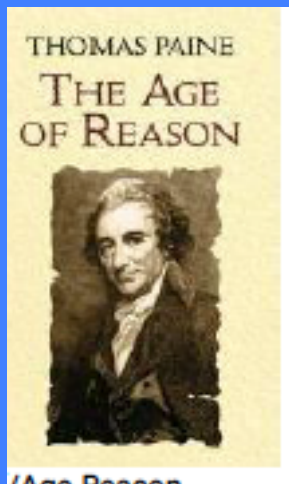


המאה ה-17 עידן התבונה



רב מכר
על עידן התבונה

Reason

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

המאה ה-17, המאה של התבונה (או שכלתנות – reason)

המאה ה"ידועה" ביותר בחומר ביה"ס התיכון:
תחילת המהפיכה המדעית, שהמשיכה במאה ה-18

את קפלר וגלילאו, אנשי הרנסאנס המשיך ניוטון בפיזיקה (מכאניקה ואסטרונומיה)
טוריצלי, פסקל ובויל – כימיה פיסיקאלית. חקרו תכונות פיזיקאליות של מוצקים
(מאמץ ושינוי) נוזלים (הידרוסטטיקה) וגאזים (טמפרטורה אבסולוטית, טרמודינאמיקה,
אנרגיה) ותחילת הבניה של מנועי קיטור.

גילברט, גויריקה, – תחילת המחקר של מטעני חשמל ומגנטים.
טבלת היסודות הכימיים, יסודות ותרכובות, חמרים אורגאניים.
נפייר, לייבניץ, פסקל, פרמה וטיילור במתמטיקה: חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי
לפלס ופורייה. לוגריטמים ומכונות חישוב.
הוק, לוונהוק והרוי – מיקרוסקופיה ביולוגית ומחזור הדם.
הליי, רומר הויגנס וקסיני – אופטיקה ואסטרונומיה.
דקארט, בייקון ולוק – פילוסופיה של המדע
קשר בין מאובנים להסטוריה הגיאולוגית של הארץ

מופץ העיתון המדעי הראשון בו מתפרסמים מאמרים לאחר אישור מהסוקרים.
פטנטים וקניין רוחני – המצאת מכונות, הקדמה למהפיכה התעשייתית

המאה ה-17 טעימות:

Johannes Kepler-1609

גרמניה. שלשת חוקי קפלר

Galileo Galilei - 1610

איטליה. תצפיות בטלסקופ, מכאניקה של תאוצת הארץ

John Napier - 1614

סקוטי. לוגריטמים - מאפשר חישובים מהירים

William Harvey - 1628

אנגלי. מחזור הדם

Giovanni Batista Baliani - 1630

מספר לגליליי שסיפון לא מושך מים להר מעל 10.3 מטרים. גליליי מסביר שכוח הוואקום לא יכול להחזיק עמוד מים כזה. זה גרם ל-Gasparo Berti לבנות צינור שעמוד המים בו היה 10.3 מטרים בלי תלות באורך הצינור שמעליו.

Evangelista Torricelli - 1643

איטליה. ברומטר כספית, בהשראת נסיון Berti אך מבין שלא הוואקום בתוך הצינור, אלא לחץ האטמוספירה מבחוץ הוא שמחזיק את עמוד המים. ואכן כשהחליף את עמוד המים בכספית אישש את הנחתו שהברומטר הוא מעין מאזניים בין משקל האויר באטמוספירה לעמוד הנוזל בצינור

Robert Boyle - 1662

אנגלי-אירי. חוקי הגזים של בויל

Philosophical Transactions of the Royal Society- 1665

העיתון המדעי הראשון עם קבלה לפירסום בעקבות ביקורת של מדענים סוקרים

Francesco Redi - 1668

איטליה. הראה שלא קיימת יצירה ספונטאנית של חיים spontaneous generation

המאה ה-17 (המשך טעימות)

Nicholas Steno – 1669

מדנמרק. מאובנים הם שרידי חיות שנלכדו במשקעים – בסיס לתיעוד זמנים בגיאולוגיה

Jan Swammerdam – 1669

הולנדי. הראה שביצים תולעים וגלמים הם צורות חיים של אותו החרק השתמש במיקרוסקופ לניתוחים, ותאר התכווצות שרירים ותאי דם.

Leibniz, Newton – 1675

גרמניה ואנגליה. קלקולוס – חשבון אינפיניטסימלי (דיפרנציאלי ואינטגרלי)

Anton van Leeuwenhoek – 1675

הולנד. ראה מיקרואורגניזמים במיקרוסקופ שלו

Ole Rømer – 1676

דנמרק. מדד לראשונה מהירות האור מתנועת כוכבים

Isaac Newton – 1687

אנגליה. חוקי התנועה, חוקי הכבידה – פיזיקה קלאסית

זכויות פטנטים

פילרכוס Phylarchus במאה ה-3 מספר כי בערים יווניות באיטליה ניתנו תגמולים לשנה על המצאות שתרמו לנוחות או לתרומות קולינאריות מיוחדות.

1331 באנגליה ניתן מונופול ממלכתי לחברה לייצור בלעדי של מוצר שפיתחו. 1449 המלך הנרי ה-6 נתן מונופול ל-20 שנים לממציא וייצרון הולנדי.

מ-1450 נרשמו פטנטים בוונציה. פירסום לציבור נקשר בזכויות היוצרים מול מפירי ההמצאה ל-10 שנים. רוב הפטנטים נרשמו לייצור זכוכית. הגירת בעלי מלאכה וונציאנים גרמה להתפשטות מערכת ההגנה על המצאות.

1555 המלך הנרי השני מצרפת יישם הגנה להמצאות תמורת פירסומן לציבור. הפטנט נרשם ע"י המלוכה, או הפרלמנט של פריז, לאחר שהחדשנות נבדקה ע"י האקדמיה הצרפתית למדעים. אך הפטנטים לא פורסמו לציבור לרוב באופן מבוקר.

באנגליה התפתחה הגנת קניין רוחני לפני המהפיכה התעשייתית, והיה גורם חשוב לקידומה. המסמך נרשם כ"מכתב המציג פיתוח", לידיעת הציבור, פטנט בלטינית, בניגוד למכתב חתום המיועד לאדם מסויים. לאחר שהמלך מסר מסמכים תמורת כספים, ללא קשר לחדשנות, למשל הפצת מלח, הפרלמנט יצר חוק פטנטים שהגביל רישום לחדשנות ולמספר שנים מוגדר.

1665-1714 בזמן כהונתה של המלכה אן, נדרשו מגישי הבקשות לתת מפרט מדויק של ההמצאה. בעקבות המחלוקת על רישום מכונת הקיטור של ז'יימס וואט הורשו רישומי פטנטים עבור שיפורים בהמצאות קודמות בעלות חשיבות יישומית. החסרונות בחוקי הפטנטים התגלו כאשר בעלי פטנטים מנעו ממתחרים פיתוח בתחום הפטנט הקיים, וביססו מונופולים על בסיס טכנולוגיה קיימת במקום לתרום להתקדמות. זה גרם להתפתחות מתמדת של חוקי הפטנטים בעולם. עד היום יש הבדלים בין ארצות, ופטנט הוא בר תוקף רק במדינה בה נרשם ואושר.

בארה"ב חוק הפטנטים דרש הצגת מודל פועל של ההמצאה. כיום הדרישה יותר מוגבלת. הבעיה על זכויות פטנטים לגנים ששובטו ולגנים שהותמרו (במוטציות מכוונות) עדין לא נפתרה.

