

עידן הנאורות

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

תקופת הנאורות - המאה ה-18

תוכן נושאי הלימוד:

המשכה של המהפיכה המדעית, מפיזיקה במאה ה-17 לאסטרונומיה וכימיה בעיקר. המדע מתבסס על רציונאליות "נאורה" ולא אמונה חשוכה. לוגיקה במתמטיקה, בחוקה ובדת: חפש מחשבה מוליד את המהפכה הצרפתית והחוקה האמריקאית, ומבשר את הקפיטליזם והסוציאליזם.

מדע משתנה מאליטיסטי (בלטינית) לפופולארי בציבור (אגודות מדעיות בשפת המדינה) ממדע כנסייתי למדע "חילוני".

ממדע בסיסי, למדע שימושי – מנוע קיטור, רכבות: מבשר את המהפיכה התעשיתית. מיכשור מדעי – טלסקופים, מיקרוסקופים, ברומטר, סוללות וגנרטורי חשמל, סכין ניתוח, משאיבת אויר

טכנולוגיה מאפשרת התקדמות מדעית ולהפך.

מגלי עולם והחיים בו – החל מקפיטן קוק (טאהיטי 1768), ועד דארווין (גלפגוס 1831). לורנץ – גאות ושפל, רזוננס. מדידות היקום והארץ בסקלות מרחק ממיקרון למליוני ק"מ. פילוסופים ופוליטיקאים – לאחר בייקון, דקארט, שפינוזה הובס – זכויות האזרח. באנגליה של המאה ה-17 מופיעים מונטסקיה, וולטר, דידרו, רוסו (רומנטיות), עימנואל קנט (סקפטיציזם) ואחרים (זכויות נשים – פיין, זכויות אדם – ז'והן לוק ואדם סמית).

סוף המאה 1770-1830 נקראת "עידן הפלא" בו מדענים ואמנים שיתפו פעולה לקידום

האנושות נפוליון 1769-1821

עצמות לארה"ב 1776

מתמטיקה

למרות רשימת הגאונים במתמטיקה שלא נפלה מהרשימות במאות הקודמות, המתמטיקה של במאה ה-18 לא בראה שטחים חדשים (כמו אינפי ותורת הפונקציות במאה ה-17) אלא השתמשה בכלים קיימים לחקור ולהעמיק את ההבנה והשימוש בהם.

לדעתי התרומה החשובה ביותר היא השימוש במשוואות דיפרנציאליות לתיאור התנהגות נוזלים, והגדרת הפונקציות הפותרות משוואות אלה. הפתרונות הגדירו חוקי שימור אנרגיה ותנע לנוזל הרצוף, חוקים שהוגדרו במאה הקודמת למכאניקה של כדורים בדידים. חשיבותם של היישומים האלה לנוזלים הרציפים נובעת מהרחבתם ויישומם לפונקציות פוטנציאל שדות אלקטרומגנטיים במאה ה-19 ולתיאור המתמטי של המכאניקה הקוונטית ושל היחסיות הפרטית והכללית במאה ה-20. גם משוואות המצב והפתרונות לשדות האלקטרומגנטיים סביב מטענים ומגנטים בצנועה, וגם פונקציות הגל הקוונטיות לאלקטרונים התבססו על משוואות דיפרנציאליות שנכתבו ונפתרו במאה ה-18.

Thomas Bayes 1702-1761
Leonhard Euler 1707-1783
Jean (Johann) le Rond d’Lambert 1717-1783
Joseph Louis Lagrange 1736-1813
Gaspard Monge Comte de Péluse 1746–1818
Pierre-Simon Laplace 1749-1827
Adrien-Marie Legendre 1752-1833
Karl Fridrich Gauss 1777-1855

במאה ה-19

Bernard Bolzano 1781-1848 ... epsilon-delta
Augustin Louis de Cauchy 1789-1857

Leonhard Euler 1707-1783 Switzerland אוילר

אינפי, תורת הגרפים, תורת המספרים ...

Euler's Polygon law, Euler's formula, Euler's identity,
Eulerian path, , Euler's equation

, Euler's criterion, , Euler's line, , Euler's conjecture, , Euler's
circles, , Euler's polynom,

, Euler's function, , Euler's angle, , Euler's reflection
formula, , Euler's group,

Goldbach-, Euler's theory.



מתמטיקאי ופיזיקאי שויצרי. אולי גדול המתמטיקאים בכל הזמנים, ובוודאי הפורה ביותר. בילה את רוב חייו כמבוגר בסנט פיטרסבורג ובברלין. למד אצל הנס ברנולי, ובגללו קיבל מישרה בברלין. היה עיוור בסוף חייו, אך זכרונו הפנומנאלי פיצה על עוורונו. בין שלל תרומותיו למדע, אוילר יצר את האנליזה המתמטית: המציא את מושג הפונקציות, והשתמש בהן להמיר ביטויים אנליטיים לגיאומטריה דיפרנציאלית של עקומות ומשטחים. אוילר, מונג' וגאוס נחשבים לאבותיה של הגיאומטריה הדיפרנציאלית

1750 למציאת מיקום צריך שלשה מרחקים משלושה מישורים אנכיים.

אויילר (1707-1783) Leonhard Euler

מתרומותיו:

סימונים: i למספרים מורכבים, והנוסחא: $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$.

שממנה נובעת זהות אוילר המדהימה: $e^{i\pi} + 1 = 0$

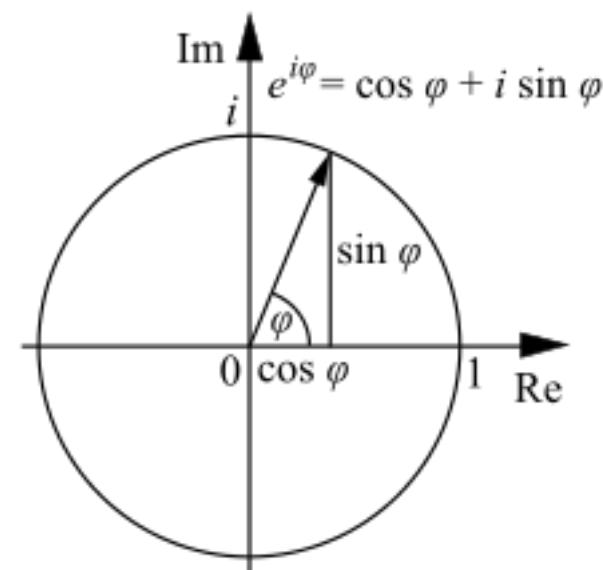
הנוסחא נכתבה במקביל ע"י דה-מואבר

טורי טיילור לחישוב פונקציות נפוצות: $\cos$, $\sin$, $\tan$, $\ln$

סדרות וטורים אינסופיים, הסימנים e , π ולסכום Σ

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{0!} + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \cdots + \frac{x^n}{n!} \right).$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \cdots + \frac{1}{n^2} \right) = \frac{\pi^2}{6}.$$



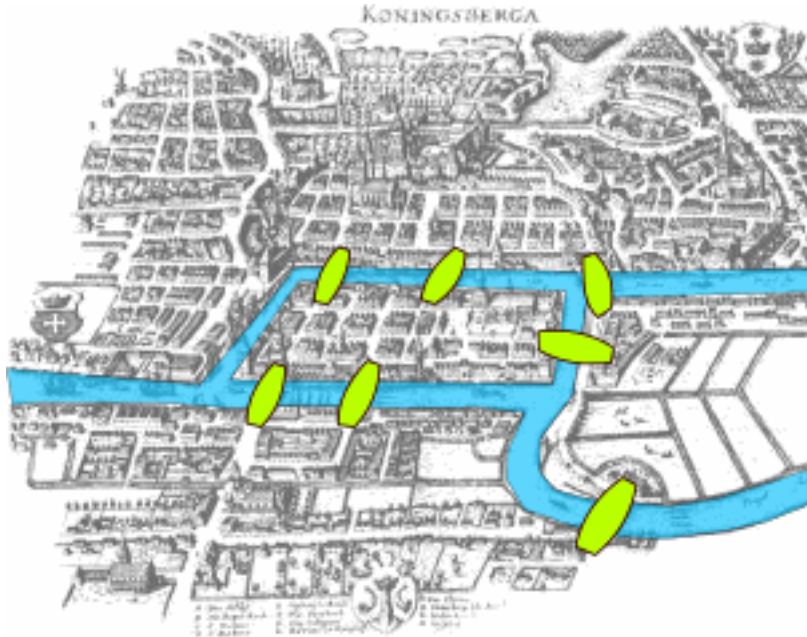
אویلר (המשך)

משואת אוילר-לגראנז', בחישובי וריאציות, שפתרונה נותן פונקציונאל L סטציונארי בזמן, t

$$\frac{\partial L}{\partial q_i}(t, \mathbf{q}(t), \mathbf{q}'(t)) - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}(t, \mathbf{q}(t), \mathbf{q}'(t)) = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, n.$$

חשיבותה במכאניקה המילטונית בקואורדינטות מוכללות.
גם הגדיר פונקציות חדשות: גמה, קשר בין זטה של רימן למספרים ראשוניים, תכונות פונקצית בסל,

תרומות ביצירת תחום של תורת המספרים האנליטית, ותכונות מספרים ראשוניים.

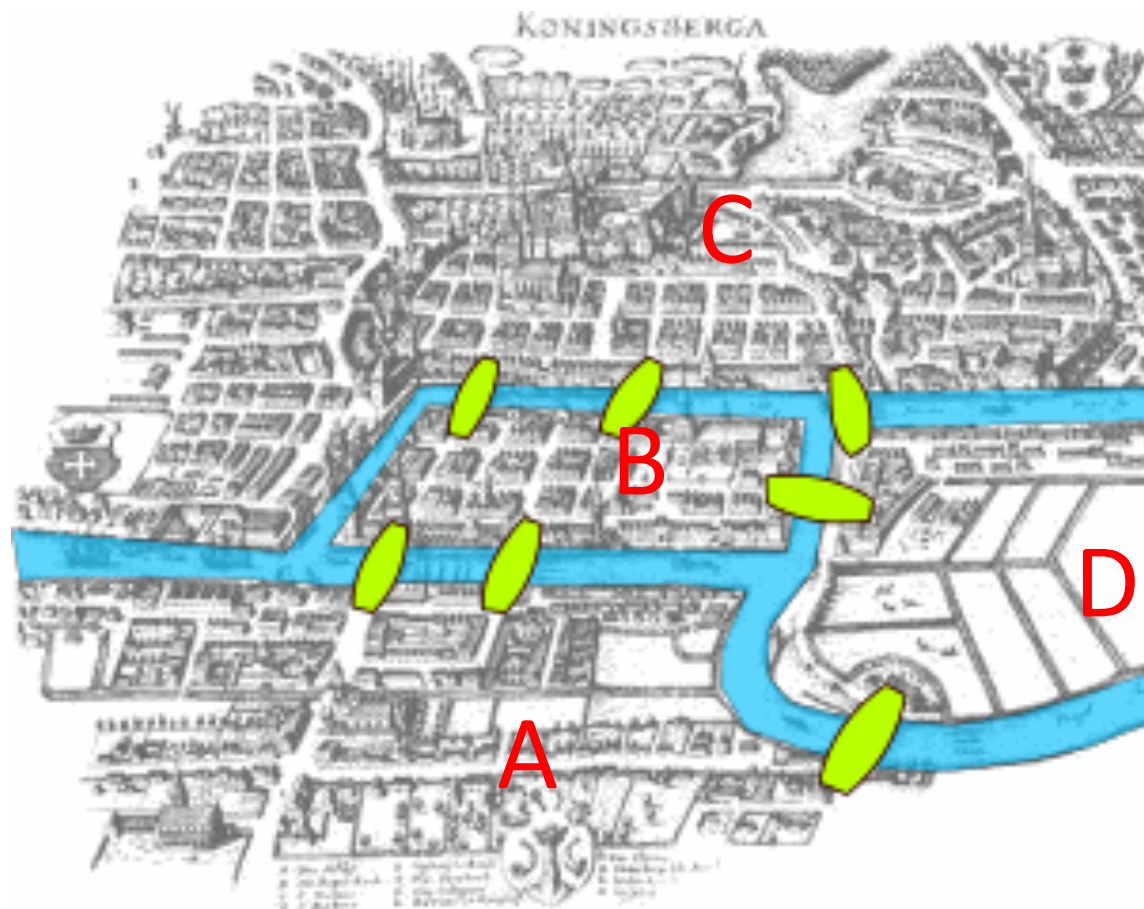
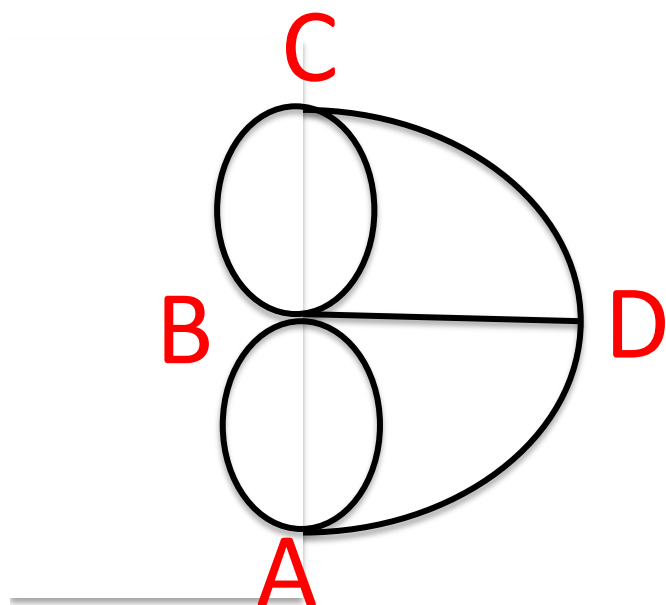


1736 פותר את בעיית 7 הגשרים של קניגסברג:
המשפט הראשון בתורת הגרפים

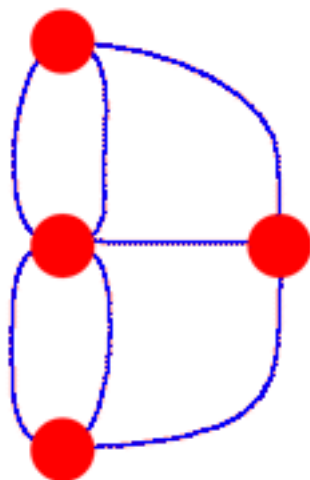
מתמטיזציה של המוזיקה: מסובך למוזיקאים...
תרומות לתורת הקבוצות וללוגיקה.

משוואות אוילר לתנועת נוזלים:

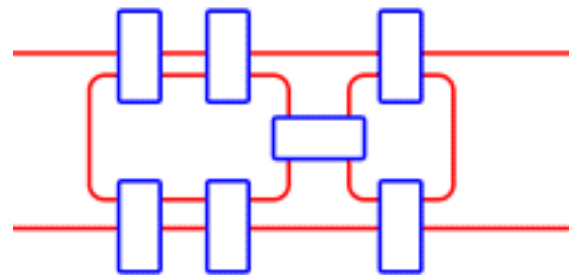
תכונות של גרפים (שימוש למבנה אינטרנט)



אווילר (1786): הגשרים של קניגסברג. האם
ניתן לבקר בכל אזורי העיר מבלי לחצות אף
גשר פעמיים? העביר בעיה לגרף:



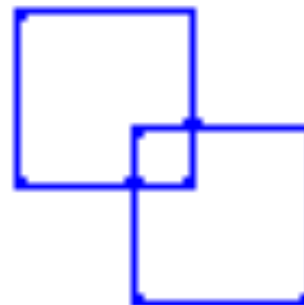
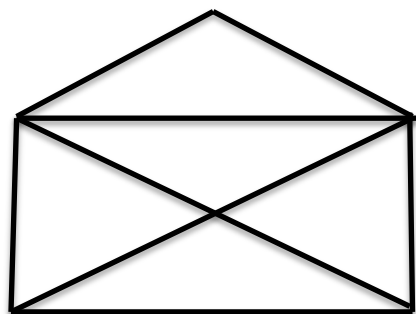
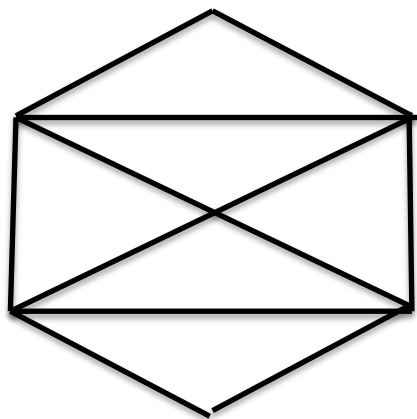
הגרף שיצר אוילר
אזורי העיר המוגבלים בנחל
והגשרים ביניהם



מפת העיר קנינגסברג
הנחל והגשרים

ניתן לצייר גרף מבלי להרים עט אם רק אין או שני קדקדים הם עם מספר איזוגי של צלעות -
ובהם מתחילים וגומרים

הוכחה: מלבד התחלה וסוף מכל צומת שנכנסנו צריך לצאת (אולי כמה פעמים) - צומת זוגית
אם מתחילים וגומרים באותה צומת: כל הצמתות צריכות להיות זוגיות
אם מתחילים בצומת אחת וגומרים באחרת: כל הצמתות זוגיות מלבד התחלה וסוף



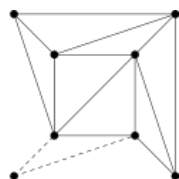
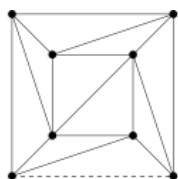
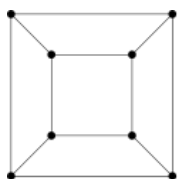
מספר אוילר = מס' קדקדים פחות מס' צלעות ועוד מס' משטחים

$$\chi = V - E + F = \text{Vertices} - \text{Edges} + \text{Faces}$$

לגרף מישורי $\chi = 2$ הוכחה באינדוקציה:

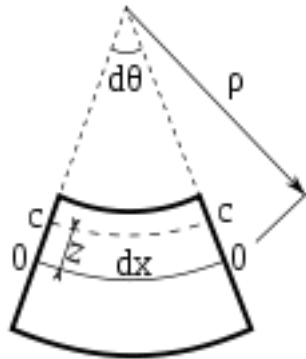
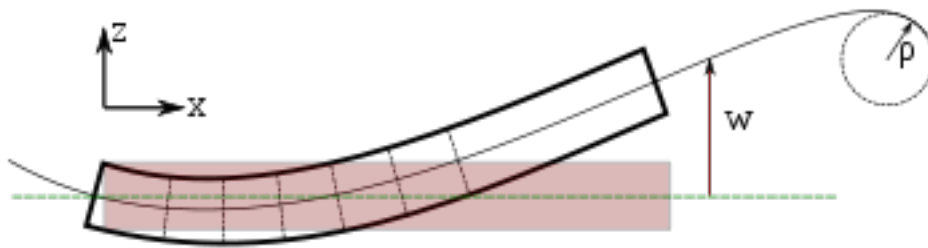
להוריד משולש עם צלע חיצונית (שני הקדקדים נשארו)

להוריד משולש עם קדקד חיצוני ושתי הצלעות הקשורות אליו



אویلר (המשך) תרומות שימושיות:

אویلר-ברנולי: כיפוף קורה, אבן יסוד בהנדסה



חישוב טבלאות רוחב לנווט ימי, ומיקום שביטים בדיוק רב

1746 בניגוד לתורת האור החלקיקית של ניוטון פיתח את התורה הגלית של האור, שבירה ונפיצת צבעים.

1752 מצא את "מאפיין או מספר אוילר" לפוליהדרון (ייסוד טופולוגיה):

$$\chi = V - E + F \text{ "Euler characteristic"}$$

מספר הקדקדים פחות מספר הצלעות ועוד מספר הפאות: תלוי רק בטופולוגיה.

1753 מצמצם את בעית תנועת שלשה גופים (השמש הארץ והירח) לסדרת משוואות אלגנטיות.

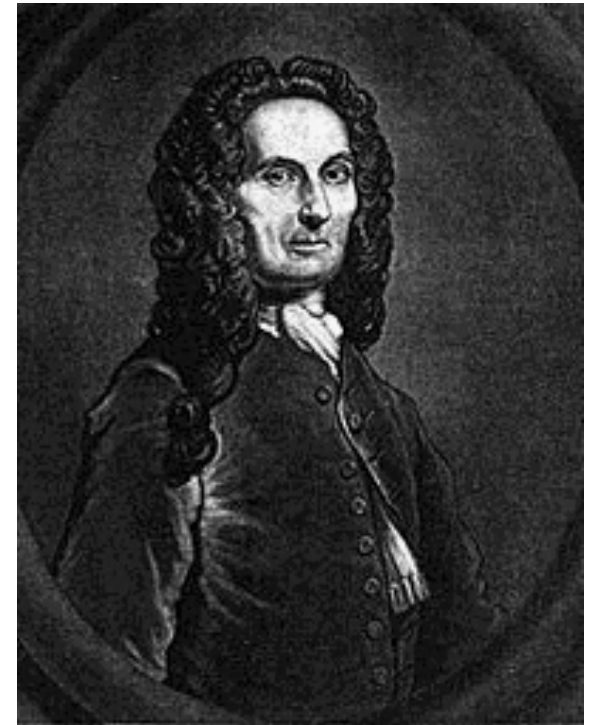
1759 פותר תנודות תוף ריבועי

1764 פותר תנודות תוף עגול בעזרת פונקציות בסל Bessel

1761 אוילר מתאר איך האתר ממלא נקבוביות בחמר באבן יוד המגנטית, ובין הנקבוביות

צינורות או ערוצים המאפשרים תקשורת החמר המגנטי לכל נפח המגנט.

Abraham de Moivre (1667–1754) French



1718 שינוי אינו בר הגדרה או הבנה, אך הסתברויות ניתנות לחישוב.

$$(\cos x + i \sin x)^n = \cos(nx) + i \sin(nx)$$

משוואת דה-מואבר
נכתבה גם ע"י אוילר

Alexandre-Théophile Vandermonde 1735–1796 French

דטרמיננט ונדרמונדה:

$$V = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_1 & \alpha_1^2 & \dots & \alpha_1^{n-1} \\ 1 & \alpha_2 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_2^{n-1} \\ 1 & \alpha_3 & \alpha_3^2 & \dots & \alpha_3^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \alpha_m & \alpha_m^2 & \dots & \alpha_m^{n-1} \end{bmatrix} \quad \det(V) = \prod_{1 \leq i < j \leq n} (\alpha_j - \alpha_i).$$

שימושי לקביעת מקדמי פולינום מדרגה n מתוך $n+1$ ערכיו.



Jean-Baptiste le Rond d'Alembert (1717–1783) French
d'Lambert's paradox,
d'Lambert's principle



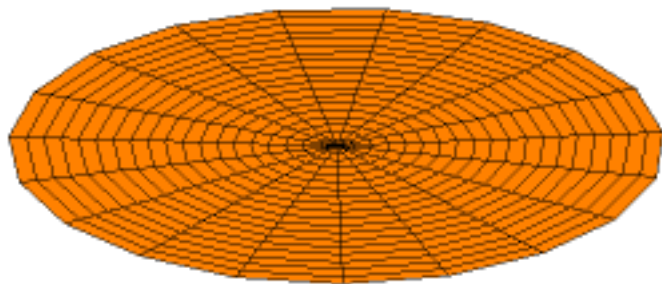
משוואת ד'למבר פותרת תנודות מיתר ותוף

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$$



1754 במאמר מגדיר "אינפיניטסימאלי". מגדיר מבחן
קיום הגבול של סדרה ע"י "יחס דלאמבר"

D'Alembert's ratio



D'Alembert's principle – פיסיקה

הרחבת שוי משקל סטטי לדינאמי.

חשיבות המכאניקה האנליטית היא לא רק בדרכים
מעשיות לפתרון בעיות מכאניות, אלא בבנית מערכת
מתמטית שאיפשרה את התורה האלקטרומגנטית ותורת
הקוונטים.

ראה בפיזיקה להלן

Jean Baptiste Joseph, chevalier Delambre (1749–1822) French

מונה ע"י נפוליון כמזכיר האקדמיה הצרפתית למדע
והיה המנהל של המצפה בפריז.



Johann Heinrich Lambert (1728-1777) Switzerland

תורת המספרים, פונקציות היפרבוליות

Lambert's W function

1770 הוכחה מתמטית ש- π אינו מספר רציונאלי



Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

טיפל בבעיות הנדסיות עבור נפוליאון.

1789 מסביר הוכחה חדשה לחוק הסימנים של דקרט

1807 ידוע בעיקר בפיתוח פוריה עבור כל פונקציה מחזורית, באמצעות פונקציות סינוס וקוסינוס, והגדרה ע"י פאזה ומשרעת (אמפליטודה).

1811 פתר בעיות הולכת חום בעזרת טורי פוריה

1822 הוסיף תלות זמנית לבעיות הולכת חום, ותנאי שפה. פתר משוואות דיפרנציאליות חלקיות.



מחישוב של אנרגיית השמש הקורנת על הארץ ואיבוד החום
ניבא את קיום אפקט החממה

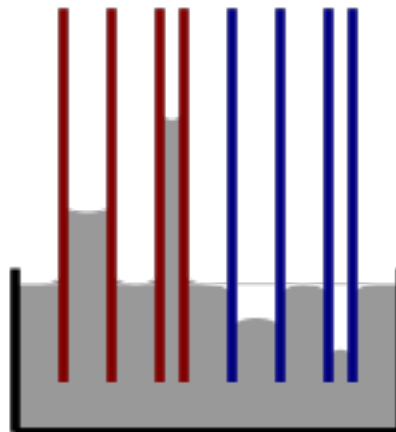
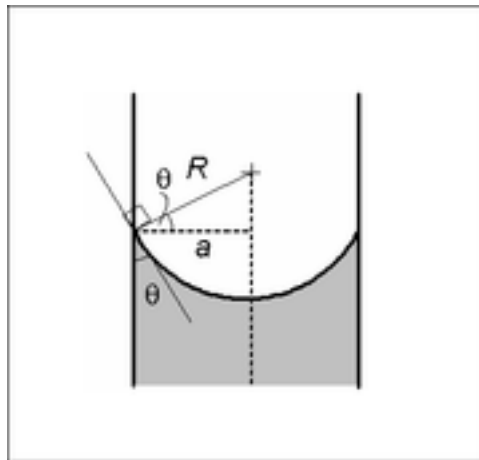
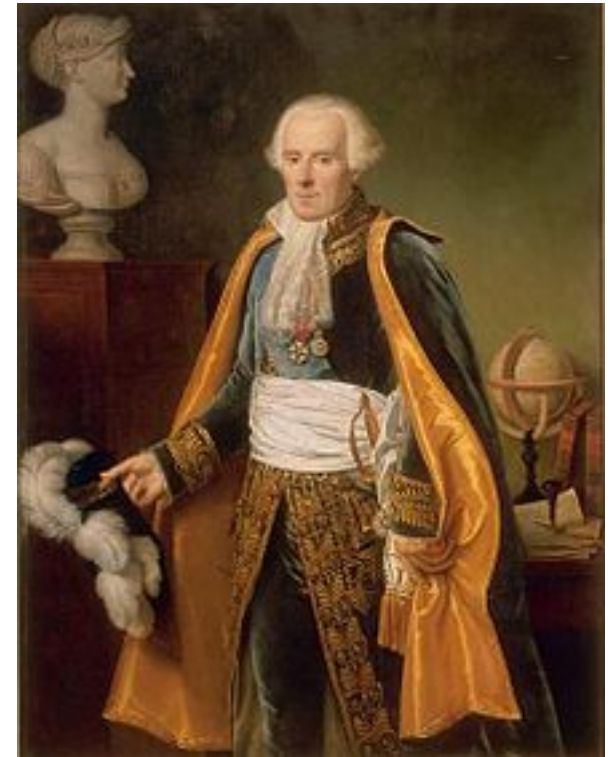
לפלס

Pierre-Simon, marquis de Laplace (1749–1827) French
1806–7 מתאר גבול נוזל-אוויר בצינור נימי. עקב משיכה בין
מולקולות ההנוזל אנכית לגבול. משוואת יאנג-לפלס:

$$p = K + \frac{1}{2} H \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

לחץ קבוע K , רדיוסי המשטח בכוונים אנכיים זה לזה R'
 R

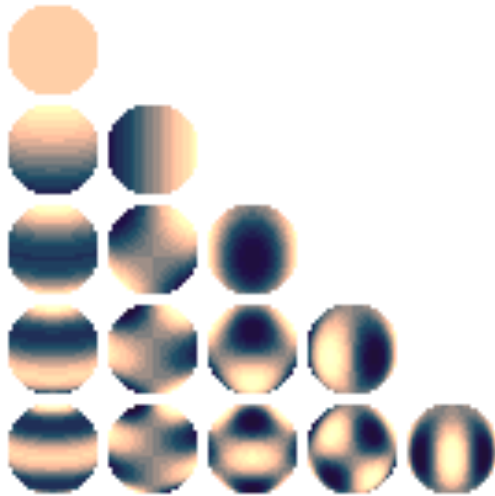
קבוע לכל הקפילות H .
אין מתח פנים במקביל למשטח.



