות.

בינה מלאכותית (לוגיקה של מחשבים ותוכנות חישוב לומדות כגון רשתות נוירונים)

תורת המשחקים, תוכנות לומדות, מחשב משחק שח וגו

סימולציות מחשב לכלכלה, פיזיקה וביולוגיה, life סלולר אוטומאטה אלגוריתמים גנטיים
(אבולוציה)

סטטיסטיקה, חקר שגיאות, והתנהגות כאוטית, שרשרות מרקוב, תהליכים סטוכסטיים,
קשר לטרמודינאמיקה

אומרים שנובל סרב לתת פרס למתמטיקאים מאחר ואישתו בגדה בו עם המתמטיקאי Gosta Magnus Mttiaq-Leffler ... מתברר שזה מיטוס, כי נובל לא היה נשוי מעולם!
אולי הסיבה היתה יותר עיניינית: נובל ככימאי ומהנדס היה מעשי והעריך פחות את תרומת המתמטיקה לאיכות החיים של האנושות, אותה רצה לפצות על השימושים המלחמתיים של הדינמיט. אך כמה פרסים אחרים נוסדו כדי להעניק הכרה על תרומות במתמטיקה: מדלית פילדס, פרס אבל ופרס טורינג למדעי המחשב.

אין ספק שהמחשבים הביאו מהפיכה באפשרות להעריך כמותית את העולם הפיזיקאלי, לחשב מודלים שהפתרון האנליטי להם מסובך, כמו בכימיה, כלכלה וחברה, לטפל בסיבוכיות הביולוגית וברצפי הגנים, ולשמור ולחפש מידע "big data". אך הם גם הציבו אתגרים למתמטיקה התיאורטית: לוגיקה, סיבוכיות אלגוריתמית, יציבות פתרונות לרעשים ועוד. המחשבים גם מאפשרים לחקור תחומים כמו מערכות לא ליניאריות, שהמחקר האנליטי שלהם מסובך אך סימולציה למודלים אפשרית ומעשית.

הרשימות להלן אינן יכולות לכסות את המתמטיקה של המאה ה-20.
מטרתן להציג שמות מתמטיקאים מפורסמים, תמונתם, ובראשי פרקים את התחומים בהם עסקו, כך שניתן יהיה בקלות לערוך חיפוש לנושאים המעניינים את הקורא לפי שם המתמטיקאי והנושא. מגוון הבעיות המתמטיות שעסקו בהם המדענים מלהיב דמיון של כל אדם, גם מי שאינו נוטה להתעניין במתמטיקה!
מספר מצומצם של נושאים מובאים עם איורים כדי שיתקשרו אינטואיטיבית לנושא.

כן מובאות רשימות המתמטיקאים שזכו בפרסים יוקרתיים, והעבודה בגינה זכו, וזאת כדי להדגים את התחומים בהם העריכו ועדות הפרסים כי נעשו פריצות דרך ותרומות מכוננות.

Bertrand Arthur William Russell

1902 מציג את "הפרדוקס האולטימטיבי" הגדרה לוגית הסותרת את עצמה:
אם A קבוצת כל הקבוצות שאינן מכילות את עצמן,
אם A מכילה את עצמה, אז היא אינה כלולה ב-A.
אם A אינה מכילה את עצמה, אז היא שייכת ל-A.

Alfred North Whitehead and Russell

1910 מציעים אי רציפות בין קבוצה והחברים בה, ומנסים להסביר את הפרדוקס

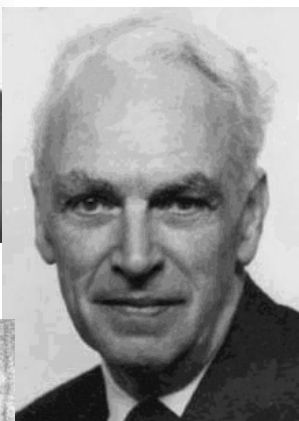
Richard Buckminster Fuller (Bucky)

1927 חקר גיאודזים: הפתרון החסכוני לבעיות, כמו המעגל הגדול למרחק על כדור.
1940 כיפה גיאודזית. 1946 dymaxion שם שנתן לפתרונות אופטימאליים.
כדור הרגל שהתקבל ע"י FIFA הוא גיאודז של מחומשים. טוענים שהחיפושית נבנתה בהשראת
פולר. ביקר בישראל להציע תכנית בינוי לירושלים אחרי ששת הימים. היה פילוסוף שדאג לקיום
ארוך טווח שלנו תוך שימוש מושכל במשאבים, והיה אהוד ע"י ילדי הפרחים.





סטניסלב אולם 1909–1984 פולין
Stanisław Marcin Ulam
תורת המספרים. השערת אולם (קולץ). הספירלה של אולם



אוישטיין אור 1899–1968 נורבגיה
Øystein Ore
תורת המספרים. מספרי אור



וילהלם אקרמן 1896–1962 גרמניה
Wilhelm Friedrich Ackermann
תורת המספרים. פונקצית אקרמן



קנת' ג'יי ארו 1921 ארה"ב
Kenneth Joseph Arrow
תורת המשחקים (כלכלה). פרדוקס ארו, משפט אי האפשרות של ארו



אגנר קרארופ ארלנג 1878–1929 דנמרק
Agner Krarup Erlang
הסתברות. התפלגות ארלנג



קרלו אמיליו בונפרוני 1892–1960 איטליה

Carlo Emilio Bonferroni

הסתברות. אי שוויון בונפרוני



מנואל בלום 1938 וונצואלה

Manuel Blum

תורת המספרים. שלמים של בלום



סטפן בנך 1892–1945 פולין

Stefan Banach

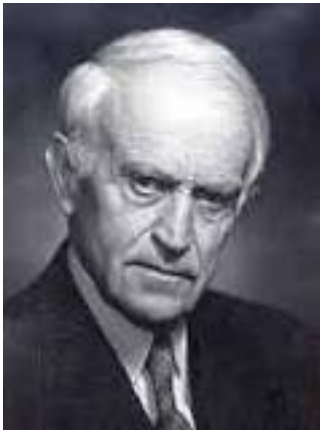
אנליזה פונקציונאלית. בעיית ההתאמה (פרדוקס) של בנך-טרסקי,
מרחב בנך, משפט בנך-שטיינהאוס, אלגברת בנך,

משפט נקודות השבת של בנך: הוכחה שפעולה חוזרת מכווצת במרחב מטרי
על פונקציה רציפה מתכנסת לנקודה.
הוא אבן יסוד להתכנסות חישובים איטרטיביים למציאת שרשי פונקציות
ולפתרון משוואות דיפרנציאליות.

ויגו ברון 1882–1978 נורבגיה

Viggo Brun

תורת המספרים. הקבוע של ברון. כברת ארטוסטנס – כברת ברון Brun sieve



אלכסנדר גלפונד 1906–1968 רוסיה

Alexander Osipovich Gelfond

אנליזה מתמטית. משפט גלפונד, קבוע גלפונד

[זה לא ישראל גלפנד]



רונלד גרהאם 1935 ארה"ב

Ronald (Ron) Lewis Graham

תורת המספרים, גיאומטריה חישובית. מספר גרהאם

International Business Machines, IBM 1935

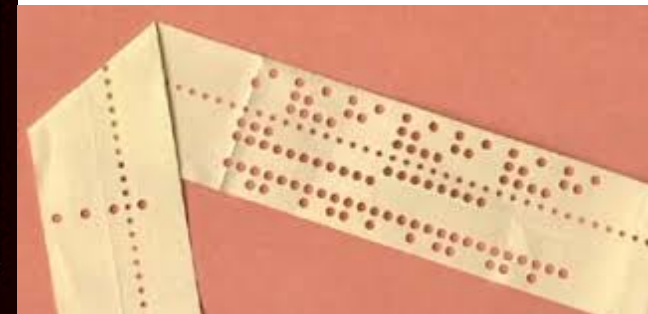
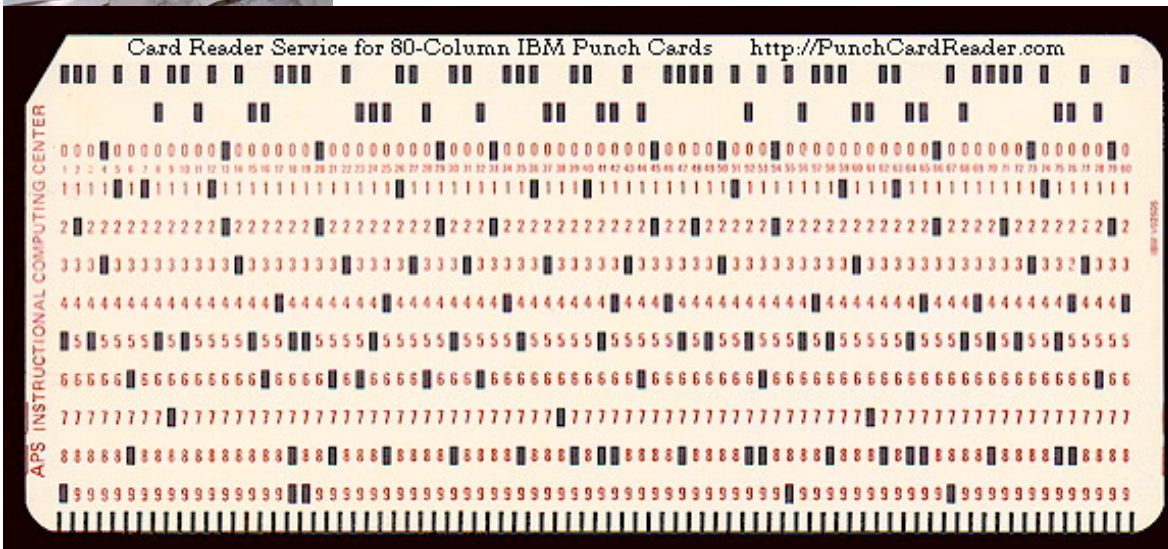
כרטיסים מנוקבים בשימוש לחישובי מכונה עם יחידה אריתמטית המבוססת

על ממסרים היכולים להכפיל.

היו בשימוש, יחד עם סרטי נייר

מנוקבים, להטענת תוכנות

ונתונים במחשבים עד שנות ה-80.



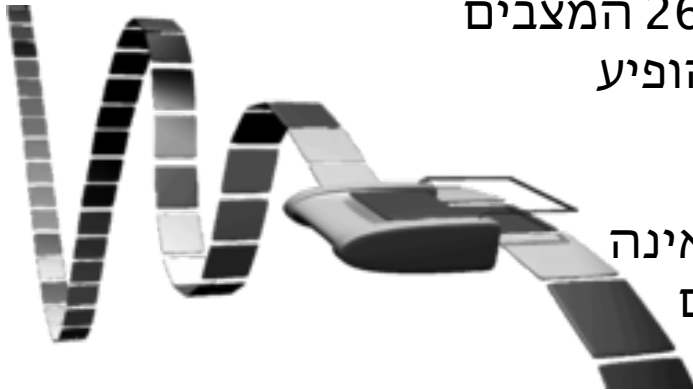


אלן טיורינג – Alan Turing 1912-1954
1936 מפרסם "על מספרים ממוחשבים" ומגדיר מכונת טורינג

הניח את היסוד למחשבים של היום:

מכונת טורינג 1936 סרט אינסופי של תאים' ראש בעל זיכרון סופי ומעבד אבסטרקטי – היכול לקרוא את תוכנו של התא שבו הוא ממוקם, לכתוב באותו מקום, ולנוע ימינה או שמאלה. כל אלגוריתם יכול להיות ממומש במכונת טורינג

היה שותף מרכזי בפיצוח קוד ה"אניגמה" מכונת ההצפנה הנאצית, ע"י "בומבה" – התקן אלקטרו-מכאני שסקר במהירות את כל 26 המצבים של 3 רוטורי הצפנה באניגמה, ונעזר ב"הייל היטלר" שתמיד הופיע בסוף המסרים המוצפנים.



מבחן טורינג 1950 בודק אם למחשב יש בינה מלאכותית שאינה שונה מבינה אנושית. חוקר מקיים דיאלוג בתקשורת טקסט עם שני גורמים סמויים מעיניו, האחד אדם והשני מכונה. אם החוקר אינו מסוגל לקבוע בביטחון מי האדם ומי המכונה, אזי המכונה עברה בהצלחה את המבחן.



טורינג היה הומוסקסואל והתאבד לאחר דפרסיה עקב טיפול כימי שקיבל.

פרס טורינג – הנובל של מדעי המחשב מ-1966
ממכון ויצמן: אמיר פנואלי, עדי שמיר, שפי גולדווסר



Alonzo Church

1936 מוכיח שכל תהליך, במחשב או במוח, המחלק קבוצת מספרים,
מתאר תהליך רקורסיבי: Church-Turing thesis



Ivan Matveevich Vinogradov

1937 כל שלם גדול מספיק יכול להכתב כסכום שלשה
מספרים ראשוניים.

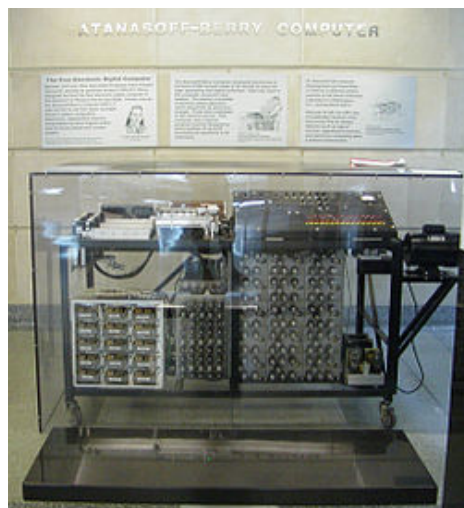


George Stibitz

1937 מדגים מכונת חיבור בת ביט אחד.

John Atanasoff and Clifford Berry

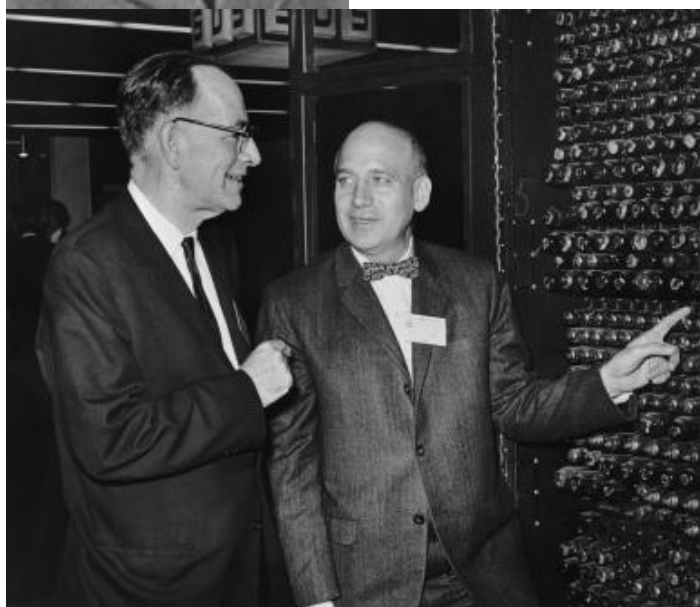
1939 בונים אב-טיפוס למכונת חיבור של 16 ביטים בשימוש שפופרות ואקום.
המחשב האלקטרוני הראשון, אך לא היה ניתן לתיכנות,
ולא נפל תחת הגדרת מכונת טורינג





Howard Aiken

1943 צוות בראשותו בונה מחשב מתוכנת "הרווארד מרק 1"



John Mauchly and John Presper Eckert

1945 במחלקת ההגנה האמריקאית מסתיימת בניית מחשב מסכם מספרי לחישובי מסלולי פגזים - ENIAC



ג'ון לואיס פון נוימן 1903-1957 John von Neumann
מתמטיקאי הונגרי ממוצא יהודי שעבר לפרינסטון
שותף לפיתוח פצצת האטום (פרויקט מנהטן) ולמחשב האלקטרוני

מחשב פון נוימן מכיל זכרון ותכנית לבצוע סידרתי

1953 von Neumann and Oscar Morgenstern

משפט המינימקס בתורת המשחקים :