מתמטיקה

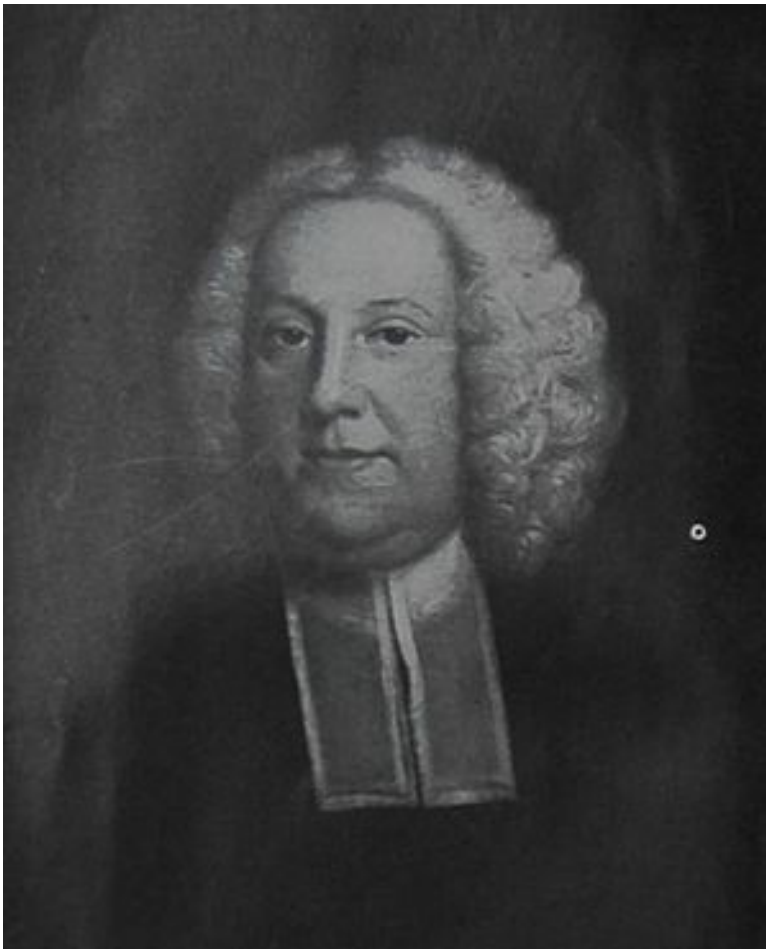
John Pell (1611-1685)

משוואות דיאופנטיות, Pell equation $x^2 - ny^2 = 1$

http://en.wikipedia.org/wiki/Pell%27s_equation

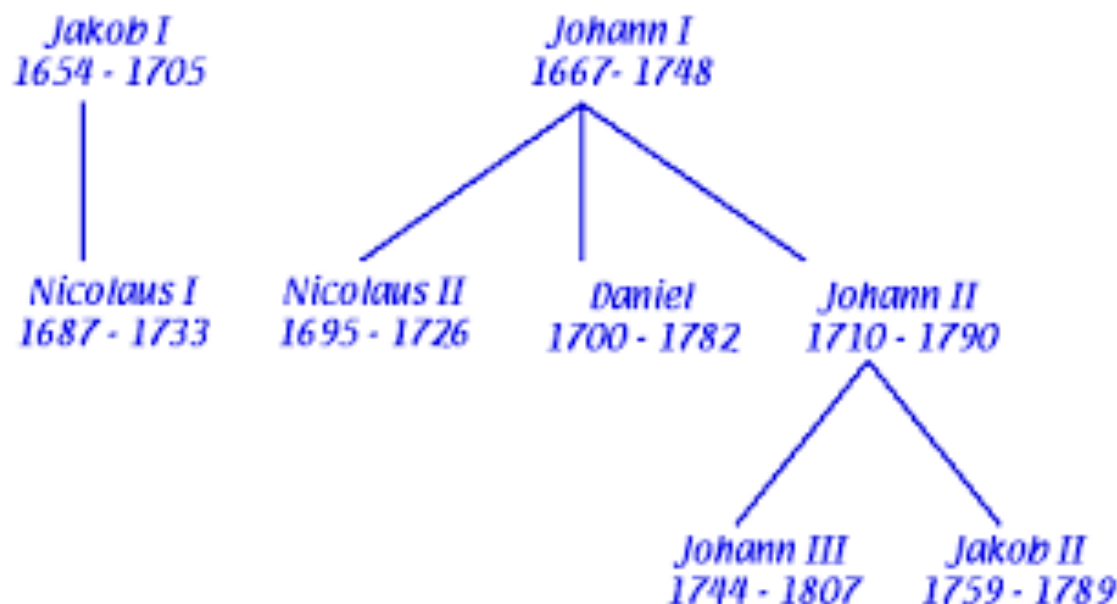
ל- n שאינו ריבוע, למשוואה אינסוף פתרונות שלמים, היוצרים קירובים רציונאליים ל- $\sqrt{n}$.
פל נשלח ע"י אוליבר קרומוול לשויצריה כדי לאחד את הכנסיות הפרוטסטנטיות תחת
אנגליה, שליחות שלא הצליחה.

טבע את סימן החלוקה $\div$ יחד עם ראן Johann Heinrich Rahn, Rhonius or Rahn וגם ערך את
סיפרו "אלגברה"



משפחת ברנולי - James & Johann Bernoulli

משפחה ממוצא הולנדי שברחה, בגלל התנכלות להוגינוטים (פרוטסטנטים), לפרנקפורט ולשוויץ. הסב היה רופא, הבן יעקב סוחר טבלינים, שעבר לבזל בשויץ.



חשיבות הבעיות שהציג יוהן וג'ימס (יעקב) ברנולי הוא ביישום החשבון האינפיניטסימאלי והאינטגראלי שהתחיל לייבניץ לפתרון של בעיות אלה.

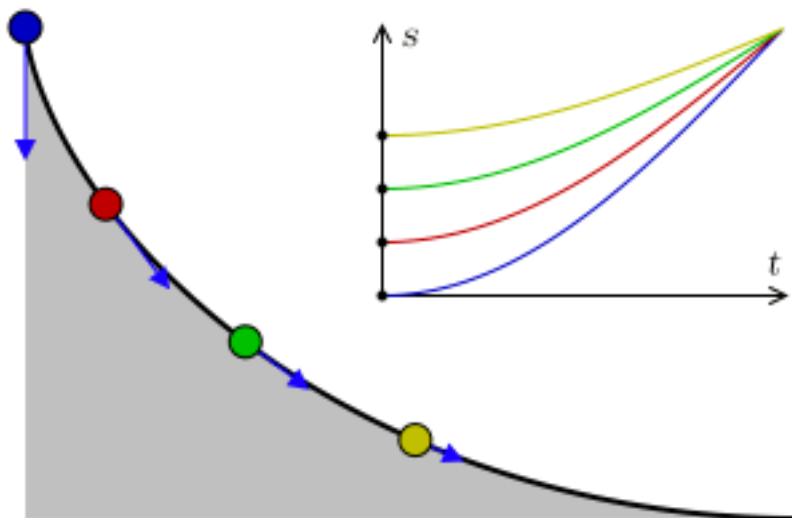
משוואה דיפרנציאלית של ברנולי (יעקב) $y' + P(x)y = Q(x)y^n$ לא ליניארית עם פתרון פילוג הסתברויות של ברנולי לזריקת מטבע $f(k; p) = p^k(1 - p)^{1-k}$ for $k \in \{0, 1\}$. נסוי ברנולי, תהליך ברנולי (יעקב)

מספרי ברנולי – מקדמי טיילור של $\tan x$. אלגוריתם ראשון שיושם במכונת החישוב

של באבג'

פולינום ברנולי

עקרון ברנולי (דניאל) בהידרודינאמיקה



James (Jacob) Bernoulli 1655-1705
 1690 ג'יימס (יעקב ו) ברנולי מראה
 שציקלואיד

הוא הפתרון לבעית האיזוכרון
 tautochrone או isochrone curve –
 העקומה שכדור יגיע לקרקעיתה
 בזמן שאינו תלוי בתחילת מסלולו



1691 יוהנס ברנולי מראה ששרשרת התלויה
 חפשית משתי נקודות יוצרת את העקומה

$$y = a \cosh \left(\frac{x}{a} \right) = \frac{a \left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right)}{2}$$

1691 ג'יימס ברנולי מראה שהפתרון לשרשרת נותן את מרכז הכובד הנמוך ביותר האפשרי
 1696 יוהן ברנולי מראה שהציקלואיד הוא העקום שכדור ינוע עליו בזמן הקצר ביותר.
ההוכחות האלה הקדימו בחמישים שנים את עקרון הפעולה המינימאלית של לייבניץ,

מופרטי, ואוילר

ז'יימס ברנולי עמד לצידו של לייבניץ במאבק ב-1713 נגד ניוטון על הקדימות להמצאת
 חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי. הוא גם הגן (בטעות) על תורת המערבולות של דקרט מול
 תורת הכבידה של ניוטון, מה שעיקב את קבלת תורת הכבידה ביבשת האירופאית.