לפלס-המשך

לפלס-יאן- המשוואה החשובה בתורת הפוטנציאל החשמלי:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$



SPHERICAL HARMONICS

פתרונות משוואת לפלס בכדור
חשיבות: פונקציות הגל של האלקטרון בתורת הקוונטים

השדון של לפלס:

אם ידועים כל פרטי המצב הפיזיקאלי של העולם עתה, השדון (לפלס קרא לו "אינטלקט")
יוכל לחשב את העתיד לכל זמן רצוי.
אינפי,

Laplace transform, Laplacian, Laplace equation, Laplace continuum rule

Laplace random variate, Laplace distribution

1774 ביסוס מתמטי לתורת הסיכויים: ניבוי סטטיסטי, סיבתיות, הערכת שגיאות, והערכת
מידת האמיתות עדויות נסיוניות.

Marc-Antoine Parseval (1755–1836) French mathematician

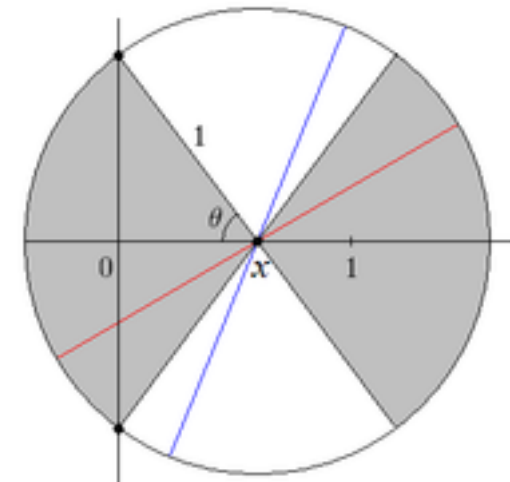
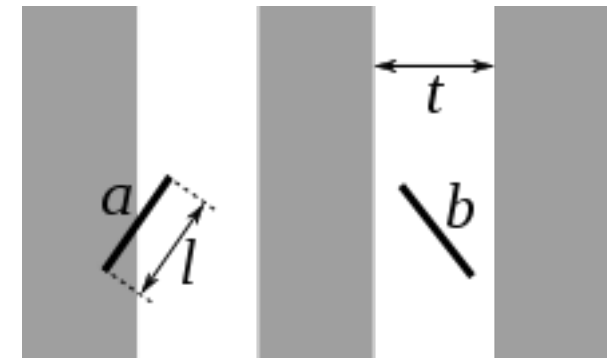
Parseval's theorem:
פיתוח פוריה של פונקציה $A(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n e^{inx}$ הוא חד ערכי



Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon (1707-1788) France

הסתברויות : Buffon's needle הסכוי P שמחט באורך l הנזרקת על פסים ברוחב t תחצה את הגבול: למחט קצרה - $l < d/2$:
 זו דרך נסיונית לחישוב π .
 למחט ארוכה החישוב קצת יותר ארוך.

$$P = \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} \int_{x=0}^{(l/2) \sin \theta} \frac{4}{t\pi} dx d\theta = \frac{2l}{t\pi}.$$



ביולוגיה:
 היתה לו השפעה רבה על
 למרק - ותורת האבולוציה
 שלו.





Thomas Bayes (1702-1761) England

1763 במאמר על תורת הסיכויים מראה שהסכוי לאירוע אינו תלוי באירועים קודמים, וזאת בניגוד לאמונה הרווחת.

הסתברויות – Bayes equation in probability

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$$

הסיכוי לאירוע B אם A נכון = $\frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$
 הסיכויים לאירועים בלתי תלויים $P(A), P(B)$

לדוגמא: הסיכוי לחלות בסרטן הוא 0.1%

הסכוי להיות בגיל 65 הוא 0.2%

הסכוי שחולה סרטן הוא בגיל 65 הוא 0.5% (מבטא עליה בסכוי לחלות עם הגיל)

הסכוי של אדם בן 65 לחלות בסרטן הוא: $0.5 \times 1 / 0.2 = 2.5$

דוגמא: מכונות 1,2,3 מייצרות 20,30,50% מהמוצר עם 5,3,2% דפקטים בהתאמה. מה הסכוי שאם מצאנו מוצר פגום הוא יוצר במכונה 3:

$$P(A_1)=0.2 \quad P(A_2)=0.3 \quad P(A_3)=0.5$$

$$P(B | A_1)=0.05 \quad P(B | A_2)=0.03 \quad P(B | A_3)=0.01$$

סה"כ המוצרים הפגומים:

$$P(B) = \sum_i P(B | A_i) P(A_i) = (0.05)(0.2) + (0.03)(0.3) + (0.01)(0.5) = 0.024$$

הסכוי שיוצר במכונה 3

$$P(A_3 | B) = P(B | A_3) P(A_3) / P(B) = (0.01)(0.50) / (0.024) = 5/24$$

Christian Goldbach (1690-1764) Germany

תורת המספרים

Goldbach conjecture –

כל מספר גדול מ-2 יכול להכתב כסכום שני מספרים ראשוניים

לא הוכח עד היום

Goldbach-Euler theory

הסכום עבור חזקות שלמות $p=n^m$ מתכנס ל-1

$$\sum_p \frac{1}{p-1} = \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{15} + \frac{1}{24} + \frac{1}{26} + \frac{1}{31} + \dots = 1.$$





Daniel Bernulli (1700-1782) Switzerland

הסתברויות, אינפי

ראה עץ המשפחה במאה ה-17-

Bernulli principle

1734 פתרון המשוואה הדיפרנציאלית לקורה מעוגנת בצד אחד -
(אویلר-ברנולי, ראה אویلר)

Jakob Bernoulli 1654–1705 Basel, Switzerland

1713 המקרה הפשוט ביותר של חוק המספרים הגדולים: בחזרה על נסיון בינארי, (כגון זריקת מטבע מזויף) מספר גדל של התוצאות מתקבץ בתחום קטן סביב הסתברות ההצלחה המקורית.



Eduard Waring (1736-1798) England

תורת המספרים

Waring's conjecture, Waring's problem

John Wilson (1741-1793) England

תורת המספרים

Wilson's law

Sofi Germain (1776-1831) France

תורת המספרים



Brook Taylor (1685-1731) England

אנליזה מתמטית – טורי טיילור – מקלורין
Taylor series, Taylor formula, Taylor's law

Adrian Murray (-Marie) Legendre (1752-1833) France

מכאניקה אנליטית, תורת המספרים

Legendre's conjecture, Legendre's equation, Legendre's constant

law of reciprocity of quadratic residues

1785 Every arithmetical progression whose first term and ratio are relatively prime contains an infinite number of prime numbers

ייחסו רישום זה ללג'נדר בטעות



Robert Simpson (1687-1768) Scotland

גיאומטריה

Simpson's line

Thomas Simpson (1710-1761) England

אינפי

Simpson's approximation, Simpson's law

John Landen

1775 כל קשת של היפרבולה יכולה להמדד ע"י שתי קשתות אליפטיות – 'Landen's theorem'
חשיבות לאינטגרלים אליפטיים.

Augustin Louis de Cauchy 1789-1857

ראה מאה-19

Bernard Bolzano 1781-1848

ראה מאה-19 ... epsilon-delta

Charles Babbage 1791-1871

ממציא המחשב המכאני (ראה מאה-19)



קרמר (1704-1762) Switzerland

אלגברה ליניארית

משפט קרמר: עקומה מסדר n נקבעת ע"י $n(n+3)/2$ נקודות עליה.

[://en.wikipedia.org/wiki/Cramer%27s_theorem_\(algebraic_curves\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cramer%27s_theorem_(algebraic_curves))

1728 הציע פתרון לפרדוקס סנט פטרסבורג הדומה

לפתרון ברנולי 1738, (ראה שקף להלן)

קרמר (המשך)

פרדוקס הלוטו של סנט פטרסבורג

הפרדוקס הומצא ע"י ניקולה ברנולי ב-1713 ופתרון ניתן ע"י דניאל ברנולי 1738, שכזכור קיבל משרה מהצר הרוסי בסנט פטרסבורג, הדומה לפתרון קרמר מ-1728.

קזינו מציע משחק הוגן: על השולחן שמים 2 שטרות. זורקים מטבע, מכפילים את מספר השטרות כל פעם שהמטבע נופלת על "ראש". המשחק נגמר אם המטבע נופלת על "זנב" והמשחק מקבל את כל השטרות על השולחן. מה הסכום ההוגן שהקזינו צריך לדרוש ממהמר כדי להכנס למשחק? יש סכוי $\frac{1}{2}$ לקבל 2 שטרות, סכוי $\frac{1}{4}$ לקבל 4 שטרות, וכו'.

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{4} \cdot 4 + \frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{16} \cdot 16 + \dots = 1+1+1+\dots = \infty.$$

הינו, כדאי לשחק מול הקזינו תמורת כל סכום כניסה למשחק שיידרשו. אם נשחק מספיק פעמים נזכה ביותר שטרות מאשר שילמנו.

איפה הפרדוקס? בהנחה שאין מגבלה לאמצעים הכספיים של הקזינו, או הם גדולים בהרבה מאלה של המהמרים, כדי לזכות עלינו לשחק שוב ושוב, ולכן אנו צריכים להבטיח לעצמנו סכום שיאפשר להמשיך ולשחק עד שנרויח יותר ממה שהשקענו. אם הקזינו דורש c עבור כל משחק, והעושר שלנו w , נגדיר פונקצית שימושיות בכסף, למשל פונקציה לוגריטמית, שממשקלת את ירידת יכולתנו להמשיך ולשחק עד אינסוף, ואז הסכוי לזכות הוא סופי:

$$\Delta E(U) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2^k} [\ln(w + 2^k - c) - \ln(w)] < \infty.$$

למליונר כדאי לשלם 20.88 שטרות למשחק, ולסיכון 1000 שטרות כדאי לשלם 10.95 כהנמן וטברסקי טוענים שמהמרים ממשקלים גבוה מקרים לא סבירים של זכיה, ולכן הפרדוקס חוזר להתקיים. אך אם מתחשבים בעושר סופי של הקזינו, w , שוב לא קיים הפרדוקס.

קרמר (המשך)

נוסחת קרמר: נוסחא מפורשת לפתרון n משוואות ליניאריות עם n נעלמים.

$$\sum_j A_{ij}x_j = b_i \quad \text{או} \quad Ax = b \quad \text{בכתיבה מטריציאלית:}$$

A מטריצה בממדים $n \times n$ עם דטרמיננט שונה מאפס
 A_i המטריצה בה העמודה ה- i הוחלפה בוקטור b

$$x = (x_1, \dots, x_n)^T \quad b = (b_1, \dots, b_n)^T$$

הפתרון:

$$x_i = \frac{\det(A_i)}{\det(A)} \quad i = 1, \dots, n$$

$$3x_1 + 5x_2 - 6x_3 = 9 \quad |9|$$

$$7x_1 - 2x_2 + 4x_3 = 1 \quad b = |1|$$

$$8x_1 + 3x_2 - 9x_3 = 5 \quad |5|$$

דוגמא:

$$A = \begin{vmatrix} 3 & 5 & -6 \\ 7 & -2 & 4 \\ 8 & 3 & -9 \end{vmatrix} \quad A_1 = \begin{vmatrix} 9 & 5 & -6 \\ 1 & -2 & 4 \\ 5 & 3 & -9 \end{vmatrix} \quad A_2 = \begin{vmatrix} 3 & 9 & -6 \\ 7 & 1 & 4 \\ 8 & 5 & -9 \end{vmatrix} \quad A_3 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 9 \\ 7 & -2 & 1 \\ 8 & 3 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \det(A) &= 3 \cdot (-2) \cdot (-9) + 5 \cdot 4 \cdot 8 + 7 \cdot 3 \cdot (-6) - (-6) \cdot (-2) \cdot 8 - 5 \cdot 7 \cdot (-9) - 4 \cdot 3 \cdot 3 = \\ &= 54 + 160 - 126 - 96 + 315 - 36 = 271 \end{aligned}$$

$$x_1 = (162 - 18 + 100 - 60 - 108 + 45) / 271 = 121 / 271$$

$$x_2 = (-27 - 210 + 288 + 48 - 60 + 567) / 271 = 606 / 271$$

$$x_3 = (-30 + 40 + 189 + 144 - 175 - 9) / 271 = 159 / 271$$

סטרלינג (1692-1770) James Sterling

מתמטיקאי סקוטי שהתעניין בקומבינטוריקה

מצא נוסחת קירוב ל- $(n \text{ עצרת})$

Sterling's formula,

Newton–Stirling interpolation formula

$$\ln(n!) = n \ln(n) - n + O(\ln(n))$$

$$n! \sim \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n$$

$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$: על k

מספר הפרמוטציות של קבוצות עם k אלמנטים

מתוך n אלמנטים שונים

1st & 2nd order Sterling numbers

מסוג ראשון : $[n_k]$

מספר הפרמוטציות של n אלמנטים שונים עם k

חיבורים מעגליים מכוונים.

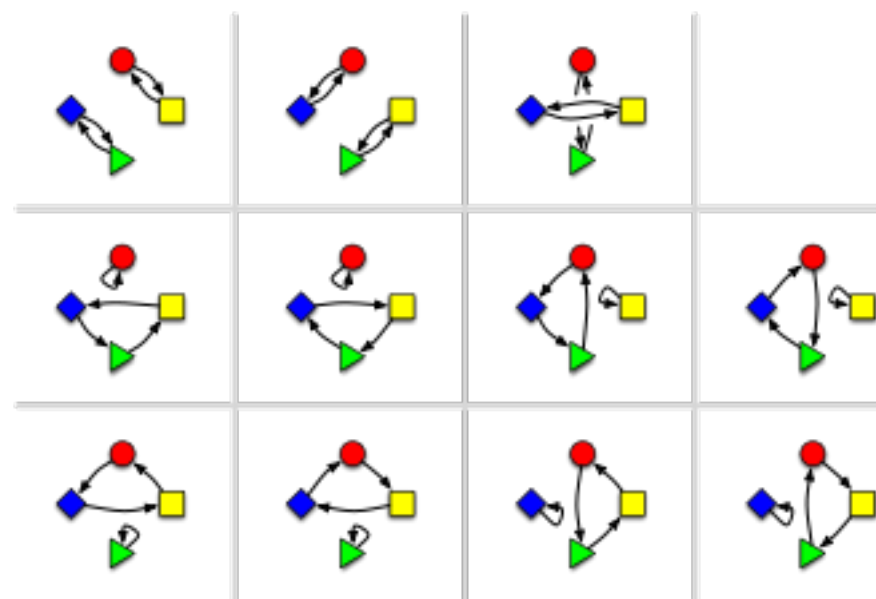
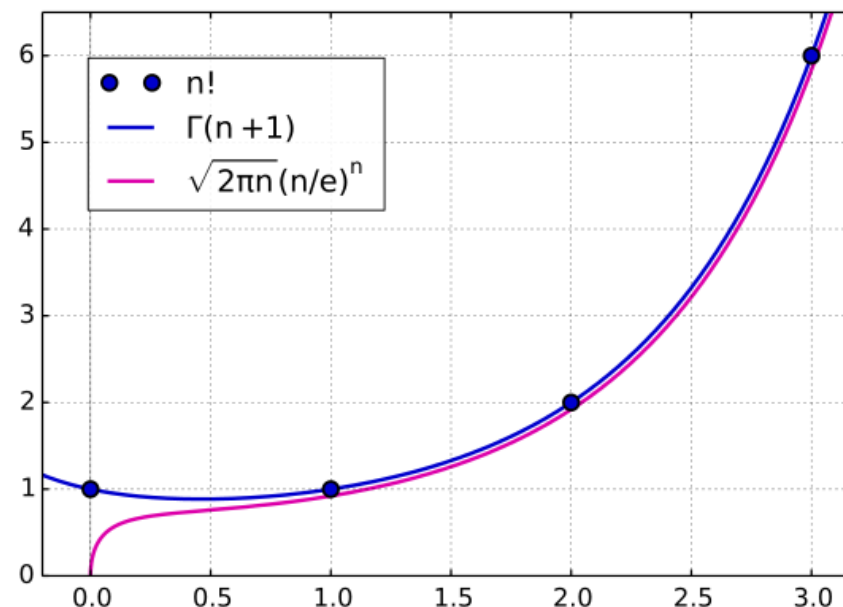
מסוג שני : $\{n_k\}$

מספר הדרכים לסידור n עצמים שונים בקבוצות

של k עצמים בקבוצה

$$\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\} = \frac{1}{k!} \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \binom{k}{j} j^n.$$

פונקצית גמה $\Gamma(z)$ זהה ל- $n!$ בערכי z שלמים



Karl Fridrich Gauss (1777-1855) Germany

מתמטיקה ופיזיקה. אולי גדול המתמטיקאים הגרמנים.

Gauss-Lucas formula, Gauss lemma, Gauss law, Gauss-Jordan matrix inversion, Gaussian, Gauss constant, Gaussian integral, Gauss plan, Gauss integers group

1796 מגלה בנית מצולע בן 7 צלעות במחוגה וסרגל –
ההמצאה הראשונה בבניות גיאומטריות מאז אוקלידס

לא עזב כל חייו את גוטינגן, בה עבד ולימד,
מלבד נסיעה בודדת לברלין בהזמנת המבולד
Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt

גיאומטריה לא-אוקלידית
הגדרת עקמומיות גאוס:
מכפילת העקמומיות של משטח בשני הצירים
הראשיים האנכיים.

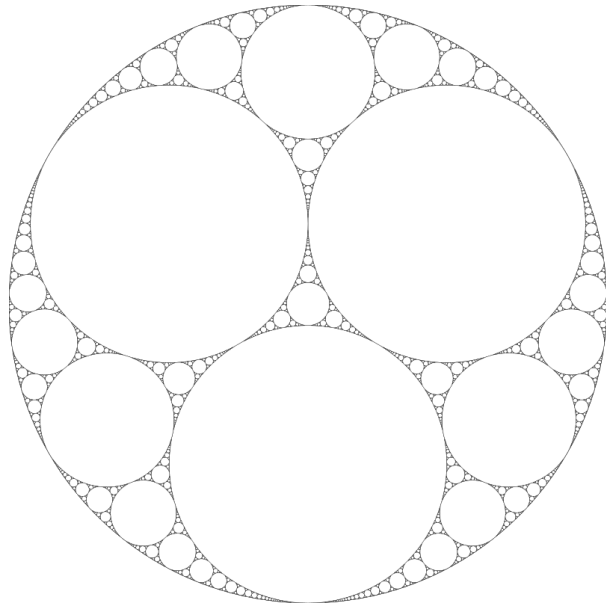


Gottfried Wilhelm (von) Leibniz 1646-1716 Germany

1714 מתמטיקה מאחדת בין תפיסות יקום שונות
1715-6 מתכתב עם קלרק Samuel Clarke ומבקר את הפילוסופיה והמסקנות התיאורטיות של עבודות ניוטון. מרחב וזמן הם יחסיים ולא מהויות ממשיות.

1714 הפרלמנט הבריטי מייסד "משרד קוי האורך" להחליט על שיטה לקביעת מיקום בים. שתי שיטות נשקלו: טבלאות מיקום הירח מול כוכבים אחרים, ושימוש בכרונומטר.

ניוטון מאשים אותו בגניבת תורת החשבון האינפיניטסימאלי ממנו. די ברור שהפיתוח שלו היה עצמאי, והסימונים שהוא יצר הם אלה שאנו משתמשים היום, ולא אלה של ניוטון... לייבניץ פיתח מחשבים מכאניים והצגה בינארית של מספרים.



אריזת מעגלים של לייבניץ-היא דוגמא מוקדמת של פרקטאלים

לייבניץ התיישב אחרי נדודים בהנובר. היום ניתן להנות מבסקוויט חמאה שמיוצר בהנובר על שמו:

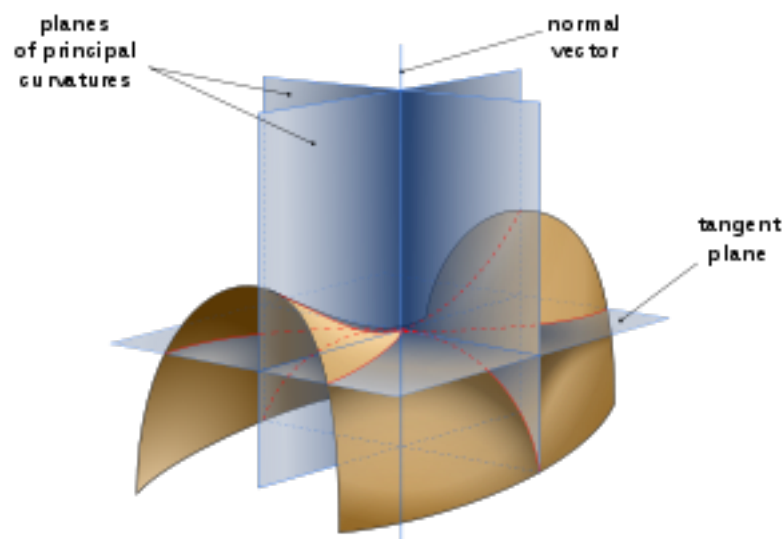


גיאומטריה



Gaspard Monge 1746-1818

גיאומטריה תיאורית, גיאומטריה דיפרנציאלית:
הגדיר עקמומיות על משטח תלת ממדי



מונג' היה שר המספנות
בזמן המהפיכה הצרפתית,
הצטרף למשלחת נפוליון
למצריים, ונקבר בפנטיאון.
על שמו כיכר מונג'
ברובע החמישי בפריז.

Carl Friedrich Gauss 1777-1855

ממציא גיאומטריה לא-אוקלידית (בלתי תלוי בעבודת בויי ולובצ'בסקי)

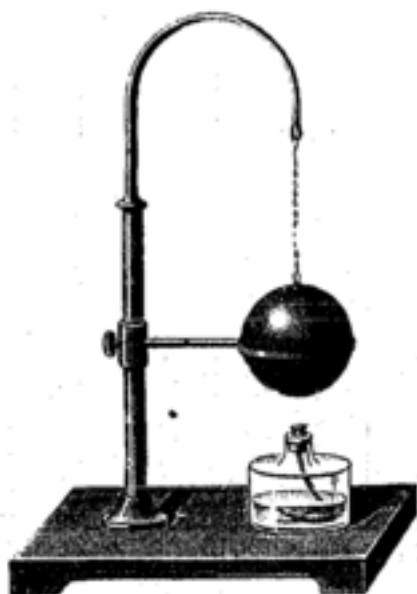
Janos Bolyai (1833) and Nikolai Lobachevsky (1829),

עקמומיות גאוס: מכפילת העקמומיות של משטח בשני הצירים הראשיים האנכיים.

פיזיקה

1737 רק חמישים שנים אחרי פירסום "פרינציפאה" של ניוטון, תורתו נעשית מקובלת. פירסום על תורת ניוטון ע"י וולטר **François Marie Arouet de Voltaire** הופך אותה פופולארית בצרפת.

מך **Ernst Mach** מסכם: העולם אינו סופי וערוך בהיררכיה אלא אינסופי ומאוחד בחוקי היסוד של הטבע. האסטרונומיה והפיזיקה אחד הם – אותם חוקים לתפוח ולירח. שלמות, הרמוניה וסיבתיות אלהית אינם רלוונטיים, הסדר בטבע נובע מחוקי הפיזיקה, והאי סדר בעולם נובע מהאדם: משאיפותיו לרווח והנאה לפי דידרו **Diderot**. זה מקור הדחף והשאיפה לחזור אל הטבע, שהתבטאה במאה הבאה – הרומנטית.



Wilhelm Jacob van 'sGravesande 1688–1742

פרופסור בליידן שהפיץ תורת ניוטון.

הדגמה להתפשטות טרמית:

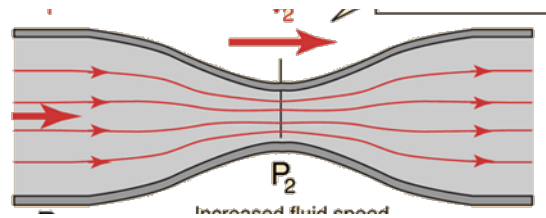
הכדור הקר עובר דרך הטבעת, אך כשהוא מחומם בלהבת הכהל
הוא "תקוע".

1720 עיתון הפיזיקה הראשון.

גאזים

Daniel Bernoulli 1700-1782 (Switzerland)

בספרו מנסח את התורה הקינטית של הגזים – חוקי הגזים ממודל של כדורי ביליארד: מולקולות הגז נעות במהירות התלויה בטמפרטורה, כך שריבוע המהירות יחסי לטמפרטורה – מכאן שימור אנרגיה. מתנגשות ביניהן ועם קירות המיכל – מסביר שנוי הלחץ יחסי למהירות ברבוע. מקבל את חוק בויל – מריוט.
המאמר נשכח עד 1859, כשהתורה הקינטית של הגזים התבססה.
עקרון ברנולי – בעלית מהירות הזרימה יורד הלחץ. סילון



נחלים

נקודות ציון בעבר – מכאניקה של נוזלים FLUID MECHANICS

הבנת אינטואיטיבית של תכונות נוזלים מתבטאת בתכנון חיצים, ספינות ומערכות השקיה.
212–287 לפה"ס ארכימדס – חוק הציפה. אטומי הנוזל מפעילים כוח שווה לכל הכוונים. משאיבת מים (בורג ארכימדס).

120 לפה"ס באלכסנדריה של בית תלמאי סיפון ומשאיבת דחיסה עם שסתום פותחו ע"י הירווקטסיביוס Ctesibius ו-Hero
במצריים היה נפוץ גלגל עם דליים לשאיבה, והשתמשו בשסתומים בדליים כדי שישקעו בקלות במים

Sextus Julius Frontinus 40-103 B.C.

הסנטור פרונטינוס – תכנון אמות אספקת המים של רומא
הבין שכמות המים היוצאת מחריר תלויה לא רק בגודל החריר אלא גם בגובה המים

Al-Khazini 1115–1130 Abu Rayhan Biruni 973–1048

שיטות נסיוניות לחקר נוזלים. בירוני מבחין בהפרש המשקל הסגולי של מים מתוקים ומי מלח, ושל מים חמים וקרים.