במשחק סכום אפס ניתן לשחק כך שהרווח המינימאלי אינו תלוי באסטרטגיה של המשחק מולך. התנהגות כלכלית – בו משחקים באופן רציונאלי לפי מבחן כדאיות אישית. יישם את המשחק למדיניות הגרעינית האמריקאית, וזכה ללהק, עם טלר, את הדמויות בסרט

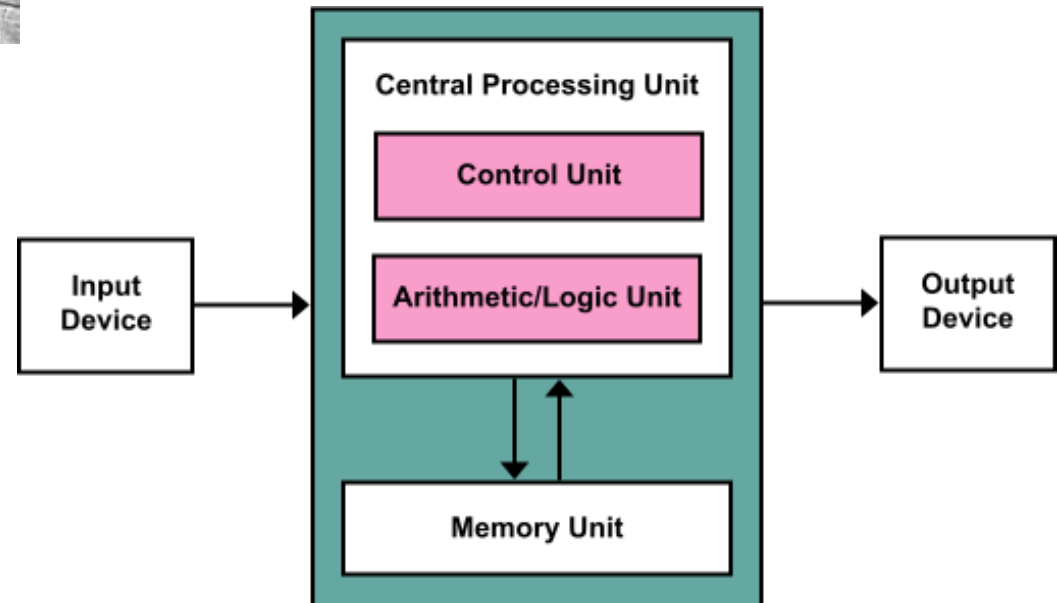
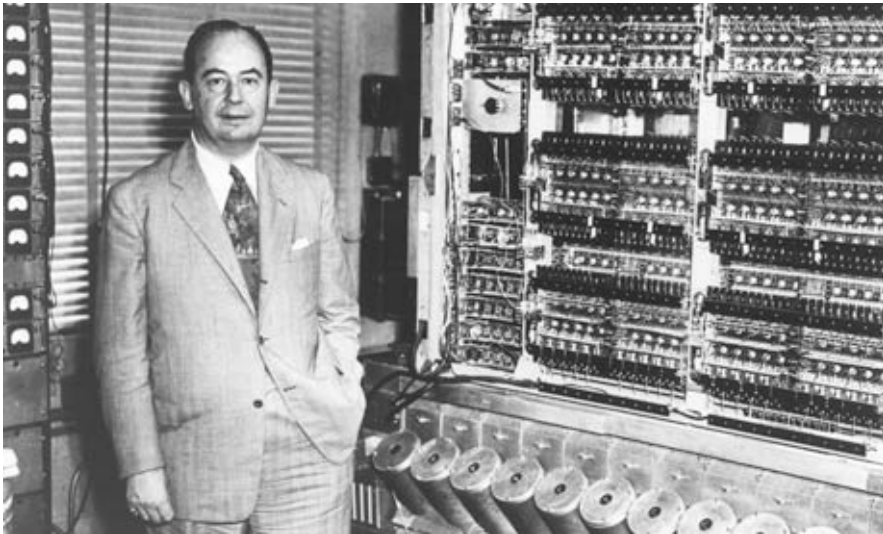
"ד"ר סטריינז'לאב" Dr. Strangelove של קובריק Stanley Kubrick

מכניקה קוונטית, השתמש במרחבי הילברט $6n$ ממדיים לתיאור n חלקיקים קוואנטיים (3 ממדי מרחב ו-3 ממדי תנע)

1954 כותב תיאוריה של – Self-Reproducing Automata בה מוכיח שתא יכול להרבות את עצמו בתנאי והוא מספיק סיבוכי (קומפלקסי). הבעיה הוצגה לו ע"י אולם Ulam : כל תא במערך יכול להיות מאוכלס באוטומאט הנמצא באחד ממספר סופי של מצבים. בכל פעימת זמן קוסמי התא משנה את מצבו לפי מצבו הקודם ומצב שכניו. תורה רקורסיבית. הספר פורסם ע"י Burks ב-1966 לאחר מותו.

von Neumann, Arthur Burks, and Herman Goldstine

1946 מגדירים "תכנית מחשב" ומראים איך מחשב יכול לבצע אותה ע"י ביצוע פקודות ושמירתן בזכרון - "ארכיטקטורת פון נוימן" למחשבים.
זכרון לנתונים, זכרון לתכנית
מעבד, וקלט-פלט

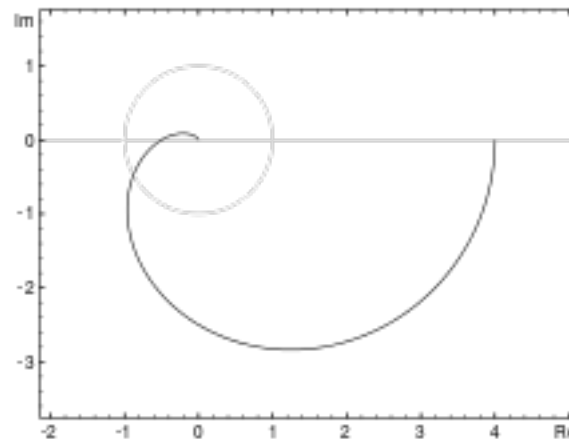




Harry Theodor Nyqvist 1889-1976

בעבודתו בחברת בל חקר רעש טרמי,
1924 עם Herbert E. Ives פיתח את מכשיר הפקסימיליה הראשון.
1932 פירסום מרכזי: יציבות מעגלי היזון חוזר, ואת מבחן היציבות.
החל בחקר ערוצי תקשורת שהמשיך שנון מיסד תורת האינפורמציה.

1932 דיאגרמת נייקויסט: החלק המדומה מול הממשי של פונקצית המעבר של מעגל חשמלי
בציור פרמטרי מול התדירות.





Claude Shannon 1916–2001

1938 בטיזה שלו הראה שמתגים אלקטרוניים יכולים לממש כל פעולה לוגית – הבסיס למעבדים במחשב.

בזמן מכה"ע ה-2 חקר אינפורמציה בערוצי תקשורת. 1948 "התורה המתמטית של תקשורת" –

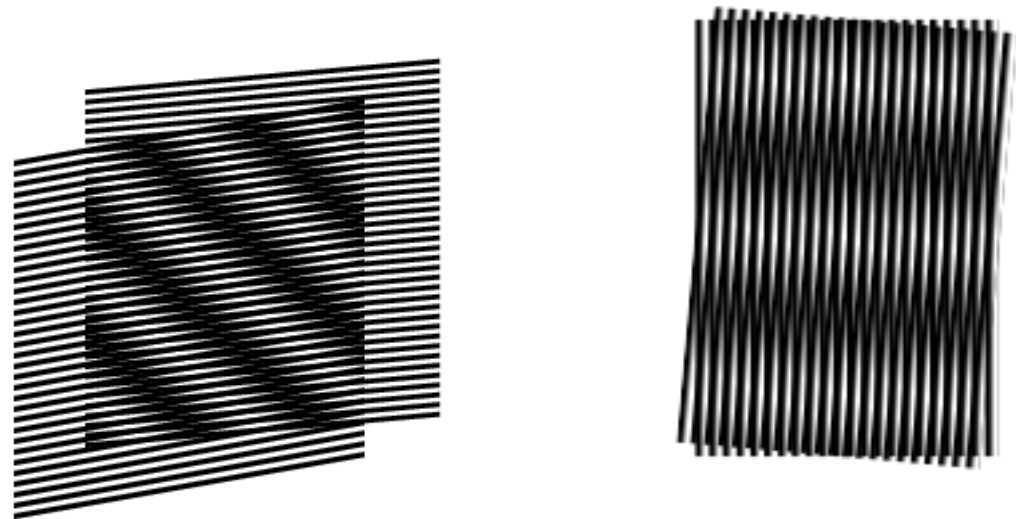
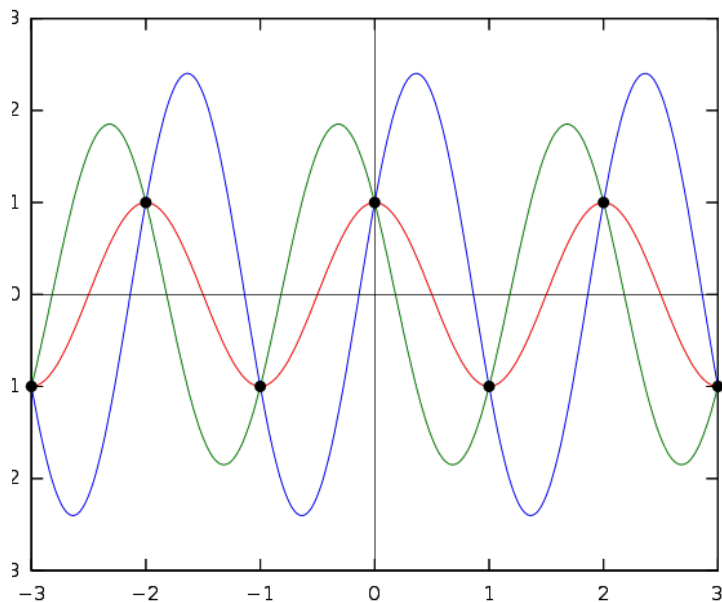
התקשורת מוגדרת כמסר בינארי שנוצר בנקודה אחת במרחב ומשוחזר בנקודה אחרת. הוא פיתח

שיטות למשלוח המסר והגבול התיאורטי לכמות המידע שהמסר נושא כשנתונה מהירות ערוץ התקשורת והרעש שהוא מוסיף לסיגנאל הנשלח דרכו – "תורת האינפורמציה".

Shannon-Nyquist sampling theorem

דגימה דיגיטאלית של סיגנאל תוכל לשחזר אותו בדייקנות אם תדירות הדגימה כפולה מהתדירות המכסימאלית שקיימת בסיגנאל. להלן שתי הדגמות אינטואיטיביות:

התאמה לנקודות הדגימה לסינוסים בתדירויות הגדולה מתדירות הדגימה



Moiré pattern יצירת תדירות נמוכה, מהתאבכות שתי תדירויות גבוהות



John McCarthy

1956 ממציא את המושג "אינטליגנציה מלאכותית"



Nathaniel Rochester and John H. Holland

1956 מפרסמים תכנית מחשב של סימולציה

של מוח: "genetic algorithms" "neural networks"



Paul Baran

1962 מתאר פיצול נתונים לחבילות מסומנות "packet switching"

בשימוש רשתות מחשבים. מאפשר ניצול מירבי של

ערוצי תקשורת, מבלי ל"סתום" אותם במסרים ארוכים.



Imre Lakatos

1963-4 מתמטיקה מתפתחת ע"י הצעת השערות,

ונסיון להוכיח אותן, היינו לצמצמן להשערות אחרות.



Arthur Samuels

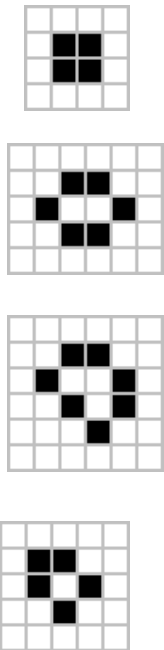
1967 מסיים בנית שחקן שח ממוחשב, המונה את אפשרויות המתחרה,

שוקל את הטקטיקה (תכסיסים ותחבולות), ועל סמך זה עושה מהלך.

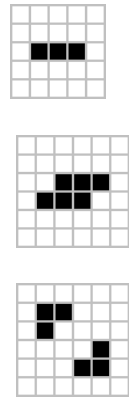


ג'ון הורטון קונווי 1937 אנגליה John Horton Conway
 תורת המספרים, תורת החבורות. 1970 משחק החיים של קונווי – "LIFE" –
 הפשטה של מודל פון-נוימן למכונה המשכפלת את עצמה. קוביות לבנות
 ושחורות ה"מתפתחות" ממצב התחלתי למבנים קוהרנטיים, מתנדים
 (אוסילטורים) מתנפחים לאינסוף או "מתים" פתח תחום מתמטי חדש
 "אוטומאטים תאיים" cellular automata

חיים יציבים

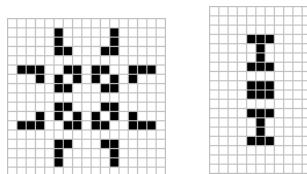


מתנדים

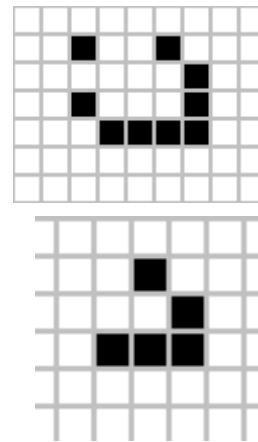


מחזור
2

מחזור 3 ו-15



מתקדמים



מולידים עד אינסוף

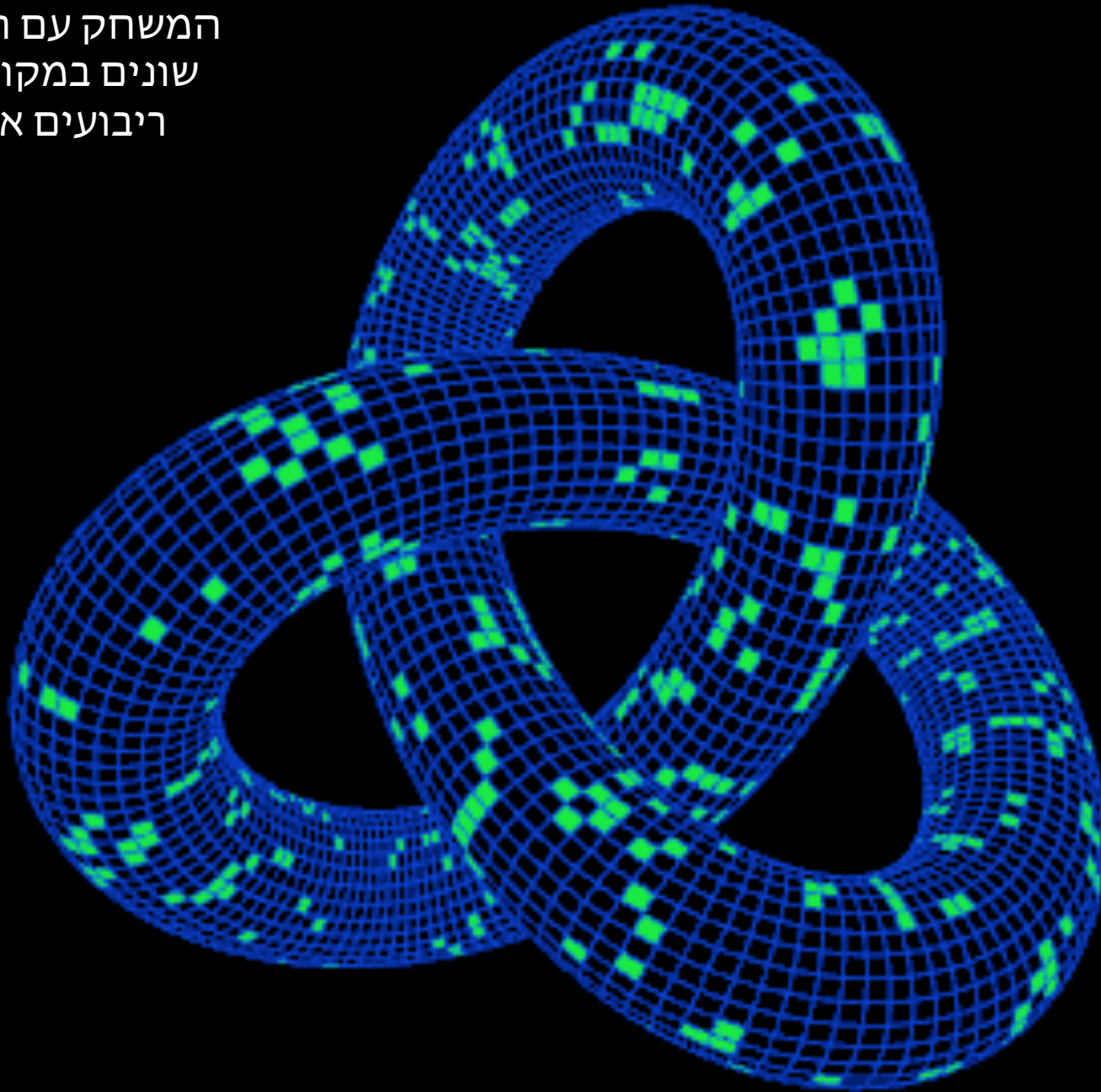


אני זוכר את המחשב הראשון האישי שלי Sinclair
 עליו תיכנתנו אני וילדי את LIFE ועקבנו אחר התפתחות צורות

הכללים: תא חי עם פחות משני שכנים חיים או יותר משלשה (צפיפות אוכלוסיה גבוהה) – מת.
 תא מת עם שלושה שכנים – נעשה חי.