Guillaume de l'Hôpital (1661-1704)

אציל צרפתי, ואיש צבא שנעשה, בגלל קוצר ראיה, מתמטיקאי. שוכר את יוהן ברנולי כמורה למתמטיקה, ומקבל זכויות יוצר לכל המצאותיו. ב-1696 מפרסם ספר לימוד לחשבון אינפי המכיל את עבודת ברנולי, ומודה ללייבניץ ולאחים ברנולי, ובו "חוק להופיטל" לחישוב גבול $x \rightarrow c$ של מנת פונקציות שערכן בנקודה הוא $0/0$ או ∞/∞ . היו לו תרומות נוספות במתמטיקה, והיה נשיא האקדמיה הצרפתית למדעים.

חוק להופיטל:

אם פונקציות f, g הן בעלות נגזרות מלבד ב- $x=c$ ואם

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = \lim_{x \rightarrow c} g(x) = 0 \text{ or } \pm \infty \quad g'(x) \neq 0$$

$$\lim_{x \rightarrow c} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \rightarrow c} \frac{f'(x)}{g'(x)}$$

אזי

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 0} \operatorname{sinc}(x) &= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin \pi x}{\pi x} \\ &= \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sin y}{y} \\ &= \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\cos y}{1} \\ &= 1. \end{aligned}$$

דוגמא:



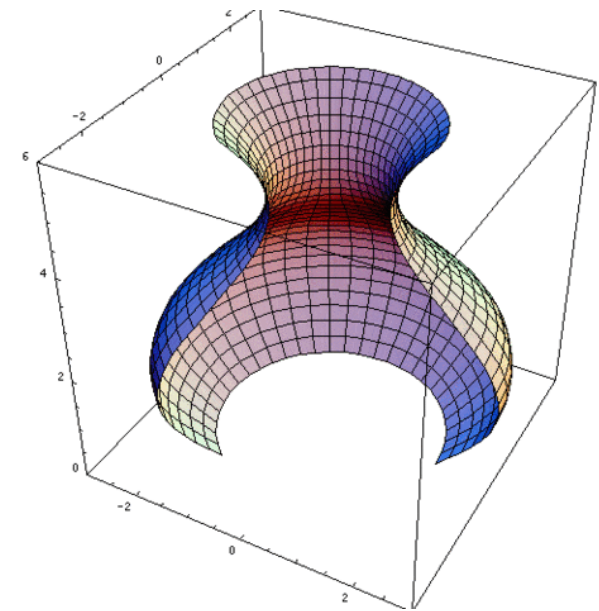
Paul (Habakkuk) Guldin (1577–1643)

מתמטיקאי ואסטרונום שויצרי יישועי שהיה פרופסור בגרץ ווינה. גילה מחדש את "משפט פאפוס גולדין" לחישוב שטח פנים ונפח גופי סיבוב, אחרי פאפוס האלכסנדרוני 290–350. היה ידידו של קפלר. בחיבורו של Paolo Casati מ-1658 הוא מדמה דיאלוג בין גלילאו, מרסן וגולדין בענייני קוסמולוגיה, אסטרונומיה, גיאוגרפיה וגיאודזיה.

שטח ונפח גוף סיבוב: משפט פאפוס גולדין

עקום מישורי בעל אורך L מסתובב סביב ציר חיצוני לו, שטח פני גוף הסיבוב S , שווה לאורך העקום כפול הקף המעגל שיוצר מרכז הכובד שלו, $S=2\pi RL$

אם עקום מישורי סגור בעל שטח A מסתובב סביב ציר, כך שכל השטח (למעט נקודות שפה) נמצא בצידו האחד של הציר, ויוצר גוף סיבובי, נפחו של גוף זה שווה לשטח כפול הקף המעגל שיוצר מרכז הכובד שלו, $V=2\pi RA$



Brook Taylor (1685-1731) Taylor-Maclaurin series expansion:

פיתוח פונקציה בטור טיילור

$$f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \frac{f'''(a)}{3!}(x-a)^3 + \dots$$



Colin Maclaurin (1698-1746) Scotland

1735 Euler-Maclaurin formula:

קשר בין סכום ואינטגרל:

$$I = \int_m^n f(x) dx$$

$$S = f(m+1) + \dots + f(n-1) + f(n)$$

וקשר בין האינטגרל והנגזרות בקצה תחום האינטגרציה:

$$\sum_{i=m+1}^n f(i) = \int_m^n f(x) dx + B_1 (f(n) - f(m)) + \sum_{k=1}^p \frac{B_{2k}}{(2k)!} (f^{(2k-1)}(n) - f^{(2k-1)}(m)) + R.$$

R איבר שגיאה, מספרי ברנולי B



Pierre de Fermat 1601–1665

1625 מוכר כיוצר בלתי תלוי של גיאומטריה אנליטית:

$$f(x,y)=0$$

פיתח שיטה לקביעת מינימום, מכסימום ושפוע לעקומות, שהקדים אינפי.

1640 משפט פרמה הקטן:

אם p ראשוני, $a^p - a$ מתחלק ב- p

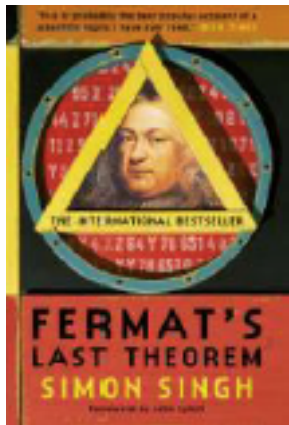
1643 מחשב מרכז כובד של חתך פרבולואיד ע"י חשבון דיפרנציאלי (ולא אינטגרלי)

**1637 משפט פרמה האחרון (או השערת פרמה)
עבור $n > 2$ לא קיימים מספרים שלמים המקיימים**

$$a^n + b^n = c^n$$

פרמה מעיר בשולי ספר שמצא הוכחה למשפט, אך אין מקום בשוליים לפרטה...

הוכחות למשפט הוצעו 300 שנים ונמצאו שגויות, עד שהוכח ב-1994 ע"י Andrew Wiles



סיפרו הפופולארי
של סינג' על
משפט פרמה

Francis Bacon 1561 –1626

השיטה המדעית – נסיונות, תצפיות, ספקנות קריטית ואנליזה
לוגית להסבר המדעי.
כתב חיבור על חוס הנובע מתנועת חלקיקים.