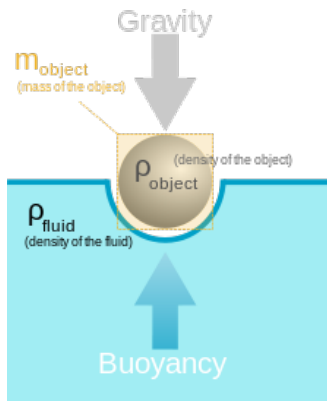
במאה ה-9 האחים **Banū Mūsā**

Al-Jazari 1206

ספרי המצאות המכילות מערכות הידראוליות עם היזון חוזר, משאבות מרימות מים עם שני צילינדרים ושסתומים צמודים (אחד סגור שני פתוח).

1452–1519 **ליאונרדו דה וינצ'י** מתאר נימיות (קפילריות)

1564–1642 **גלילאו גליליי** דינאמיקה של נוזלים, נפילת גוף בנוזל, סיפון, זרימת מים בנחלים ובצינורות



מאה 17 (המצגת הקודמת)

1608–1647 **Evangelista Torricelli** אוונגליסטה טוריצ'לי

1643 חוק טוריצ'לי – לחץ תלוי רק בגובה הנוזל מעל.

1648 אושר נסיונית ע"י **Raffaello Magiotti**

1629 חקר זרימת מים בתעלות ובצינורות **Benedetto Castelli**



1620–1684 **Edme Mariotte** אדמה מריוט

חוק בויל-מריוט $p v = \text{const}$ וגם ציין שהקבוע תלוי בטמפרטורה. גילה את הנקודה העוורת בעין, עסק ברתיעת תותחים, קיפאון מים, ברומטר, צבעי האור וצלילי החצוצרה.

היה אחראי לתכנון הצנרת למזרקות בוורסיי – מבצע הידרודינאמי מרשים

1623–1662 **בלייז פסקל** מושך מים בצינור למגדל. כספית יוצרת ואקום.

1655–1710 **Domenico Guglielmini**

חיכוך עם דפנות התעלה או הצינור של נוזל זורם

1642–1727 **ניוטון** מגדיר מאמץ גזירה במוצק ובנוזל, זרימה מחרירים, חקר גלים בנוזל

מאה – 18

Henri de Ptiot – הנרי דה פיטו 1695–1771

צינור פיטו יוצר תת לחץ אנכי לזרימה

Daniel Bernoulli – דניאל ברנולי 1700–1782

עקרון ברנולי – בעלית מהירות הזרימה יורד הלחץ. סילון

Leonard Euler – ליאונרד אוילר 1707–1783

משוואות רציפות בנוזל צמיג

Jean de Rond d'Alembert – ד'למבר 1717–1783

רפרקציה בנוזל, פרדוקס ד'למבר: אפס כוח על כדור בנוזל חסר צמיגות.

Pierre Louis Georges Dubuat 1734–1809

כוחות החיכוך בנוזל זורם עם המיכל ועם עצמו מאזנים את כוחות הכבידה ולכן מהירותו קבועה

פתרון מתמטי ע"י Stokes רק באמצע המאה ה-19

Chézy, 1718–1798 אנטואן שזי,

מהנדס הידרולוגיה, מנסח משוואת זרימה בצינור ובתעלה

Jean Charles Borda 1733–1799 בורדה

מהנדס ימי, שיפר גלגלי מים ומשאיבות. קוי זרימה – שימושים לספינות

Joseph-Louis Lagrange – לגראנג' 1736–1813

הרחבת הידרוסטטיקה להידרודינאמיקה. הכוח שמפעיל נוזל בזרימה על גוף

Giovanni Battista Venturi 1746–1822 ונטורי

חוק ונטורי, צינור ונטורי

Pierre-Simon Laplace – לפלס 1749–1827

משוואת לפלס: משוואת רציפות לדינאמיקה של נוזלים

Daniel Bernoulli 1700-1782 (Switzerland)

ראה עץ המשפחה במאה ה-17

הסתברויות, אינפי

1738 מפרסם "הידרודינאמיקה" - (עקרון ברנולי). בוחן זרימת נוזלים - הקשר בין מהירות ללחץ. עקרון ברנולי: Bernoulli principle לחץ נוזל יורד כשמהירות זרימו עולה נובע משימור אנרגיה:

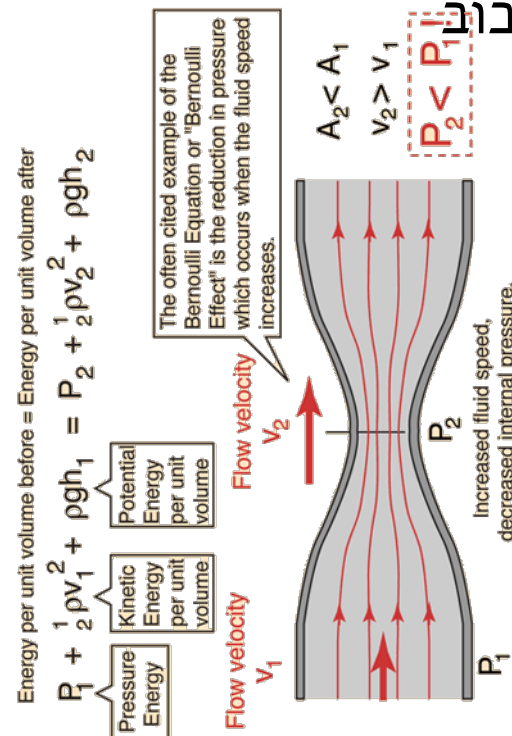
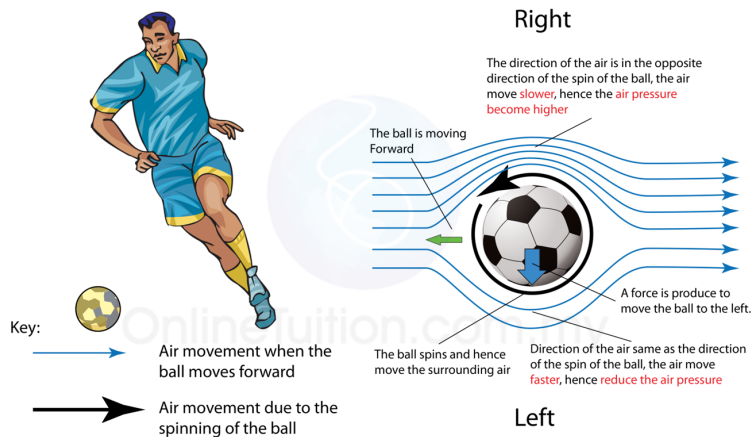
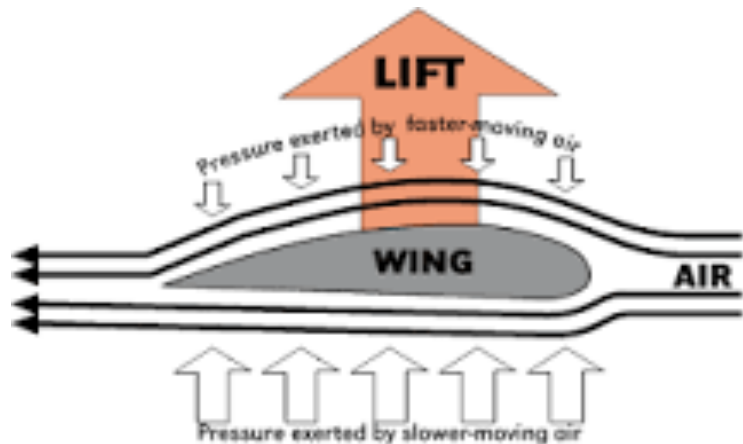
$$\frac{v^2}{2} + gz + \frac{p}{\rho} = \text{constant}$$

רלוונטיות: כוח עילוי לכנף מטוס,

משיכת אוויר בארובה (הלבניות בבתי הזיקוק)

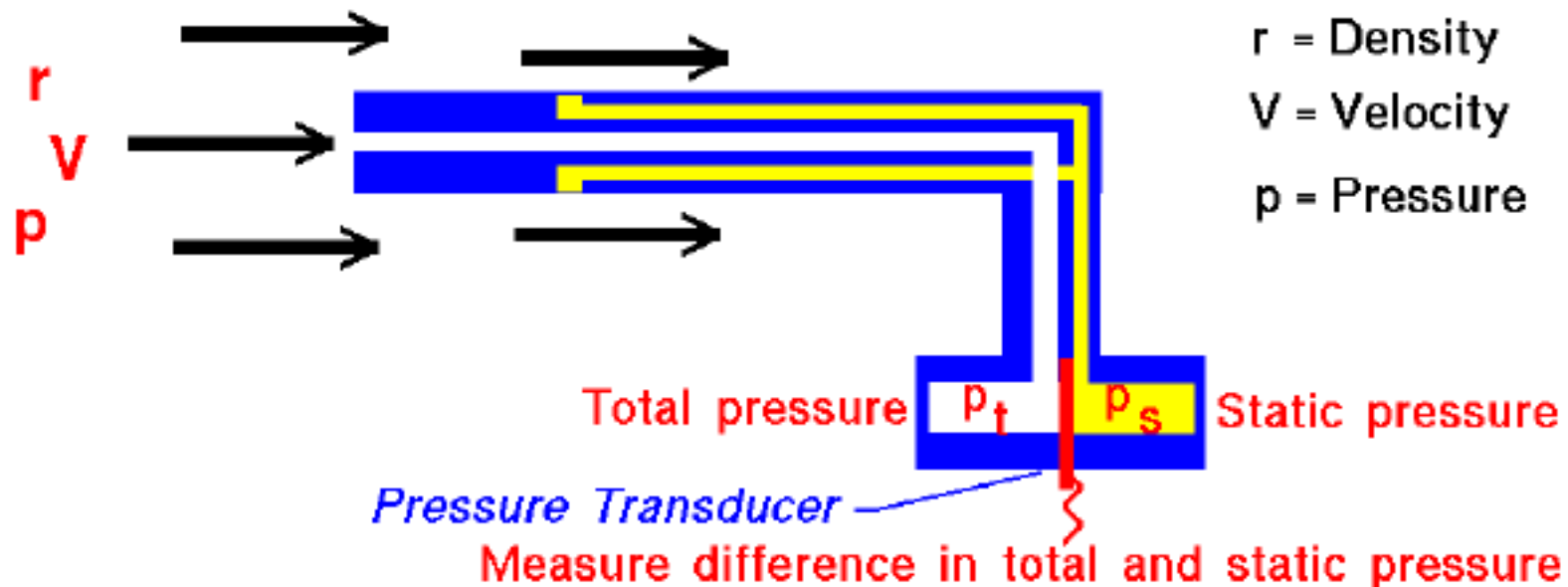
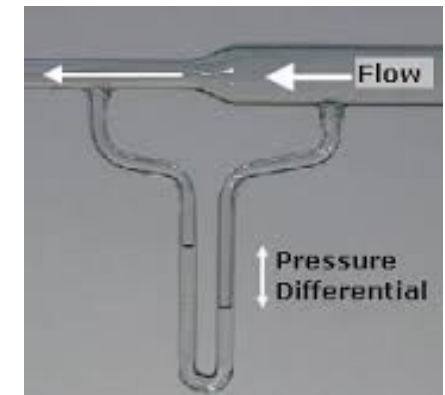
מדידת מהירות מטוס-צינור פייטו (להלן)

בעיטת כדור רגל בסיבוב





Pitot Tube



Bernoulli's Equation :

static pressure + dynamic pressure = total pressure

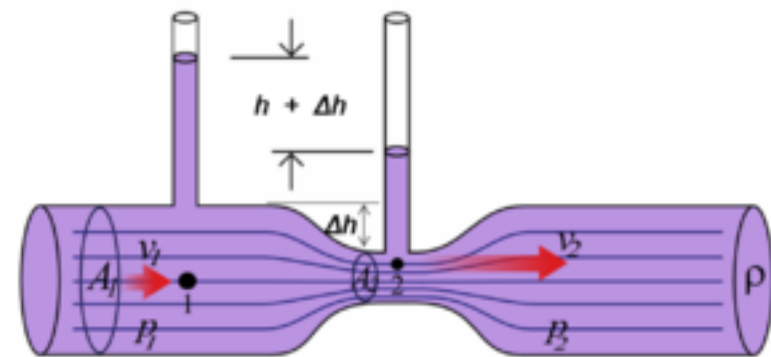
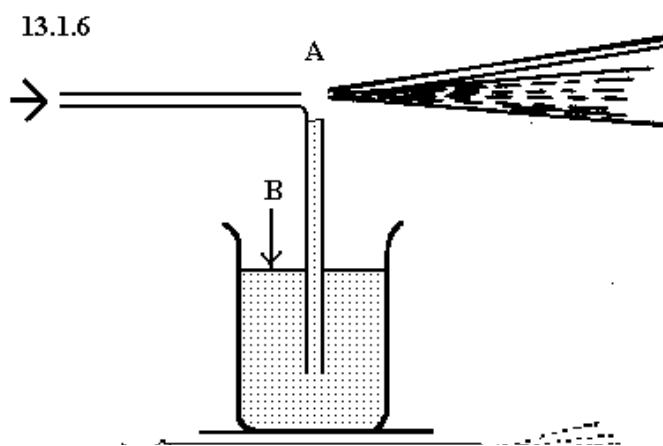
$$(p_s + r \times \frac{V^2}{2}) = p_t$$

Solve for Velocity :

$$V^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{r}$$

Giovanni Battista Venturi 1746–1822 Italian physicist

צינור ונטורי - הורדת הלחץ בעליית מהירות הנזל (או הגז)
עליו מבוסס מדידת מהירות מטוס, תרסיס ספריי (עם בלון גז ליצירת זרם אוויר)
המושך נזל ממיכל ומרוסס בזרם האוויר,
מאוורר ליין, ועוד



$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

מה ההבדל בין צינור פיטו וצינור ונטורי?

Benjamin Robins 1707-1751

1746 מהנדס צבאי ממציא צנטרפוגת זרוע מסתובבת לקביעת סחיפה.



Pierre Louis Maupertius

1747 משתמש בעקרון מינימום למכאניקה. מראה שמסלולי גופים נובעים מעקרון הפעולה המינימלית.

Leonard Euler-1707-1783 ליאונרד אוילר

משוואות רציפות בנוזל צמיג, עם שימור מסה תנע ואנרגיה, אליהם הגיע אוילר בניתוח המכאניקה של קוביה קטנה בנוזל ומה נכנס ויוצא ממנה. הן הבסיס למשוואות נאויאר-סטוקס. למימד אחד לשלושה מימדים

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial x} = 0$$

שימור מסה

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla P$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

שימור תנע

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} (E + P)) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v (E + P)) = 0$$

ושימור אנרגיה

כאשר:

ρ צפיפות הנוזל

v מהירותו

P הלחץ בתוכו

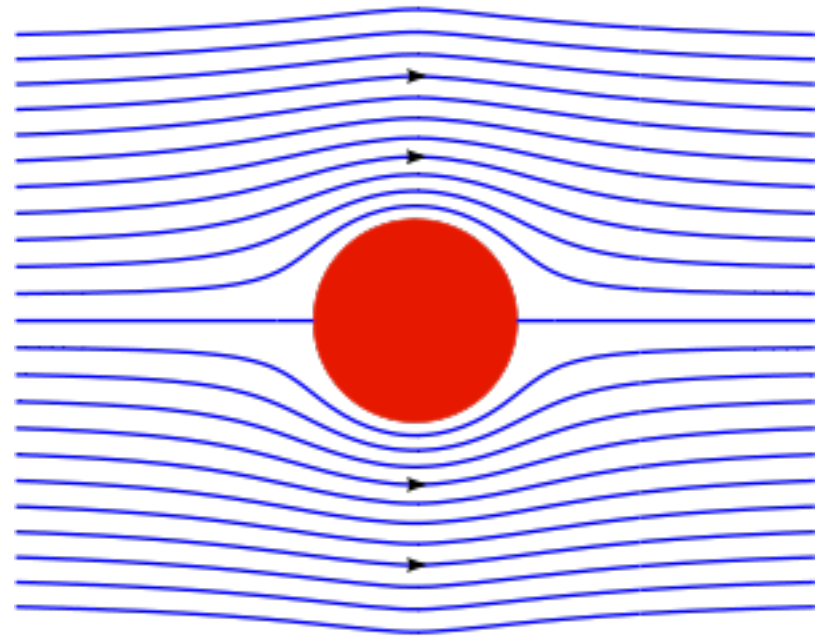
$E = \rho \epsilon + \frac{1}{2} \rho v^2$ האנרגיה ליחידת נפח, ϵ האנרגיה הפנימית

המשוואה נכונה לנוזל לא דחיס, ללא צמיגות, ובזרימה למינארית (לוחית) יציבה (סטציונארית)



1717-1783 ד'למבר

רפרקציה בנוזל,
פרדוקס ד'למבר: אפס כוח על כדור בנוזל חסר צמיגות.
התוצאה נובעת ממשוואות אוילר.





Pierre Simon Laplace 1749-1827

1782 מראה שפוטנציאל לגראנג' מקיים משוואה דיפרנציאלית משוואת לפלס: משוואת רציפות לדינאמיקה של נוזלים
1785 תיאורית גרביטציה המבוססת על פונקצית פוטנציאל סקלארית ואדיטיבית במקום וקטורי כוח. מציע להשתמש בפונקצית פוטנציאל גם לחשמל.

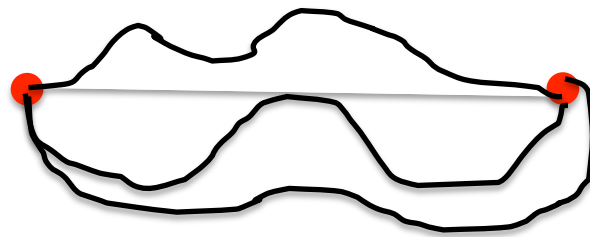
במקום שדה כבידה וקטורי של כוח הפועל לאורך הקו בין נקודה

$$\underline{F}(\underline{r}) = GmM/r^2 \quad \text{והמאסה}$$

$$v(\underline{r}) = GmM/r \quad \text{מגדירים שדה סקלארי}$$

ניתן לעשות זאת בשדה משמר: הינו, אם העבודה שצריך להשקיע על כדור כדי להעבירו ממקום למקום בשדה כבידה לא תלויה במסלול.

$$V(\underline{r}_1)$$

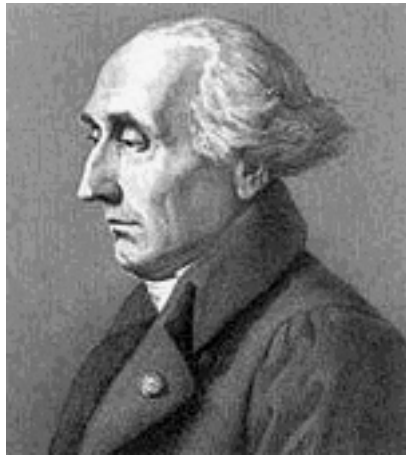


$$V(\underline{r}_2) = V(\underline{r}_1) + W/m$$

זה נכון לשדה כבידה, וגם לשדה חשמלי. (אינו נכון כפשוטו לשדה מגנטי, בו ניתן לקבל אנרגיה בסיבוב מגנט סביב עצמו).

משדה הפוטנציאל ניתן לחשב את הכח בכל נקודה במרחב:

$$\underline{F}(\underline{r}) = (-d/dx, -d/dy, -d/dz)V(\underline{r})$$



Joseph Louis Lagrange (1736-1813) Italy

1788 הרחבת הידרוסטטיקה להידרודינאמיקה. הכוח שמפעיל נוזל בזרימה על גוף משוואת התנועה של אוילר-לגראנג': מאפשרת חישוב התנועה. מציין שאם יש סימטריה בבעיה מתאים לה חוק שימור של משתנה דינאמי.

1796 קורא לדינאמיקה גיאומטריה ארבע ממדית

לגראנג'יאן, $L =$ ההפרש בין אנרגיה פוטנציאלית וקינטית, מקיים משוואת

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0,$$

אויילר-לגראנג'

קואורדינטות מוכללות q_i :

כופלי לגראנג': דרך לחישוב מינימום של פונקציה $f(x_i)$ עם n אילוץ שוויון $g_j(x_i)=0$
ע"י פתרון $n+m$ משוואות ליניאריות שמקדמיהם נגזרות f, g . $\nabla f + \lambda_1 \nabla g_1 + \lambda_2 \nabla g_2 + \dots = 0$.

מכאניקה אנליטית, אינפי, תורת החבורות, תורת המספרים

Lagrange equation, Lagrange form for remains, Lagrange multipliers, Lagrangian

1777 פוטנציאל סקלארי לשדה גרביטציה

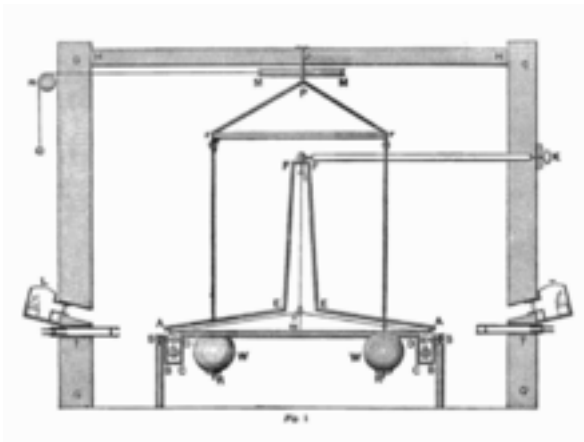
1764 מגלה את חוק הדיבירגנט divergence theorem שנקרא חוק גאוס, בקשור לגרביטציה.

Jean Bernoulli

1717 עקרון ההעתקה הדמיונית (וירטואלית) מעין חוק "בשוי משקל כוח-תגובה" של ניוטון

Holbach

1770 מפרסם "מערכת הטבע" בו טוען שהכל מורכב מחמר ומתנועה.



John Michell 1724-1793

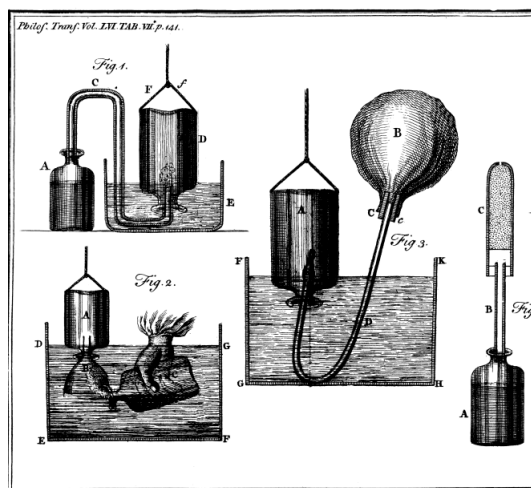
1775 אופי מחזורי (גלי) של רעידות אדמה.
בונה מאזני פיתול ששימשו את קוונדיש ואת קולון.
חיזוי של חורים שחורים.



H. Cavendish

Henry Cavendish 1731-1810

נולד למשפחת אצולה אנגלית. למד בקיימברידג' מבלי לקבל תואר.
היה ביישן ולא חברתי, ורוב עבודותיו פורסמו רק אחרי מותו.
הותיר הון עתק ואחד מקרוביו ייסד את המעבדה על שמו בקיימברידג'.
מבודד מימין הנפלט ממתכת וחומצה, והראה
ששריפתו בחמצן מייצרת מים, ונותר חנקן –
הסיק שהוא 80% מהאטמוספירה.



המכשירים של קוונדיש לייצור ואיסוף מימן

ערך ניסויים רבים בחשמל שפורסמו ע"י מכסוול:
1771 הסבר תנועות חשמליות בעזרת נוזל אלסטי
מאפשר עודף (מטען חיובי) וחוסר (שלילי) ...
1775 ממציא את הקבל והנגד, ללא יכולת למדוד
זרם חשמלי. פורסם ע"י קלווין 1879.
1776 בנסיון לחקות את השוק החשמלי של
דג הטורפדו, מראה שהכפלת מספר תאי הבטריה
משחזר את המכה החשמלית. מראה שהתנגדות
מים פי 100 מתמיסות מלח.

תרומות אחרות:

רעיון הפוטנציאל החשמלי, קיבול של קבל לוחות, הקבוע הדיאלקטרי, חוק אוהם, חלוקת
הזרם במעגל מקבילי, וחוק קולון.



המשך – Henry Cavendish 1731-1810

1797 משחזר במעבדה בביתו מאזני גרביטציה לפי מישל

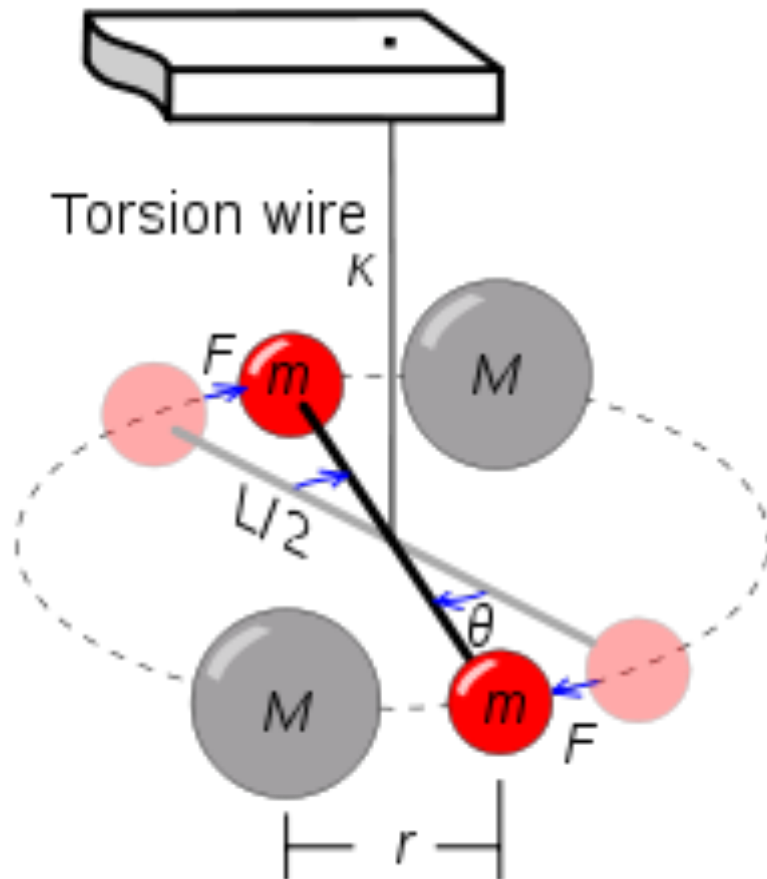
John Michell's gravity machine

ומחשב את קבוע הגראויטציה G ואת משקל כדור הארץ.

כדור במשקל פאונד $M = 350$ מסיט שני כדורים קטנים

במשקל m . ובמרחק r . הכח נמדד בטיל פיתול ממתכת.

מחשב את מסת הארץ 6×10^{21} טונות (כיום 5.9725)



אם r קרוב בגודלו לרדיוס הכדורים
מאיזו נקודה הוא מחושב?