קונווי הניח שאף צורה לא תיגדל לאינסוף, אך עם הזמן גילו צורות עם התנהגויות שונות:
 תותחים יורי פגזים, רחפות, זחלים המשאירים מאחריהם פסולת, רחפות (gliders) המתקרבות
 או נדחות זו מזו, וצורות המתנהגות כמונים, רחפנים כשערים לוגיים (AND OR NOT)
 המשחק הוביל לוריאציות, לבעיות אלגוריתמיות (האם ניתן לנבא "גורל" צורה) וכו'.

המשחק עם תנאי שפה
שונים במקום מישור
ריבועים אינסופי





1968, ARPA

מתקבל חוזה להקמת רשת האינטרנט הראשונה ARPANET

Marcian Ted Hoff

1969 מתכנן את המיקרו-מעבד הראשון - מחשב על שבב.



Ray Tomlinson

1972 דאר אלקטרוני



Vinton Cerf and Bob Kahn

1973 פרוטוקול TCP/IP לתקשורת בין מחשבים שונים

1981 בחברת מיקרוסופט פיתחו את מערכת ההפעלה תלוית דיסק MS-DOS

October 2002



Kenneth Appel and Wolfgang Haken

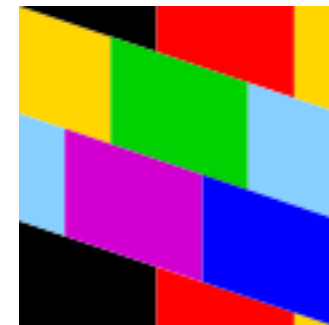
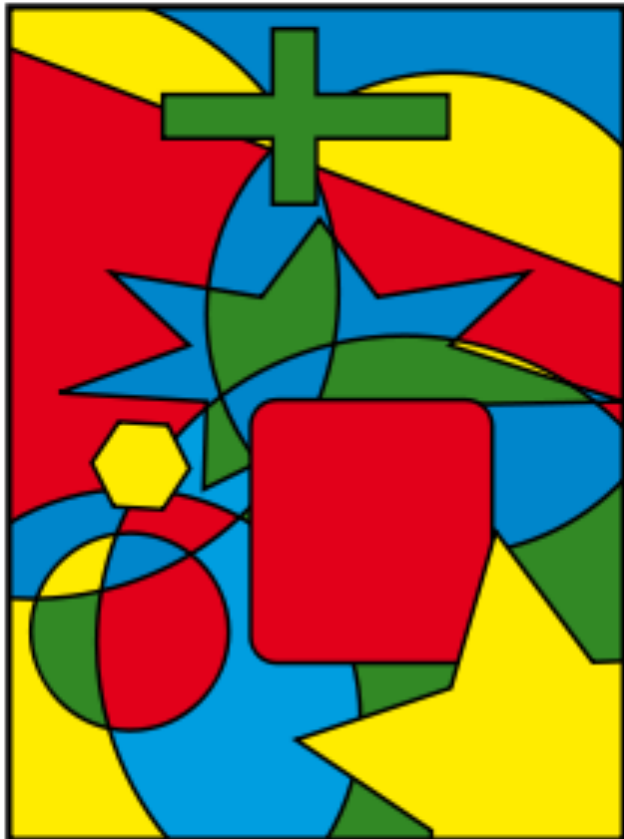
1976 פתרון בעית 4 הצבעים לסימון ארצות במפה, מישורית (אך גם על גלובוס) ע"י נסיון ותעיה: מראים שיש 1936 גרפים שונים של קונפיגורציות, וסורקים את האפשרויות במחשב.

זו בעיה שניתן להגדיר במסגרת תורת הגרפים.

מעניין שההרחבה למשטחים אחרים דוקא יותר פשוטה: היווד Percy John Heawood בשנת 1890 הגדיר בעיה כללית יותר והניח פתרונות: טורוס (7 צבעים), טבעת מוביוס (6), בקבוק קליין (6)

ב-1968 נמצאה ההוכחה הכללית, מלבד למישור, ע"י

J. W. Ted Youngs and Gerhard Ringel



לטורוס:



Merrill Flood & Melvin Dresher (at RAND), Albert W. Tucker

1950 מפרסמים את בעית שיתוף פעולה בתורת המשחקים, שנוסחה אח"כ כ-"דילמת האסירים" ע"י טאקר: שני פושעים נתפשים, אך אין לשופט מספיק הוכחות לכל פשעיהם, אלא לעונש מאסר לשנה לשניהם. הם מוחזקים בתאים נפרדים, והתובע מנסה לקבל מאחד מהם עדות לאשמתו של השני. אם שניהם יאשימו את זולתם: שניהם יישבו שנתיים. אם אחד יאשים ושני ישתוק המאשים ישוחרר והשותק ישב 3 שנים. אם שניהם ישתקו שניהם יישבו שנה בכלא. השאלה האם התנהגות קיבוצית שמקלה על העונש הממוצע באמת תתבצע? או התנהגות אגואיסטית. זאת ניתן לבדוק בחזרה על התהליך.



Anatol Rapoport

1979 אחרי שנים של טיפול בחידת "דילמת האסירים" 'prisoner's dilemma' רפפורט מבסס שהאסטרטגיה הטובה ביותר בתורת המשחקים של צעדים עוקבים היא הפשוטה ביותר: "טיט וטאט" תשתף פעולה תחילה, ואז עשה מה שהמתחרה עשה בצעד הקודם.

Robert Axelrod and Stephanie Forrest

1981 מאשרים בסימולצית מחשב ב"אלגוריתם גנטי" שאוכלוסיה מתפתחת של בודדים שתגלה את אסטרטגית ה-"טיט וטאט" תתפשט במהירות.



מערכות מחשב לומדות

Donald Hebb

1949 חוק הֵב ללימוד אסוציאטיבי – הפעלת נוירונים מחזקת את הקשר ביניהם.

John Hopfield

1982 מציע תכנית מחשב פשוטה של רשתות נוירונים המבוססת על Hebb ומדמה פעולת נוירונים במוח, ה"יורים" כאשר סכום הפוטנציאלים עליהם עובר סף. מטריצת הקשרים בין הנוירונים w_{ij} סימטרית,

והאלכסון מתאפס. לוקטור מצבים $s_j = \epsilon_j^\mu$ שני ערכים הנקבעים ע"י קביעת סף של סיכום: 1 מעל לסף, (-1) מתחתיו. לימוד הרשת "להכיר" סט של מצבים נעשה ע"י תיקוני במטריצה לפי הנוסחא

$$w_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{\mu=1}^n \epsilon_i^\mu \epsilon_j^\mu$$

המערכת יכולה לסווג מספר גדול של מערכים (וקטורים) המוצגים לה. מעניין שבעוד מטריצות ליניאריות בממדים $n \times n$ יכולה להכיר n וקטורים (וקטורים עצמיים) מטריצות נוירוניות מתוכננות ולומדות "היטב" יכולות להכיר הרבה יותר מ- n וקטורים.



David Goldberg

1983 בונה אלגוריטם גנטי: מערכת מיון (סווג) הלומדת לשלוט בצינור גאז ומייצרת מידרג (היררכיה) בו מופיעה הנזילה החזקה ונעלמת החלשה.



William Brian Arthur et al.

1983 היזון-חוזר חיובי בוחר שוי-משקל אחד מרבים אפשריים, כאשר יש שינוי מצבים. מאפשר לכלכלנים לנבא תוצאות ארועים היסטוריים.



Stephen Wolfram

1984 מראה שאוטומאטים תאיים cellular automata דומים לדינאמיקה לא ליניארית, ומשתייכים לארבע קבוצות – שתיים סטטיות, מסודרת, כאוטית, וסיבוכית (כמו Conway's Game of Life) מפתח תכנת Mathematica - כל דיוק רצוי, כתיבה סימבולית (למשל פתרון של ביטויים אלגבריים) ועוד.



Christopher G. Langton

1985 מוצא את ערך הסף להתנהגות כאוטית, וטוען לאנלוגיה בין הקבוצה הסיבוכית של וולפראם, מעבר פאזה ממוצק לנוזל, ו-undecidability theorem של טורינג.



Stuart A. Kauffman, Norman H. Packard, J. Dooyne Farmer

1985 בונים סימולצית מחשב לפולימר המשכפל את עצמו בתהליך קטליטי ומתפתח בזמן. אוטוקטליזה מוצעת כתהליך ראשית החיים. קאופמן בעבודה קודמת על הווצרות סדר ברשתות בוליאניות, כאשר שינוי בתנאי התחלה מביא להתפצלות ומפולות של שינויים, ומתוך הכאוס מופיע מרכז משיכה attractors . רשתות בוליאניות דומות לאוטומאטים תאיים. 1988 הספר "הסתגלות בגבול הכאוס" מציע שסיבוכיות נמצאת בגבול זה, ובתוספת ברירה מתאר אבולוציה של החיים.



David Rumelhart, James McClelland et al.
 1986 בספר על חישוב מקבילי, אלגוריתם להתקדמות שגיאות
 backpropagation of errors
 שהן מדורגות (לא בינאריות) ונגזרותיהן לא ליניאריות, והרשת
 כולה משתנה להורדת השגיאות.



John Bly
 1989 מתאר אוטומט קטן המשכפל את עצמו: 12
 תאים, 6 מצבים, 57 כללים.
 זה נוגד לסף הסיבוכיות של פון-נוימן



Richard G. Palmer and W. Brian Arthur
 1989 סימולציה של בורסת המניות המובילה
 להתפוצצות בועה בעקבות ניתוח פשטני
 של הסוחרים.



John H. Holland

1989 סימולצית ECHO לחיים: מערכת מסתגלת המבדילה בין גנוטיפ לפנוטיפ, בה הסתגלות הגנוטיפ תלויה ביחסי גומלין של הפנוטיפ עם סביבה, נישואין מחוץ לשבט, מרוץ חימוש ביולוגי והתפצלות מינים.



Tim Berners-Lee in CERN,

The European Organization for Nuclear Research

1990 מערכת hypertext לחיפוש מידע בפיזיקה,

1992 פירסום WorldWideWebb



photo © Nerissa Escal

Walter Fontana

1990 כימיה אלגוריתמית: תכנית מחשב שמבוססת על העובדה שקוד

התכנית הוא גם רצף נתונים. תכנית A קוראת תכנית B

ומפענחת אותה כתכנית C וכו' מתוכם נוצרת

פעילות זרזים (קטליטית)



, Marc Andreesson et al.

1993 ממשק גרפי ל-WWW הנקרא Mosaic X

הבסיס לטבלאות אקסל



גודפרי הרולד הארדי 1877-1947 אנגליה

Godfrey Harold ("G. H.") Hardy

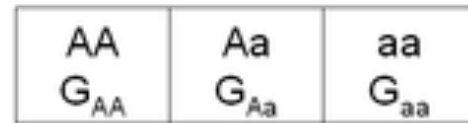
תורת המספרים, אנליזה מתמטית. מספר הארדי-רמנוז'אן,

השערת הארדי-ליטלוד

עקרון הרדי-ויינברג באבולוציה ביולוגית

אוכלוסיה בוגרת:

(דור ראשון)

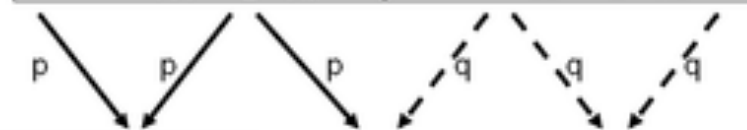


מנגנון ייצור גמטות
(החוק הראשון של מנדל)

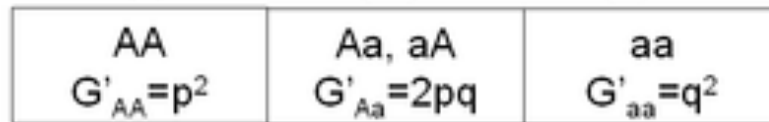


מאגר גנטי:

(דור ראשון)



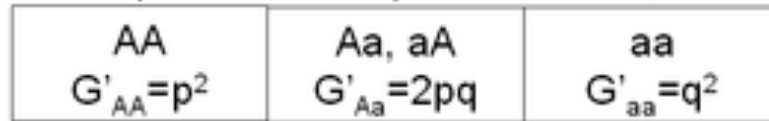
מנגנון איחוד גמטות
(רבייה אקראית)



אוכלוסית צאצאים צעירים:

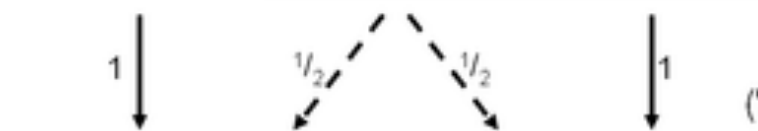
(דור שני)

מגנוטיפ לפנוטיפ
(ללא ברירה טבעית)

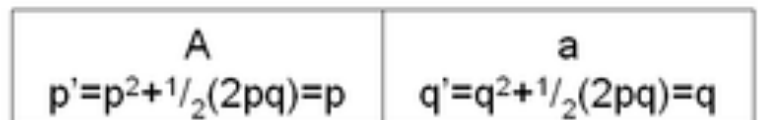


אוכלוסית צאצאים בוגרים:

(דור שני)



מנגנון ייצור גמטות
(החוק הראשון של מנדל)



מאגר גנטי:

(דור שני)



Waloddi Weibull 1887-1979
Photo by Sam C. Saunders

ארנסט וייבול 1887-1979 שבדיה

Ernst Hjalmar Waloddi Weibull

הסתברות. התפלגות ומשתנה מיקרי של וייבול

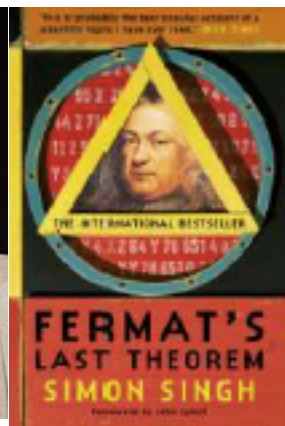


אנדרו ויילס 1963 אנגליה

Andrew Wiles

תורת המספרים

1984 – הוכחת משפט פרמה



איבן וינוגרדוב 1891-1983 רוסיה

Ivan Matveevich Vinogradov

תורת המספרים האנליטית. אי שוויון פוליה-וינוגרדוב,

תיאורית וינוגרדוב

ג'ורג' קינגסלי זיפ 1902-1950 ארה"ב

George Kingsley Zipf

הסתברות. התפלגות זיפ לשימוש במילים בשפה

ערכים מסודרים יחסיים הפוך ל-rank שלהם

$$P_n \sim 1/n^a$$





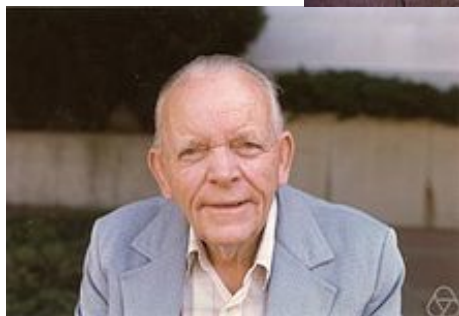
אדוארד זקנדהוף 1901–1983 בלגיה
תורת המספרים. הצגת המספרים הטבעיים של זקנדהוף



אלפרד טרסקי 1901–1983 פולין

Alfred Tarski

לוגיקה, תורת הקבוצות. פרדוקס בנך-טרסקי,
משפט ערך האמת של טרסקי



דרק הנרי להמר 1906–1991

Derrick Henry Lehmer

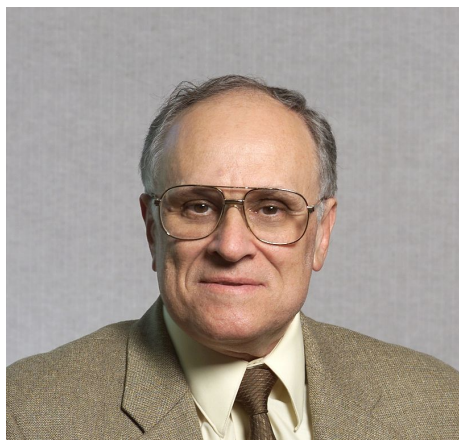
תורת המספרים. מבחן לוקאס-להמר



ז'ון אדנסור ליטלווד 1885–1977 אנגליה

John Edensor Littlewood

אנליזה מתמטית
השערות הארדי-ליטטלווד הראשונה והשנייה,
חוק ליטלוודת השערת ליטלווד



Gerard Foschini

1994 מציע שינוי לתורת האינפורמציה של שנון, במקום נקודות -
קשר בין נפחים במרחב, כאשר הקולטים מפענחים ראשית את
המסרים החזקים, ואז מפענחים בהדרגה מסרים חלשים יותר ויותר.