René Descartes

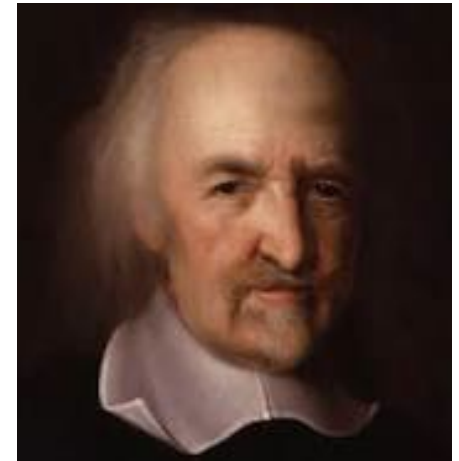
אמת מדעית אינה באה מנסיון וטעות אלא מלוגיקה רציונאלית.
קשר בין העולם הממשי והמחשבתי. (חוזר הוויכוח בין אפלטון
ואריסטו)

Sir Thomas Browne 1605 –1682

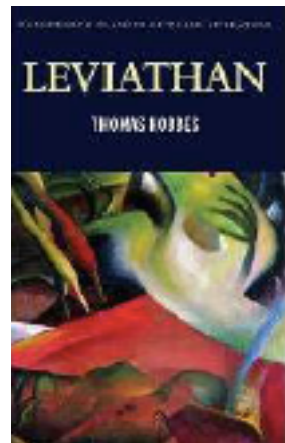
התעניין במדע ורפואה, ובחקר הטבע בשיטה המדעית



Thomas Hobbes 1588-1679



מייסד הפילוסופיה הפוליטית. ב-1651 בזמן מלחמת האזרחים באנגליה (אוליבר קרומוול) של המלוכנים נגד הפרלמנטאריסטים, כתב "לוויתן" *Leviathan* ותמך בשלטון חזק בלבד שיהיה במסגרת החוק וישמור על חופש אזרחי.
1647 נשכר ללמד את צ'רלס נסיך וולס הצעיר מתמטיקה.
פירסם עבודות מתמטיות בחלקן קונטרברסאליות, למשל על ריבוע המעגל).



סיפרו של הובס
ליוויתן
שהוא best seller
עד היום

John Wallis (1616-1703) English. Infi, Analytical Geometry

אלגוריתמים קריפטוגרפיים (לקידוד)
לימד חרשים-אילמים

∞

Wallis product for PI

$$\prod_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2n}{2n-1} \cdot \frac{2n}{2n+1} \right) = \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{6}{7} \cdot \frac{8}{7} \cdot \frac{8}{9} \cdots = \frac{\pi}{2}$$



1656 עובר מגיאומטריה של קווים לאריתמטיקה של מספרים, וטובע את הסימן ∞
לאינסוף

הויגנס Christiaan Huygens, 1629 1695

1946 העקום שיוצרת שרשרת תלויה אינו פרבולה (ראה ברנולי)
1947-8 עבודות על ריבוע העיגול והאליפסה,
תנודות מיתר – סולם צלילים מושווים שימוש בלוגריטם.
1657 עבודה ראשונית על משחקים וסיכויים וטבלאות הסתברות לאורך חיים
1656 פגש את פייר פרמה 1660, ברוך שפינוזה, אנטוני ואן לוונהוק ואת ניוטון

תרומותיו החשובות ביותר בפיזיקה –אופטיקה של גלים – ראה להלן

1644, Blaise Pascal (1623-1662) פסקל

ילד פלא של המדע. מדען צרפתי שעסק בגיאומטרית ההיטלים, היסתברות (עם פרמה), הידרודינאמיקה (ראה פיזיקה), בנה שעון יד ומכשיר הידראולי. הגה תחבורה ציבורית שהופעלה בפריז ב-1662

בגיל 18 בנה מכונת חישוב לחיבור 5 ספרות המבוססת על הרמת והפלת משקלות 1659 השתמש באינפי לחישוב סכומים.

1670-8 שנים לאחר מותו, פורסם "מחשבות" בו הראה את אמונתו הקטולית האדוקה (ושהיה אויבו של דקרט - "ללב תכונות שהתבונה לא מכירה"). חקר הסתברויות בהימורים: הוכחת קיום אלהים (על סמך אלפי שנים של קיום היהדות) - אלהים עוזר למהמר שרוצה להושיעו, וגורם להפסיד לזה שרוצה להענישו.

משולש פסקל –

חישוב המקדמים הבינומיאליים

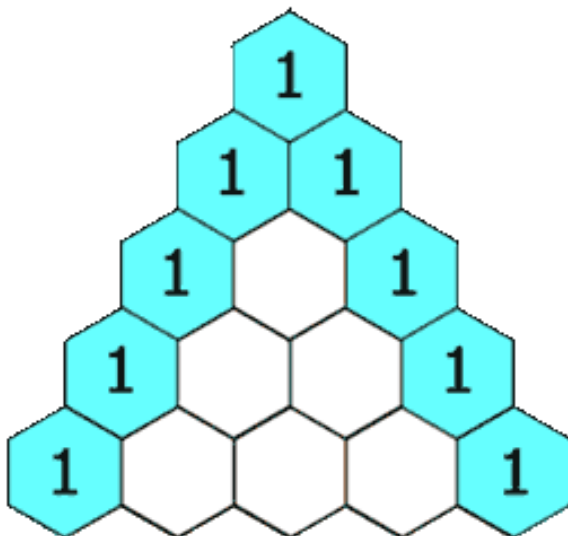
ראה תרומות בגיאומטריה להלן

A+B

$$(A+B)^2=A^2+2AB+B^2$$

$$(A+B)^3=A^3+3A^2B+3AB^2+B^3$$

$$(A+B)^4=A^4+4A^3B+6A^2B^2+4AB^3+B^4$$



זהות פסקל:

$$(n+1)^{k+1} - 1 = \sum_{m=1}^n ((m+1)^{k+1} - m^{k+1}) = \sum_{p=0}^k \binom{k+1}{p} (1^p + 2^p + \cdots + n^p)$$

Giovanni / Jean-Dominique Cassini (1625-1712)

אסטרונום איטלקי שעבר מבולוניה לצרפת לנהל את מצפה הכוכבים של לווי-ה-14 בפריז.
גילה ארבעה לווינים לשבתאי (סטורן) ואת החלוקה בטבעותיו.
ערך מפות טופולוגיות של צרפת.

תורת המספרים: נוסחה רקורסיבית למספרי פיבונאצ'י:

$$F_{n-1}F_{n+1} - F_n^2 = (-1)^n.$$

נוסחת קסיני:

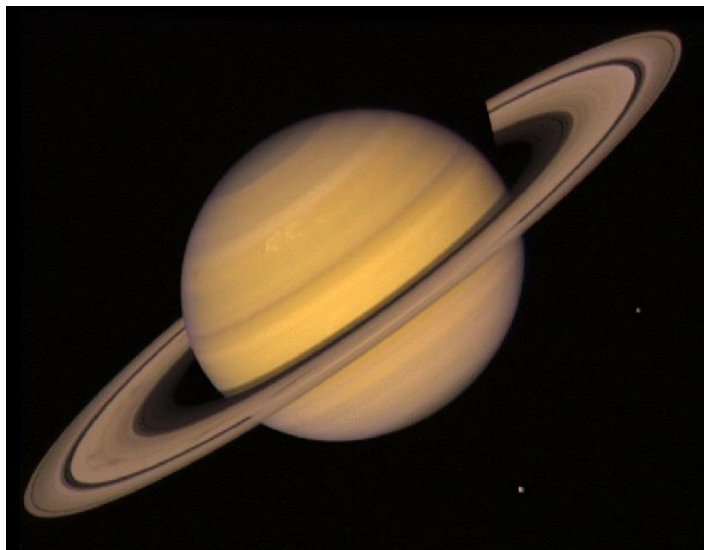
$$F_n^2 - F_{n-r}F_{n+r} = (-1)^{n-r}F_r^2.$$

הרחבת קטאלאן Catalan:

$$F_{n+i}F_{n+j} - F_nF_{n+i+j} = (-1)^nF_iF_j.$$

הרחבת וג'דה Vajda:

1672 פוגש בפריז את הדיפלומט לייבניץ המתכנן מכונת חישוב



Michelle Rolle (1652-1719)

מתמטיקאי צרפתי.