ניתן להראות (באינטגרציה) שסה"כ
הכוחות מכל חלקיו של כדור כאילו
פועלים ממרכזו של הכדור ובו כאילו
מרוכזת כל המסה.

$$F = k\theta = GmM/r^2$$

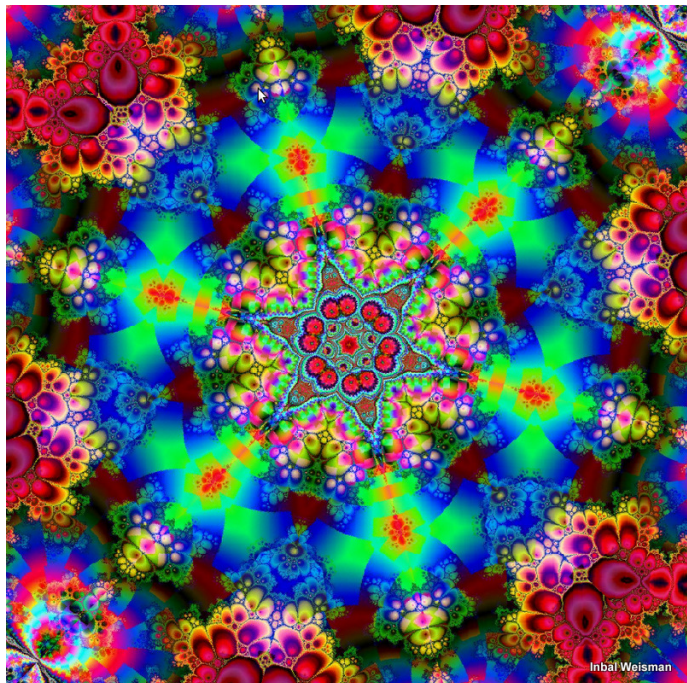
אור

James Bradley

1728 מגלה סטיה של מדידות תנועת הכוכבים בגלל תנועת כדור הארץ, וקובע ממנו שמהירות האור סופית: 283,000 ק"מ לשניה, שיפור על מדידת רומר.

David Brewster 1781-1868

חקר קיטוב אור עדשות למיגדלורים. ממציא הקליידוסקופ.
1831 פירסם את הביוגרפיה הראשונה של ניוטון.



William Hyde Wollaston 1766-1828

כימאי ומטלורגיסט. פריזמת וולסטון לקיטוב אור.

Johann Wilhelm Ritter 1776-1810

פיזיקאי, גילה קרינה אולטרה-סגולה

Leonard Euler

1768 מציע שאורך הגל קובע את צבע האור

Chester More Hall

1 מרכיב אכרומט משתי עדשות עם מנת שבירה שונה

Benjamin Franklin

1 ממציא משקפיים ביפוקאליות לקריאה ולמרחק

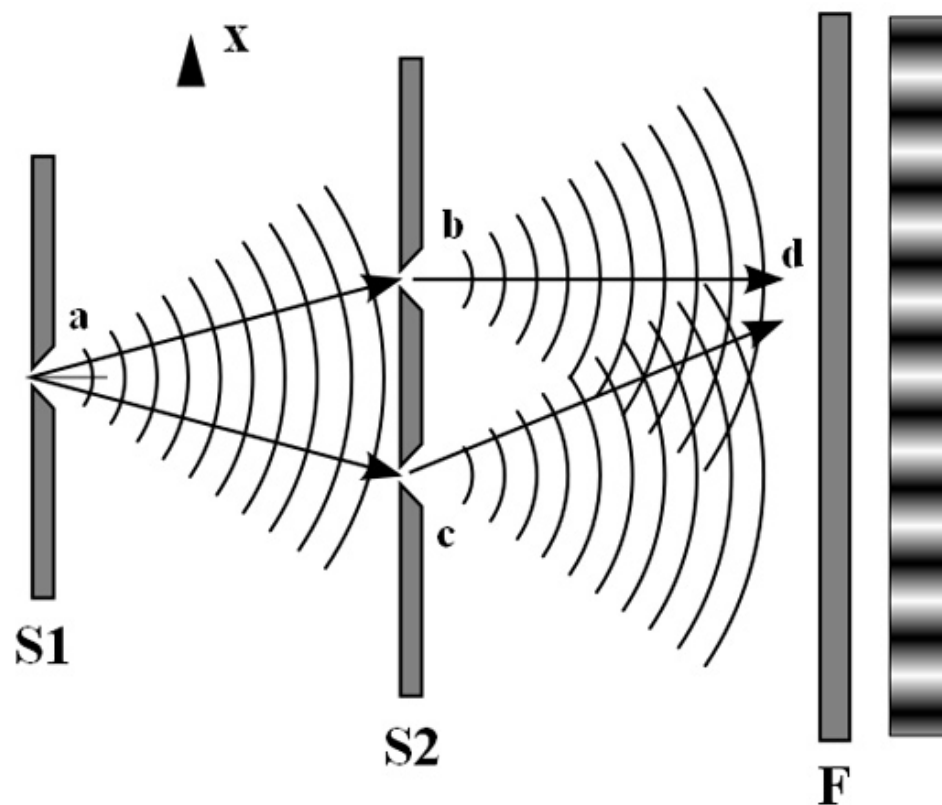


אור המשך

Thomas Young 1773-1829

תומס יאנג למד רפואה, אך נחשב כמדען שידע הכל...

הניח שצבעי יסוד נראים בעין ע"י חיישנים שונים.
תרם לפיענוח אבן הרוזטה.



1801 נסיון התאבכות של שני סדקים,
שמסקנתו: התיאוריה הגלית של האור.
בזמנו רווחה תורת ניוטון שהאור הוא
חלקיקי.

מדוע לא הטיל יאנג אור ממקור ישירות על
שני הסדקים? (רמז: קוהרנטיות)

חשמל ומגנטיות

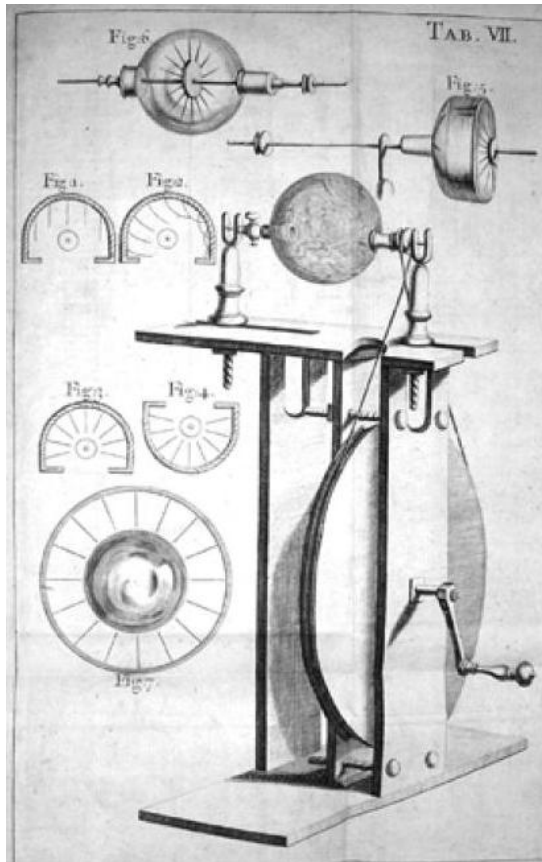
במאה ה-18 נוצרה ההתענינות ציבורית בחשמל, והצגות של תופעות חשמליות משכו קהל רב להצגת נפלאות תופעות חשמליות ומגנטיות.

Robert Boyle (Ireland) 1627 –1691

מגלה כי כח חשמלי עובר בואקום, ויכול להיות כח משיכה אודחיה.

Francis Hauksbee, 1660–1713

שואב אויר מכדור זכוכית, מסובב אותו אגב שיפשוף בד צמר, ונוצר אור חזק שאיפשר קריאה. בחימום הכדור משך אליו ממרחק גופים קלים.



גנרטורי חשמל שבנה הוקסביי

Stephen Gray 1666 –1736

1729 מגלה מוליכות חשמל – מבדיל בין מוליכים ומבודדים. חשמל ניתן להעביר מגוף לגוף. חשמל יכול להוצר במקום לא רק בשפשוף, אלא גם בהעברה במוליך מתכת. גם הראה שהמטען במוליך נמצא על שטח פניו החיצוני.

Charles François de Cisternay du Fay, Paris 1698 – 1739

מגלה כי חשמל בא כשני סוגים: חיובי ושלילי
1733 מסכם את הידוע על חשמל: כל החמרים, מלבד מתכות וחמרים רכים מידי לשיפשוף, יכולים להטען, להעביר את מטענם דרך מתכות. חמרים עם מטען דומה דוחים זה את זה, ומטען שונה – מושכים. עורך נסיונות רבים בעקבות גריי, ומסיק שכל החמרים מכילים חשמל.



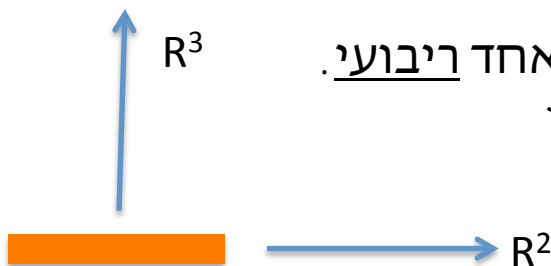
Thomas Le Seur 1703-1770 & Francis Jacquier 1711-1788

שני פרנציסקאנים צרפתים שעבדו יחד ברומא במצוות האפיפיור.
1742 מראים כי הכוח בין שני מגנטים יורד כחזקה שלישית של המרחק

John Michell 1724-1793

1749 פיתח מאזני הפיתול ששימשו גם את קוונדיש וקולון
מצא כי שני קטבי המגנט הם בעלי עצמה שווה, ותלות הכוח לקטב אחד ריבועי.

איך יתכן הרי סר וז'קאר מצאו תלות בחזקה שלישית ? רמז-הכוון



Jean-Antoine Nollet

1748 תיאוריה חשמלית של שני נוזלים

Ewald Jürgen Georg von Kleist (Germany)

1745 קבל חשמלי ראשון – Leyden jar

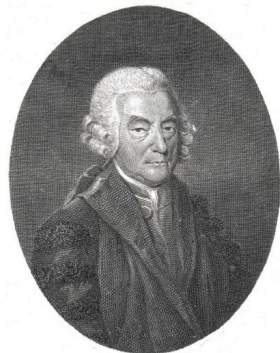
Pieter van Musschenbroek / Andreas Cunaeus (Netherlands)

1745 מורים למתמטיקה. באופן בלתי תלוי ממציאים את "בקבוק ליידן" שנקרא ע"ש האוניברסיטה: בקבוק עם שכבת מתכת על פניו החיצוניים והפנימיים – קבל. חיבור לשכבה הפנימית ע"י שרשרת התלויה מפתח הבקבוק. כמעט הורג את חברו משוק חשמלי. הראה שהשוק עובר למאות אנשים.



Johan Carl Wilke (Johann Karl Wilcke) 1732-1796

1762 בונה קבל, גרסה מוקדמת לגנרטור אלקטרוסטטי. מסביר בנית מטען במעבר חמר חשמלי ע"י האטמוספירה סביב הגוף.



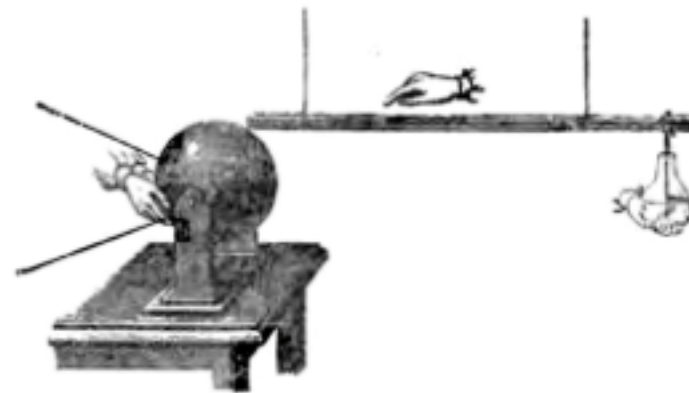
Sir William Watson 1715-1787

1748 משתמש במטען אלקטרוסטטי ומשאיבת ריק לבנית מנורת התפרקות: המנורה הפלואורוצנטית הראשונה.

John Canton 1718-1772

1762 מדווח שחוד לוחט המתקרב לגוף טעון מפרק את מטענו (מדוע?)

ממחברתו של פון קלייסט: המצאת בקבוק ליידן

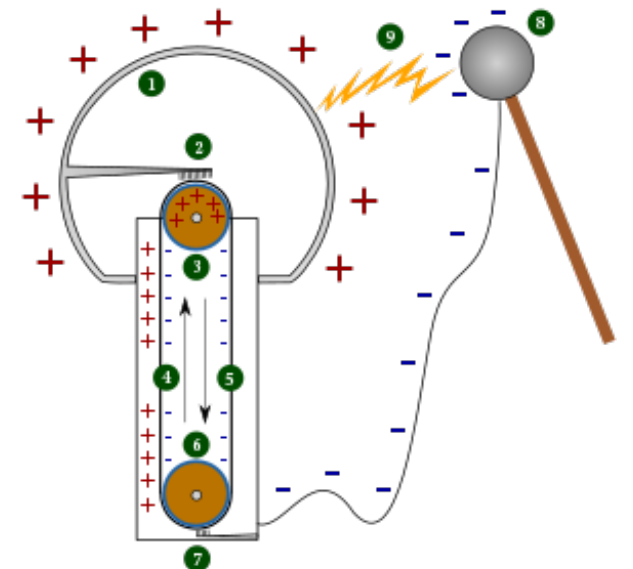


Van de Graaff Generator

בבידוד מהקרקע ניתן לגעת בכדור
הטעון אלפי וולט
הגורם לשערות סומרות



סכימת הוון דר גרף



1. hollow metal sphere
2. upper electrode
3. upper roller (for example an acrylic glass)
4. side of the belt with positive charges
5. opposite side of belt, with negative charges
6. lower roller (metal)
7. lower electrode (ground)
8. spherical electrode with negative charges
9. spark produced by the difference of potentials

Joseph Priestly 1733–1804

1766 בהצעת פרנקלין מראה שבמוליך טעון חלול כל המטען על השפה. מאפשר צבירת מטען בכדור מבפנים, עקרון פעולת מאיץ הוון-דה-גרף.
מתוך שגם בתוך כדור כוח הגרביטציה מתאפס הסיק שהכוח החשמלי נופל כתלות ריבועית במרחק.

Henry Cavendish 1731-1810

ערך ניסויים רבים בחשמל שפורסמו רק ע"י מכסוול ולכן השפיעו מעט על בני זמנו:
1771 הסבר תנועות חשמליות בעזרת נוזל אלסטי מאפשר עודף (מטען חיובי) וחוסר (שלילי)
1775 ממציא את הקבל והנגד (ללא יכולת למדוד זרם חשמלי). פורסם ע"י קלווין 1879
1776 בנסיון לחקות את השוק החשמלי של דג הטורפדו, מראה שהכפלת מספר תאי
הבטריה משחזר את המכה החשמלית. מראה שהתנגדות מים פי 100 מתמיסות מלח.
רעיון הפוטנציאל החשמלי, קיבול של קבל לוחות, הקבוע הדיאלקטרי, חוק אוהם, חלוקת
הזרם במעגל מקבילי, וחוק קולון.

Ruggero Giuseppe Boscovich (or Rudjer Boskovic)

1758 חלקיק הוא כוח מושך מקרוב ודוחה במרחקים ארוכים. ההיפוכים בכוחות יוצרים חמרים כימיים.

Francis Ulrich Theodore Aepinus

1756 מציע שהתכונות של מגנטיות וחשמליות דומות. מכליל קבל לשתי לוחות מוליך המופרדות במבודד ביניהן
1759 אפקטים חשמליים הם שילוב זרימת נוזל במוגבלת לתוך החמר ופעולה למרחוק. מגלה טעינה ע"י השראה מרחוק.
כוחות חשמליים דוחים וגרביטציה מושכים, ופועלים מרחוק.

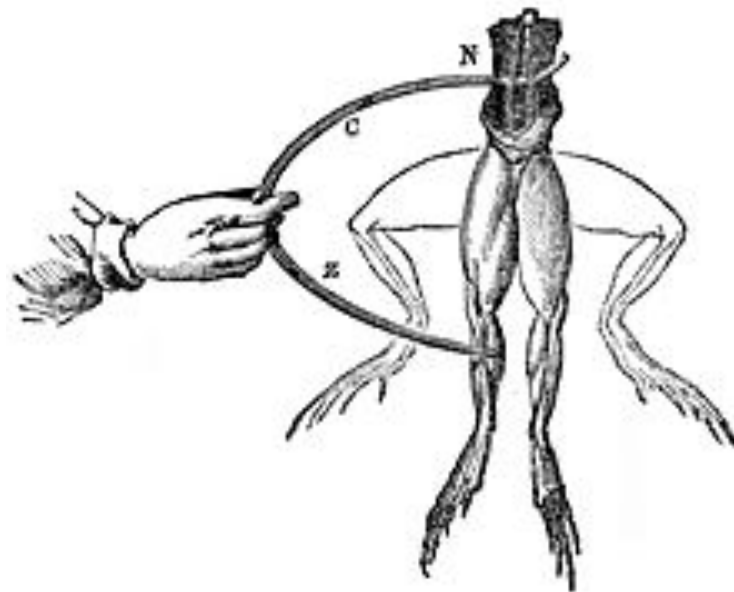
Joseph de Herbert

1778 כוח חשמלי לא מושרה ממעבר נוזל מגוף לגוף אלא פועל מרחוק



Luigi Galvani 1737–1798

1780 גורם לרגל קרפדה מתה לפרפר בגלל חשמל סטטי.
מגע עם שתי מתכות שונות גם הוא גורם לפירפור.
בני עירו, בולוניה, כינוהו: "המורה לריקוד של צפרדעים".
גלואני ייחס (בטעות) את התכווצות השרירים לנוזל "חשמל חייתי".
וולטא התנגד לרעיון, בנה "בטריה וולטאית" וביסס את הולכת החשמל
בחוטי מתכת ובשרירים.



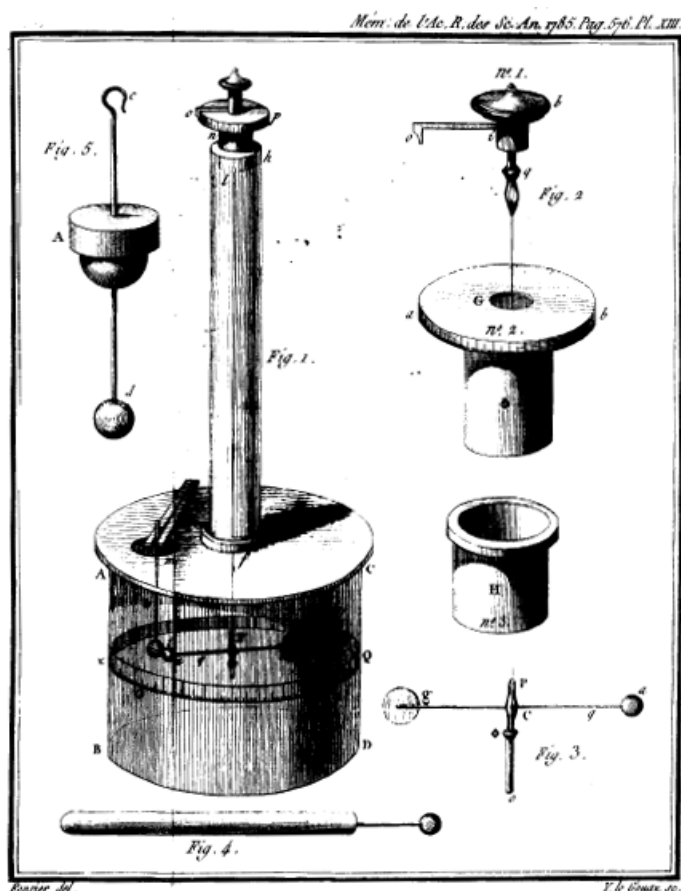
Charles Augustin de Coulomb 1736-1806

1785 משתמש במאזני פיתול להוכיח שהכוח האלקטרוסטטי תלוי ריבועית במרחק.

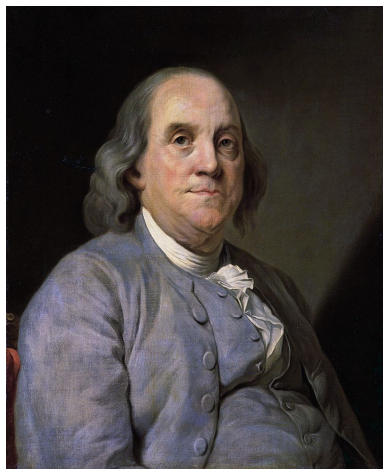
מראה שהכוח החשמלי ליד מוליך מישורי יחסי לצפיפות המטען עליו (ולא תלוי במרחק)

מציע מודל שני סוגי נוזלי חשמל במקום אחד (שחסרונו - מטען שלילי) וגם שני נוזלי מגנטיות.

בעוד אחרים התעסקו ביצירת חשמל, קולון היה הראשון למדוד מטען חשמלי ומגנטיות שהושרתה במעגל בו זרם חשמל. יחידת מטען חשמלי נקראת על שמו.



מאזני הפיתול ששימשו את קולון לקביעת תלות הכח החשמלי במרחק



Benjamin Franklin 1706–1790

פיזיקאי ופוליטיקאי. 1776–85 שגריר ארה"ב לצרפת. חקר מטענים חשמליים.

1747 ממציא תיאורית נוזל חשמלי שקיומה "מטען חיובי" וחסרונה "מטען שלילי". חוק שימור זרימה במוליך. גם גילה הפעלת כוח ממרחק למטען זרם חשמלי. משתמש במונחים שהמציא ונשארו בשימוש: קבל, בטריה וכו'.

1751 ברקים הם התפרקויות חשמליות. "תופס" ברק בעזרת עפיפון: מראש העפיפון הולך חוט שנרטב והיה קשור למפתח שתלה מעל בקבוק לייזן. הבקבוק הלך ונטען מהחשמל באויר עד שלא ניתן היה לגעת בו. ברק גרם לניצוץ בין המפתח לבקבוק.

מראה שחוד מתכתי מוליך חשמל טוב יותר מכדור. מראה שמטען עננים יכול להיות חיובי או שלילי.

מביא להמצאת "כולא ברקים" – עמוד מוליך המתנשא מעל הבית ומוארק לאדמה, אותה מכר.

1784 ממציא משקפיים ביפוקאליות לקריאה ולמרחק.

1786 מפת זרם הגולף.

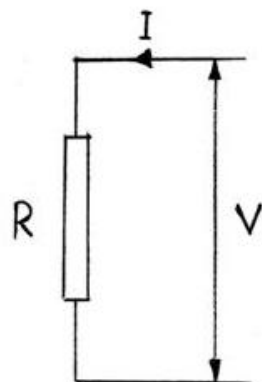




Georg Ohm (Germany) 1789–1854

1827 "חוק אוהם" מגדיר את היחס בין מתח, זרם (ישר),
התנגדות והספק.

מה איפשר גילוי החוק? (בטריה)



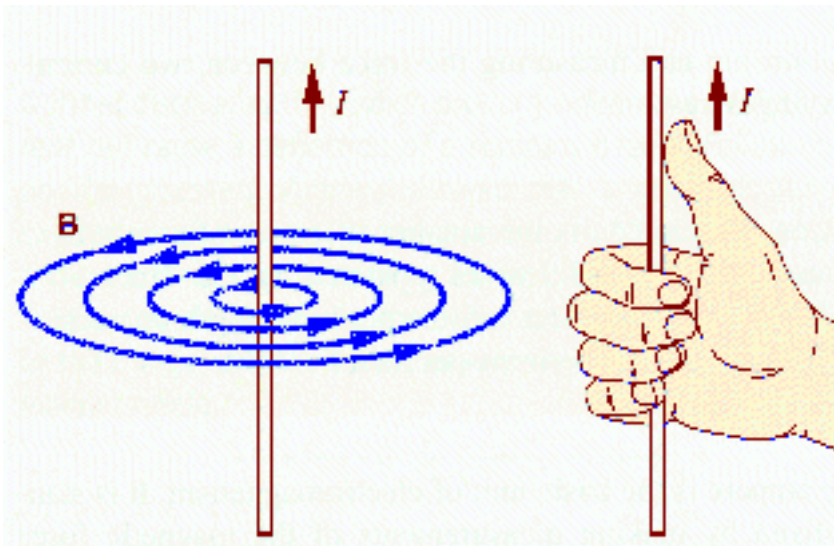
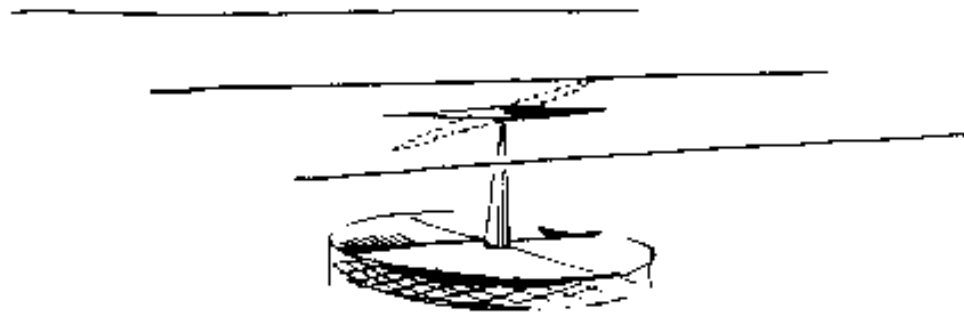
$$R = \frac{V}{I}$$

Hans Christian Oersted, Andre-Marie Ampere, Francios Arago
מראים את הקשר בין חשמל ומגנטיות



Hans Christian Oersted (Denmark) 1777-1851

1820 גילה שזרם מסיט מחט מצפן, והראה כי זרם חשמלי יוצר שדה מגנטי

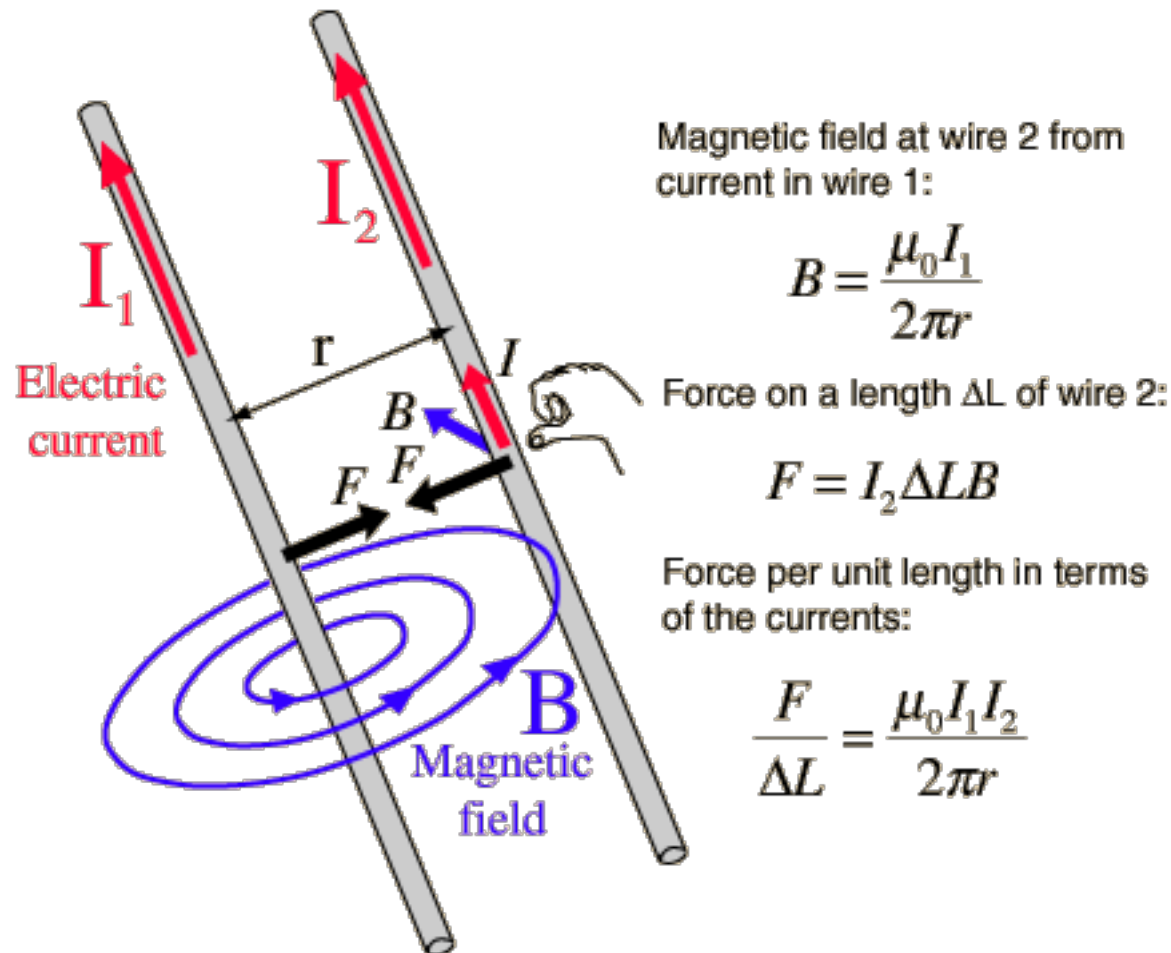


מעגל זרימת חשמל וכוון הכוח שהוא יוצר



Andre Ampere, (France) 1775—1836

1820 מראה ששני חוטי חשמל נושאי זרם דוחים או מושכים לפי אם כוון הזרם מקביל או הפוך. הכח יחסי הפוך למרחק. מודד חימום חוטי חשמל ע"י זרם חשמלי. מדידת זרם חשמלי על שמו יחידת זרם. מודד עצמת הזרם מזוית סיבוב מחט המגנט.