לואי מורדל 1888–1972 אנגליה

Louis Joel Mordell

תורת המספרים, עקומים אליפטיים
משפט ארדש-מורדל



Ferdinand de Saussure

1906 לינגויסטיקה ועקרונות המבנה של שפה

reciprocity of phonemes and the opposition of diachrony and synchrony.



Luitzen Egbertus Jan Brouwer

1907 מסיים דוקטורט בלוגיקה מתמטית -

תחילת ה- Intuitionist

המתנגדים למתמטיקה "ריגורוזית" ואקסיומאטית,
(המוגבלת עקב משפט גודל).



Ernst Zermelo

1908 מייסד axiomatic set theory משפט זרמלו-פרנקל הוא
יסודי בתורת הקבוצות.
הוכחות לתורת המשחקים (שח)

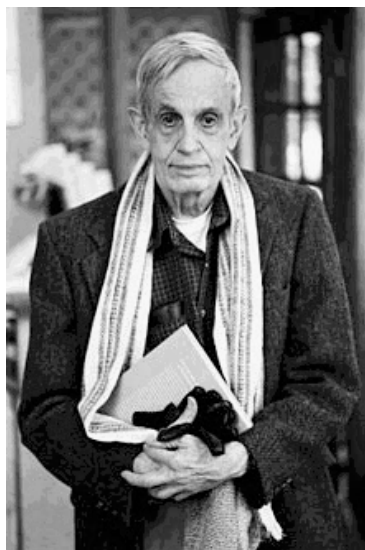


אברהם הלוי פרנקל 1891-1966 ישראל

Adolf Abraham Halevi Fraenkel

תורת הקבוצות ותורת החוגים
מערכת האכסיומות של צרמלו-פרנקל

פרנקל היה פרופסור למתמטיקה באוניברסיטה העיברית



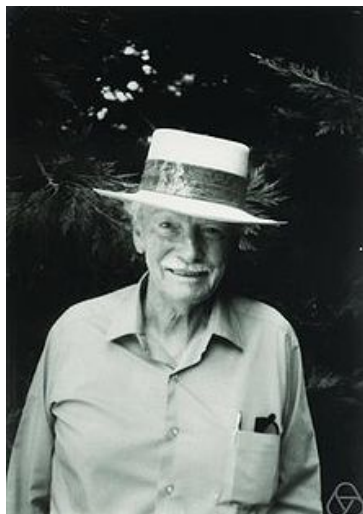
ג'ון פורבס נאש 1928 ארה"ב

John Forbes Nash, Jr.

תורת המשחקים. פרס נובל לכלכלה 1994,
גיאומטריה אנליטית – כל המרחבים הרימאניים איזומטריים למרחב אוקלידי.
משוואות דיפרנציאליות חלקיות – פרס אבל 2015.
נהרג בתאונת דרכים בדרכו חזרה מטכס קבלת הפרס בנורווגיה.

הספר והסרט "נפלאות התבונה" תארו את חייו.
נאש חלה במחלת סכיזופרניה, שהוקלה לקראת סוף חייו.

שיווי משקל נאש – אוסף תכסיסים בו אף אחד מהשחקנים לא מרוויח יותר אם ישנה את דעתו
ויבחר בתכסיס אחר בעוד האחרים אינם משנים את דעתם
משפט נאש – קובע שבכל משחק מרובה משתתפים קיים שיווי משקל נאש, אם מרשים שימוש
בתכסיסים מעורבים.



איבן מורטון ניבן 1915-1999 ארה"ב

Ivan Morton Niven

תורת המספרים

מספר ניבן (הארשאד)



סטנלי סקיוז 1899-1988 דרום-אפריקה

Stanley Skewes

תורת המספרים

מספר סקיוז



ג'ורג' סקרש 1911-2005 הונגריה

George Szekeres

תורת המספרים

הלמה של ארדש-סקרש

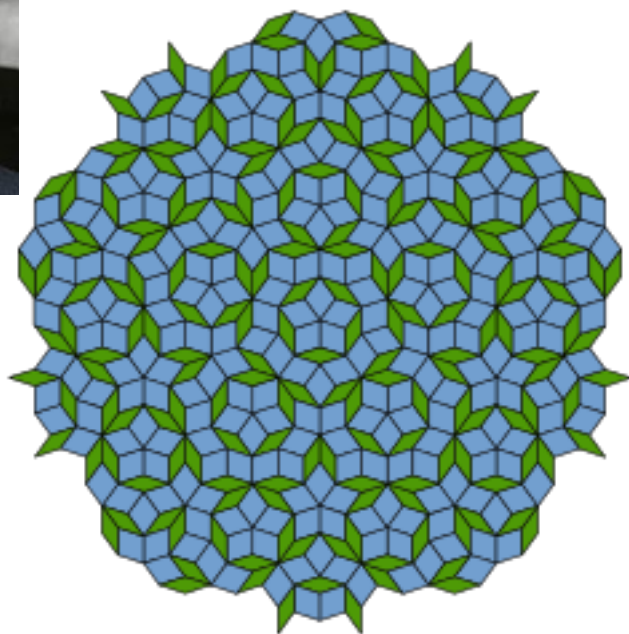


ג'ורג' פוליה 1887-1985 הונגריה

George Pólya

הסתברות

מודל הנז של פוליה, השערת פוליה, אי שוויון פוליה-וינוגרדוב

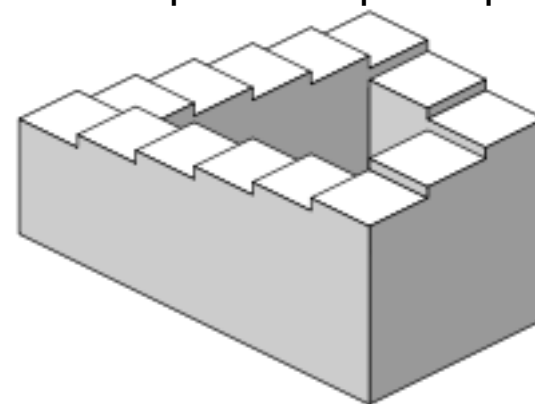


רוז'ר פנרוז 1931 אנגליה

Sir Roger Penrose

פיזיקה מתמטית

משולש פנרוז, ריצוף פנרוז, מדרגות פנרוז
יקום הקודם למפץ הגדול

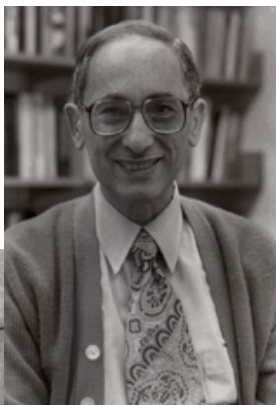


מקס אוגוסט צורן 1906–1993 גרמניה

Max August Zorn

תורת הקבוצות, אנליזה נומרית

הלמה של צורן



הרמן צ'רנוב 1923 ארה"ב

Herman Chernoff

תורת ההסתברות

חסמי צ'רנוב Chernoff bound למשתנים מיקריים



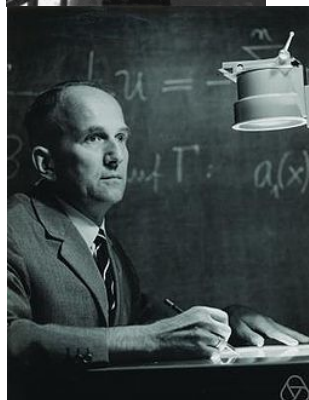
אנדריי קולמוגורוב 1903-1987 רוסיה

Andrey Nikolaevich Kolmogorov

תורת ההסתברות, טופולוגיה

אי שוויון קולמוגורוב,

קריטריון קולמוגורוב, קולמוגורוב-סמירנוב: סטטיסטיקה לא פרמטרית

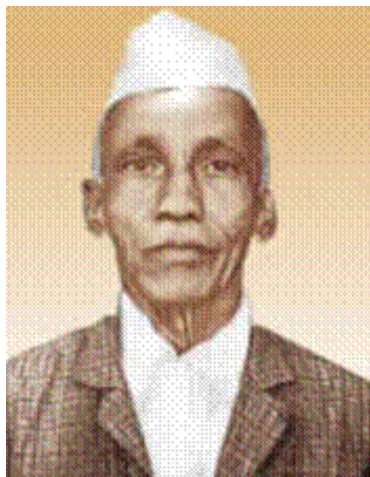


לוטר קולץ 1910-1990 גרמניה

Lothar Collatz

תורת המספרים

השערת קולץ (אולם)



דטארייה רמאצ'נדרה קפרקר 1905–1986 הודו

Dattaraya Ramchandra Kaprekar

תורת המספרים

תהליך קפרקר, קבוע קפרקר, מספר קפרקר



פרנק רמזי 1903–1930 אנגליה

Frank P. Ramsey

תורת הקבוצות,

קומבינטוריקה, משפט רמזי, מספרי רמזי



לויד שפלי 1923 ארה"ב

Lloyd Stowell Shapley

תורת המשחקים, סטטיסטיקה

ערך שפלי, משפט הנישואים היציבים

Gregorio Ricci-Curbastro 1853 -1925

Tullio Levi-Civita, 1873 –1941 A student of Ricci

1901 ריצי ולוי צ'ביטה: אנליזה טנזורית למרחבים רימאניים ב-n ממדים. (הרחבה לכריסטופל Christoffel 1869). למרות שלא חשבו על פיזיקה, תורתם באה בזמן הנכון ליצירת בסיס

מתמטי לתורת הקוונטים. הסימן של לוי צ'ביטה הוא טנזור n- ממדי $\epsilon_{ijk\dots m}$ הוא שווה +1 אם האינדקסים הם התמרה (פרמוטציה) זוגית של $(1, 2, 3, \dots, n)$ הוא שווה -1 אם האינדקס הוא התמרה איזוגית ומתאפס אם שני אינדקסים שווים. למשל לסדר 3:

$$\epsilon_{ijk} = \begin{cases} +1 & \text{if } (i, j, k) \text{ is } (1, 2, 3), (2, 3, 1) \text{ or } (3, 1, 2), \\ -1 & \text{if } (i, j, k) \text{ is } (3, 2, 1), (1, 3, 2) \text{ or } (2, 1, 3), \\ 0 & \text{otherwise: } i = j \text{ or } j = k \text{ or } k = i, \end{cases}$$

וקיימות הזהויות:

$$\sum_{i=1}^3 \epsilon_{ijk} \epsilon_{imn} = \delta_{jm} \delta_{kn} - \delta_{jn} \delta_{km}$$

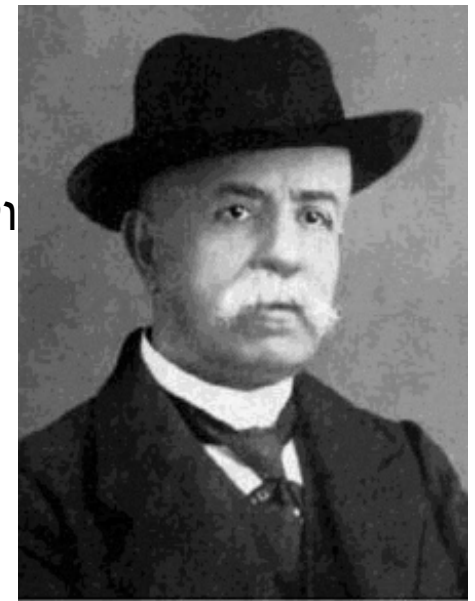
$$\sum_{i,j=1}^3 \epsilon_{ijk} \epsilon_{ijn} = 2\delta_{kn}$$

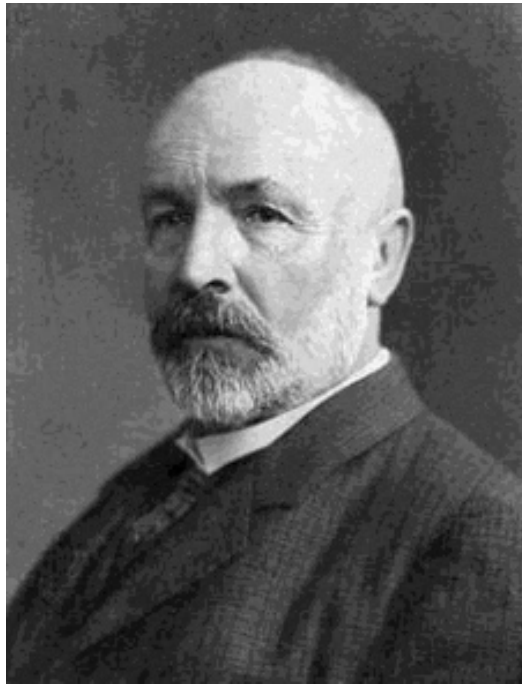
ולמכפילה וקטורית:

$$(\vec{A} \times \vec{B})_k = \epsilon_{ijk} A_i B_j$$

לכל סדר שהוא קיים:

$$\sum_{i,j,k,\dots=1}^n \epsilon_{ijk\dots} \epsilon_{ijk\dots} = n!$$





גיאורג קנטור - אבי תורת הקבוצות 1845-1918

גילה את התכונות הלא צפויות של קבוצות אינסופיות:
הוכיח כי המספרים הראציונאליים הם בני מניה (התאמה חד ערכית
למספרים השלמים, $\aleph_0$) וכי המספרים הממשיים $\aleph$ אינם ברי מניה.

התאמה חד-חד ערכית של כל המספרים השלמים למספרים הזוגיים
 $X \leftrightarrow 2X$

התאמה חד-חד ערכית בין הנקודות על הקטע $[0, 1]$ למרחב n -ממדי

	1	2	3	4	5	6	7	8	...
1	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	...
2	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{2}{8}$	...
3	$\frac{3}{1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{3}{8}$	...
4	$\frac{4}{1}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{4}{8}$	...
5	$\frac{5}{1}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{5}{8}$	...
6	$\frac{6}{1}$	$\frac{6}{2}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{6}{8}$	...
7	$\frac{7}{1}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{7}{4}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{8}$	...
8	$\frac{8}{1}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{8}{3}$	$\frac{8}{4}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{8}{6}$	$\frac{8}{7}$	$\frac{8}{8}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

התאמה בין השלמים לרציונאליים

$$\begin{aligned}
 S_1 &= (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, \dots) \\
 S_2 &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \dots) \\
 S_3 &= (1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, \dots) \\
 S_4 &= (0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, \dots) \\
 S_5 &= (1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, \dots) \\
 S_6 &= (0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, \dots) \\
 S_7 &= (1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, \dots) \\
 &\dots \\
 S_8 &= (0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, \dots)
 \end{aligned}$$

ההוכחה האלכסונית - שמספרים

ממשיים אינם ברי מניה: על דרך השלילה: נבנה סידרה
ממוספרת (אינסופית) של הצגה בינארית של כל
הנקודות על קטע. נבנה מספר שבו הביט ה- n הוא
המשלים של הביט ה- n ב- S_n מאחר ומספר זה
שונה (לפחות בביט אחד) מכל אלמנט בסדרה הוא
אינו בסדרה - מה שמזים את הנחתנו.