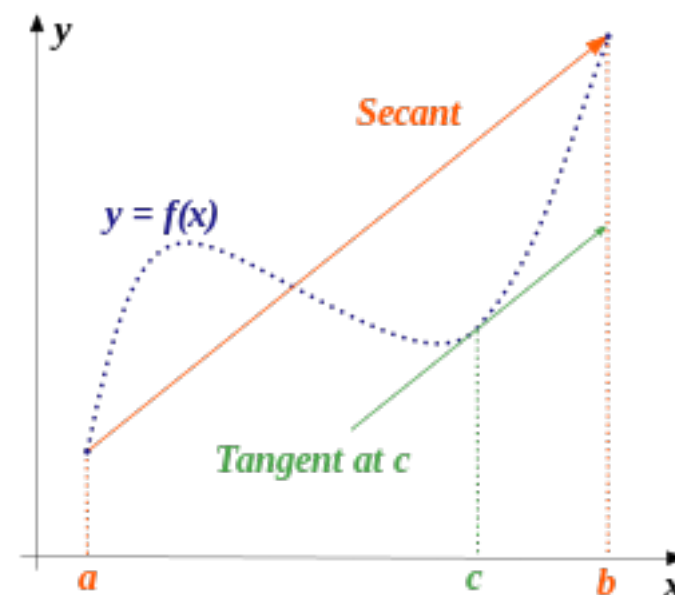
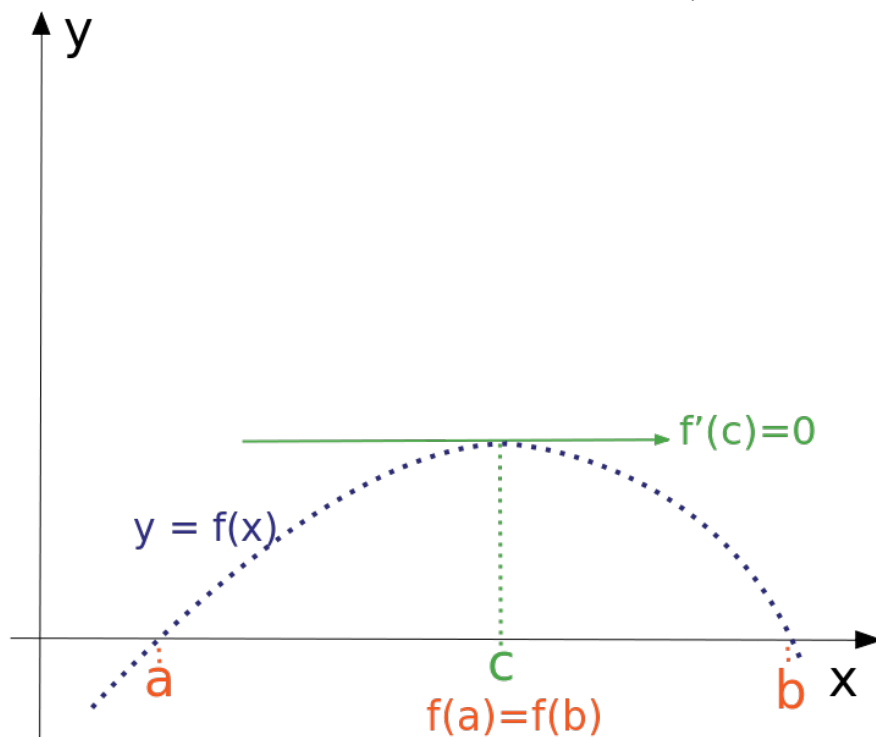
משפט רול Rolle's theorem : פונקציה ממשית וגזירה עם ערכים שווים בשתי נקודות a, b , הנגזרת שלה מתאפסת בנקודת ביניים c .

חשיבות להוכחות שונות

עבור פונקציות רציפות,

כגון פיתוח טיילור,

ומשפט הערך הממוצע: יש נקודה עם שפוע מקביל למיתר.



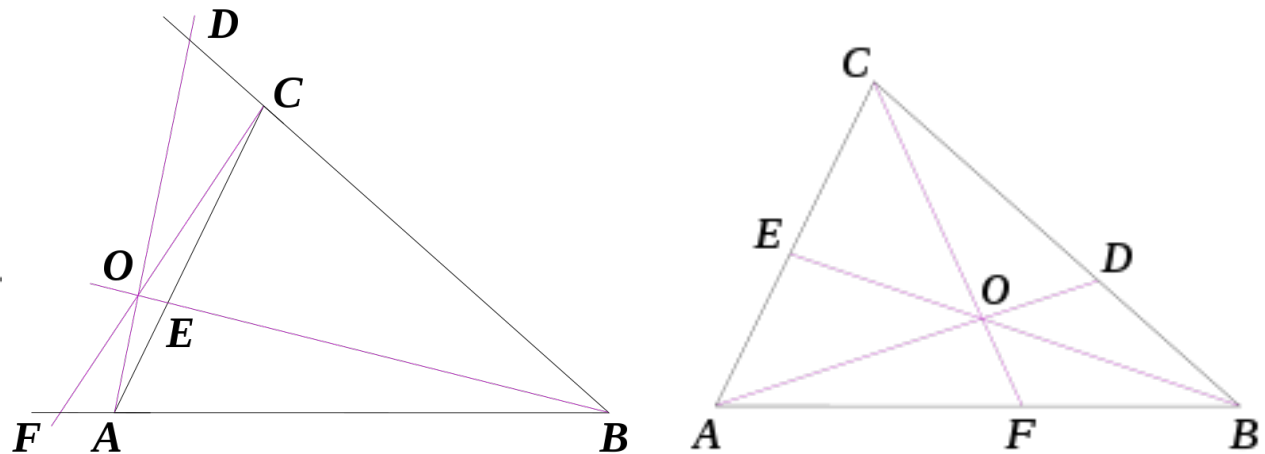
Giovanni Ceva (1647-1734) Italy

גיאומטריקן איטלקי.

משפט צ'ווה Ceva theorem:

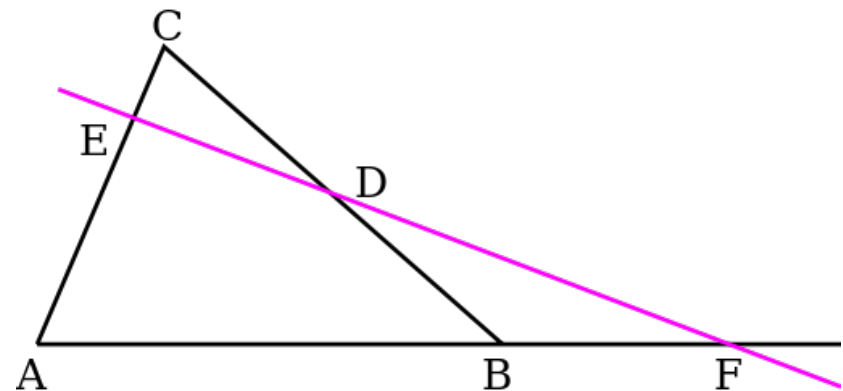
אם נשרטט שלשה קווים מקדקדי משולש אל הצלעות מנגד, הם ייפגשו בנקודה אם ורק אם:

$$\frac{AF}{FB} \cdot \frac{BD}{DC} \cdot \frac{CE}{EA} = 1.$$



דומה למשפט מנלאוס מאלכסנדריה 140 – 70 Menelaus' theorem

$$\frac{AF}{FB} \times \frac{BD}{DC} \times \frac{CE}{EA} = -1.$$



דמואבר (1667-1754) Abraham De Moivre

מתמטיקאי צרפתי, קולגה לניוטון, הלוי וסטרלינג.

זכור בעיקר בזכות נוסחת דמואבר **De Moivre formula** לחזקות מספרים קומפלקסיים שהופכת את ההצגה בקואורדינטות קטביות כה נוחה:

$$(\cos x + i \sin x)^n = \cos(nx) + i \sin(nx),$$
$$\sin x = \frac{1}{2}(\sin(nx) + i \cos(nx))^{1/n} + \frac{1}{2}(\sin(nx) - i \cos(nx))^{1/n}$$

כתב ספר על הסתברויות (בעקבות קרדאנו).