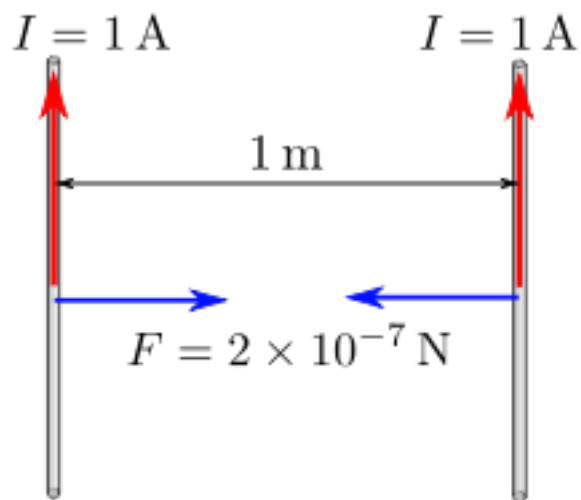


Karl Gauss 1777–1855

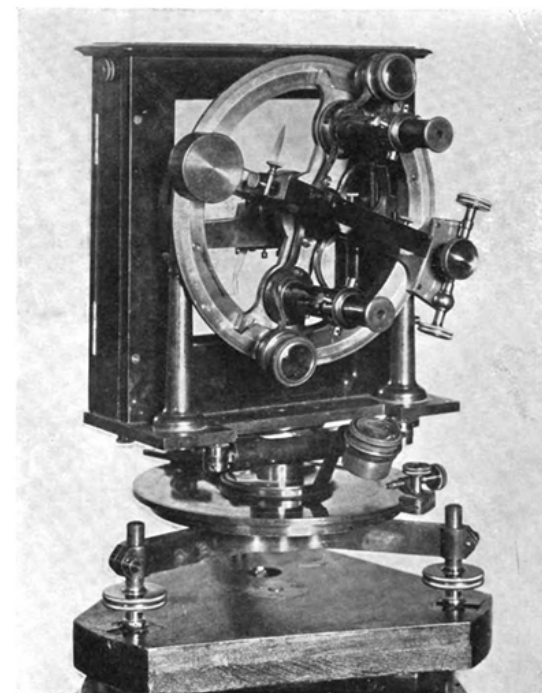
1830 בונה מגנטומטר

ומגדיר יחידת שטף השדה המגנטי (השראה מגנטית) –
הנקראת על שמו:

1 גאוס = שטף מגנטי הנוצר מזרם חשמלי של 1 אמפר
בתיל מוליך במרחק 1 מטר ממנו.



מגנטומטר



קול ומוזיקה

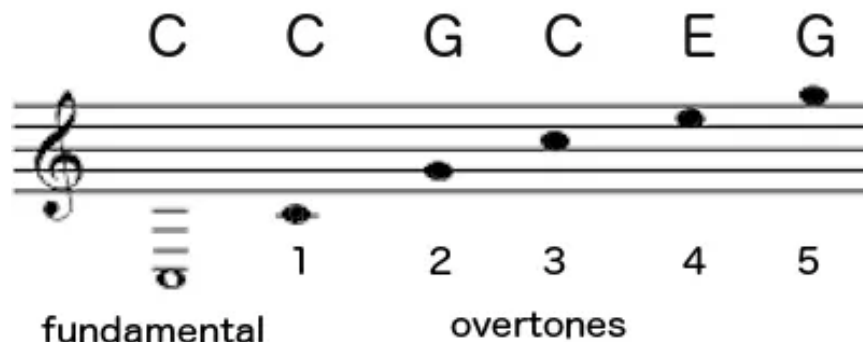
Johann Sebastian Bach 1685-1750

1704 החל לחבר מוזיקה המבוססת על יחסים פיטגוראים- אפלטוניים בין תדירויות הצלילים. באותה שנה הוסיף ניוטון לקשת הצבעים "סגול-כחול-ירוק-צהוב-כתום-אדום" "אינדיגו" כדי שיהיו 7 צבעים כמו 7 בסולם הצלילים של פיתגורס. אולם ההתפתחות מהצ'מבלו (פריטה) לפסנתר (הקשה על מיתר) הביאה צלילים חזקים בעלי עצמת הרמוניות (overtones) (בעיקר $\times 3$ $\times 5$) שלא ייצרו הרמוניות יפות באקורדים מתוים בחלוקה שווה של 6 מרווחי כפולות תדרים. "הפסנתר המשווה" הוא ספר פרלודים ופוגות שכתב בכל 24 הסולמות במז'ור ומינור כדי להדגים איזון ההרמוני בכל הסולמות.

תרגיל: בעזרת התאמה טובה ביותר של ריבועי סטיות (least squar) מצא את תדירויות הסולם דו מז'ור שבו מינימאליות תדירויות הפעימות (תדירויות הפרש) עם ההרמוניות השלישית והחמישית.

ההרמוניות: דו-מי-סול

C-C(twice)-G(fifth away from C)-C(four times)-E-(third away from C)



חלוקה פיטגוראית: אוקטבה-פקטור 2 בתדירות, מחולקת ל-6 מרווחים: 5 מרווחים שלמים ושני חצאי מרווחים (ראה טבלא בעמוד הבא):

מרווח שלם: כפולת תדירות $2^{-1/6} = 1.122462$

חצי מרווח: כפולת תדירות $2^{-1/12} = 1.05946$

לה=440A

Equal temperament beatings (all figures in Hz)

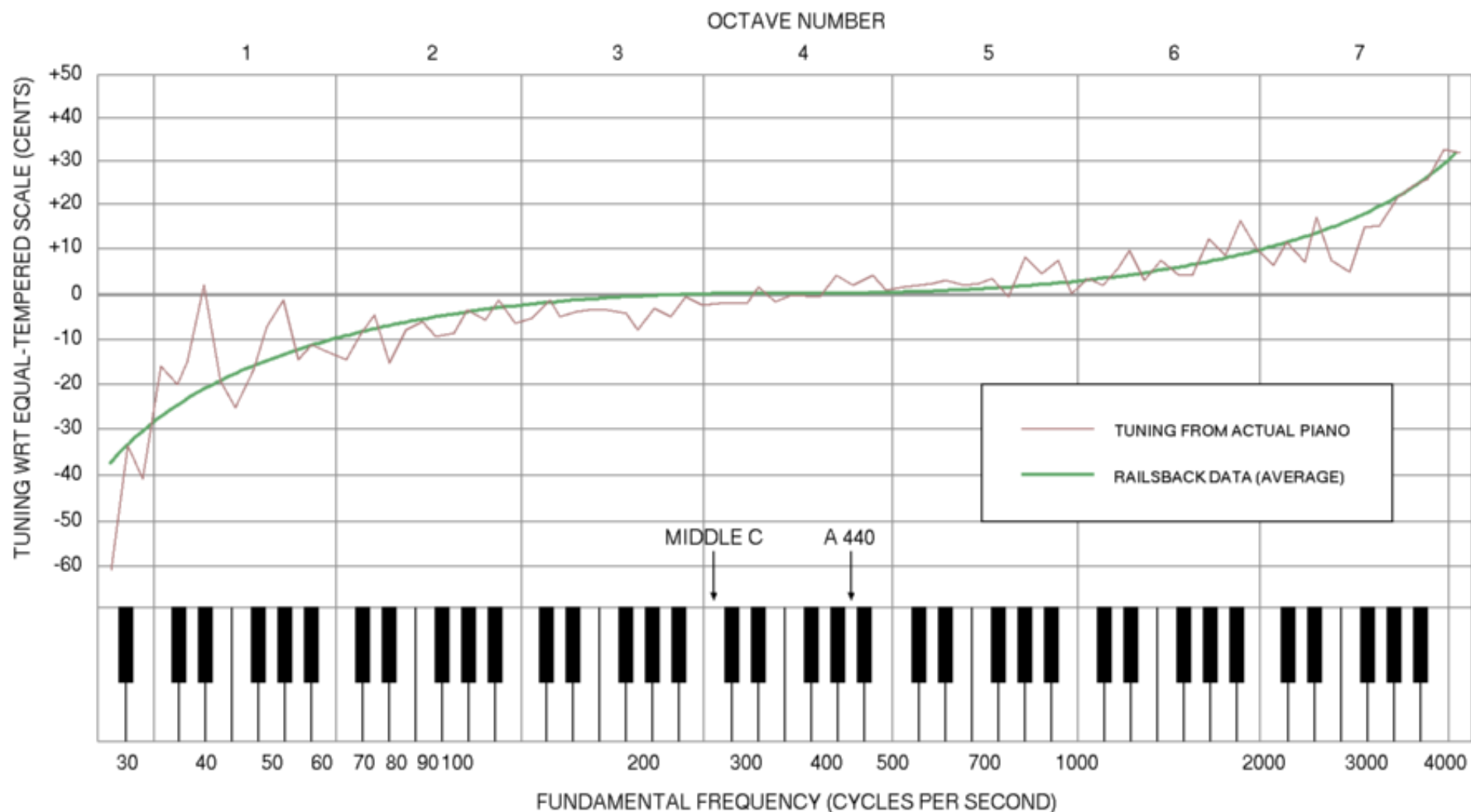
261.626	277.183	293.665	311.127	329.628	349.228	369.994	391.995	415.305	440.000	466.164	493.883	523.251
0.00000			14.1185	20.7648	1.18243		1.77165	16.4810	23.7444			C
		13.3261	19.5994	1.11607		1.67221	15.5560	22.4117			B	בן
	12.5781	18.4993	1.05343		1.57836	14.6829	21.1538			A#	סי	
11.8722	17.4610	.994304		1.48977	13.8588	19.9665			A			
16.4810	.938498		1.40616	13.0810	18.8459			G#	לה			
.885824		1.32724	12.3468	17.7882			G					Fundamental
	1.25274	11.6539	16.7898			F#	סול					Octave
1.18243	10.9998	15.8475			F							Major sixth
10.3824	14.9580			E	פה							Minor sixth
14.1185			D#	מי								Perfect fifth
		D										Perfect fourth
	C#	רה										Major third
C												Minor third

The pitch of beatings

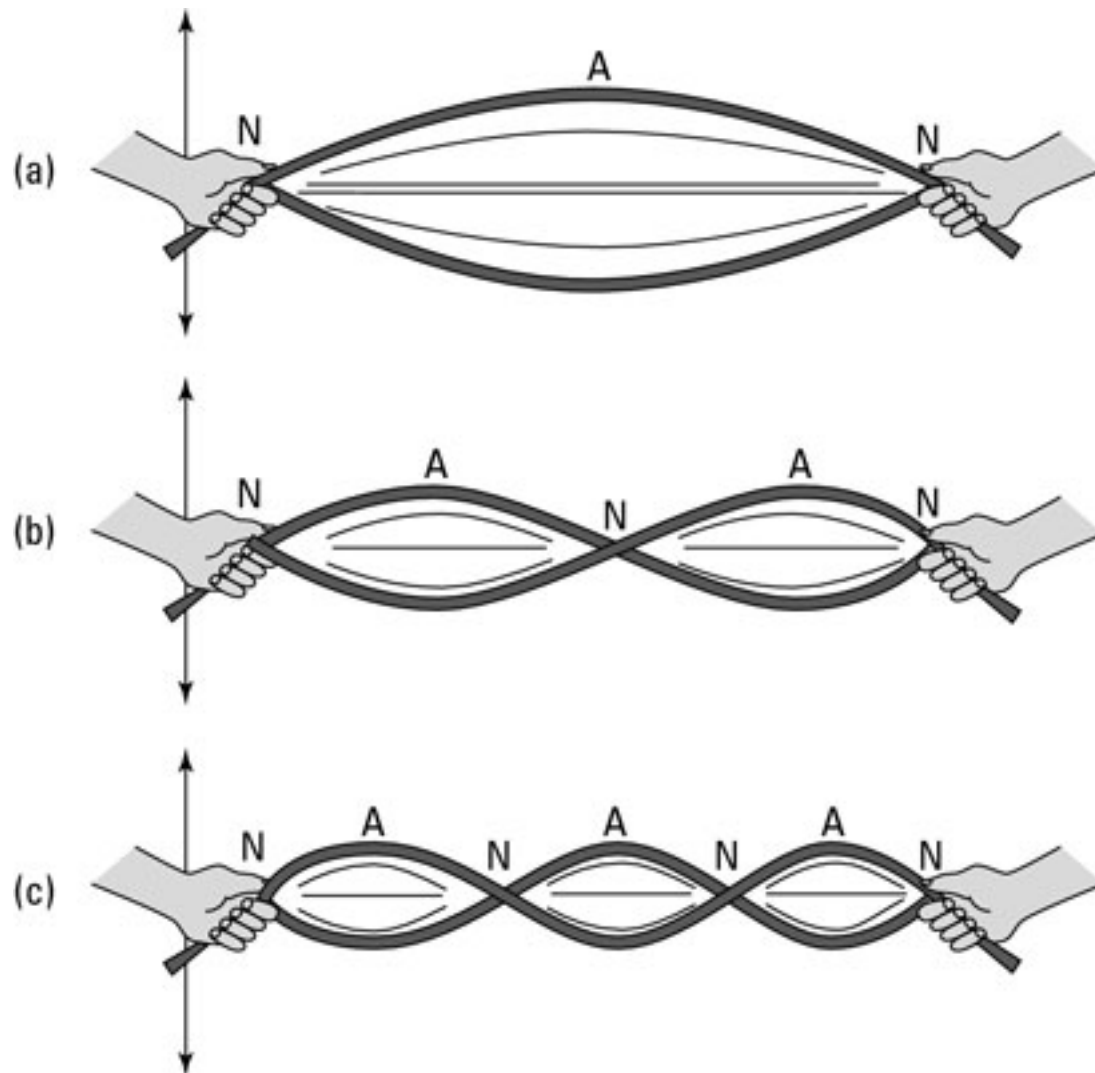
Interval	Approximate frequency ratio	Beating above the lower pitch	Tempering
Octave	2:1	Octave	Exact
Major sixth	5:3	Two octaves and major third	Wide
Minor sixth	8:5	Three octaves	Narrow
Perfect fifth	3:2	Octave and fifth	Slightly narrow
Perfect fourth	4:3	Two octaves	Slightly wide
Major third	5:4	Two octaves and major third	Wide
Minor third	6:5	Two octaves and fifth	Narrow
Unison	1:1	Unison	Exact

Twelfth

3:1



עקומת Railsback ריילסבק המראה את סטית כוון הפסנתר מכוון מושווה, תדירות כל תו ²⁻¹² מעל התו הנמוך לידו). צלילים גבוהים מכוונים גבוה יותר ונמוכים נמוך יותר, כדי שהרמוניות השלישית והחמישית שלהם יתאימו לצלילי האקורדים.



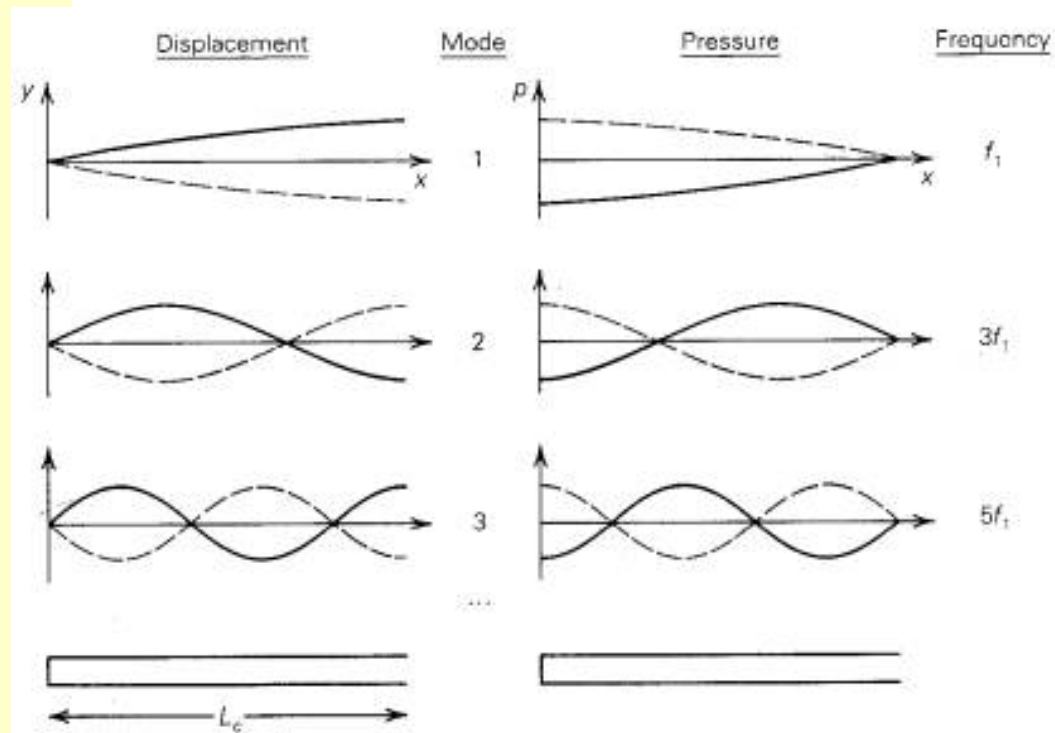
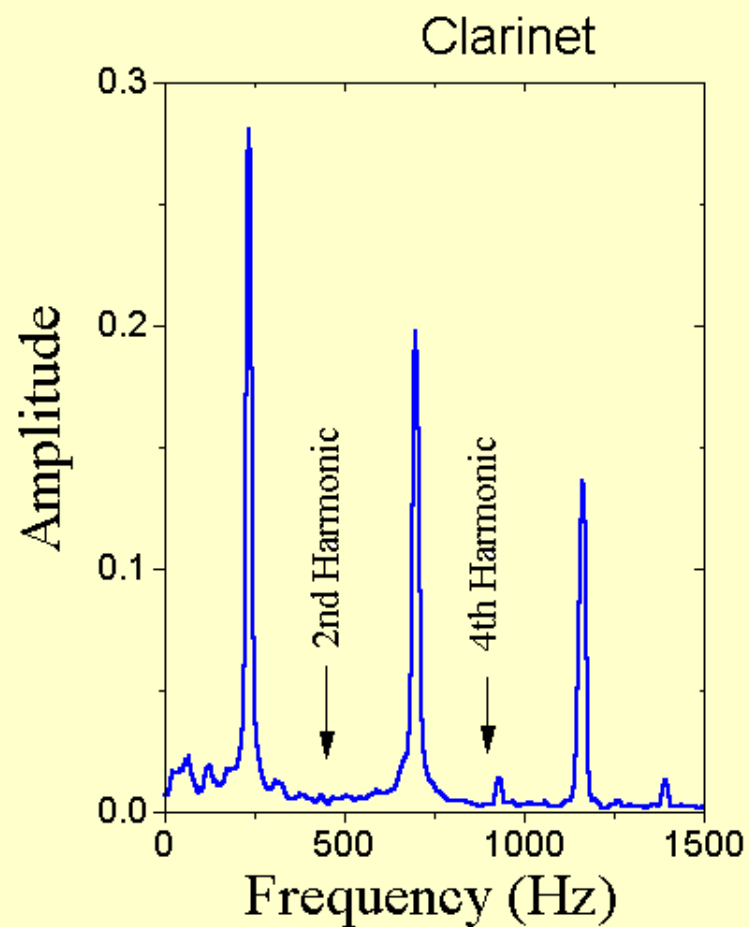
תדירות יסודית
fundamental

הרמוניה ראשונה
(תדירות כפולה)

הרמוניה שניה
(תדירות משולשת)

תנודות מיתר המקובע בשתי קצותיו

תרגיל: מה תדירויות ההרמוניות של אויר בקלרינט, הפתוח בצידו האחד?



תנודות אוויר בקלרינט הפתוח בצד אחד – רק כפולות איזוגיות

Francis Hauksbee

1705 מראה שגלי קול זקוקים לאויר כדי להתפשט.

Brook Taylor

1714 מפתח את תדירות התנודה של מיתר מתוח כפונקציה של אורך ומסה ומתיחות ממשואה דיפרנציאלית.

John Shore

1711 קולן (מזלג כוון)

1733 - Daniel Bernoulli

1733 מפתח את התדירות היסודית וההרמוניות של תנודת שרשרת תלויה, מתוך פתרון משוואה דיפרנציאלית



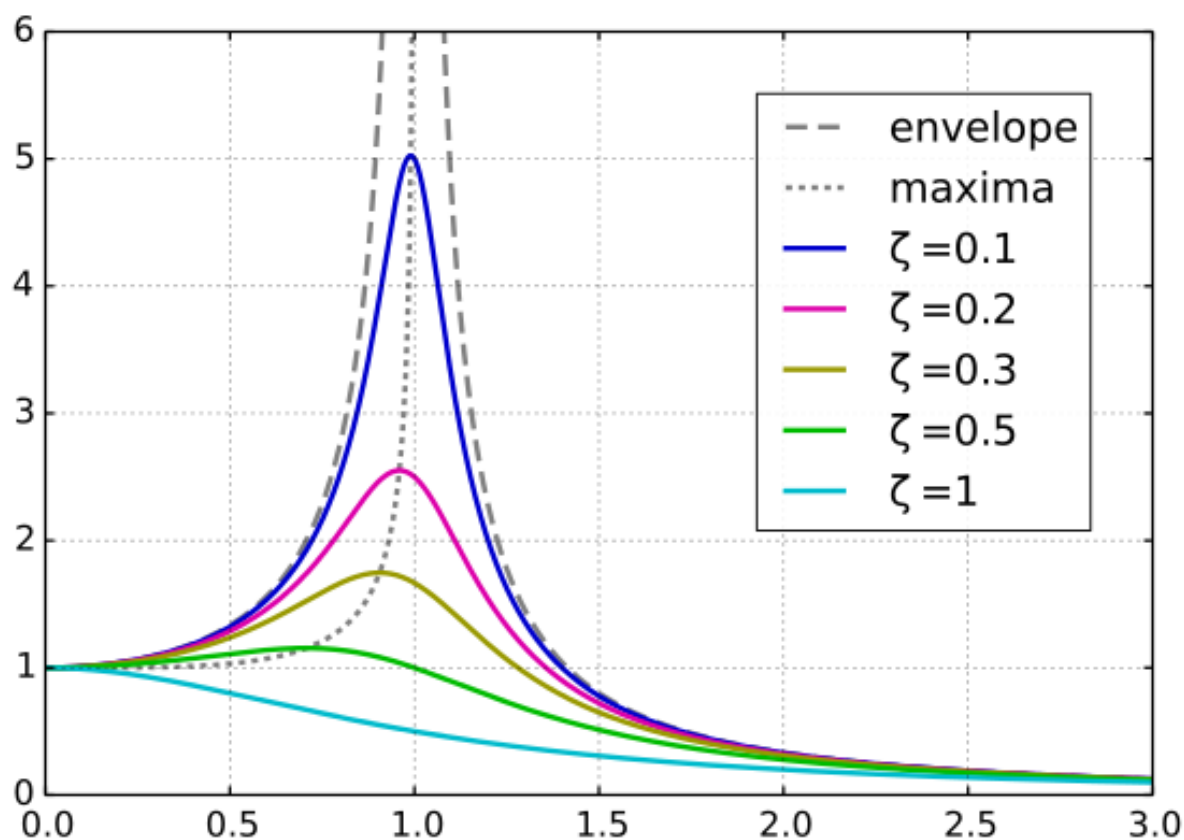
קולן 440-

Leonhard Euler

1739 פותר את התנועה המאולצת של אוסילטור הרמוני ומציין את אפקט הרזוננס

רזוננס $A(w)=A_0/(w^2-w_0^2)$ ורזוננס עם "חיכוך" $A(w)=A_0/(w^2+d-w_0^2)$

האם ניסיתם לנדנד מוט בתדירות הרזוננס שלו?



כימיה

מאלכימיה לכימיה

כימיה הפכה למדע במחצית השניה של המאה ה-18 הודות למחקריו של לבואזיה. הוא הוכר כשובר תורת ארבעת היסודות של אריסטו ושלושת העקרונות של Paracelsus. לפי לבואזיה מספר היסודות ייקבע מנסיונות ואנליזה כימית של חמרים, ומצא לפחות 33 חמרים פשוטים / יסודיים כאלה בטבע. למרות שכימיה משתמשת בסימונים של האלכימיה, היא אינה ממשיכתה, אלא המשך של רפואה, פרמקולוגיה, מינרלוגיה וטכנולוגיות של אומני הברזל, הזכוכית, הבניה, הציור והפיסול וכו'. אלה הצטרפו להתפתחות בהבנת הטבע ע"י חוקים מתמטיים.

ארון הכימיה של פטר ליאופולד

Peter Leopold's chemistry cabinet (1747-1792) Grand Duke of Tuscany

בזמן שלטונו בטוסקאנה בשנים 1760–92 קידם מדע במסירות ובתשוקה רבה, תוך עניין אישי בהמצאות, בעיקר בכימיה. הוא אסף נסיונות והכנות של חמרים כימיים בארון, שבהפתחו ייצר מעין מעבדה עם מגירות בקבוקים לאיחסון לחמרים, מיכלים לריאקציות, נרות לחימום ומפוחים.

העניין בכימיה נבע גם מהבנת התועלת בצבירת ידע, אך סימל את רוח הנאורות. הארון הפך לסמל מסחרי לרוקחים במאה הבאה.