(Pal Jenő) Eugene Wigner 1902-1995

יוגין ויגנר

נובל 1963

פיזיקאי ומתמטיקאי הונגרי ממוצא יהודי שעבר עם פון נוימן לפרינסטון
אחד מאבות הפיזיקה הגרעינית וממשתתפי פרויקט מנהטן.
זכה בפרס נובל לפיזיקה לשנת 1963 על חבורות סימטריה בפיזיקה
(מקדמי ויגנר בחיבור מומנטום זוויתי)
הראה שחוקי סימטריה קשורים לחוקי שימור.

תורת החבורות

חבורה מוגדרת ע"י אלמנטים ופעולה שביניהם, עם 4 אכסיומות:
 1. שלמות: אם a ו- b הם אלמנטים בחבורה גם $a*b$ אלמנט בחבורה

2. אסוציאטיות: $(a*b)*c=a*(b*c)$

3. קיים אלמנט הזהות e המקיים: $a*e=e*a=a$

4. לכל אלמנט יש אלמנט הפכי המקיים $a*a^{-1}=a^{-1}*a=e$

לחבורות אבל: גם קומוטטיביות: $a*b=b*a$

מרכז חבורה: תת קבוצה של אברים הקומוטטיביים עם כל אברי החבורה. (חסרת מרכז: רק e

מתחלף) המרכז הוא חבורה אבלית. לחבורה סופית אפשר לרשום לוח הכפל

דוגמאות:

•	A	B	C	D	E
A	A	B	C	D	E
B	B	A	D	E	C
C	C	D	E	A	B
D	D	E	B	C	A
E	E	C	A	B	D

כפל ושני אלמנטים $(-1, 1)$ יוצרים חבורה סופית

חבורת הסיבובים סביב ציר: חבורה ציקלית. למשל סיבובים ב-90 מעלות: מסדר 4

חיבור והמספרים השלמים יוצרים חבורה אינסופית

חבורת סימטריה של החלקיקים האלמנטאריים (גל-מן EightFoldWay)

חבורות הסימטריה של גבישים.

בשני ממדים: משולשים, מרובעים, משושים. (קומוטטיבית)

בשלושה ממדים: 230 סימטריות (לא קומוטטיבית)

חבורת סימטריה של נוסחא פיזיקאלית קשורה בחוק שימור

סימטריה לזמן-שימור אנרגיה, למקום-מומנטום

חבורת פרמוטציות - קובית רוביק

משפט לגראנג': הסדר של תת חבורה

הוא מחלק של סדר החבורה (לחבורה סופית)

משפט קושי: אם לסדר חבורה סופית מחלק ראשוני, p

אזי יש לה אבר x מסדר p , ז"א $x^p=e$ (תת חבורה ציקלית)

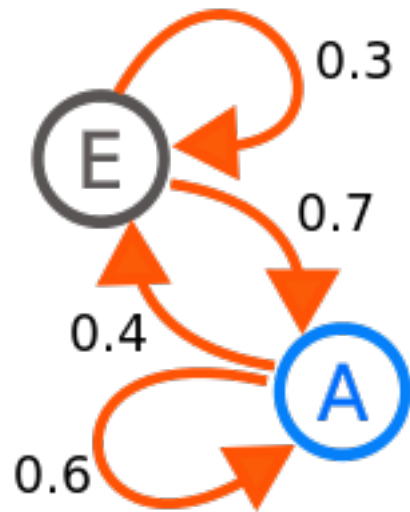
משפט קיילי: כל חבורה איזומורפית לחבורת פרמוטציות.





אנדריי מרקוב 1856–1922 רוסיה
Andrei (Andrey) Andreyevich Markov
הסתברות . שרשרות מרקוב, אי שוויון מרקוב,
תיאוריית גאוס-מרקוב, מספר מרקוב

1906 מרקוב מתאר סדרת משתנים הסתברותיים אקרעיים
שערכם בעתיד נקבע על סמך ערכם בהווה, ואינו תלוי באופן
בהם ערכי ההווה נבעו מהעבר: שרשרות מרקוב
Markov chains
פתחו את תחום התהליכים הסטוכסטיים.



שרשרת מרקוב לשני מצבים

$$(A_{i+1}) = (0.6 \ 0.7) (A_i)$$

$$(E_{i+1}) = (0.4 \ 0.3) (E_i)$$



1923 Charles Galton Darwin and Ralph Fowler

פירסמו עבודה על הסתברויות תלויות, בהקשר לטרמודינאמיקה ואנסמבל קנוני וגרנד קנוני)



דיויד הילברט מתמטיקאי גרמני 1862-1943 David Hilbert

(עבד בגוטינגן, האוניברסיטה של גאוס)
הכליל גיאומטריה ע"י שהחליף את אכסיומות אוקלידס.
מרחבי הילברט – מרחב וקטורי n -ממדי, היה בסיס
לפורמולציות בפיזיקה הן ביחסיות (בשיתוף עם אינשטיין)
והן בתורת הקוונטים והטרמודינאמיקה (תאוריה ארגודית)

משפט הבסיס של הילברט: כל יריעה אלגברית ניתנת
לתיאור כקבוצת האפסים המשותפים של מספר סופי של
פולינומים. הוכחה, בניגוד למקובל, לא היתה הוכחת בניה
אלא הוכחת קיום. ג'ורדן טען שזו לא מתמטיקה אלא
תיאולוגיה



Kurt Gödel 1906-1976, גדל, 1931

הלוגיקאי המתמטי הגדול,

מגבלות התורה האכסיומאטית: עיקביות קבוצת אכסיומות אינה יכולה לנבוע מעצמן: מטרת Frege , Hilbert, and Russell לא יכולה להיות מוסגת.

הוכיח ש"בכל תורה קיימת טענה אמיתית שאינה ניתנת להוכחה".
גודל ברח מאוסטריה לפרינסטון עם עלית הנאצים, שם הכיר את
איינשטיין ומצא כמה פתרונות מעניינים לתורת היחסיות הכללית,
כולל פתרון החוזר על עצמו בזמן, הפך לנושא סרטים דמיוניים של
חזרה בזמן...



איינשטיין וגדל

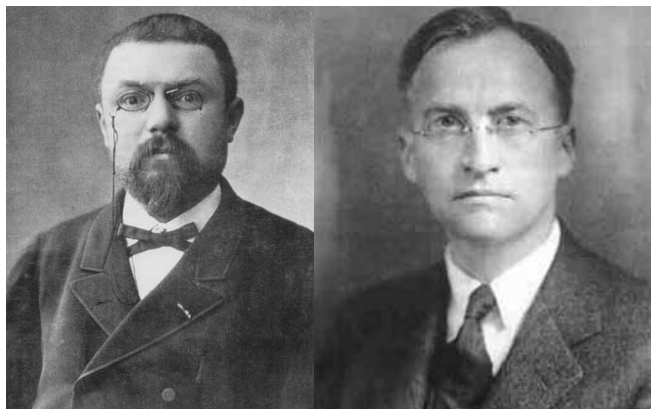


פול ארדוש Paul Erdős 1913–1996
תורת המספרים הקומבינטורית

מתמטיקאי הונגרי שהיה ידוע בשתופי פעולה ומספר תלמידים גבוה
מספר ארדוש – כמה מתמטיקאים, מורים ושותפים, צריך לעבור כדי
ל הגיע לארדוש – אמור להיות פחות מ-5 לרוב המתמטיקאים בעולם
ניתן להראות שב-8 צעדי קירבה מכסים את כל אוכלוסית העולם.

בעיות ארדוש – לפתרונם ניתן פרס של \$25,000 – וחלקן הגדול
עדין לא נפתר...

כאוס ופרקטאליים



Jules Henri Poincaré 1854-1912

George David Birkhoff 1884-1944

אנרי פואנקרה ואח"כ בירקהוף חקרו תנועת
שלושה גופים בכח הכבידה ומצאו שיש תנועות
כאוטיות שאינן מחזוריות.



Andrey Kolmogorov 1903-1987

קולמוגורוב חקר מערבולות,

אך רק עם המחשב עשו סימולציות לנוסחאות
פשוטות שהראו התנהגות כיאוטית.

Edward Lorenz

1961 לורנץ עבד בחזאות מזג אויר וגילה שבהזנת

נתונים חוזרת קיבל תוצאות שונות, עקב דיוק של 3

ספרות בהדפסת התוצאות. הגדיר את "אפקט הפרפר".

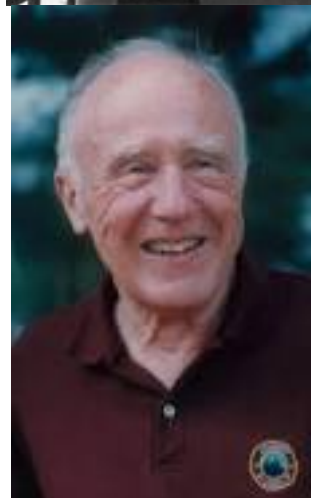
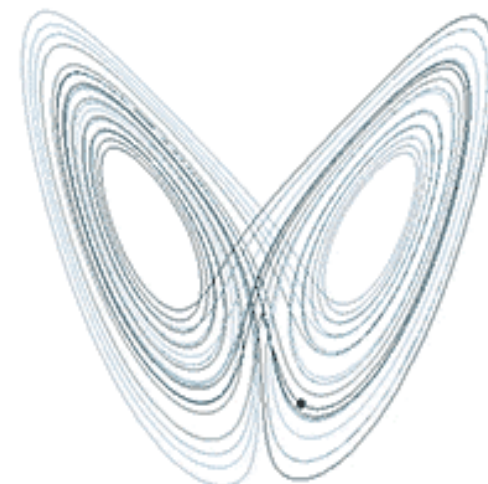
משוואות לורנץ שני אטרקטורים