חוק דמואבר **De Moivre law**:

מניח שאירועי מוות מפוזרים אחיד בזמן. לאדם סכוי לשרוד x שנים:

$$S(x) = 1 - \frac{x}{\omega}, \quad 0 \leq x < \omega.$$

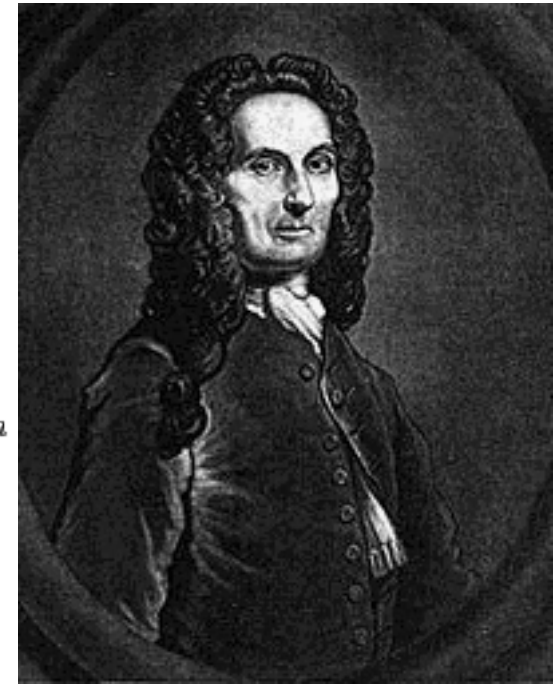
הגיל הסופי ω .

הסכוי שתינוק שחי x שנים ייחיה לפחות עוד t שנים:

$${}_t p_x = \frac{S(x+t)}{S(x)} = \frac{\omega - (x+t)}{\omega - x}, \quad 0 \leq t < \omega - x,$$

אם ארועי המוות גורמים לדעיכה אקספוננציאלית של אוכלוסיה, הינו $S(x) = \exp(-\mu x)$ אזי:

$${}_t p_x = S(x+t)/S(x) = \exp(-\mu t)$$



גיאומטריה

לגיאומטריה האנליטית במאה ה-17 וה-18 היתה השפעה מרכזית בפיתוחים מתמטיים של המכאניקה הקלאסית במאות 18 ו-19, והיתה הבסיס לניסוחים המתמטיים של מכאניקת הקוואנטים במאה ה-20, לחוקי השימור של מספרים קוואנטים, ולניבוי קיומם של חלקיקים אלמנטאריים חדשים מתוך הסימטריה במרחב מספרים קוואנטים אלה.

הגיאומטריות הלא אוקלידיות והתמרת קואורדינטות במרחבים רב ממדיים היוו את הבסיס המתמטי לתורת היחסיות הפרטית והכללית.

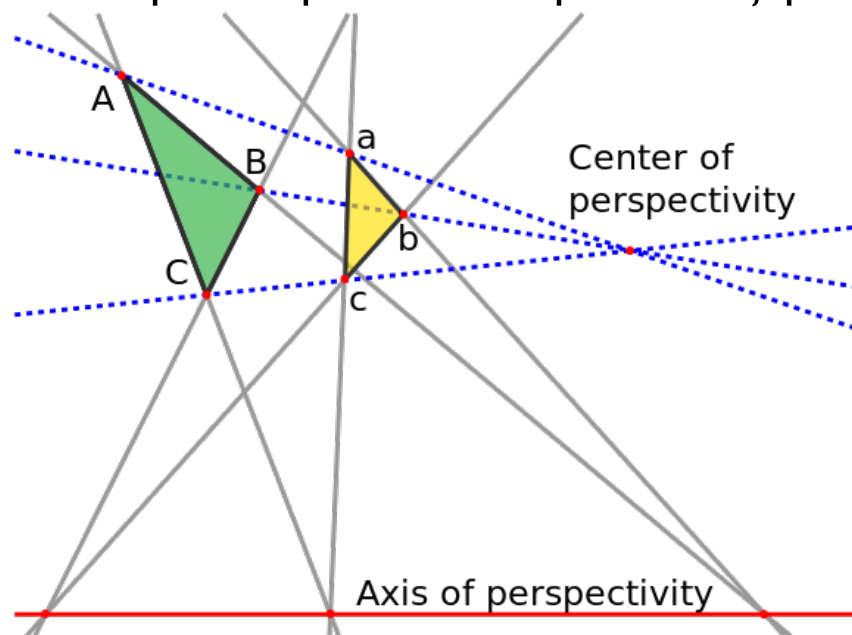
כמעט 2000 שנים אחרי אוקלידס, התעורר תחום זה, שהיה אולי דוגמא למתמטיקה אכסיומאטית עם לוגיקה מושלמת, והדגים שוב את הקשר הלא צפוי בין מדע בסיסי למדע שימושי.

להלן אנשי מפתח בהסטוריה של הגיאומטריה מהמאה ה-17 ועד היום:

דסארג (1591–1661) Girard Desargues

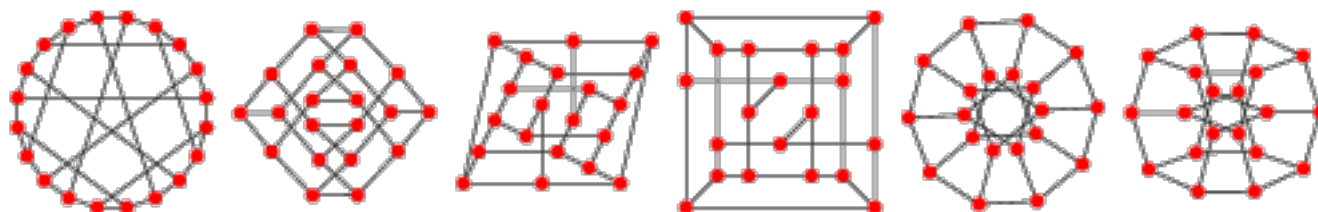
מתמטיקאי ומהנדס צרפתי, אחד ממייסדי גיאומטריית היטלים ופרספקטיבה, שהתבססה על עבודות אלחזאן Alhazen קפלר, ברונולסקי, וחתכי קונוס של הקלאסיקאים: משפט דסארג:

Desargues' theorem
שני משולשים הם
בפרספקטיבה אם
ורק אם המשכי
צלעותיהם נפגשים
על קו אחד (אדום)



גרף דסארג:

Desargues graph
גרפים רגולאריים.
שימוש בכימיה.



1596-1650 René Descartes

פילוסוף ומתמטיקאי צרפתי שאמר: "אני חושב משמע אני קיים" 1641.
מערכת קואורדינטות קרטזיות, השתמש באלגברה לגיאומטריה, כגון משוואת קו ישר.
גיאומטריה אנליטית. הראשון להשתמש באקספוננט, שרשים שליליים,



René Descartes 1596-1650

✱ "I think; therefore I am."

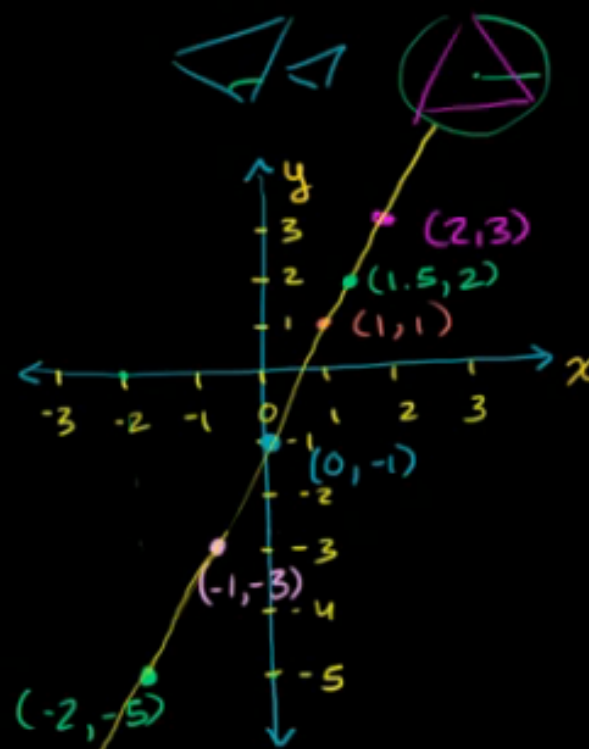
✱ "You just keep pushing. You just keep pushing. I made every mistake that could be made. But I just kept pushing."