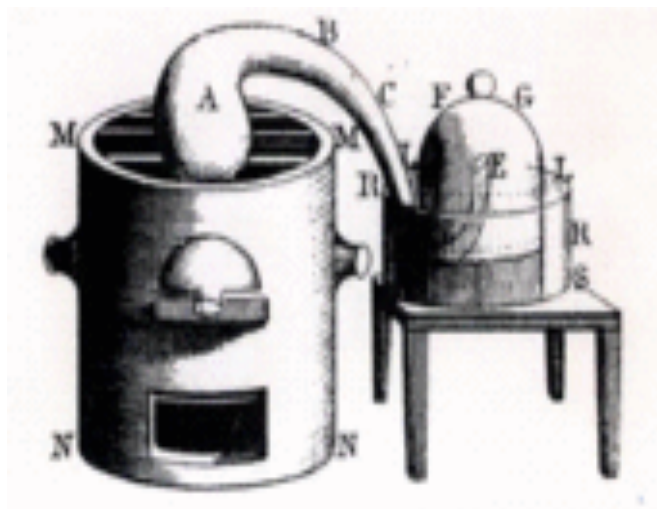
גילוי אמריקה הביא זרם של צמחים חדשים, שאנשי הרנסאנס כפרצלזוס ניסו כחמרי רפואה. במאה ה-17 המשיך מגמה זו הצרפתי **Nicolas Lémery**. אך רק במאה ה-18 רוקחות הפך לתחום מוגדר ברפואה ובכימיה בעיקר בגלל **Antoine Baumé**, שערך בדיקות נסיוניות בחיות ובמעבדה ויישם שיטות הכנה מדוייקות לתרופות – פרמקולוגיה נסיונית.

Antoine-Laurent Lavoisier 1743-1794

בתמונה-פסלו של
לבואזיה בבנין
עירית פריז

לבואזיה נולד למשפחה פריזאית עשירה. בקולג' ספג את רוח תקופת הנאורות הצרפתית. באוניברסיטה סיים כעו"ד, והמשיך ללמוד מדעים ובהשפעת מוריו מצא את אהבתו בכימיה ובשטח זה פירסם את עבודתו הראשונה ב-1764. ערך סקר גיאולוגי באלזס-לורין ב-1767 ונבחר בגיל 25 לאקדמיה עקב חיבור על תאורת רחוב ובהוקרה לעבודותיו הקודמות. המשיך במיפוי גיאולוגי של צרפת. בגיל 26 התמנה לגובה מיסים בחברה חקלאית, וערך שינויים כדי לעזור לחקלאים. בתקופה זו גם השתתף ביישום השיטה המטרית. 1771 נישא למרי אן בת ה-13 שתהיה שותפתו המדעית. היא תירגמה עבורו פירסומים מאנגלית על פלוגיסטון ועבודות פריסטלי, **Joseph Priestley**, תיעדה רישומי המכשירים שפיתח לעבודתו, ערכה את זכרונותיו ואירחה מסיבות להם הוזמנו מדענים לדיונים בעיקר בכימיה.





בציור מכשיר בו חקר לבואזיה את תורת הפלוגיסטון.
 1780 הסיק מנסיונותיו כי שריפה היא
 חיבור חומר עם "חמצן" (השם - יוצר
 חומצות, כי חשב בטעות שכל החומצות
 מכילות אותו). הוא הראה שחמצן קשור
 ביצירת חלודה, ובנשימה בחיות ובצמחים:
 מתאבולזם ותסיסה מקבלים חמצן מפירוק מים.
 הראה שחימצון חמרים מעלה את משקלם.

1774 גילוי החמצן - ע"י פריסטלי ואולי "נגנב" ע"י לבואזיה: סוף תיאורית
 הפלוגיסטון. לבואזיה הבין שהגז "אוויר מקובע", או דו-תחמוצת הפחמן, הוא חמר
 כימי שנוצר בחיבור חמצן ופחמן (מירקות חרוכים).

1780: Jean-Paul Marat

תורת השריפה. "נגנבה" ע"י לבואזיה.
 1789 לבואזיה מגדיר את חוק שימור המסה - מעליית משקל ברזל שהחליד. תחילת
 הכימיה המודרנית.

1780 בעבודתו עם לפלאס **Pierre-Simon Laplace** הסבירו שריפה כחיבור עם חמצן, ולכן שללו את התורה שטענה שבשריפה הפלוגיסטון משתחרר. הניחו לכן כי חום הוא סוג של חומר, "קלוריק", המתווסף בשריפה.

Caloric Heat Theory (~1780's to ~1860's)

הם ערכו נסויים ראשונים בכימיה פיזיקאלית כשמדדו בקלורימטר את החום שנוצר בשריפת פחמן, ומדדו שנוצרה כמות חום דומה בנשימה של חזרזירון גיניאה ולכן הסיקו שעיכול מזון היא מעין שריפה איטית בחמצן המסופק בנשימה. המדידה נעשתה במיכל מקורר בקרח בטמפרטורה של 0 מעלות, ע"י שקילת המים שנמסו. להמסת ק"ג אחד של קרח מצא שצריך 80 קלוריות גדולות. למעשה משתמע מהעבודה חוק שימור אנרגיה.

הגדירו "חום סגולי" החום הדרוש להעלות טמפרטורה של חומר במעלה אחת. לבואזיה קרא ל"אוויר המתלקח" שגילה קוונדיש "מימן" **hydrogen** הינו- יוצר מים, כי הראה שבשריפתו הוא מתחבר לחמצן ויוצר טיפות טל, כמו שהראה פריסטלי, שהם מים. הוא מצא שאוויר מכיל בעיקר חמצן וחנקן, ובכך שלל את תורת אריסטו כי מים ואוויר הם יסודות.

לבואזיה נהג להשתמש בתוצאות של אחרים מבלי לתת קרדיט, אך ידע להסיק מהם מסקנות שהיו מעבר לפירסומי מתחריו. במסקנותיו היה הראשון לתאר כימיה כמותית, שקל בקפדנות את החמרים לפני ואחרי התגובות הכימיות, והבין שגם אם הצורה הכימית של החמרים השתנתה, נשמרה המסה הכללית שלהם. 1789 חוק שימור המסה נוסח ב-1748 גם ע"י לומנוסוב **Lomonosov** **1711-1765** וניסוחים דומים שוייכו גם לאחרים כגון: **Joseph Black , 1728-1799, Henry Cavendish, 1731-1810 & Jean Rey , 1583-1645.** ולמרות זאת ניסוח שימור החומר שלו מ-1782 היה ציון דרך מוכר, גם מאחר והיה מגובה בשקילה קפדנית של מרכיבי ותוצרי התגובות הכימיות.

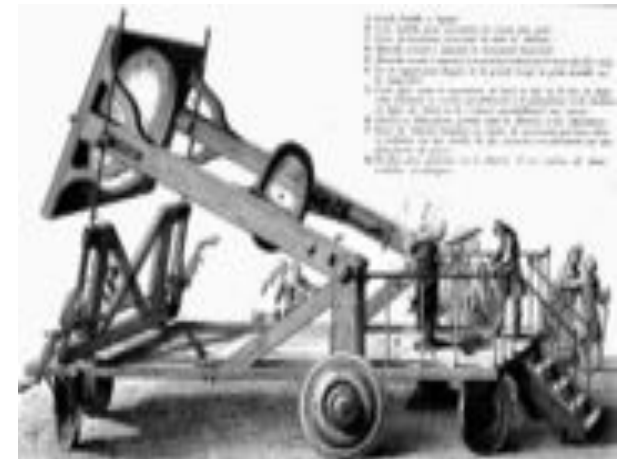
לבואזיה נחשב גם לראשון שהגדיר את הסטוכיוכימיה – הרכב כמותי ומוגדר למרכיבים בריאקציה כימית. **1789** הראה שגלוקוז בתסיסה הופך לאתנול ולדו-תחמוצת הפחמן.

1787 יחד עם Claude-Louis Berthollet, Antoine Fourcroy and Guyton de Morveau פיתח לבואזיה מערכת שמות כימיים שהקלה על תקשורת לדווח ממצאים. השמות ברובם בשימוש היום, למשל חומצה גפריתית, מלחי גפרית ותחמוצות גפרית – סולפטים וסולפידיים suflates, suflties.

1789 ספר כימיה שלו (תורגם לאנגלית ע"י קר Robert Kerr) נחשב לספר הראשון בכימיה מודרנית, מכיל איחוד תורות כימיות חדשות (שימור מסה, סטוכיומטריה קבועה בתגובות כימיות), ושולל תורות קלאסיות שגויות. הוא מגדיר יסוד כימי, והרכבת חמרים כימיים ע"י תגובה בין היסודות. יסודות שהזכיר: חמצן, חנקן, מימן, זרחן, כספית, אבץ וגפרית, אך גם אור וחום (קלוריק) שהאמין כי גם הם חמרים. למרות שתורתו לא התקבלה בקלות ע"י הכימאים בני דורו, היא היה מבוססת היטב בגלל חריפותו התיאורטית, ושיכנעה את בני הדור הבא. הוא הגה את רעיון הרדיקאלים כיחידה המשתתפת בתגובה כימית (כגון חימצון). כשגילה שיהלום הוא גביש של פחמן היה הראשון להכיר באלוטרופיה.



1770 נסיון הדלקת
חמרים בוערים במוקד
אור שמש של לבואזיה



לבואזיה התערב לטובת מדענים זרים כגון המתמטיקאי לגראנז' מהם נלקח כל רכושם וזכויותיהם האזרחיות. כאחד מ-28 גובי המס הצרפתים הואשם לבואזיה בבגידה, וכנראה מריבה לפני כמה שנים עם מרה הצעיר **Jean-Paul Marat** כשחשף המצאה שלו כמגוכחת, חרצה את גורלו כשמרה הפך למדען מנהיג במהפיכה. הוא נשפט וראשו נערף בגיליוטינה ב-1794 ע"י משטר האימה של רוביספייר כשהיה בן 50. נסיון לחון אותו נענה ע"י השופט: "המהפיכה אינה זקוקה למדענים או כימאים". לאחר העריפה אמר לגראנז': "לקח רגע לערוף את ראשו, אך תידרש לצרפת מאה לגדל ראש כזה". שנה לאחר מכן המדינה חנה את לבואזיה והחזירה לאישתו את רכושו. פסל ברונזה שלו שניבנה בפריז השתמש בראש של נשיא האקדמיה. הפסל הותך במחה"ע השניה. בבנין העיריה של פריז ובאגף נפוליאון בלובר נמצאים פסלים שלו עד היום.

בזמנו נאמר שכימיה היא לאנשי עסקים, פיזיקה וגיאולוגיה לג'נטלמנים. ואכן ענשי עסקים עשירים החזיקו "ארונות כימיה" כבילוי והצגות קסמים לאזרחיהם. לבואזיה היה זה שהפך את הכימיה למדע, ולכן כונה "אבי הכימיה המודרנית".

Sir Benjamin Thompson, Count Rumford 1753-1814

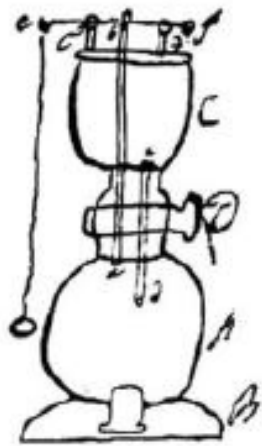
1753 טומפסון פיזיקאי אמריקאי ששרת את הבריטים במלחמת העצמאות, חזר לאנגליה כאדמיניסטרטור מוכשר, ותכנן אוניות נשא את אלמנתו של לבואזיה Lavoisier שראשו נערף במהפיכה הצרפתית. הוא נשכר במינכן-בבאריה וב-1790 קיבל את התאר **Count von Rumford** מהקיסרות הרומית הקדושה. עיסוקיו בחמרי נפץ קירבו אותו לטרמודינאמיקה: חום סגולי, בידוד מעבר חום ע"י פרווה בגלל עצירת הסעת האויר, סיבה תיאולוגית לבריאת חיות עם פרווה, הסעת חום בנוזלים, מול הולכת חום גרועה. זירמי אדמה וזירמי אוקיינוס. האמין בקרינת חום וקרינת קור. הוא הראה שבקידוח לוע התותח נוצר חום - והסיק שחום הוא תנועה: תחילת שימור אנרגיה. הוא המציא פרקולטור קפה, ואח לחימום הנקרא על שמו Rumford Fireplace בו יש סדק קטן ליציאת אויר לארובה הגורם למשיכת העשן אך חסכון בבריחת אויר חם. 1799 ייסד את האגודה המלכותית הבריטית יחד עם בנקס **Sir Joseph Banks**. הציע הסעת חום בקליפת כדור הארץ.

Sir Joseph Banks 1743-1820

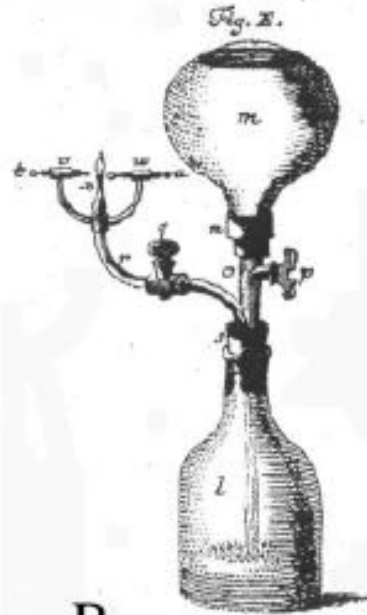
הנשיא הראשון של האגודה המלכותית הבריטית למדע. לאגודות חשיבות בפירסומים מדעיים, ובאירגון וגיוס כספים למשלחות מדעיות.

Alessandro Volta 1745-1827

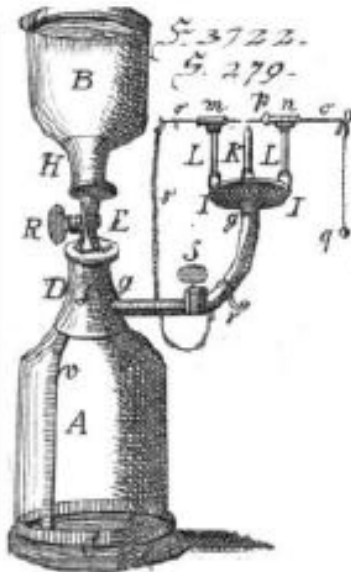
1776 וולטה אוסף גז שפולח בבועות בביצות באגם הגדול Lago Maggiore בצפון איטליה, וקרא לו "גז ביצות דליק". גז המתן methane. הוא הראה שהגז, כמו מימן, מתלקח מניצוץ חשמלי, ורצה לבנות מצת גז. כשנוכח בצורך למיכל גדול עבר לבנית מצת מימן משני מיכלי זכוכית, בפתיחת הברז המים במיכל העליון דחקו את הגז במיכל התחתון לצאת בצינור ולהידלק בניצוץ מקבל לידן. הרעיון פותח ע"י בוני מכשירים אחרים כשהגז נוצר מאבץ במגע עם חומצה, והפך למוצר ראווה בסלונים של עשירים. המצאת הגפרור הפכה את מצת הגז למיותר.



A



B



C



D

וולטה - המשך Volta

1775 ממציא את התא החשמלי, שפעולתו מוסברת תיאורטית ע"י ווילקה Wilcke אינו מקבל תיאורית החשמל המיוחד בחיות של גלואני - אותו חשמל.
1792-3 בונה את הסוללה הכימית הראשונה - מצבר. שתי מתכות שונות, דיסקים של כסף ואבץ שביניהן קרטון ספוג בתמיסת מלח, מושקעות באלקטרוליט. מגלה את חשיבות סגירת מעגל חשמלי.

Johann Sulzer

1752 מניח בדיל וכסף על לשונו וחש בזרם שנוצר - "מבחן לשון" לבטריה

Joseph Black

1750 מתאר חום כמוס

1754 מחמם ל- CaCO_3 ומקבל גז CO_2 ו- CaO ובקירור חוזר למקורו. קורא לגז "אוויר כלוא" כי ניתן לכולאו בחמר מוצק.

1757 מבדיל בין חום לטמפרטורה, ומסביר מעברי פאזה מוצק-נוזל-גז

1761 קרח נמס מבלי לשנות את הטמפרטורה שלו

Henry Cavendish 1731-1810

שימור אנרגיה,

1797 מבודד מימן, ומראה ששריפתו (התפוצצות בעצם) עם חמצן מייצרת מים.

Joseph Priestley 1733-1804

1781 מייצר מים מהדלקת מימן בחמצן

Pilatre de Rozier

מפוצץ מימן

Noble gases

(later edited by **James Clerk Maxwell**)

Joseph Gay-Lussac 1778-1850

כימאי אנליטי, חקר התפשטות גזים ותכונות בורון ויוד.
המריא לגובה 7 ק"מ בבלון פורח.

Thomas Wedgwood 1771-1805

כימאי שהשתמש במלחי כסף ליצור את לוח הצילום הראשון

Karl Wilhelm Scheele – Sweden

1750 בשבדיה, מייצר זרחן לגפרורים.
מבודד כלור (כמלבין בתמיסה), פלואורת מנגן, באריום, מולבדן, טונגסטן (וולפרם) חנקן.
1772-4 מבודד חמצן מקרבונט הכסף "אוויר אש" אך מפרסם תוצאות רק אחרי פירסום פריסטלי. מראה שהאוויר מכיל חנקן, מבודד גליצרין וחומצות שונות (טרטרית, לקטית, יורית, פרוסית, ציטרית, טנית, מלית וגאלית)
1777 מבדיל בין איבוד חום בקרינה, בהסעה ובהולכה.
מת מבדיקת חומצה הידרוציאנית.

Henry Cavendish 1731-1810

1766 מבודד "אוויר דליק", שכונה מימן ע"י לבואזיה, מבדיל אותו מדו תחמוצת הפחמן, ומודד את המשקלו הסגולי

Joseph Priestley 1733–1804

1774 הוכר כמגלה "האוויר חסר הפלוגיסטון" שנקרא חמצן ע"י לבואזיה, וכן גילה גופרית דו-חמצנית ואמוניה.

Humphry Davy

1800 הוכר כמגלה הכלור
פרופסור לכימיה, שבודד אלמנטים ע"י אלקטרוליזה – אשלגן K נתון Na מגנזיום Mg קלציום Ca
סטרוניציום St ואלומיניום Al
1829 דייבי נפטר מהרעלת NO

Jeremias Richter

1791 מייסד סטויכיוכימיה – עקרון תגובות כימיות קבועות

Jeremias Benjamin Richter

1792 מפרסם מדידות על "משקל אקויוולנטי" כמה חומצה צריך לנטרל בסיס.

Guillaume François Rouelle

1744 חומצה עם חמר נוסף הופכת למלח

George Brandt

1730 גילה קובלט

Charles François de Cisternay Dufay

1730 טוען שכל חומר, מלבד מתכות ואבנים חן קשות, יכול להיות פוספורצנטי

Thomas Melvill

1752 מוצא שספקטרום להבה בה הוכנסו מלחי מתכות תלוי בסוג המתכת.

Jacob Berzelius 1779-1848

כימאי שבדי, חלוץ האלקטרוכימיה, 1828 טבלה ראשונה למשקל 28 אטומים. סימון היסודות באותיות הראשונות של שמם.

Axel Fredric Cronstedt

1751 מגלה ניקל

Joseph Louis Proust

1799 חוק היחסים הקבועים בקישור יסודות לתרכובות, אותו מציע מנסיונות בקישור נחושת פחמן וחמצן לקרבונט הנחושת בדרכים שונות.

Eli Whitney

1794 רושם פטנט לג'ין מכותנה

Peter Jacob Hjelm

1782 גילוי מולבדן

גאזים וטרמודינאמיקה

Gabriel Daniel Fahrenheit

1709 בונה טרמומטר אלכוהול, ו-5 שנים אח"כ, 1714 בנה טרמומטר כספית

Celsius

1742 מפתח סקלת טמפרטורה של מעלות צלזיוס

Stahl

1723 קרן לכימיה נסיונית שהופכת פופולארי את הפלוגיסטון ורעיונות בכר **Johann**

.Becher

Hermann Boerhaave

1724 מציע שחום הוא סוג של נוזל

Johann Juncker

1730 בספר מרחיב בעיקביות את תיאורית הפלוגיסטון

George Martine

1739 מציין שנפח גוף אינו יחסי לכמות החום שהוא אוגר

Mikhail Vasilievich Lomonossov

1744 מפרסם מאמר על הסיבה לקור וחום: חום הוא מעין תנועה

1748 ניסח את חוק שימור האנרגיה והמסה

William Cullen's

1756 קירור באידוי נוזל – חום כמוס במעברי פאזה

Daniel Rutherford Black's student
1772 מתאר חנקן – "שארית האויר" או "אויר ללא פלוגיסטון"

Johan Carl Wilcke

1772 מחשב חום כמוס להמסת קרח

1781 חום סגולי

John Smeaton

1776 מאמר על נסיונות הקשורים להספק, עבודה, תנע ואנרגיה קינטית: אישוש שימור אנרגיה

Jacques-Alexandre Charles

1787 מציע מנסיונות את "חוק צ'ארלס" המשלים את חוק בוייל: היחס הישר בין טמפרטורה לנפח גז. התפשטות גזים שונים שוה בשינוי טמפרטורה זהה. החוק פורסם ע"י גיי-לוסק ב-1802, ממנו הסיק קיום האפס המוחלט.

Pierre Prévost

1791 קור הוא חוסר חום, וכל הגופים פולטים קרינה. אין פליטה רק בקיום שוי משקל עם טמפרטורת הסביבה.

T. Wedgwood

1792 שם לב שמתכות שונות בחימום נעשות אדומות באותה טמפרטורה

Richard Kirwan

1791 תומך לשעבר בפלגיסטון מודה שיש לדחותה לאור הנסיונות

Count Rumford (Benjamin Thompson) 1753-1814

1798 מודד חום חיכוך בקדיחת תותחים – חום נוצר מאנרגיה קינטית – עבודה שיוצרת חיכוך. מנסה לשלול את התורה הקלורית בכך שחימום גוף אינו מוסיף למישקלו.

Humphrey Davy (1778-1829)

1799 שיפשוף קרח מדגים התמרת עבודה לחום: גוף יכול לייצר כמות בלתי מוגבלת של חום, בניגוד לתורה הקלורית של לבואזיה. מסיק שחום הוא תנועה, לפי טענתו של ניוטון.

Guillaume Amontons

1702 מציג את רעיון האפס המוחלט מחוקי הגאזים – לחץ יחסי לטמפרטורה, ומאחר ולחץ הוא חיובי, יש גבול תחתון לטמפרטורה.



John Dalton 1766-1844

כימאי ומטאורולוג.

1803 אטומי יסודות מאופיינים במשקלם - התורה האטומית:

כל החמרים מורכבים מאטומים
לא ניתן ליצור או להשמיד אטומים
כל האטומים של אותו יסוד זהים
ליסודות שונים סוג אטומים שונה
בתגובה כימית אטומים מסתדרים מחדש
תרכובות נוצרות מאטומים של היסודות המרכיבים אותן

1808 טבלת 20 יסודות.

מקדם ההתפשטות של גזים.

מדידת לחץ אויר כתלות בגובה הרים בסקוטלנד

Dalton law of partial pressures $p = \sum p_i$

מנועי קיטור

Thomas Newcomen

1712 בונה מכונת קיטור עם בוכנות

James Watt 1736-1819

מהנדס סקוטי, שבנה יחד עם בולטון **Matthew Boulton** את מכונת הקיטור הראשונה.
בנה עם הכימאי האמפרי דייוי מכונת נשימה לגאז gas-breathing device
1765 מכונת הקיטור שלו יעילותה פי 6 מזו של ניוקמן **Newcomen**
1769 רושם פטנט למכונת הקיטור עם מעבה נפרד ומשאיבת אויר לאספקת קיטור
לבוכנה, הוסיף שליטה לביטחון – אם המכונה מתחילה לפעול מהר מידי, יש הורדת
אספקת אנרגיה אוטומאטית. טבע את המונח "כוח סוס" לכמות עבודה ליחידת זמן
1782 נבנית מכונת קיטור ראשונה.

חשוב לציין שעקרון יצירת כוח ותנועה מאויר חם וקיטור היה בשימוש בעולם העתיק,
למשל נירון קיסר השתמש בטכנולוגיה להפעיל דלתות מקדשים.

Lazare Nicolas Marguerite Carnot 1753 –1823

1783 מגדיר תנאים אופטימאליים אבסטרקטים לפעולת מכונות ממשיות. מכונה היא
גוף ביניים המעבירה תנועה בין שני גופים שאינם פועלים ישירות זה על זה.
ראה המאה ה-19

Claude de Jouffroy

1776 ספינת קיטור

ביולוגיה ורפואה

Maria Sibylla Merian 1647-1717

~1680 מחזור החיים לצמחים וחרקים

Hermann Boerhaave

1708 ממליץ על שיטת היפוקרטס להוראות לצד מיטת החולה, וניתוחים שלאחר המוות לבדיקת קשר בין סימפטומים ונגעים

1727 , Stephen Hales

1727 חוקר עלית מים בצמחים על סמך עקרונות פיזיקאליים – פיזיולוגיה של צמחים

Thomas Fairchild

1715 לראשונה צמח מלאכותי היברידי

1718, Louis Joblot

1718 מוכיח כי מיקרואורגניזמים בתמיסה מגיעים מהאוויר, אישור למסקנת לוונהוק השוללת יצירה ספונטאנית של חיים.

Mary Wortley Montagu

1718 מפרסם חיסון לאבעבועות בטורכיה

Pierre Fauchard

1728 רופא שיניים ומנתח, מתאר דרכים לבריאות השיניים. טובע את השם 'dentist'

Hales

1733 מודד לחץ דם.

David Hume

1734 המוח אוסף סדרות של זכרונות ויחסים ביניהם.

Pierre Louis Maupertius

1745 מציע רעיון של צאצאים מאב משותף, ושחלקי הגוף נאספים בבלוטות המין מכל חלקי ההורים. תכונות מורשות נובעות משנויי נוזל או מהשפעות סביבה.

Georges-Louis Leclerc Comte_de_Buffon 1707–1788

נטורליסט וגיאולוג שעבודתו השפיע רבות על למארק וקובייה בפיתוח רעיון מוצא אחיד למינים. היה גם מתמטיקאי (הסתברות) וקוסמולוג. ניהל את גני המלך (היום מוזיאון גני הצמחים Jardin des Plantes בפריז). האמין בקטסטרופות (מבול, הרי געש, קרחונים) כמעצבי הגיאולוגיה כמו שאנו רואים היום.

1755 מציע שמינים מושפעים מהסביבה והשינויים נשמרים בתורשה.
כתב: הסטוריה של הטבע – השפעה על דארווין

Jean-Baptiste Lamarck 1744-1829

אבולוציה הדרגתית של החיים
ראה המאה ה-19

Mark Catesby 1683-1749

בנסיעות לדרום אמריקה מצייר חיות וצמחים בתוך בית הגידול הטיבעי שלהם.

Xavier Bichat 1771-1802

רופא בבית החולים Hôtel Dieu (מלון האלוהים) בפריז (ליד כנסית נוטר-דם). חקר הסטולוגיה של רקמות.

Johann Friedrich Blumenbach 1752-1840

חוקר אנטומיה בגטינגן, מייסד אנטרופולוגיה – מיון גזעים לפי מבנה הגולגולת. את אוסף הגולגולות שלו כינו "Dr.B's Golgotha"

Fanny Burney, Madame D'arblay 1752-1840

סופרת ופמיניסטית. דחפה לקבלת קרולין הרשל לחברה המלכותית לאחר שגילתה שביטים. לאחר שנתגלה אצלה סרטן שד עברה ניתוח כריתה ללא הרדמה ב-1811 אותו שרדה ופרסמה את חוויותיה.