$\rho = 28$, $\sigma = 10$, and $\beta = 8/3$

$$\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x),$$

$$\frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y,$$

$$\frac{dz}{dt} = xy - \beta z.$$



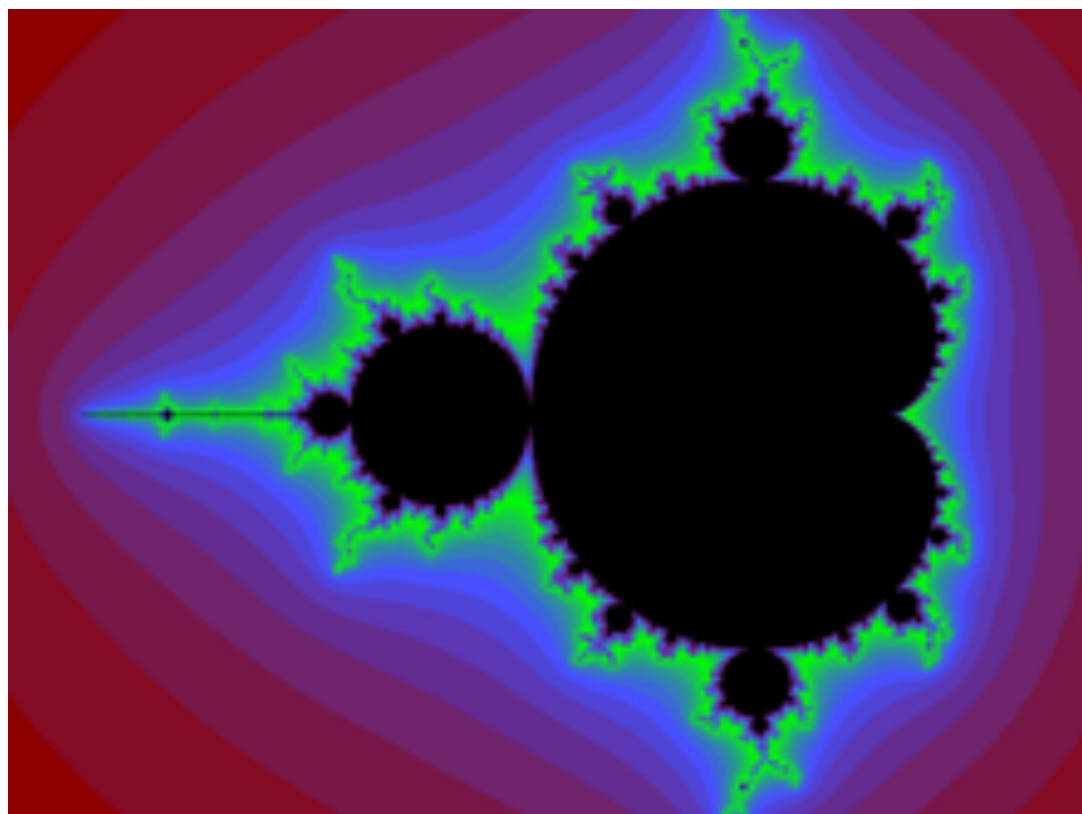


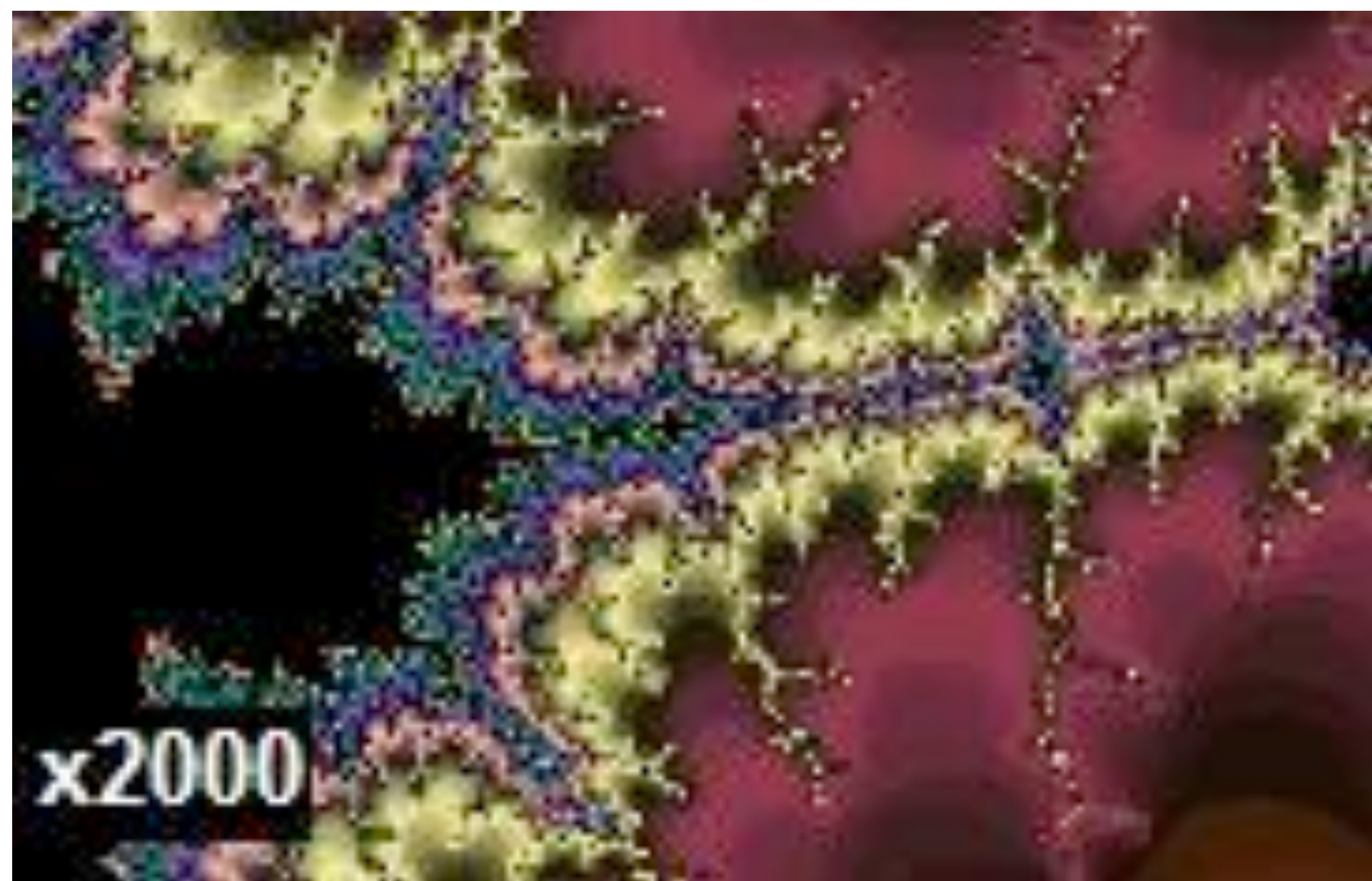
Benoit B. Mandelbrot

חבורת מנדלברוט

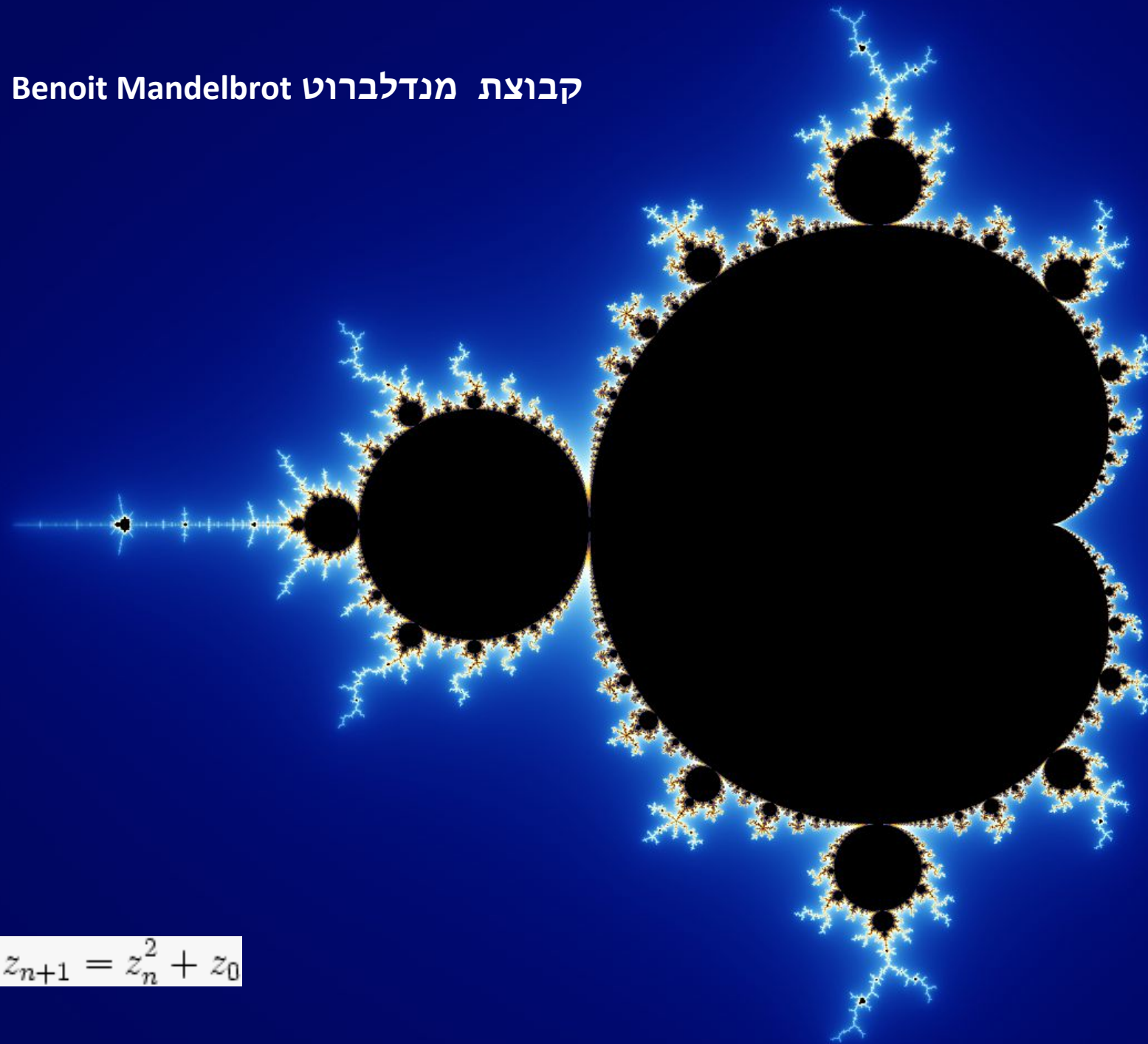
1977 מפרסם "הגיאומטריה הפרקטאלית של הטבע".
עקומות מסובכות מצטמצמות לקוים, ועוברות כיול אינווריאנטי.
משנה ומרחיב חוק זיפ Zipf's law ומראה שחוקי כיול ופרקטאלים
קשורים להתנהגות כאוטית בדינאמיקה לא ליניארית.

ציורי פרקטאלים פופולאריים בגלל האפשרות לייצרם במחשבים





קבוצת מנדלברוט Benoit Mandelbrot



$$z_{n+1} = z_n^2 + z_0$$

מהו שטח הפנים של הר?
תלוי אם מתחשבים בסלעים, מערות ובאבנים וגרגרי אדמה על השיפועים

מה אורך החוף של אנגליה - עולה ככל שמקל המדידה מתקצר



$$11.5 \times 200 = 2300 \text{ km}$$



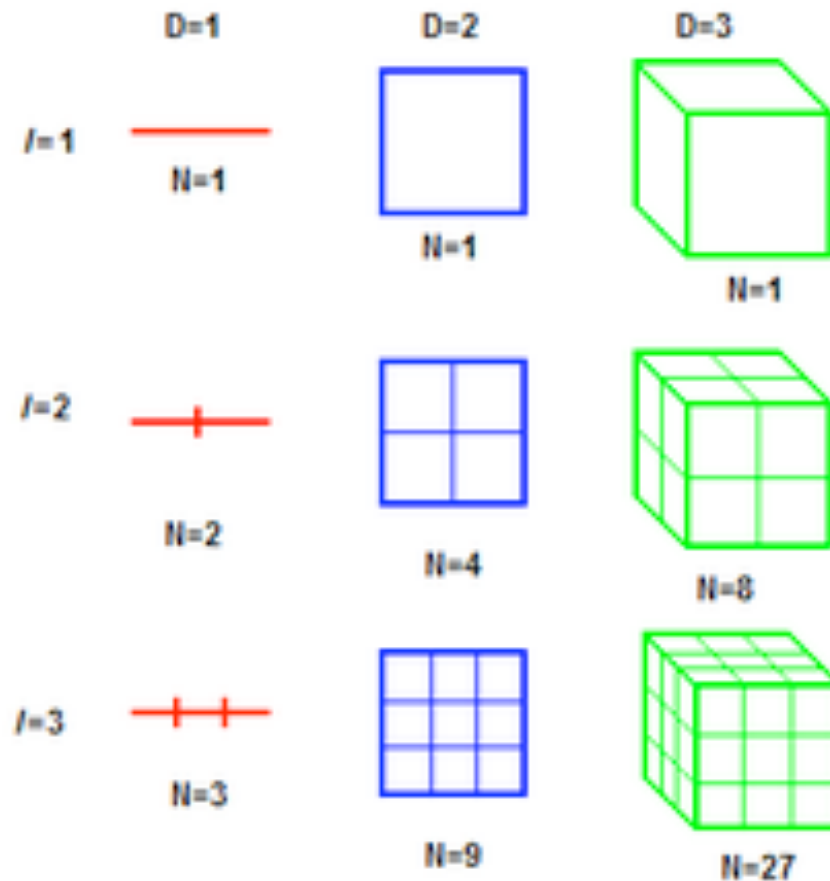
$$28 \times 100 = 2800 \text{ km}$$



$$70 \times 50 = 3500 \text{ km}$$

פרקטלים FRACTALS

הגדרת פרקטל - פונקציה רצופה שאינה גזירה באף מקום. תחילה התנהגות פשוטה של ממדים D שלמים $N=\epsilon^{-D}$



מימד אחד: כמה מקלונים הולכים וקצרים
יכנסו ביחידת אורך

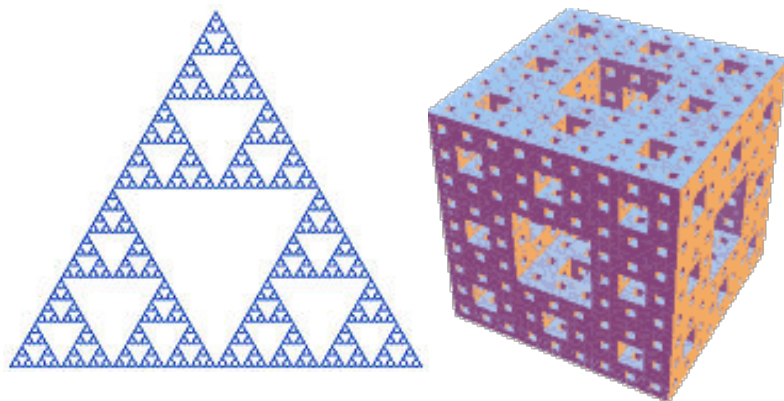
$$\begin{aligned} \text{Stick}=1 & \quad N=1 \\ \text{Stick}=1/2 & \quad N=2 \\ \text{Stick}=1/3 & \quad N=3 \\ \text{Stick}=\epsilon & \quad N=\epsilon^{-1} \end{aligned}$$

שני ממדים: כמה ריבועים הולכים וקטנים
יכנסו בריבוע של יחידת שטח

$$\begin{aligned} \text{Square}=1 & \quad N=1 \\ \text{Square}=1/2 & \quad N=4 \\ \text{Square}=1/3 & \quad N=9 \\ \text{Square}=\epsilon & \quad N=\epsilon^{-2} \end{aligned}$$

שלשה ממדים: כמה קוביות הולכות וקטנות
יכנסו בקוביה של יחידת נפח

$$\begin{aligned} \text{Cube}=1 & \quad N=1 \\ \text{Cube}=1/2 & \quad N=8 \\ \text{Cube}=1/3 & \quad N=27 \\ \text{Cube}=\epsilon & \quad N=\epsilon^{-3} \end{aligned}$$



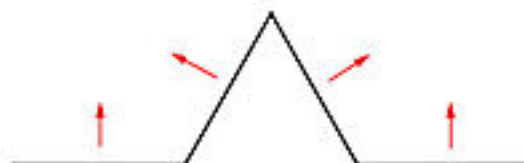
1975 פרקטלים - צורות המורכבות מהעתקים מוקטנים של עצמם. הקף לצורה בשטח סופי יכול להיות אינסופי.

דוגמאות:

מרובע ומשולש שרפינסקי



שלבי הבניה:



פתית שלג של קוך-



הקף פתיתי השלג של קוך Koch

מספר הקווים $N \sim \epsilon^{-1.2619}$

$\epsilon=1, N=1$; $\epsilon=1/3, N=4/3$; $\epsilon=1/9, N=16/9$; $\epsilon=1/27, N=65/27$

ומכאן השם פרקטל - חזקה חלקית, לא שלמה

הקף פתיתי השלג? $3 \times (4/3)^n$ $6 \times (4/3)^n$
 מה שטח השחורים? $(4/2)^n$ $(5/3^2)^n$

n

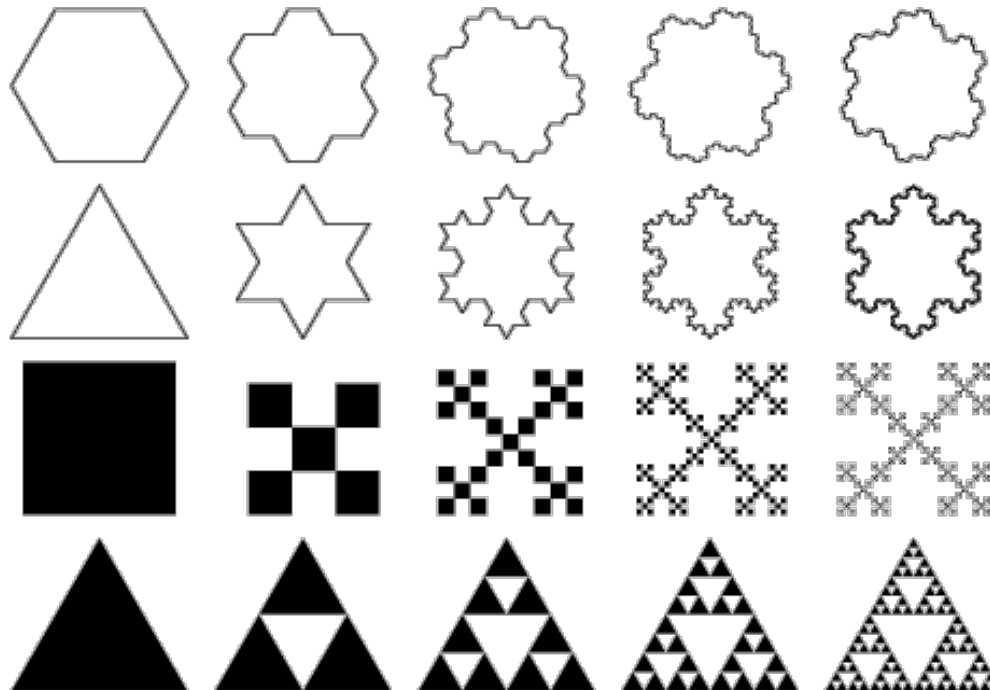
הממד הפרקטלי, d , של S מוגדר ע"י:
 כאשר:

$$d = \frac{\log(m)}{\log(r)} = \log_r(m)$$

גורם הכיווץ r -

פי כמה נצטרך להקטין את הפרקטל הגדול כדי לקבל עותק מוקטן שלו שמוכל בו.
 מספר העותקים m –
 מספר העותקים של הפרקטל המוקטן המוכלים בפרקטל השלם

גופים "סינטטיים" המוגדרים (וניתן לצייר בכל רזולוציה) במחשב



כיקו באורך 2 הופך לאורך 3
 $d = \log 3 / \log 2 = 1.5850$

כיקו באורך 3 הופך לאורך 4
 $d = \log 4 / \log 3 = 1.2619$

מקטינים ריבוע פי-3
 ויוצרים 5 ריבועים קטנים
 $d = \log 5 / \log 3 = 1.4650$

מקטינים משולש פי-2
 ומקבלים 3 משולשים

הדמיה, שיחזור ועיבוד תמונה וראיה ממוחשבת

נושאים בתחום עיבוד והבנת תמונות:

- המעבר ממציאות "רציפה" לתמונה דיגיטאלית, שימור אינפורמציה (דגימת נייקוויסט-שנון)
- המתמטיקה של עיבוד תמונות: המלחמה ברעש, חיזוק קונטרסט וטקסטורות,
- פילוח, (feature extraction, segmentation) וזיהוי ממוחשב של עצמים וקווים (גבולות עצמים) כימות של תכונות גיאומטריות עוצמות וצבעים בעצמים, מיון.
- שימוש באנליזת פוריה ומרחב התדירויות לעיבוד תמונה והורדת רעש.
- שיחזור (רקונסטרוקציה) של מבנים תלת ממדיים משיטות הדמיה רפואיות שונות (טומוגרפיה CT, MRI, אולטרהסאונד) ובביולוגיה (מיקרוסקופיה ואלקטרון מיקרוסקופיה תלת ממדיות, דקונבולוציות והטלים back-projection).
- תיקון זווית צילום ופרספקטיבה בצילומי אוויר ושחזור תלת ממדי מצילום סטיריאוסקופי ומהטלים.
- תפירת תמונה רחבת שדה מסדרת צילומים. קיזוז תנועה בצילום.
- זיהוי פנים ותוכנות לומדות להכרת אנשים ועצמים אחרים.
- זיהוי תנועה במצלמות בקרה. ראיה ממוחשבת ברובוטיקה ובמכונית ללא נהג.
- דחיסת תמונות: דחיסה משמרת (LZW) ומאבדת (JPEG ברמות שימור שונות)
- בקרה חקלאית מצילומי אוויר (חוסר בהשקיה, התפשטות מחלות ביערות, שריפות), ניתוח ספקטראלי לתמונות לווינים ואסטרונומיה.
- מעבדים מקביליים לעיבוד תמונה ו"טיוח" תלת ממדי (rendering) למשל GeForce by NVIDIA
- תוכנות לומדות - deep learning.
- אינטליגנציה מלאכותית.