Algebra

$$y = 2x - 1$$

x	y	
-2		$2(-2) - 1 = -5$
-1		$2(-1) - 1 = -3$
0		$2(0) - 1 = -1$
1		$2(1) - 1 = 1$
2		$2(2) - 1 = 3$

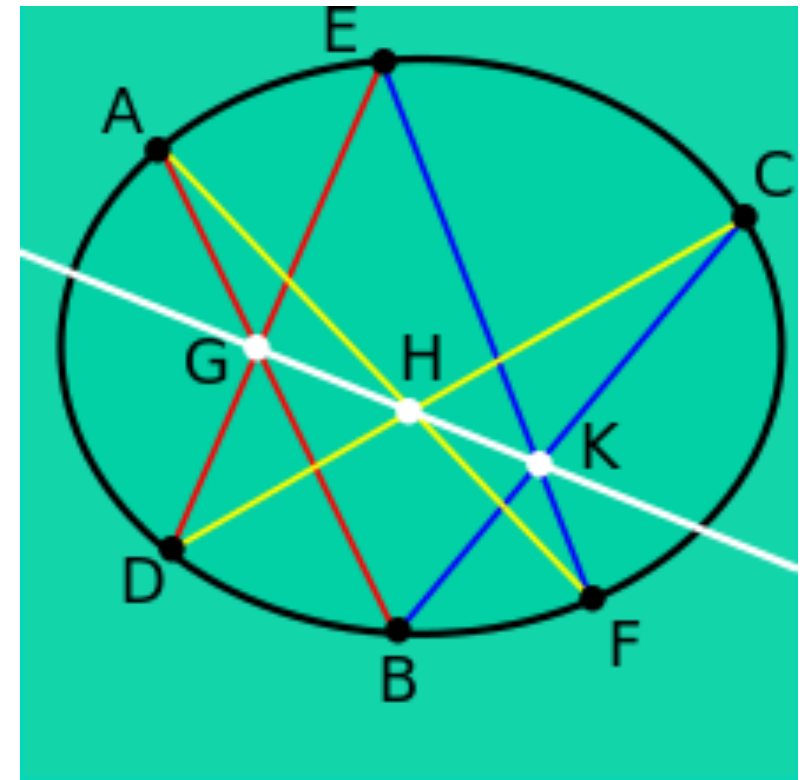
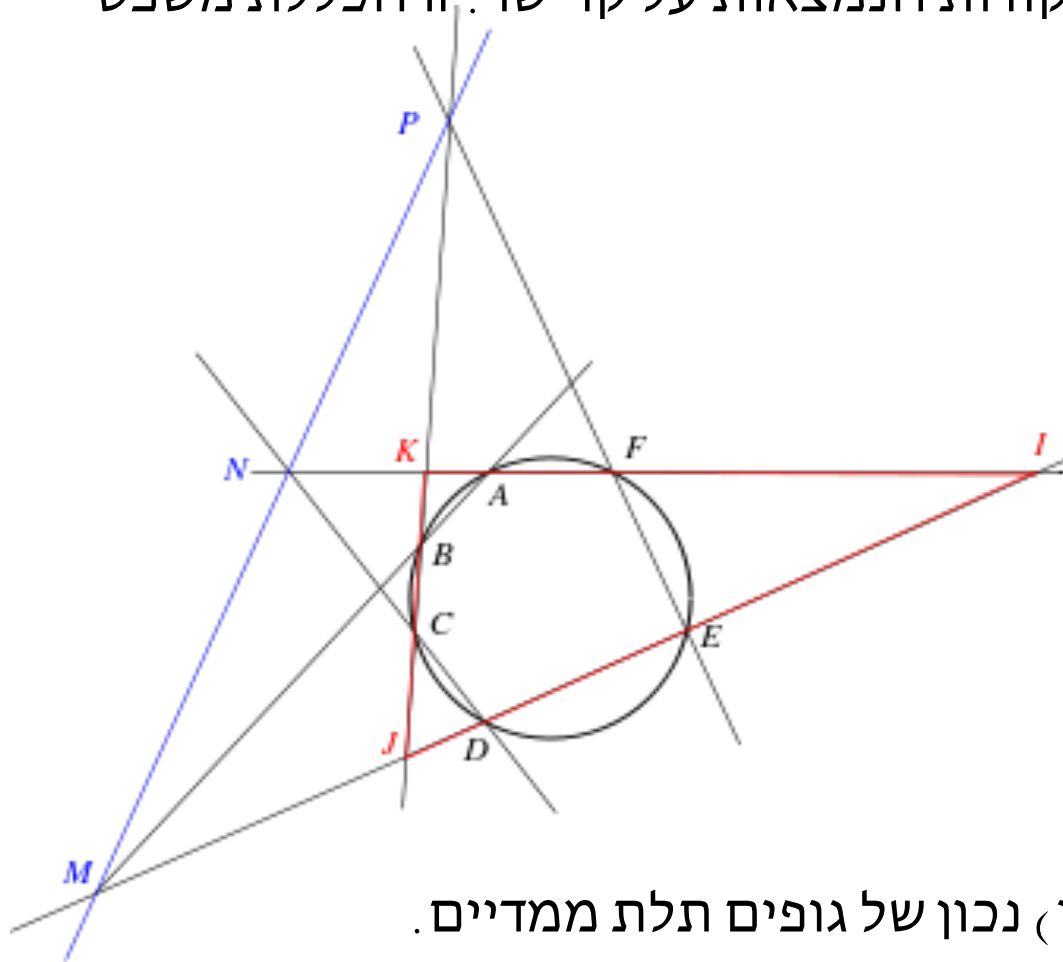
Geometry