Charles Bonnet

1745 מדגים יכולת שחזור אברים לתולעים

1746 מגלה כי כנימות הן parthenogenic

Georges-Louis Leclerc Comte_de_Buffon

1749 החל בפירסום האנציקלופדיה "תולדות הטבע" בת 44 כרכים.
טוען שמינים משתנים

Étienne Bonnet de Condillac

1746 כל הידע נבנה מהחושים, ואין רעיונות "פנימיים"

1747, Julien de la Mettrie

1747 מחשבות הן תכונה של חומר מסודר

Bernard Siegfried Albinus & Jan Wandelaar

1747 רופא ואמן מפרסמים איורים של שלד האדם ושכבות השרירים

René Antoine Ferchault de Réaumur

1752 מראה שמיצי קיבה ממיסים בשר.

James Lind

1752 בנסיון מבוקר מוכיח ערכם של פרות טריים למלחים למניעת צפדינה במסעות ימיים ארוכים.

Maupertius

1755 שילובים רבים בטבע נשמדים, ורק החלק הקטן שמסתגל לסביבה הוא שנשמר ואנו מכירים.

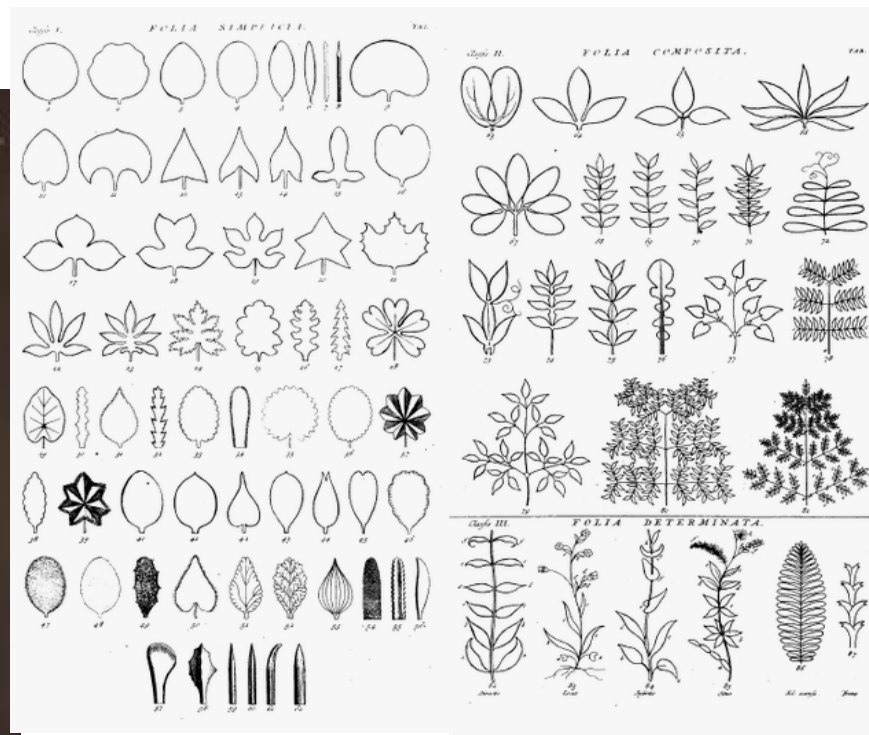
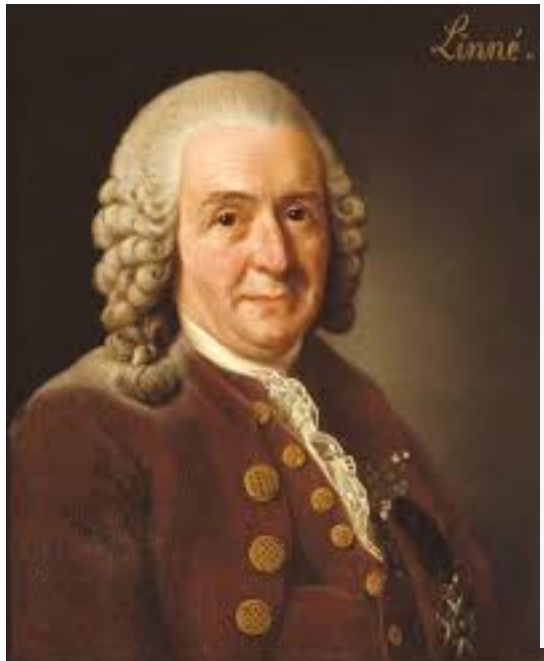
Caspar Friedrich Wolff

1759 עוקב אחר התפתחות עובר התרנגולת, ומגלה סדר ביצירת האברים: אברים שונים מתפתחים מאותן רקמות

1767 רקמות מתפתחות בעובר התרנגולת אינן נוצרות מרקמות שכבר קיימות בביצה

לינוס 1707-1778: Carl Linné – Carl Linnaeus

בוטניקאי שבדי, שייסד את הטקסונומיה הבינומיאלית לחיות ובעיקר לצמחים plant binomial taxonomy
1753 מפרסם ספר צמחים עם שיטת סווג למינים לפי תכונות וצורה. השפעה רבה על חוקרי הצמחים האנגלים במאות הבאות.



Albinus and Wandelaar

1753 חקר אנטומי של עצמות

Giovanni Battista Morgagni

1761 ספר הממליץ ללמוד אברי הגוף הפנימיים להבנת מחלות

Joseph Gottlieb Kölreuter

1761, 1766 מפרסם 136 נסיונות של היברידיזציה מלאכותית ומסיק שתורשה היא כמותית.

Marcus Antonius Plenciz

1762 סוכנים חיים גורמים למחלות מדבקות

Joseph Priestley 1733–1804

1771 צמחים מייצרים גאז שבעלי חיים ואש צורכים: חמצן

Otto Frederik Müller

1773 מבדיל בין שני סוגי בקטריות: בצילוס וספירולום

Lazzaro Spallanzani 1729-1799

1768 מאשר את ממצאי **Joblot** שמיקרואורגניזמים אינם נוצרים ספונטאנית אם מצע עשיר מחומם כדי להרוג את המיקרואורגניזמים הקיימים, ומקורר בבקבוק חתום. מסיק שהם באים מהאוויר. למרות זאת האמונה ביצירה ספונטאנית נשארה עד לפסטר, 1862 בביקורת עליו נטען שההרתחה חיסלה את "כוח החיים" הדרוש לבריאה ספונטאנית.

1765 מראה כי הפרית יונקים דורשת מגע בין זרע לביצית. הפריה מלאכותית לקרפדות ולכלב. חידוש אברי סלמנדרות שנפגעו או הוסרו בניתוח.

נווט עטלפים בעזרת גלי קול בחשך מוחלט.

1783 עיכול אינו סתם ריסוק מכאני של המזון, אלא תהליך כימי במעיים ע"י מיצי הקיבה.

1799 מת מסרטן שלפוחית השתן, בפביה. לאחר מותו נותח ושלפוחית השתן שלו מוצגת עד היום.

Denis Diderot

1769 חוקר הפרית חיות, מוטציות, איוגניקה: רביה מבוקרת כדי לקבל מינים מובחרים.
חוקר את המערכות המכאניות בגוף ואת מערכת העצבים

Johann Friedrich Blumenbach

1775 תחילת אנטרופולוגיה פיזיקאלית

Jan Ingelhouz

1779 מראה שצמחים מטמיעים דו-תחמוצת הפחמן וצריכים אור לייצר חמצן

William Withering

1785 דווח ראשון על טיפול מיימת בדיגיטליס (foxglove – אצבעונית)

1788, Jean Senebier

1788 מדגים שפוטוסינטיזה זקוקה לאור ולא לחום השמש

James Burnett Monboddo

1773-6 שלשה פירסומים על מקור והתקדמות השפה, תורה אבולוציונית. קורא
ללמד דיבור לאוראנג-אוטאנג.

Franz Anton Mesmer

1774 החל בניסויים בהיפנוזה "מגנטיות חייתית" שהחשיב כנוזל. רושם הצלחות
בטיפול במחלות פסיכוסומטיות. חלק משיטות הטיפול שלו היו בשימוש קודם ע"י
מבריחי רוחות רעות: אקסורסיסטים exorcists



Johann Wolfgang von Goethe

1790 מחפש את הצמח הראשוני. טובע את המונח "מורפולוגיה"
1791 מפרסם ספר אופטיקה, שבעקבותיו פורסם סיכום כל תופעות הצבע.
השפיע על ציורי האימפרסיוניסטים
מתנגד לרדוקציוניזם של ניוטון, ותומך בהתאמה אישית
כן, זה אותו גטה הסופר והמשורר, שכתב את "פאוסט" ו"ייסורי וורטר הצעיר"

Franz Joseph Gall

1791 תיאור מערכת העצבים כסדרת גנגליות נפרדות אך מתייחסות זו לזו.

Erasmus Darwin, Charles' grandfather

1794 מציע שחיות עם דם חם מוצאם משותף, ומעבירים תכונותיהם בתורשה. המאבק בין הזכרים מביא לשיפור המינים.

Antoine Laurent de Jussieu

1789 חשיבות האירגון הפנימי של אורגניזמים

Emmanuel Kant 1724-1804

1781-7 קנט אומר שתפקיד המוח לייצר נתונים הגיוניים בהסתמך על אינטואיציה. פילוסופיה עוברת ממאפייני קיום למאפייני מידע.

1786 תיאוריה של אחדות וחילופיות הכוחות

1790 האנלוגיה בצורת בעלי חיים מחייב מקור משותף.

Luigi Galvani 1737-1798

1791 רופא. הראה ששוק חשמלי גורם לרגל קרפדה מתה לקפוץ. מסיק שעצבים מוליכים חשמל. מפתח סליל תיל מוליך סביב גרעין ברזל בין קטבי מגנט. בעת זרימת זרם בסליל הוא מוסט, וההסטה נמדדה ע"י החזרת קרן אור – גלונומטר

1749-1823: Edward Jenner

1796 רופא כפרי, שהמציא את החיסון לאבעבועות שחורות ע"י הדבקה באבעבועות הפרה ע"י שריטה בעור. המחקר שלו החל משמועה שחולבות לא חולות באבעבועות, ושמי שחלה פעם אינו נדבק שוב במחלה.
בסוף המאה ה-18 חיסון היה ידוע ובוצע בטורכיה נגד אבעבועות ע"י פציעת העור ונגיעה בחמר מחולה קל. הילד הראה סימני מחלה קלים ואח"כ היה חסין.
כתב מאמרים על נדידת צפורים ושירתם cuckoo

Baron Georges Cuvier 1769-1832

זאולוג וחוקר אנטומיה השוואתית. כתב 22 כרכים על סוגי דגים.
1796 מבסס הכחדת מינים בטבע
ראה המאה ה-19

Frederick Wilhelm Joseph von Schelling

1797 ההבדל בין כוחות פיזיקאליים ומחשבתיים רק בעוצמתם, הטבע כפוף למוח, וידע מתמזג באחידות המוח והחמר

Thomas Robert Malthus

1798 אוכלוסיה גדלה ביחס גיאומטרי, אך אמצעי הקיום וייצור מזון גדלים באופן אריתמטי

אסטרונומיה ומדעי כדור הארץ

Halley

1705 בכנס מציין שהשביט שנראה ב-1682 הוא אותו שביט שנראה בשנים 1607 1531 והוא יופיע שוב ב-1758
1718 גם כוכבי שבת שינו מקומם מאז שתלמאי מדד את מקומם ודווח ב"אלמגסט"

Jean Bernoulli

1710 מציין כי ניוטון לא הוכיח חוק קפלר לאליפסות אלא את היפוכו, ופיתח את ההוכחה בעזרת חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי.
1742 הוכיח כי מסלולי גופים הנמשכים בכוח עם תלות ריבועית במרחק הם חתכי קונוס

1710, George Berkeley

1710 תוקף את "החלל האבסולוטי" של ניוטון. תכונות נתפסות יחסית למתבונן.

1725, John Flamsteed

1725 פרסום קטלוג כוכבים "בריטניקה"

George Graham and Anders Celcius

1727 שניהם באופן בלתי תלוי מדווחים שההפרעות על פני השמש גורמות לסערות
מגנטיות

John Harrison

1736 בנה ובדק במסע בספינה את הכרונומטר הראשון לקביעת קו אורך.
החשיבות במיסוד קוי ספנות טרנס-אטלנטיים לאספקת חמרי גלם למהפיכה התעשייתית
היה עצום.
1757 משלים את תכנון השעון השלישי שלו: צמד-מתכתי מקזז שינויי אורך מטוטלת
בטמפרטורה. מיסבים מונעי חיכוך לצירים.

Pierre Louis Moreau de Maupertius

1742 נאבולות נראות כמו אליפסות ריקות

Bradley

1748 סטיות בציר סיבוב הארץ בגלל משיכת הירח

Thomas Wright

1750 מתאר את שביל החלב כדיסק בו נעים כל הכוכבים במישור ומגמה אחת, כמו כוכבי הלכת, נאבולות – צברי כוכבים קטנים, שאולי בחלקם מחוץ לשביל החלב.

Nicolas Louis de Lacaille

1754 חוזר מכף התקווה הטובה מארבע שנות צפיה בטלסקופ בהן הוסיף 2000 כוכבים חדשים לקטלוג הכוכבים.

Immanuel Kant 1724-1804

1755 כאוס מתחיל לקבל צורה בנקודות בהם החלקיקים נמשכים חזק יותר והופכים כוכבים. כל הכוכבים בסופו של דבר הופכים מיושבים.

Johann Tobias Mayer

1755 טבלאות מיקום הירח במרווח 12 שעות לצרכי נווט.

Mikhail Vasilevich Lomonsov

1759 הארץ כיום היא תוצאה של פעולה איטית של ארוסיה ועלית שכבות.
1761 גילוי האטמוספירה של ונוס

Alexis Claude Clairaut

1758 שביט הלוי נע עקב כוחות לא ידועים.

1759 שביט הלוי חוזר – אישוש לחוקי המכאניקה והגרביטציה לפי ניוטון

Johann Heinrich Lambert, T. Wright & Kant

1761 מסיקים באופן בלתי תלוי שאנו חיים בגלקסיה מסודרת

Charles Messier

1771 פירסם קטלוג של גרמי שמיים, המוגדרים היום כגלקסיות, צברי כוכבים ונבולות

Frederick William Herschel

בונה טלסקופים הטובים ביותר בזמנו.

1781 גילוי אורנוס ותנועתו. כוכב לכת ראשון שלא היה ידוע לקדמונים. תחילה חשב אותו לשביט, אך **Anders Johann Lexell** הסיק כי הוא כוכב לכת כי הרדיוס התאים לחוק בודה. בעבר זוהה אורנוס במקומות שונים ככוכבים.

1787 מגלה את שני הירחים הגדולים של אורנוס, ושנתיים אח"כ את ירחי שבתאי (סטורן) מימס ואנסלדוס. התצפיות של כוכבים כפולים מדגים שהרבה כוכבים במסלולים סביב כוכבים אחרים

John Goodricke

1784 זיהוי **Delta Cephei** ככוכב משתנה variable star

John Michell

1783 מציין שכוכב עם מסה גדולה מספיק וחומר צפוף יכול לייצר שדה גרביטציה כה חזק שאור לא יוכל לברוח ממנו

כוכבי הלכת במסורת היהודית

קדמוניות: כל הכוכבים קבועים בגלגל הרקיע מלבד 7 כוכבי הלכת: שמש, ירח, כוכב חמה, נגה, מאדים, צדק ושבתאי.

תנ"ך: שמש, ירח ואולי "היילל בו שחר" = נגה

יוסף בן מתתיהו ופילון: 7 קני המנורה ושבעה כוכבי לכת.

האמורא שמואל (רופאו של רבי יהודה הנשיא שהגר לבבל) "הכיר את כוכבי השמים טוב יותר מרחובות עירו". נתן שמות לכוכבי הלכת: שמש: חמה (מחממת את הארץ), ירח: לבנה (צבעה הלבן), מרקורי: כוכב חמה, ונוס: נגה (הבוהק ביותר בשמים), מרס: מאדים (צבע אדמדם), יופיטר: צדק, סטורן: שבתאי (שבת, השמש-יום ראשון וכו' ל-7 שמות הימים).

אברהם אבן עזרא והרמב"ם מאה 12 - משתמשים במונח "כדור הארץ"

המהר"ל מפרג בן דורו של קופרניקוס לעג לתורתו בסיפרו "נתיבות עולם"

תלמידו **דוד גנץ** כבר תמך תמיכה גורפת בעולם הליוצנטרי בספרו "נחמד ונעים".

גלילאו מגלה לראשונה בטלסקופ ירחים לצדק - תמיכה שהארץ עצמו כוכב לכת

יוסף שלמה דלמדיגו 1629 ב"ספר אליים" רק אידיוט יטען שהשמש מקיפה את הארץ

חוק בודה (רדיוס מסלול כל כוכב לכת כפול מקודמו) מנבא כוכב ב"חור" בין מאדים לצדק

1781 וויליאם הרשל גילה כוכב שקרא ע"ש המלך ג'ורג' 1782 בודה קורא לכוכב "אורנוס" אביו של "סטורן" וסבו של "יופיטר".

החור בין מאדים לצדק התגלה ב-1801 ע"י ז'וזפה פיאצי. השם "קריס פרדיננדי" קריס-אלת

הקציר הרומית ופרדיננד מלך סיציליה שמימן את האסטרונום.

4 חדשים אח"כ מגלה היינריך וילהלם אולברס במסלול של "קריס" את "פלאס" - ע"ש טיטן.

הרשל חישב שגדל קריס ופאלס זעירים (למעשה גדולים מהחישוב שלו) וקבע שהם "דמויי

כוכבים": אסטרואידים.

1804 מתגלה "יונו" 1807 "וסטה"

1821 אלכסיס בוברד מגלה סטיות במסלול אוראנוס יוג'ין בובארד אחיינו ממשיך לאחר מותו במעקב על תנועת אוראנוס. 6–1845 המתמטיקאי אורבן לה-וריה מנבא מקום כוכב הלכת המשפיע על מסלול אוראנוס. יוהאן גלה בברלין מגלה את "נפטון" במקום המחושב. הוא אינו מתאים לחוק בודה!

1846 מכירים 12 כוכבי לכת: חמה, נגה, ארץ, מאדים, וסטה, יונו, קרס, פאלס, צדק, שבתאי, אוראנוס ונפטון

עד 1857 מבול כוכבים במסלול ווסטה, יונו, קרס ופאלס: אסטראה, הבה, פלורה, מתיס, היגיאה, פרתנופה, ויקטוריה, אגריה, אירנה, אונומיה: מ-23 רק 8 כוכבי לכת השאר אסטרואידיים.

מסלול נפטון מצביעה על כוכב נוסף המסיט את תנועתו: 1906 המליונר פרסיוול לוול מממן חיפוש. 1916 עם מותו של לוול נפסק החיפוש, וחודש ב-1929 לאחר שהאלמנה זכתה במאבק משפטי לחייב את המצפה שמימן בעלה ונקרא על שמו להמשיך בחיפוש. קלייד טומבו מצא את "פלוטו" ב-1930. השם הוצע ע"י ילדה חובבת אסטרונומיה: פלוטו. אל השאול הרומי שם לכוכב חשוך וקודר. בשנות ה-90 התגלו במסלול פלוטו כוכבים נוספים: אריס, אלת הכאוס (היוונית) שנקראו "כוכבי לכת ננסיים".

האקדמיה לעיברית: אוראנוס: אורון, נפטון: רהב, אל הים הכנעני המקביל לנפטון הרומי).

Laplace

1796 תיאורית קנט-לפלס: השמש נוצרה מסחרור ענן גאזי שנמשך ברובו למרכז בגרביטציה. החלק הרחוק יותר בגלל הסיבוב נשאר בדיסק שהפך לכוכבי הלכת.
1799 החל בפירסום ששה כוכים על כוכבי הלכת, הירחים שלהם וגאות ושפל.

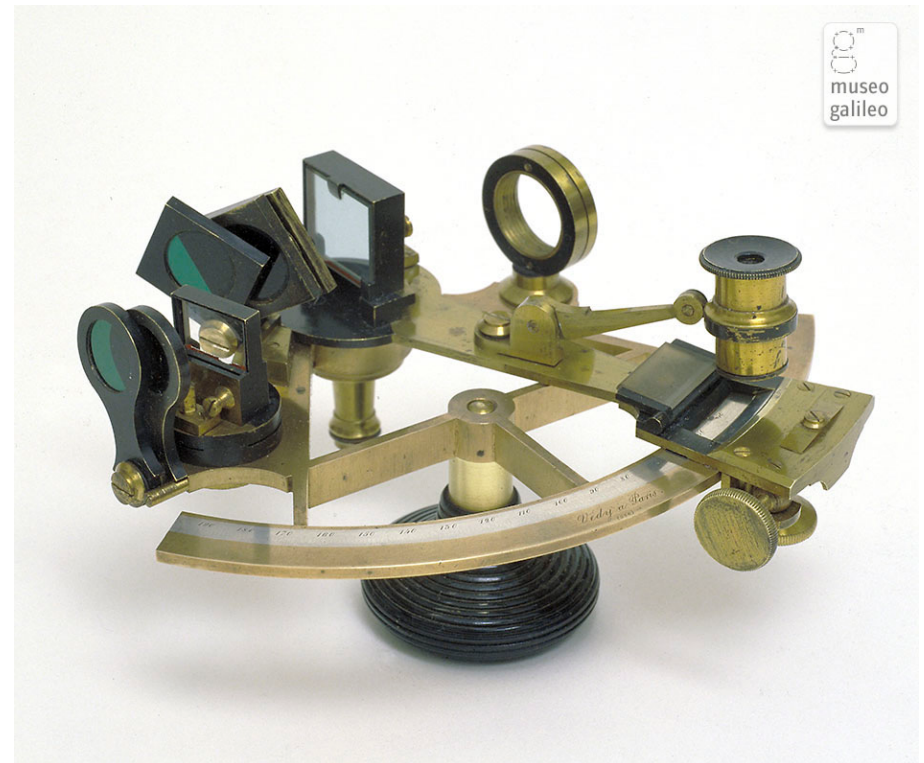
Kelvin & G.H. Darwin

השפעת החיכוך עקב גאות ושפל, על האטת סיבוב כדור הארץ.

גיאוגרפיה – עידן הגילויים

1731, John Hadley & Thomas Godfrey

1731 בנו באופן בלתי תלוי באנגליה ובפילדלפיה את הסקסטנט למדידה מדויקת של זווית בין שני גופים. בעזרת מראות נראים בעינית שני הגופים השמימיים חופפים בדיוק כשהסקסטנט מכוון לזווית שביניהם, או זווית לאופק. בתוספת טלסקופ ומד זווית רחבה הוא הפך למכשיר הנווט סקסטנט

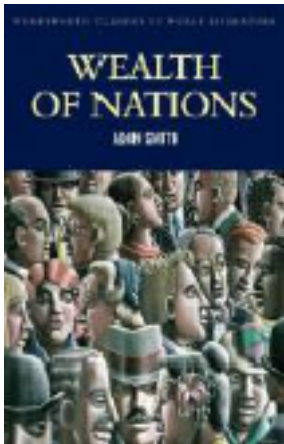


פילוסופיה

Immanuel Kant 1724-1804 הפרדת דת ממדע, הגיון
David Hume 1711-1776 טיבעיות (נטורליזם) וספקנות

פוליטיקה חברתית

Adam Smith, 1723-1790 כלכלה פוליטית, נחשב לאבי הקפיטליזם
עושר אומה בהקף הייצור ויתחזק עם מסחר והשוק החפשי.



סיפרו של אדם סמיט "עושר האומות"
הספר עדין רב מכר 250 שנה לאחר כתיבתו
כיום יש כלכלנים רבים הטוענים
שהקפיטליזם המודרני (החזירי) אינו יישום תורתו של אדם סמיט

Voltaire (François-Marie Arouet) 1694-1778 חפש הדת והדיבור

1787 – חתימת החוקה האמריקאית

1789 – המהפיכה הצרפתית

מדירות ארצות ואסטרונומיות

1735 משלחות מטעם האקדמיה המלכותית הצרפתית למדידת הקף כדור הארץ לפרו ולסקנדינביה, כדי לראות האם מעלה אחת באמת ארוכה יותר קרוב לקוטב – אישור שכדור הארץ פחוס בקטבים. המשימה: מדידת זווית הראיה לכוכב באותו הרגע של מעבר הונוס על השמש משני מקומות שהמרחק ביניהם נמדד. מכאן חישוב אורך של מעלה אחת. לפרו בהרי האנדים על קו המשווה נשלחו:

חייל מתמטיקאי – **Charles Marie de La Condamine**, והידרולוג, **Pierre Bouguer** שגם ניסו למדוד סטית אנך עקב משיכה של הר.

1761 בונה השעונים מסקרליין **Nevil Maskelyne** מסיק שהמדידות ניכשלו.

מסקרליין והריסון **Joan Harrison** "שוקלים" את הארץ מסטיית אנך ע"י הר.

1769 לפי חישוב הליי **Halley** הונוס שוב עובר על פני השמש, ויאפשר מדידת המרחק לשמש. משלחות לכל קצווי תבל הבטיחו שעננים לא יפריעו לפחות בשניים מנקודות התצפית:

(סנט הלנה) **Maskelyne** (הודו) **Guillaume le Gentil**, (סיביר) **Jean Chappe**

(סומטרה אך הגיעו רק עד כף התקווה הטובה בגלל סערות) **Manson & Jeremiah Dixon**

1769 קפיטן קוק **James Cook** מודד את מעבר הונוס בטהיטי ותובע את אוסטרליה לכתר הבריטי.

1774 מסקרליין והמתמטיקאי האטון **Charles Hutton** מאתרים הר סימטרי Schiehallion מעל

לוך טיי Loch Tay בסקוטלנד לביצוע סטית אנך עקב גרביטציה. מיפוי ההר הוליד מפות קוי גובה. הניחו צפיפות אחידה של 2.5 ג"ר/סמ"ק וחישבו את מסת הארץ 5×10^{15} טונות, ומכאן את מסת הירח והשמש.

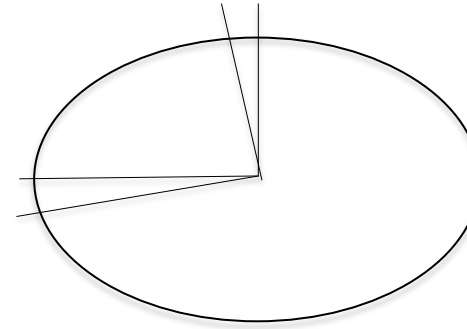
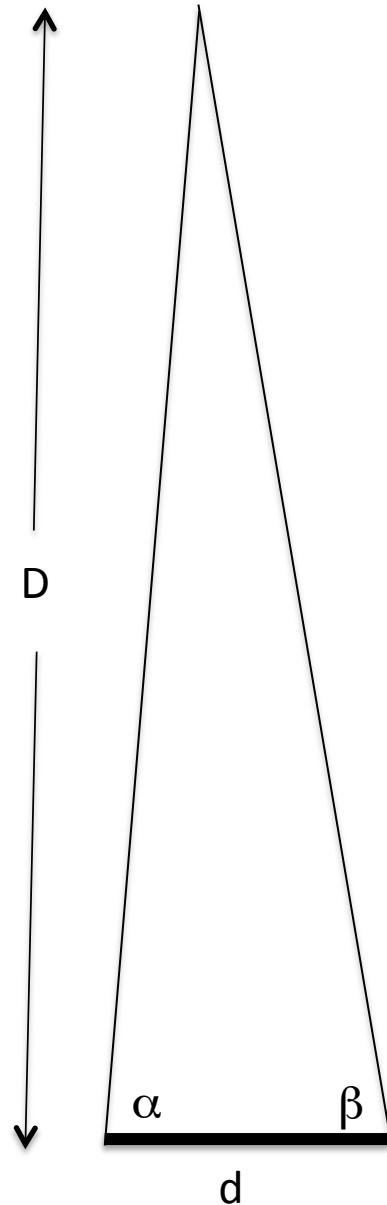
1769 מנסון ודיקסון **Manson & Dixon** עורכים את המדידה המדויקת ביותר לאורך מעלה.