פרסי טורינג למדעי המחשב

<http://amturing.acm.org/byyear.cfm>

Turing prizes in computer science

1966 Alan J. Perlis For his influence in the area of advanced programming techniques and compiler construction

1967 Maurice V. Wilkes best known as the builder and designer of the EDSAC, the first computer with an internally stored program. Built in 1949, the EDSAC used a mercury delay line memory. He is also known as the author, with Wheeler and Gill, of a volume on "Preparation of Programs for Electronic Digital Computers" in 1951, in which program libraries were effectively introduced

1968 Richard Hamming For his work on numerical methods, automatic coding systems, and error-detecting and error-correcting codes

1969 Marvin Minsky artificial intelligence

1970 James H. Wilkinson For his research in numerical analysis to facilitate the use of the high-speed digital computer, having received special recognition for his work in computations in linear algebra and "backward" error analysis

1971 John McCarthy McCarthy's lecture "The Present State of Research on Artificial Intelligence" is a topic that covers the area in which he has achieved considerable recognition for his work

1972 Edsger W. Dijkstra was a principal contributor in the late 1950s to the development of the ALGOL, a high level programming language which has become a model of clarity and mathematical rigor. He is one of the principal proponents of the science and art of programming languages in general, and has greatly contributed to our understanding of their structure, representation, and implementation. His fifteen years of publications extend from theoretical articles on graph theory to basic manuals, expository texts, and philosophical contemplations in the field of programming languages

- 1973 Charles W. Bachman** For his outstanding contributions to database technology
- 1974 Donald E. Knuth** For his major contributions to the analysis of algorithms and the design of programming languages, and in particular for his contributions to "The Art of Computer Programming" through his well-known books in a continuous series by this title
- 1975 Allen Newell and Herbert A. Simon** In joint scientific efforts extending over twenty years, initially in collaboration with J. C. Shaw at the RAND Corporation, and subsequently with numerous faculty and student colleagues at Carnegie Mellon University, they have made basic contributions to artificial intelligence, the psychology of human cognition, and list processing
- 1976 Michael O. Rabin and Dana S. Scott** For their joint paper "Finite Automata and Their Decision Problem," which introduced the idea of nondeterministic machines, which has proved to be an enormously valuable concept. Their (Scott & Rabin) classic paper has been a continuous source of inspiration for subsequent work in this field
- 1977 John Backus** For profound, influential, and lasting contributions to the design of practical high-level programming systems, notably through his work on FORTRAN, and for seminal publication of formal procedures for the specification of programming languages
- 1978 Robert W. Floyd** For having a clear influence on methodologies for the creation of efficient and reliable software, and for helping to found the following important subfields of computer science: the theory of parsing, the semantics of programming languages, automatic program verification, automatic program synthesis, and analysis of algorithms
- 1979 Kenneth E. Iverson** For his pioneering effort in programming languages and mathematical notation resulting in what the computing field now knows as APL, for his contributions to the implementation of interactive systems, to educational uses of APL, and to programming language theory and practice

- 1980 C. Antony R. Hoare** For his fundamental contributions to the definition and design of programming languages
- 1981 Edgar F. Codd** For his fundamental and continuing contributions to the theory and practice of database management systems, esp. relational databases
- 1982 Stephen A. Cook** For his advancement of our understanding of the complexity of computation in a significant and profound way
- 1983 Ken Thompson and Dennis M. Ritchie** For their development of generic operating systems theory and specifically for the implementation of the UNIX operating system
- 1984 Niklaus Wirth** For developing a sequence of innovative computer languages, EULER, ALGOL-W, MODULA and PASCAL
- 1985 Richard M. Karp** For his continuing contributions to the theory of algorithms including the development of efficient algorithms for network flow and other combinatorial optimization problems, the identification of polynomial-time computability with the intuitive notion of algorithmic efficiency, and, most notably, contributions to the theory of NP-completeness
- 1986 John Hopcroft and Robert Tarjan** For fundamental achievements in the design and analysis of algorithms and data structures
- 1987 John Cocke** For significant contributions in the design and theory of compilers, the architecture of large systems and the development of reduced instruction set computers (RISC)
- 1988 Ivan Sutherland** For his pioneering and visionary contributions to computer graphics, starting with Sketchpad, and continuing after
- 1989 William (Velvel) Kahan** For his fundamental contributions to numerical analysis. One of the foremost experts on floating-point computations. Kahan has dedicated himself to "making the world safe for numerical computations."

- 1990 Fernando J. Corbató** For his pioneering work organizing the concepts and leading the development of the general-purpose, large-scale, time-sharing and resource-sharing computer systems, CTSS and Multics.
- 1991 Robin Milner** For three distinct and complete achievements: 1) LCF, the mechanization of Scott's Logic of Computable Functions, probably the first theoretically based yet practical tool for machine assisted proof construction; 2) ML, the first language to include polymorphic type inference together with a type-safe exception-handling mechanism; 3) CCS, a general theory of concurrency. In addition, he formulated and strongly advanced full abstraction, the study of the relationship between operational and denotational semantics.
- 1992 Butler W. Lampson** For contributions to the development of distributed, personal computing environments and the technology for their implementation: workstations, networks, operating systems, programming systems, displays, security and document publishing.
- 1993 Juris Hartmanis and Richard E. Stearns** In recognition of their seminal paper which established the foundations for the field of computational complexity theory.
- 1994 Edward Feigenbaum and Raj Reddy** For pioneering the design and construction of large scale artificial intelligence systems, demonstrating the practical importance and potential commercial impact of artificial intelligence technology.
- 1995 Manuel Blum** In recognition of his contributions to the foundations of computational complexity theory and its application to cryptography and program checking.
- 1996 Amir Pnueli** For seminal work introducing temporal logic into computing science and for outstanding contributions to program and systems verification.
- 1997 Douglas Engelbart** For an inspiring vision of the future of interactive computing and the invention of key technologies to help realize this vision.

1998 Jim Gray For seminal contributions to database and transaction processing research and technical leadership in system implementation.

1999 Frederick P. Brooks, Jr. For landmark contributions to computer architecture, operating systems, and software engineering.

Fields Medal

במתמטיקה



Fields Medal

נוסד ע"י המתמטיקאי הקנדי

John Charles Fields 1863 –1932

וניתן למתמטיקאים עד גיל 40 כל 4 שנים.

1936 Jesse Douglas For solving the plateau problem | Minimal surfaces

Lars Ahlfors For his work on Riemann surfaces

1950 Laurent Schwartz For his work on the development of the theory of distributions

Atle Selberg For his work on the zeros of the Riemann zeta function (proof that a positive proportion of its zeros satisfy the Riemann hypothesis) as well as for generalizations of the sieve methods of Viggo Brun

1954 Kunihiro Kodaira For his work on the theory and application of harmonic analysis

Jean-Pierre Serre For his work on the homotopy groups of spheres using methods of spectral sequences | Topology

1958 Klaus Friedrich Roth solved the Thue-Siegel problem concerning the approximations of algebraic numbers by rational numbers | Number theory

René Thom known for his work on catastrophe theory, the medal resulted from his work on cobordism theory, characteristics classes, and the Thom transversality theorem
Catastrophe theory | Fiber bundle | Mathematical biology

1962 Lars Hörmander For his work in partial differential equations and the general theory of linear differential operators | Differential equation

John Milnor For pioneering contributions to the development of the new field of differential topology | Manifold (mathematics) | Topology

1966 Michael Atiyah For fundamental studies on the interaction between geometry and analysis and contributions to the development of powerful techniques such as K theory
Manifold (mathematics)

Paul Cohen For his fundamental contributions to the development of set theory

Alex Grothendieck For fundamental advances in algebraic geometry and related fields of mathematics | Algebraic geometry

Stephen Smale For his work in differential geomtry with important results on topics such as the Morse theorem and the Poincaré conjecture | Differential geometry | Topology

1970 Alan Baker For generalizing the Gelfond-Schneider theorem, generating previously unidentified transcendental numbers, and showing how the theory could be used in the field of diophantine equations | Number theory

Heisuke Hironaka For his work on algebraic varieties | Algebraic geometry

Serge Novikov For his contributions in the field of differential topology; in 1965, he stated a conjecture now known as the Novikov conjecture, one of the most fundamental problems in topology | Manifold (mathematics) | Topology

John Thompson For his fundamental contributions to the study of finite groups
Group theory

1974 Enrico Bombieri For contributions to areas such as the study of prime numbers, the study of univalent functions and the local Bieberbach conjecture; the theory of functions of several complex variables; and to the theory of partial differential equations and minimal surf
Complex numbers and complex variables | Differential equation | Minimal surfaces

David Mumford For his work on the theory of algebraic surfaces and on problems of the existence and structures of varieties of moduli | Algebraic geometry

1978 Pierre Deligne For his contributions to algebraic geometry and algebraic number theory

Charles Fefferman For important advances in the study of multidimensional complex analysis | Complex numbers and complex variables

Gregori Margulis For contributions to numerous areas of mathematics, especially Lie groups

Daniel Quillen For his work on higher algebraic K-theory and its use in solving major problems in algebraic theory

1982 Alain Connes For fundamental contributions, including his work on the theory and application of operator algebras

William Thurston For his advancement of the study of topology in two and three dimensions and contributions to the understanding of interrelationships between analysis, topology, and geometry

Shing-Tung Yau For contributions in areas such as partial differential equations, algebraic geometry, and general relativity theory

1986 Simon Donaldson For his fundamental findings in four-dimensional geometry
Topology

Gerd Faltings For his proof of the Mordell conjecture using arithmetic algebraic geometry

Michael Freedman For his work in topological analysis, in particular the proof of the Poincaré conjecture for four-dimensional topological manifolds

1990 Vladimir Drinfeld For his work on quantum groups and in number theory

Vaughan Jones For his discovery of a new polynomial invariant for knots, which provided a connecting link for a wide variety of topics in mathematics and physics

| Topology

Shigefumi Mori For his work in algebraic geometry and the classification of algebraic varieties

Edward Witten For fundamental contributions to areas of mathematical physics such as quantum field theory | Mathematical physics | Superstring theory

1994 Jean Bourgain For outstanding contributions in the fields of mathematical analysis including the geometry of Banach spaces, harmonic analysis, and nonlinear partial differential equations from mathematical physics

Differential equation | Mathematical physics

Pierre-Louis Lions For important contributions to the theory of nonlinear partial differential equations

Differential equation

Jean-Christophe Yoccoz For his work on the theory of dynamical systems

See related AccessScience content:

Group theory

Efim Zelmanov For his work as an algebraist and in group theory; in particular, for solving the restricted Burnside problem, on some of the fundamental questions in group theory

1998 Richard E. Borcherds For his work in the fields of algebra and geometry, especially his proof of the "Moonshine conjecture"

W. Timothy Gowers For work on Banach space theory and combinatorics

Combinatorial theory

Maxim Kontsevich For his work in mathematical physics, algebraic geometry, and topology

Algebraic geometry | Mathematical physics | Topology

Curtis T. McMullen For his work in geometry and complex dynamics

Chaos

Rolf Nevanlinna Prize
Carl Friedrich Gauss Prize

במתמטיקה

**פרסי נובל
בכלכלה**

כלכלה

פרס נובל בכלכלה לא הוקצה ע"י אלפרד נובל עצמו, אלא נוסף מאוחר יותר ע"י הוועדה המחזיקה בתג הנובל, בתרומת הבנק המרכזי של שבדיה, וניתן מאז 1969.

מעניין שרוב הפרסים הוענקו על תרומות תיאורטיות של תורת המשחקים לאנליזה וסימולציה של מערכות כלכליות, ולא על תרומות מעשיות לכלכלות העולם: הקמת הבנק הבנגלדשי ע"י מוחמד ינוס, המעניק אשראי לעסקים קטנים ולעניים, שעשה מהפיכה כלכלית, הוכרה ע"י פרס נובל לשלום ב-2006 ולא לכלכלה...

אין ספק שהתרומה של מתמטיקה, תורת המשחקים ופסיכולוגיה של החלטות לתכנון וניתוח כלכלי (בבורסה ובקביעת מדיניות כלכלית לארצות או חברות) היא רבת חשיבות, אך אולי גם שלילית: מטרת הבורסה לגייס מימון מהציבור כדי שישתתף (וירוויח) מפיתוח כלכלי, ולא מרווחים ספקולטיביים.

בורסות נוסדו לפני 600 שנים למימון חקלאים בצרפת מזמן הזריעה ועד הקציר, למימון מסחר ימי בונציה ("הסוחר מוונציה" של שייקספיר) ובערים אחרות באיטליה בגיבוי באגרות חוב, ולאיסוף כספים מהציבור למימון חברות קולוניאליסטיות בהולנד ובאנגליה. אך הבורסה הפכה לכלי משחק מסובך, לא שקוף, ובלתי נשלט ליצירת רווחים כספיים שאינם קשורים קשר אמיץ למימון מסחר או לפיתוח פרודוקטיבי של אמצעי ייצור. ואכן הבורסות חוו משברים לאחר תקופות פריחה שלא ייצגו התרחבות כלכלית אלא בועה של תקוות שלא מומשו (משברי Wall street היו בשנים 1929, 4-1973, 1987, 2000, 2008).

כל מפץ של בועה כלכלית הביא בעקבותיו שורה של חוקים רגולטוריים, למשל ביטוח ממשלתי לחסכונות הציבור במקרה של התמוטטות בנקים בארה"ב, או מגבלות "מידע פנימי" למסחר לא הוגן בבורסא, אך המוטיבציה לרווח דוחפת לניצול loop holes בחקיקה, ולפיתוח שיטות מסחר בבורסא שגורפות רווחים משימוש בטכנולוגיות חדישות, כגון מסחר אלקטרוני המגיב במהירות האור להצעות קניה ומכירה בבורסת המניות, ויצר מרכזי מסחר בסמוך לבורסות כדי לקצר את זמן התגובה לננו-שניות... גם אם פעילות כזו היא חוקית, היא מדגימה שכלי כה מרכזי בכלכלה קפיטליסטית הולך ומתרחק מהיעד שלשמו הוא נוצר.

הרשתות החברתיות הריצו בשנים האחרונות מחאות חברתיות שניסו, אך לא הצליחו עד כה, להתממש כמהפכות חברתיות וכלכליות. התמוטטות הקומוניזם תרם לתחושת נצחון של השיטות הקפיטליסטיות, למרות שברור ש"כוחות השוק" אינם רק מנוע צמיחה יעיל אלא גם כוח דורסנית שמנצל ומתגמל באופן לא שוויוני את המרכיבים העשירים והחזקים בשוק "החפשי" כביכול. דוגמאות לשילוב של כלכלה חפשית ותחרותית עם מדיניות סעד קיימות בעיקר באירופה, אך מסתמנת מגמה כזו גם במעוז הקפיטליזם - ארה"ב, למשל הנהגת ביטוח בריאות לכל ע"י אובמה).

מה שלא מיוצג בפרסי נובל לכלכלה היא הדאגה לפערים הגדלים גידול אקפוננציאלי, הן בין מדינות מפותחות לבין מדינות עולם השלישי והן בין עשירים לעניים בחברות המפותחות. אין ספק שזה האתגר הכלכלי של המאה ה-21. הנחת התרחבות כלכלית שהיתה היסוד לתחזית חיובית לרווח ארוך טווח בבורסא עדין לא הוחלפה בכלכלה הנגזרת ממציאות בעולם עם משאבים סופיים ומתכלים.

ECONOMY

1969-Ragnar Frisch and Jan Tinbergen "for having developed and applied dynamic models for the analysis of economic processes"

1970-Paul A. Samuelson "for the scientific work through which he has developed static and dynamic economic theory and actively contributed to raising the level of analysis in economic science"

1971-Simon Kuznets "for his empirically founded interpretation of economic growth which has led to new and deepened insight into the economic and social structure and process of development"

1972-John R. Hicks and Kenneth J. Arrow "for their pioneering contributions to general economic equilibrium theory and welfare theory"

1973-Wassily Leontief "for the development of the input-output method and for its application to important economic problems"

1974-Gunnar Myrdal and Friedrich August von Hayek "for their pioneering work in the theory of money and economic fluctuations and for their penetrating analysis of the interdependence of economic, social and institutional phenomena"

1975-Leonid Vitaliyevich Kantorovich and Tjalling C. Koopmans "for their contributions to the theory of optimum allocation of resources"

1976-Milton Friedman "for his achievements in the fields of consumption analysis, monetary history and theory and for his demonstration of the complexity of stabilization policy"

1977-Bertil Ohlin and James E. Meade "for their pathbreaking contribution to the theory of international trade and international capital movements"

ECONOMY

1978-Herbert A. Simon "for his pioneering research into the decision-making process within economic organizations"

1979-Theodore W. Schultz and Sir Arthur Lewis "for their pioneering research into economic development research with particular consideration of the problems of developing countries"

1980-Lawrence R. Klein "for the creation of econometric models and the application to the analysis of economic fluctuations and economic policies"

1981-James Tobin "for his analysis of financial markets and their relations to expenditure decisions, employment, production and prices"

1982-George J. Stigler "for his seminal studies of industrial structures, functioning of markets and causes and effects of public regulation"

1983-Gerard Debreu "for having incorporated new analytical methods into economic theory and for his rigorous reformulation of the theory of general equilibrium"

1984-Richard Stone "for having made fundamental contributions to the development of systems of national accounts and hence greatly improved the basis for empirical economic analysis"

1985-Franco Modigliani "for his pioneering analyses of saving and of financial markets"

1986-James M. Buchanan Jr. "for his development of the contractual and constitutional bases for the theory of economic and political decision-making".

1987-Robert M. Solow "for his contributions to the theory of economic growth"

1988-Maurice Allais "for his pioneering contributions to the theory of markets and efficient utilization of resources"

1989-Trygve Haavelmo "for his clarification of the probability theory foundations of econometrics and his analyses of simultaneous economic structures"

ECONOMY

1990-**Harry M. Markowitz, Merton H. Miller and William F. Sharpe** "for their pioneering work in the theory of financial economics"

1991-**Ronald H. Coase** "for his discovery and clarification of the significance of transaction costs and property rights for the institutional structure and functioning of the economy"

1992-**Gary S. Becker** "for having extended the domain of microeconomic analysis to a wide range of human behaviour and interaction, including nonmarket behaviour"

1993-**Robert W. Fogel and Douglass C. North** "for having renewed research in economic history by applying economic theory and quantitative methods in order to explain economic and institutional change"

1994-**John C. Harsanyi, John F. Nash Jr. and Reinhard Selten** "for their pioneering analysis of equilibria in the theory of non-cooperative games"

1995-**Robert E. Lucas Jr.** "for having developed and applied the hypothesis of rational expectations, and thereby having transformed macroeconomic analysis and deepened our understanding of economic policy"

1996-**James A. Mirrlees and William Vickrey** "for their fundamental contributions to the economic theory of incentives under asymmetric information"

1997-**Robert C. Merton and Myron S. Scholes** "for a new method to determine the value of derivatives"

1998-**Amartya Sen** "for his contributions to welfare economics"

1999-**Robert A. Mundell** "for his analysis of monetary and fiscal policy under different exchange rate regimes and his analysis of optimum currency areas"

נספח:

רשימת מדענים במאה הטכנולוגית

Sergi Bernstein 1880–1968 : partial differential equations (PDE)
Eugen Slutsky 1880–1948 : equation in economy – relate goods demand & price
Thorstein Veblen 1857–1929 : economist & socialist – wasteful consumption for social status
Rudolf Fueter 1880-1950 : number theory
Alexander Tietze 1864–1927 : surgeon
Pierre Boutroux 1880–1922 : mathematical history
Oskar Perron 1880–1975 : PDE
Luitzen Egbertus Jan Brouwer 1881–1966 : Mathematical philosophy of Intuitionism
Susan Jane Cunningham 1842-1921: Mathematics & astronomy
Theodore von Kármán 1881-1963 : aeronautics and astronautics, supersonic and hypersonic flow
Otto Toeplitz 1881–1940 : math. Toeplitz matrix.
Lewis Fry Richardson, FRS 1881 –1953 : weather forecasting, Modified Richardson iteration
Joseph Wedderburn 1882-1948 : Algebra
Paul Koebe 1882-1945 : complex numbers
Emmy Noether 1882–1935 : abstract algebra and theoretical physics
Harry Bateman FRS 1882-1946 : fluid mechanics
Konrad Hermann Theodor 1882–1957 : complex functions
Sierpinski Wacław Franciszek Sierpiński 1882–1969 : set theory, topology, fractas (S. triangle)
Harry Schultz Vandiver 1882–1973 : number theory
Robert Lee Moore 1882-1974 : topology,
Max Born 1882-1970 : quantum mechanics
Arthur Stanley Eddington 1882-1944 : astronomy

Alexander Graham Bell 1847-1922 : telephone

Ludwig Heinrich Edler von Mises 1881–1973 : economy

John Maynard Keynes 1883 1946 : economy

Jan Arnoldus Schouten 1883-1971 : tensor calculus

Ernst David Hellinger 1883-1950 : mathematician, integral equations

Aleksandr Ivanovich Nekrasov 1883–1957 : hydromechanics, aeromechanics, Surface waves.

* John Archibald Wheeler 1911-2008 : theoretical physicist

* Sir Maurice Vincent Wilkes 1913–2010 : computer scientist

* David Wheeler 1927–2004: computer scientist

Anna Johnson Pell Wheeler 1883–1966 : linear algebra in infinite dimensions

Arnaud Denjoy 1884–1974 : harmonic analysis

George David Birkhoff 1884-1944 :

Albert Bernhard Frank 1839-1900 : botanist. tree roots and mycorrhizae fungus Symbiosis

Eduard Helly 1884-1943 : theory of functions

Solomon Lefschetz 1884-1972 : algebraic topology

- Thomas Stephen Szász 1920-2012 : psychiatrist

David Enskog 1884-1947 : mathematical physicist, kinetic theory of gases

Charles Ernest Weatherburn 1884-1974 : mathematician

Erwin Finlay-Freundlich FRSE FRAS 1885-1964 : astronomer, with Einstein-test general relativity

John Edensor Littlewood 1885–1977 : mathematician

Herbert Westren Turnbull 1885-1961 : algebraic invariant theory

Wilhelm Johann Eugen Blaschke 1885-1962 : differential and integral geometer

Niels Henrik David Bohr 1885-1962 : physics

Alfréd Haar 1885-1933 : mathematician

Theodor Franz Eduard Kaluza 1885-1954 : Unify forces by adding dimension -> string theory
Hermann Klaus Hugo Wey 1885-1955 : Theoretical physics, elementary particles
James Dewey Watson 1928- : molecular biology
Stanislaw Leshniewski 1886-1939: mathematician
Paul Pierre Lévy 1886-1971 : probability theory
Marcel Riesz 1886-1969 : mathematician, Clifford algebra-quantum mechanics
Ludwig Georg Elias Moses Bieberbach 1886-1982 : mathematician
Sir Geoffrey Ingram Taylor 1886-1975 : fluid dynamics and wave theory
Harald August Bohr 1887-1951 : (brother of Niels) mathematician and football player
Earl Alison Evans 1910-1999 : produce in cyclotron carbon-11 and carbon-14 for radiobiology
Robert Evans 1937- : amateur astronomer. visual discoveries of supernovae
Sir Martin J. Evans 1941- : biology. cultured mice embryonic stem cells.
Alice Evans 1881-1975 : pathogenic bacteria in dairy products
Thoralf Albert Skolem 1887-1963 : mathematician
Joan Mary "Jan" Anderson FAA FRS 1932-2015: photosystem I and photosystem II
Carl D. Anderson 1905–1991 : positrons. Nobel 1936
Philip Warren Anderson 1923- : magnetism->computer memory. Nobel +Mott+van Vleck 1977
French Anderson 1936- : genetic therapy
Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger 1887-1961 : quantum mechanics
Eric Hecke 1887-1947 : Hecke algebra
George Pólya 1887–1985 : math, probability
Friedrich Ernst Dorn 1848-1916 : discovered that Radon gas is produced at radium decay
Srinivasa Iyengar Ramanujan FRS 1887-1920 : mathematician
Władysław Hugo Dionizy Steinhaus 1887-1972 : mathematician, functional analysis

Nikolai Vasilyevich Smirnov 1900-1966 : mathematician, statistics

Andrey Nikolaevich Kolmogorov 1903-1987 : mathematician, statistics

Richard Courant 1888-1972 : finite element method to solve PDE

David Leonard Chapman FRS 1869-1958 : physical chemistry

Louis Joel Mordell 1888-1972 : math

Berwick

Janiszewski

Friedmann

Rey Pastor

Alexander

Mazurkiewicz

Bernays

Kober

Brodetsky

Hyman Levy

Wittgenstein

Razmadze

Stepanov

Edwin Hubble (1889- 1953)

Osmond Fisher geology

Ronald Fisher biology

Feigi

Pérés

Jakob Nielsen

Holger Nielsen

Albanese

Delone

Besicovitch

Privalov

Adolf Abraham Halevi Fraenkel 1891–1966 math number theory

Shewhart

Harold Jeffreys geophysics

Alec Jeffreys biology

Jeffrey

Pierre Humbert

Ivan Matveevich Vinogradov 1891–1983

Reichenbach

Swain

Morse ***

Stefan Banach 1892–1945 math

Rademacher

Louis Victor Pierre Raymond duc de Broglie (1892-1987)

Burchnall

Julia

Loewner math Loewner evolution

Thomas R. Cech biology

Subbotin

Reidemeister

Ferrar

Felix Bloch NMR

Lanczos

Satyendranath Bose (1894-1974)

Neyman

Chebotaryov

Hille

Khinchin

Hopf

Norbert Wiener *** math

Finsler

Struik

Aitken

Bergman

Radó

Chaplin, Fuller, and Pearson solar cell

Fuller's geodesic dome

Nevanlinna Rolf Nevanlinna Prize

Szego

Pars

Kuratowski

Milne **Robin Milner** math

Remez

Aleksandrov

Prüfer

Wilhelm Friedrich Ackermann 1896–1962

Siegel the Thue-Siegel problem

Janovskaja

Sokolov

Newman

Post

Fox

Hartree

Jesse Douglas math

Saks

Weinstein

Tricomi

Jarnik

Shtokalo

Urysohn

Artin

Heyting

Hasse **Odd Hassel chemistry**

Kerékjártó

Rosalind Franklin DNA

Salem

Escher ***

Hellmuth Kneser

Wishart

Neugebauer

Zariski

Titchmarsh

Bochner

Krull

Schauder

Mineur

Collingwood

Aiken

Ingham

Youden

Wolfgang Pauli (1900-1958)

Curry

Dantzig

Lavrentev

George Eugene Uhlenbeck

Cartwright

Zygmund

Plessner

Burkill

Cox

Petrovsky

Brauer

Akhiezer

Oka

Serge Novikov math

Copson

Friedrichs

Temple

Werner Heisenberg (1901-1976) Quantum Mechanics

Kochin

Schreier

Bari

Alfred Tarski 1901–1983 math

Zarankiewicz

Wallace Eckert

Baer *** drugs?

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984)

George Wald biology of the eye

Eugene Wigner 1902-1995

Menger

Yates

Beniamino Segre

Frank P. Ramsey math

Norman F. Ramsey atomic clocks

du Val

Wintner

Tibergen

Andrey Nikolaevich Kolmogorov 1903–1987

Rocard

Church *** biology?

Hodge

Mahler

Dudley Littlewood

Delsarte

Bosanquet

John von Neumann (1903-1957) quantum mechanics

Rajagopal

Goldstein *** classical analytical mechanics

Van der waerden

Flügge-Lotz

de Rham

Richard Stone economics

John L. Hall Hall effect ?

Semple

Hurewicz

Henri Cartan

Alvin E. Roth aconomy

Henry Whitehead

Davies

Edge

Dubreil

Shnirelman

Moufang

Beurling

Kalmár

Ehresmann

Borsuk

Albert Abraham Michelson physics

Mazur

Péter

John Whittaker *** math

Hirsch

Kurt Gödel 1906-1976 math

Weil

Max August Zorn 1906–1993 math

Wilks

Dieudonné

Ernst Rutherford physics

Feller *** statistics

Alexander Osipovich Gelfond 1906–1968 math

Hopper

Tausssky-Todd

Richard Rado

Lopatynsky

Yushkevich

Whitney

Scheffé

Davenport

Coxeter

Lars Ahlfors math

Magnus

Paley

Bronowski

Kurosh

Lev Davidovich Landau (1908-1968) physics

Dinghas

Herbrand

Quine

Lord (Alexander R.) Todd biology

Erdélyi

Heilbronn

Pontryagin

Kuttner

Kleene

Stanisław Marcin Ulam 1909–1984

Penney

Cochran

Gentzen

Malcev

Naimark

Chevalley

MacLane ***

Bernhard Neumann

Arthur Walker

Doob

Wolfowitz

Turán

Subramanyan Chandrasekhar astronomy

Zuse

Marshall Hall

Jacobson

Macintyre

Wielandt

Chern

Leonid Vitaliyevich Kantorovich economy

1912-1954 Alan Turing computer sciences

Levinson

Goodstein

Zassenhaus

Guinand

Gnidenko

Teichmüller

Mostowski

Paul Erdős 1913 –1996 math

Erdos Erdős

Hanna Neumann

de Groot

Bers

George Dantzig

Potapov

Polozii

Stefan Schwarz

Linnik

Leon Neil Cooper superconductivity

Lifshitz *** +Landau

Richard Hamming math

Kunihiko Kodaira math

Tukey *** +cooley

Laurent Schwartz math

Melvin Schwartz physics Neutrino

Claude Elwood Shannon (1916-) information theory

Savage

Kaplansky

Livsic

Lyndon

Rasiowa

Mytropolshy

Higman

Atle Selberg math

Julian Schwinger physics

Wang

Richard P. Feynman physics

Sir Robert Robinson chemistry-biology = alkaloids in plants

Mirsky

Henry W. Kendall particle physics

Edward Calvin Kendall biology - hormones

John Eckert

James H. Wilkinson computer sciences

Geoffrey Wilkinson chemistry - organometallic

Julia Robinson

Suvorov

Boone

Pillai

Rogers

Rényi

Lakatos

Marchenko

Cassels

Herstein

René Thom math

Harish-Chandra

Gorenstein

Hamill

Kreisel

John Backus computer sciences - FORTRAN

Benoit Mandelbrot matt

Dynkin

Klingenberg

Reiner

Cohn

Stewartson

Klaus Friedrich Roth math

Pieter Zeeman physics

Leech

Richard M. Karp math NETFLOW

Jean-Pierre Serre topology

Kemeny

Taniyama

Shields *** math

Britton

John Forbes Nash, Jr. 1928 Math - Games theory

Alex Grothendieck math - algebraic geometry

Gohberg

James

Petryshyn

Michael Atiyah math

Reinhard Selten economy

Frank Adams

Stephen Smale math

Heisuke Hironaka math

Lars Hörmander math

John Milnor math

J.J. Thompson phys (electron)

John Thompson math

Ringrose

Stanley Cohen biology –with **Rita Levi-Montalcini** growth factors

Stanley Norman Cohen - with **Boyer** Genentech

Claude Cohen-Tannoudji Laser trapped atoms

Paul Cohen set theory

Sharkovsky

Wall

Barry Johnson

David Mumford math

Samoilemko

Sergi Novikov == **Serge Novikov** ??

Hartley

Alan Baker math

Kingman

Daniel Quillen math

Peter Stefan

Stephen Hawking astrophysics

Karen Uhlenbeck

Pierre Deligne math

Patodi

Coates

Enrico Bombieri math - prime numbers

Gregori Margulis math Lie groups

Lynn Margulis biology – Eucariotic cell is merged procariotic cells

William Thurston math – topology

Bowen

Alain Connes math – operator algebra

Chang

Charles Fefferman math

Shing-Tung Yau math

Michael Freedman topology

Shigefumi Mori math

Edward Witten math

Vaughan Jones math

Andrew Wiles math

Jean Bourgain math

Vladimir Drinfeld math

Gerd Faltings math

Efim Zelmanov math

Pierre-Louis Lions math

Simon Donaldson math

Jean-Christophe Yoccoz math

c