עקב מומחיותם, הם נקראים לסמן את הגבול בין המושבות של פן ובולטימור **William Penn &**

Lord Baltimore (פנסילבניה ומרילנד), קו שחילק אח"כ את מדינות ארה"ב בין המחזיקות

בעבדים כושים לבין המדינות החפשיות מעבדות.

1770 ללאנד Joseph Lalande מחשב מרחק לשמש 150 מליון ק"מ, כיום 149,597,870,691



מה חשיבות הסטיה של כדור הארץ מכדור?

מה המגבלה בדיוק החישוב של מרחק D מטריאנגולציה?

Nevil Maskelyne

1766 מציג קביעת קו אורך לפי מיקום הירח וחישוב ידנית את המיקום עד מותו ב-1811

Johann Daniel Titius

1766 אם מרחק הארץ מהשמש 10 , מרחקי שאר כוכבי הלכת $2n(3 + 4)$

פירסם את הקשר שנודע כחוק בודה **Johann Elert Bode**

Francis Beaufort 1774-1857

ספן וחוקר ימים ואוקיינוסים hydrographer . ממציא סקלת רוחות 1-12

Jean-Pierre Blanchard 1753-1809

חצה את תעלת למאנש בבלון, וייסד בית ספר לרחיפת בלונים בווקסול, לונדון.

Louis-Antoine de Bougainville 1729-1811

מפקד ימי שנחת בטאהיטי שנה לפני קפיטן ג'יימס קוק.

1771-1806: Mungo Park

חוקר מרכז אפריקה (קונגו)

Erasmus Darwin 1731-1802

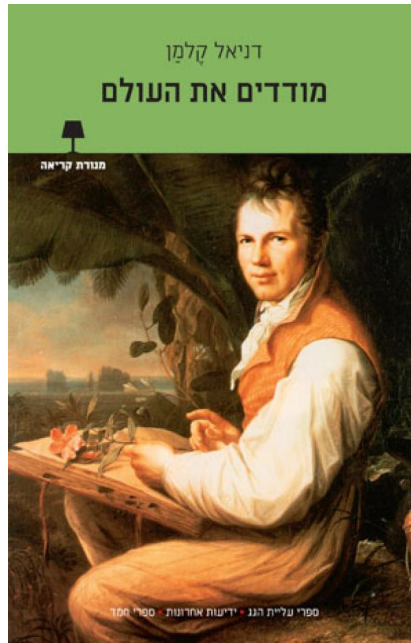
רופא ופולי-מתמטיקאי. כתב "שירה מדעית"

Luke Howard 1772-1864

חוקר תופעות מזג אוויר, ומיין סוגי עננים.

Alexander von Humboldt 1769-1859

בן למשפחת תעשיינים עשירה. מדען בוטניקאי, זאולוג, חוקר מזג אוויר, קוסמולוגיה ונוסע בעולם (דרום אמריקה). המודל למדען התקופה הרומנטית. שאף למדוד את גובה ההר הגבוה ביותר ולטפס עליו, אסף זרעים וצמחים ו"גנב" גולגלות מקברי שבטים אמריקאים לאוסף שלו. אחיו הקים את אוניברסיטת המבולד בברלין.



ספר מקסים על המבולד וגאוס
שני מדענים הופכיים זה מזה בשאיפתם
הנסיונית והתיאורטית בהתאמה
למדוד את העולם

1726-1797: James Hutton

רופא וגיאולוג. חקר רבדי סלעים וסחיפתם בנהרות, כתמיכה לשינויים הדרגתיים בניגוד לתיאורית האסונות (קטסטרופיזם). הכין את הרקע ללייל (זמן עמוק) הרשל (חלל עמוק) ודארון (אבולוציה).

1795 תומך בגיל המופלג של צורות גיאולוגיות. החיבור הכולל הראשון עם דיון על הגיאולוגיה של הארץ. **James Hall** מצליח לבצע נסיונות מעבדה לשיחזור יצירת שכבות סלע בקליפת הארץ לפי הצעת האטון.

Georges Louis Leclerc de Buffon

1744 מכריז שגיל האדמה 75,000 שנים

טכנולוגיה

מטויות כותנה

John Kay

1733 פטנט על מוליך חוט השתי במכונת הטוויה



1764, James Hargreaves

1764 ממציא את גלגל הטוויה - חשיבות לתיעוש ייצור הבדים

פילוסופיה וחברה

1718 Voltaire - François-Marie Arouet 1694–1778

1718 פילוסוף עידן הנאורות, ומגן זכויות אזרחיות וחופש הדת.

Adam Smith

1776 מקדם את הרעיון שמסחר מקדם עושר של עמים. קפיטליזם ושוק חפשי

1787 פילוסופים מפרסמים ביחד הכרזה על זכויות נשים

Jeremy Bentham

1789 מארגן מחדש סמנטיקה...

1789 תחילת המהפיכה הצרפתית

ריחוף וצניחה

חקר האטמוספירה התקדם דרך נסיונות על הרים גבוהים. עם זאת הריחוף היה משאת הדמיון האנושי מקדמת דנא (איקרוס ודדלוס). המאה ה-18 חוותה (בעיקר בפריז) בהתלהבות את התפתחות התעופה בבלונים פורחים, למרות שגובה הריחוף לא הגיע אפילו לגובה שיאי האלפים. כמובן שהנסיונות הראשונים היו זהירים, תחילה לא מאוישים, והבלונים היו מעוגנים. אך עם הזמן עלה הבטחון שהביא גם לתאונות. הבלונים הראשונים היו של אויר שחומם על הקרקע, כשהבלון קשור, ושחרר לגובה עשרות מטרים. בלוני המימן הגיעו לגובה אלפי מטרים, אך התפוצצו בקלות. כרגיל, טכנולוגיה מצאה שימושים צבאיים (נפוליון)...

Father Bartolomeu de Gusmão

1709 מתכנן בלון אויר חם ומדגים אותו לז'והן החמישי מלך פורטוגל

אלדין מרחף על מרבד הקסמים



1783 June 5 Joseph Michel and Jacques Étienne Montgolfier (brothers)

ריחוף בלון לא מאויש בצרפת. הבלון מוצג לציבור. בלון רחפה נקרא על שמם:
מונגולפייה.

August 27 Professor Jacques Alexandre César Charles and the brothers Roberts

ריחוף בלון מימן לא מאויש מפריז לגונסה במרחק 25 ק"מ. הושמד ע"י איכרים
מפוחדים.

September 19, the Montgolfier Brothers

בהצגה למלך לואי ה-16 מסיעים בבלון אויר חם כבשה, ברווז ותרנגול. הבלון ממריא
לגובה 500 מטר ומחזיר את החיות שלמות לאדמה.

October 15, Jean-François Pilâtre de Rozier 1754-1785 and Marquis d'Arlandes

ממריאים בבלון חם קשור לאדמה בפריז לגובה 26 מטר. האנשים הראשונים לרחף.

November 21, de Rozier and d'Arlandes

הראשון בריחוף בבלון לא קשור במשך 25 דקות

December 1, Charles and his assistant Robert

הראשונים לרחף בבלון מימן. בפעם השניה מגיע לגובה 2,700 מטר ולמרחק 43 ק"מ
בלון שסתום שחרור גאז לירידה, צנור שחרור וסל הנישא ע"י רשת העוטפת את הבלון

Vincent Lunardi 15 September 1784

האיטלקי מטוסקנה ריחף שבאנגליה

4 October 1784 James Sadler 1753-1828

1784 האנגלי הראשון שפיתח בלון מימן וריחף בו

1785 June 15, Pilâtre de Rozier and Pierre Jules Romain

תאונת האויר הראשונה בנסיון לחצות את תעלת לאמנש

July 1, Jean-Pierre Blanchard and the American meteorologist John Jeffries

חוצים את התעלה מדובר באנגליה לגינס בצרפת בבלון

Richard Crosbie

כמה נסיונות כושלים לחצות את הים האירי בבלון מימן



Claude Berthollet 1748-1822

כימאי וחברו של לבואזיה, מורו של גיי-לוסק.

מפקד חטיבת הכדורים הפורחים בצבא נפוליון,

חיל האויר הראשון שנוסד ב-1794.

צניחה

Sebastian Lenormand

קופץ כמה פעמים במצנח ממגדל המצפה במונפליה

Dominikus Dufort

1777 אסיר בסנט-לואיס שקופץ מבנין גבוה עם מצנח וזוכה בכסף.

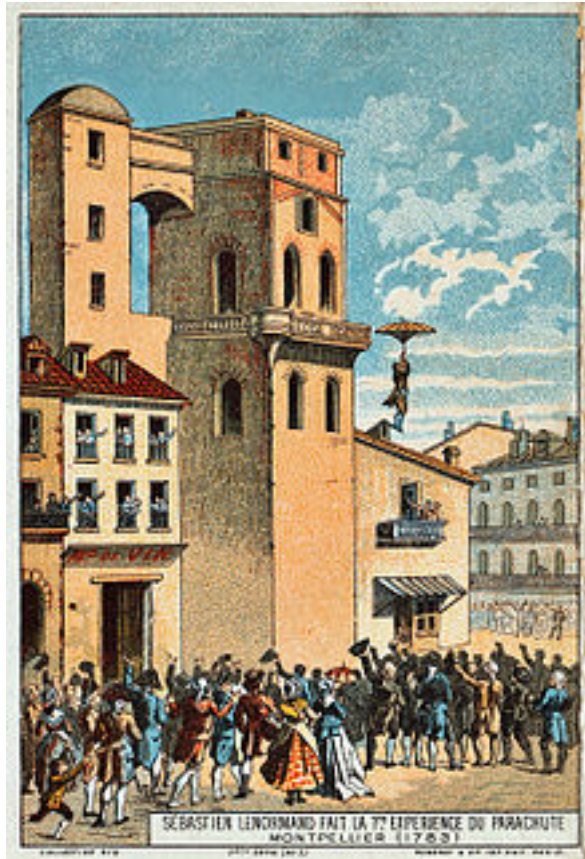
Jean Pierre Blanchard

1783 צנחן

צוללות

David Bushnell

1773 מתכנן ובונה את הצוללת הראשונה ("הצב") – מעין פעמון הנע בכינון ידני



תולדות התעופה – מוזיאון אוטו לילינטל Otto-Lilienthal באנקלם Anklam גרמניה

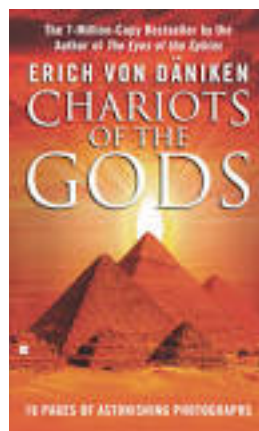
2300 לפה"ס המלך אטאנה King Etana רוכב על נשר מעל חורבות ננוה

750 לפה"ס הספור על דדלוס ואיקרוס

400 לפה"ס "יונה של ארחיטאס" כנראה עפיפון: pigeon of the Greek mathematician Archytas of Tarant

220 לפה"ס הסינים משתמשים בעפיפונים לקביעת מרחקים

200 לפה"ס האגדה מספרת שאלכסנדר מוקדון מרחף לקצה העולם על גריפין (אריה עם כנפיים וראש נשר)



מאה 2 לפה"ס – מאה 5 תרבות הנזקה בונה על רמת פרו המדברית ציור ענק של "גיאוגליפים" אולי אתרי העפת עפיפונים או דאונים. ("מרכבות האלים" Erich von Däniken).

מאה 10 = לתרבויות האוקיאנוס השקט דאון-עפיפון בשימושים דתיים, טכסיים וצבאיים.

1247 הצבא המונגולי משתמש בעפיפונים מאירים בקרב ליגניץ battle at Liegntiz

1282 מרקו פולו מתאר עפיפונים מאוישים

1316–1390 הבישוף אלברט מסקסוניה מציע ציפה באויר כמו שספינות צפות במים לפי עקרון ארכימדס

1486–1513 מחקרים תיאורטיים ונסיוניים של ליאונרדו דה וינצ'י על מעוף צפורים, זרימת אויר וריחוף.

שרטוטי מצנח הליקופטר ואורניטופטר.

1496 המתמטיקאי האיטלקי Giambattista Danti עף (דואה) ממגדל. בימי הביניים היכולת לעוף קשורה

בקדושים ומכשפות...

1500 הצייר הירונימוס בוש מצייר "ספינת אויר" מרחפת מעל עיר נשרפת.
1558 דה לה פורטה Giambattista della Porta מפרסם מדריך והסברים תיאורטיים לבנית עפיפונים.
1644 טוריצ'לי Evangelista Toricelli מסביר לחץ אטמוספירי ויוצר ריק (ואקום).
1654 גוריקה mayor of Magdeburg, Otto von Guericke שוקל אויר ומדגים כוח הריק בשני חצאי כדור מול
16 סוסים. Magdeburger Halbkugeln : hemispheres of Magdeburg
1670 הישועי לנה דה טרצי Francesco Lana de Terzi מתאר ספינת אויר הנישאת על בלוני ריק.



1678 מעוף של המנעולן בזניה French locksmith Besnier במכונת כנפיים.

- 1680 בורלי Alphonso Borelli מראה כי משק כנפיים בעזרת שרירים לא יוכלו להעוף אדם
- 1687 ניוטון בספר השני של "פרינסיפאה" *principia* מפתח משוואת הסחיפה של נוזל צמיג.
- מאה 17 – עפיפונים נעשים פופולאריים.
- 1709 מונטגולפייה Montgolfière מעוף אדם בבלונים פורחים. בליסבון מבצע גוסמאו Lourenco de Gusmao נסיונות ריחוף.
- 1716 בשבדיה סוודנברג Emanuel Swedenborg מתבסס על עפיפונים וכנפי ציפור בפרוייקט רחיפה.
- 1738 דניאל ברנולי מנסח שימור אנרגיה וקשר מהירות ללחץ בגאזים ובנוזלים (חוק ברנולי)
- 1746 רובין English military engineer Benjamin Robins בונה מכשיר למדידת סחיפה.
- 1766 קוונדיש קובע משקל סגולי של מימן
- 1772 דפרוג Abbé Desforges נכשל בבנית סל וכנפיים מנוצות.
- 1777 בסנט-לואיס דפורט Dominikus Dufort קופץ מבנין גבוה במצנח.
- 1781 קבאלו Italian scientist Tiberius Cavallo, living in England מפריח בועות סבון ממולאות בחמצן
- 1783 לנורמנד Sebastian Lenormand קופץ במצנח ממגדל המצפה במונפלייה
- האחים מונטגולפייה Montgolfier מפריחים בלוני אויר חם
- בלון מימן עולה מעל פריז, נבנה ע"י Prof. Charles and the Robert brothers
- כמה חדשים אח"כ הם מרחפים מעל ויורה Vivarais לגובה 2.7 ק"מ
- בוורסאי מעלים חיות בבלון מונטגולפייה חם
- מרחפים בפריז במונטגולפייה הקשור בחבל לקרקע
- Pilatre de Rozier and Marquis d'Arlande
- כמה חדשים אח"כ ב- 1784 עולים ללא קשירה לגובה 4 ק"מ
- 1784 מיזם ספינות אויר של מיסניה Jean Baptiste Meusnier בלון מאורך
- עם הנעת מדחף ע"י אדם



- 1784 האחים הולין Robert and Colin Hullin מרחפים 186 ק"מ מפריז לבורי
- 1785 חצית תעלת למאנש בבלון אויר חם מדובר לגינס Jean-Pierre Blanchard and the John Jeffries
- הראשונים לרחף בבלון מתרסקים בחצית התעלה Pilâtre de Rozier and Piére Romain
- 1793 ריחוף בבלון לראשונה באמריקה Blanchard מפילדלפיה לניו-ז'רסי, ונשא מכתב "דאר אויר". הנשיא ושינגטון עוקב אחר המבצע.
- 1793 שימוש צבאי בבלון במצור על מיינץ
- 1794 יחידת ספינות אויר בצבא צרפת.
- 1797 קפיצה במצנח מבלון ע"י André-Jaques Garnerin שהופך "ארונאוט רשמי של צרפת"
- 1799 קיילי Sir George Cayley משרטט דאון עם הגה וכנף עילוי
- ~1800 הצייר פרנצ'סקו גויה מאייר אנשים עם כנפי ציפור המונעים בגפיים

נספח:
זוכי מדליית קופליי
של האקדמיה המלכותית הבריטית

Copley Medal 18-th century

מדלית קופליי מוענקת ע"י האגודה המלכותית למדעים בלונדון.
המדליה מוענקת בכל תחומי המדע, והוא הפרס הוותיק ביותר למדעים. היא נוסדה בעקבות
תרומה של 100 לירות שטרלינג ע"י סר גודפרי קופלי למימון נסיונות ב-1971 ותרומה נוספת
בסך 1666 שטרלינג ע"י בנו. הריבית מממנת מדלית כסף ופרס כיום של 5000 שטרלינג.

52 מחתני המדליה גם קיבלו פרס נובל.
רק אשה אחת קבלה את הפרס ב-1976, Dorothy Hodgkin



- 1731 **Stephen Gray** "For his new Electrical Experiments: – as an encouragement to him for the readiness he has always shown in obliging the Society with his discoveries and improvements in this part of Natural Knowledge"
- 1732 **Stephen Gray** "For the Experiments he made for the year 1732"
- 1734 **John Theophilus Desaguliers** "In consideration of his several Experiments performed before the Society"
- 1736 **John Theophilus Desaguliers** "For his experiments made during the year"
- 1737 **John Belchier** "For his Experiment to show the property of a Diet of Madder Root in dyeing the Bones of living animals of a red colour" [7]
- 1738 **James Valoue** "For his invention of an Engine for driving the Piles to make a Foundation for the Bridge to be erected at Westminster, the Model whereof had been shown to the Society"
- 1739 **Stephen Hales** "For his Experiments towards the Discovery of Medicines for dissolving the Stone; and Preservatives for keeping Meat in long voyages at Sea"
- 1740 **Alexander Stuart** "For his Lectures on Muscular Motion. As a further addition for his services to the Society in the care and pains he has taken therein"
- 1741 **John Theophilus Desaguliers** "For his Experiments towards the discovery of the properties of Electricity. As an addition to his allowance (as Curator) for the present year."
- 1742 **Christopher Middleton** "For the communication of his Observations in the attempt of discovering a North-West passage to the East Indies through Hudsons Bay"

- 1743 **Abraham Trembley** "For his Experiments on the Polypus" —
- 1744 Henry Baker "For his curious Experiments relating to the Crystallization or Configuration of the minute particles of Saline Bodies dissolved in a menstruum"
- 1745 **William Watson** "On account of the surprising discoveries in the phenomena of Electricity, exhibited in his late Experiments"
- 1746 **Benjamin Robins** "On account of his curious Experiments for showing the resistance of the Air, and his rules for establishing his doctrine thereon for the motion of Projectiles"
- 1747 **Gowin Knight** "On account of several very curious Experiments exhibited by him, both with Natural and Artificial Magnets"
- 1748 **James Bradley** "On account of his very curious and wonderful discoveries in the apparent motion of the Fixed Stars, and the causes of such apparent motion"
- 1749 **John Harrison** "On account of those very curious Instruments, invented and made by him, for the exact mensuration of Time"
- 1750 **George Edwards** "On account of a very curious Book lately published by him, and intituled, A Natural History of Birds, &c. – containing the Figures elegantly drawn, and illuminated in their proper colours, of 209 different Birds, and about 20 very rare Quadrupeds, Serpents, Fishes, and Insects."
- 1751 **John Canton** "On account of his communicating to the Society, and exhibiting before them, his curious method of making Artificial Magnets without the use of Natural ones"

- 1752 **John Pringle** "On account of his very curious and useful Experiments and Observations on Septic and Anti-septic Substances, communicated to the Society"
- 1753 **Benjamin Franklin** "On account of his curious Experiments and Observations on Electricity"
- 1754 **William Lewis** "For the many Experiments made by him on Platina, which tend to the discovery of the sophistication of gold: – which he would have entirely completed, but was obliged to put a stop to his further enquiries for want of materials"
- 1755 **John Huxham** "For his many useful Experiments on Antimony, of which an account had been read to the Society" [22]
- 1757 **Lord Charles Cavendish** "On account of his very curious and useful invention of making Thermometers, showing respectively the greatest degrees of heat and cold which have happened at any time during the absence of the observer" [14]
- 1758 **John Dollond** "On account of his curious Experiments and Discoveries concerning the different refrangibility of the Rays of Light, communicated to the Society"
- 1759 **John Smeaton** "On account of his curious Experiments concerning Water-wheels and Wind-mill Sails, communicated to the Society. For his experimental enquiry concerning the powers of water and wind in the moving of Mills" [24]
- 1760 **Benjamin Wilson** "For his many curious Experiments in Electricity, communicated to the Society within the year"

1764 **John Canton** "For his very ingenious and elegant Experiments in the Air Pump and Condensing Engine, to prove the Compressibility of Water, and some other Fluids"

1766 **William Brownrigg** "For an experimental enquiry into the Mineral Elastic Spirit, or Air, contained in Spa-Water; as well as into the Mephitic qualities of this Spirit."

Edward Delaval "For his Experiments and Observations on the agreement between the specific gravities of the several Metals, and their colours when united to glass, as well as those of their other preparations."

Henry Cavendish "For his Paper communicated this present year, containing his Experiments relating to Fixed Air."

1767 **John Ellis** "For his Papers of the year 1767, On the animal nature of the Genus of Zoophytes called Corallina, and the Actinia Sociata, or Clustered Animal Flower, lately found on the sea coasts of the new-ceded Islands"

1768 **Peter Woulfe** "For his Experiments on the Distillation of Acids, Volatile Alkalies, and other substances"

1769 **William Hewson** "For his Two Papers, entitled, An Account of the Lymphatic System in Amphibious Animals, – and An Account of the Lymphatic System in Fish"

1770 **William Hamilton** "For his Paper, entitled, An Account of a Journey to Mount Etna"

- 1771 **Matthew Raper** "For his paper entitled, An Enquiry into the value of ancient Greek and Roman Money" —
- 1772 Joseph Priestley "On account of the many curious and useful Experiments contained in his observations"
- 1773 **John Walsh** "For his Paper on the Torpedo"
- 1775 **Nevil Maskelyne** "In consideration of his curious and laborious Observations on the Attraction of Mountains, made in Scotland, – on Schehallien"
- 1776 **James Cook** "For his Paper, giving an account of the method he had taken to preserve the health of the crew of H.M. Ship the Resolution, during her late voyage round the world. Whose communication to the Society was of such importance to the public"
- 1777 **John Mudge** "On account of his valuable Paper containing directions for making the best Composition for the metals of Reflecting Telescopes; together with a description of the process for grinding, polishing, and giving the best speculum the true parabolic form"
- 1778 **Charles Hutton** "For his paper, entitled, The force of Fired Gunpowder, and the initial velocity of Cannon Balls, determined by Experiments"
- 1780 **Samuel Vince** "For his paper, entitled, An investigation of the Principles of Progressive and Rotatory Motion, printed in the Philosophical Transactions"

- 1781 **William Herschel** "For the Communication of his Discovery of a new and singular Star; a discovery which does him particular honour, as, in all probability, this star has been for many years, perhaps ages, within the bounds of astronomic vision, and yet till now, eluded the most diligent researches of other observers"
- 1782 **Richard Kirwan** "As a reward for the merit of his labours in the science of Chemistry. For his chemical analyses of Salts"
- 1783 **John Goodricke and Thomas Hutchins** "For his discovery of the Period of the Variation of Light in the Star Algol. (Goodricke)"
"For his Experiments to ascertain the point of Mercurial Congelation. (Hutchins)"
- 1784 **Edward Waring** "For his Mathematical Communications to the Society. For his Paper On the Summation of Series, whose general term is a determinate function of z the distance from the first term of the series"
- 1785 **William Roy** "For his Measurement of a Base on Hounslow Heath"
- 1787 **John Hunter** "For his three Papers, – On the Ovaria, On the identity of the dog, wolf, and jackall species, and On the anatomy of Whales, printed in the Philosophical Transactions for 1787"
- 1788 **Charles Blagden** "For his two Papers on Congelation, printed in the last (78th) volume of the Philosophical transactions"
- 1789 **William Morgan** "For his two Papers on the values of Reversions and Survivorships, printed in the two last volumes of the Philosophical Transactions"

- 1791 **James Rennell** "For his Paper on the Rate of Travelling as performed by Camels, printed in the last (81st) volume of the Philosophical Transactions."
- Jean-André Deluc** "For his Improvements in Hygrometry."
- 1792 **Benjamin Thompson** "For his various Papers on the Properties and Communication of Heat"
- 1794 **Alessandro Volta** "For his several Communications explanatory of certain Experiments published by Professor Galvani"
- 1795 **Jesse Ramsden** "For his various inventions and improvements in the construction of the Instruments for the Trigonometrical measurements carried on by the late Major General Roy, and by Lieut. Col. Williams and his associates"
- 1796 **George Atwood** "For his Paper on the construction and analysis of geometrical propositions determining the positions assumed by homogeneous bodies which float freely, and at rest; and also determining the Stability of Ships and other floating bodies"
- 1798 **George Shuckburgh-Evelyn** "For his various Communications printed in the Philosophical Transactions."
- Charles Hatchett** "For his Chemical Communications printed in the Philosophical Transactions."
- 1799 **John Hellins** "For his improved Solution of a problem in Physical Astronomy, &c. printed in the Philosophical Transactions for the year 1798; and his other Mathematical Papers"

נספח: רשימת המדענים בעידן הנאורות

Bolzano Bernard 1781 –1848 math, astronomer, optics
Daniel Bernoulli
Brakenridge
La Condamine
Bayes
Deparcieux
Castillon
Cramer
Fontaine des Bertins
Senger
Châtelet
Vincenzo Riccati
Euler
Buffon
Robins
Johann (II) Bernoulli
Simpson
Boscovich
Samuel König
Clairaut
Alexander Wilson
Giovanni Fagano

Stewart
d'Alembert
Angesi
Landen
Kaestner
Tobias Mayer
Aepinus
Montucla
Frisi
Lambert
Bourgaiville
Bézout
Bossut
Maseres
Malfatti
Ajima
Maskelyne
Borda
Dionis
Waring
Vandermonde

Ramsden
Lagrange
Coulomb
Bring
Tetens
Hutton
Klügel
Lexell
Hindenburg
John Wilson
Condorcet
Johann (II) Bernulli
Cunha
Wessel
Atwood
Monge
Trail
Aida
Playfair
Tinseau

Laplace
Delambre
Caroline Herschel
Lhuilier
Marcheroni
Glenie
Legendre
Carnot
Troughton
Vega
Fuss
Parseval
de Prony
West
Arbogast
Bernulli-Jacob(II)
Kramp
Budan de Boislaurent
Ivory
Lacroix
Ruffini

Pierre Girard
Pfaff
Osipovsky
Leslie
Fourier
Francais Francais
Argand
Servois
Wallace
Hachette
Puissant
Gergonne
Reynaud
Bowditch
Woodhouse
Francoeur
Biot
Ampère
Frakas Bolyai
Jacques Francais
Malus

CC

CC

CC

XXX