פסקל (1623-1662) Blaise Pascal

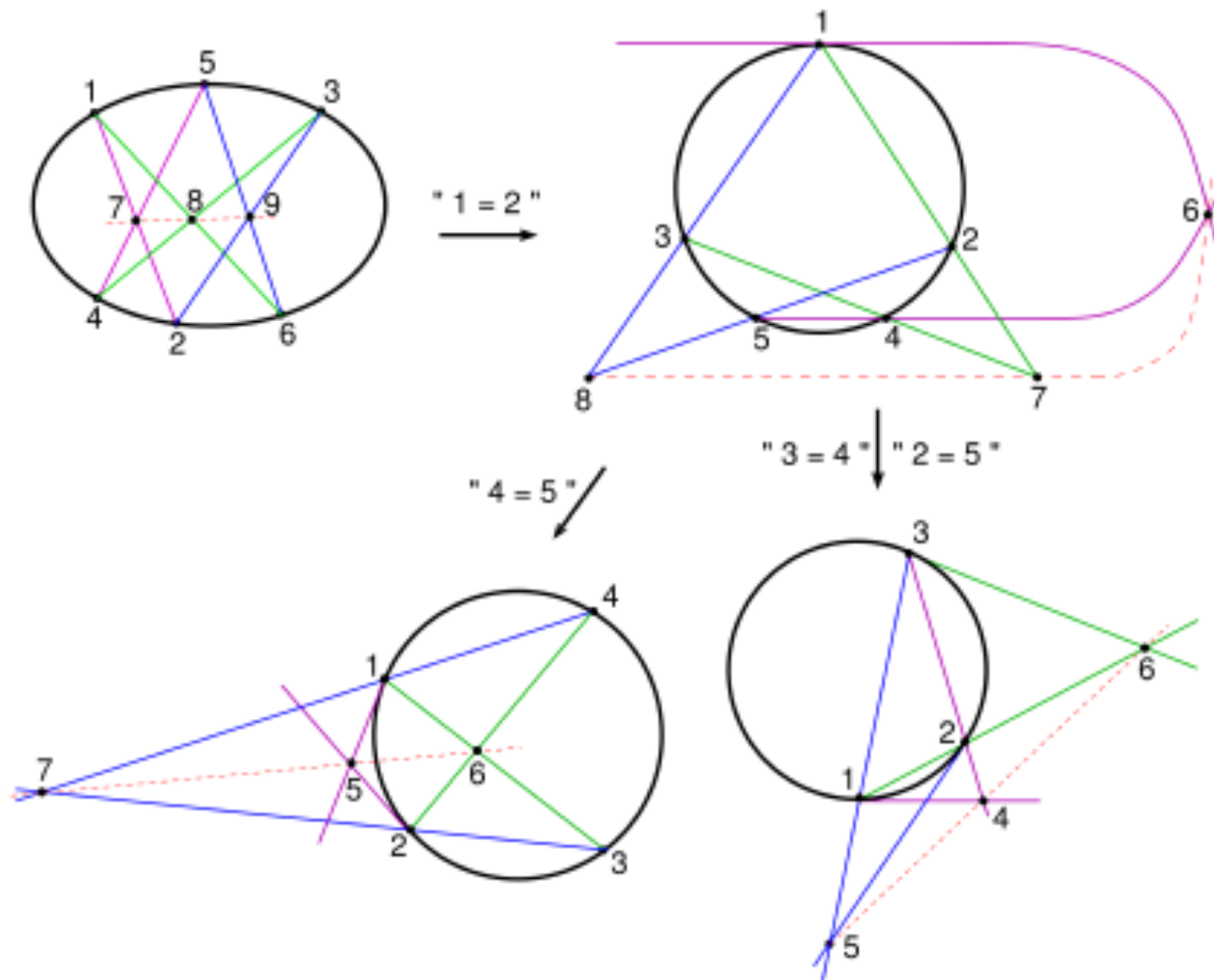
בחיבורו על חתכי קונוס היה ממציא שותף לגיאומטריה ההיטלית, והוכיח משפטים רבים בתחום זה, הידוע ביניהם, משפט פסקל: 1639

6 נקודות שרירותיות על חתך קוני המחוברות בקווים יוצרות הקסגון. חיבור זוגות הקדקדים משני צדדיו נחתכים בשלש נקודות הנמצאות על קו ישר. זו הכללת משפט פפוס למעגל:



חשיבות המשפטים היא לציור (דו ממדי) נכון של גופים תלת ממדיים. השלכת קו היא קו. השלכת עיגול יכולה להיות עיגול, אליפסה, פרבולה או היפרבולה, תלוי במישור ההיטל. כללית חתכי קונוס מוטלים לחתכי קונוס.

מצבים מנוונים למשפט פסקל (קוים מקבילים)



אינפי

CALCULUS

מעניין שנושא הגבול הזעיר של ערכים הטריד מאד כבר את היוונים. מושג האינסוף (וגם האפס) לא היה שגור עליהם, ולכן פרדוקס המרוץ של זנון מול הצב לא מצא לו פיתרון מתמטי, למרות שהפתרון במציאות היה ברור (זנון ישיג את הצב...)

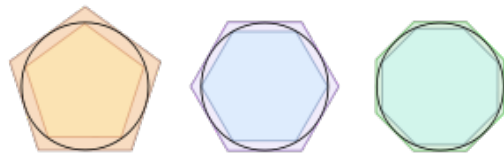
למרות שכביכול אין קשר בין גיאומטריה לחשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי, השטח "החל את דרכו" בעיקר עקב הצרכים של ניוטון לתאר תנועת גופים, והרצון של לייבניץ לתאר גיאומטריה באמצעים אנליטיים.

רק לאחר שימוש נרחב בפונקציות, נגזרותיהם והאינטגרלים שלהם מהמאה ה-16 ועד למאה ה-18 מצאו מתמטיקאים את הצורך לבסס את התחום באופן קפדני (ריגורוזי). אמנם משפטי המפתח בתורת הפונקציות יושמו לפונקציות "חלקות" אך אלה הורחבו לפונקציות סינגולאריות (שערכן בנקודה מסויימת הוא אינסופי, או אין להם נגזרות מוגדרות) והתחום מצא שימושים חשובים בתורת השדות (שדה הפוטנציאל של מטען נקודתי הוא אינסופי במקום המטען)

חשבון אינפיניטסימאלי (אינפי, חשבון דיפרנציאלי ואינטגראלי) CALCULUS

מצרים: חישובי שטחים ונפחים בפפירוס מוסקבה 1820 לפה"ס
אינו רושם נוסחאות, אלא פתרונות מספריים.

הודו: Sulba Sutras מכילים מעין נגזרות לפונקציות טריגונומטריות
בבלים: אינטגרציה בעזרת חוק הטרפז בתצפיות על יופיטר
יוונים: דמוקריטוס –



פרדוקס זינו והצב.

נטיפון ויודוקסוס – שיטת המיצוי method of exhaustion

ארכימדס – שטח עיגול, אינטגראל נפח של גופים גיאומטריים וגופי סיבוב

סינים: Liu Hui גילה מחדש את שיטת המיצוי במאה השלישית

קאווליירי Cavalieri אינטגרלים – Method of indivisibles, method of exhaustion

כנראה קדמו לו במידה מסויימת במאה הרביעית לפה"ס דמוקריטוס ובמאה החמישית

אחה"ס הסיני Zu Chongzhi

מאה 16–17: נגזרות פונקציות, ושפוע גראפים – דקארט, פרמה, פסקאל, וואליס

ובארו Isaac Barrow, מורו של ניוטון

ניוטון ולייבניץ – אינפי

מאה 18: קושי ובולצאנו Cauchy, Bolzano – הוכחות ריגורוזיות בתורת הפונקציות (ϵ - δ)

מאה 19: וירשטראס –

Bonaventura Francesco Cavalieri 1598–1647

1635 משפט קבאליירי

נכון לשטחים ולנפחים: אם שתי צורות שוות באורך/שטח בכל חתך שלהן אזי

שטחיהן/נפחיהן שווים.

התמונה ממחישה ששתי ערימות המטבעות שוות בנפחן



Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716)

מכונת חישוב עם שבשבת pinwheel , ומספרים על בסיס בינארי
1684 משתמש ב"פונקציות" ופירסם מערכת לחשבון דיפרנציאלי calculus שפותחה במקביל
ע"י ניוטון. היום הסימונים הם בעקבות לייבניץ, ולא ניוטון.

פיתח תחביר לוגי שמאפשר חישוב הסתברויות בהנחות נתונות **??? דוגמא ???**
אנרגיה קינטית mv^2 נשמרת.

השתמש ב-7 עקרונות פילוסופיים בעבודתו



פיזיקה



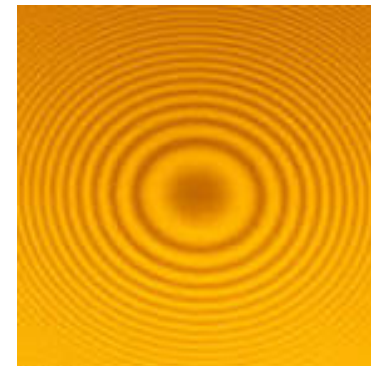
Robert Hooke 1660s

נטורליסט אנגלי שתכנן ובנה מיקרוסקופ עם תאורת שמש או מנורת אלקוהול ממראה והציע מבנה תאי לצמחים (ראה ביולוגיה). גם חקר מאובנים תחת המיקרוסקופ שלו, ומקבל קרדיט מהפליאונטולוג לייל Charles Lyell כח שמפעיל קפיץ (חוק הוק $F=kx$). עזר בפיתוח שעון מטוטלת בהמצאת עוגן המשחרר בכל תנועה שן אחת בגלגל שיניים, וגם בנה שעוני קפיץ. חום מוגדר כתכונת גוף הנובעת מתנודות של מרכיביו.

מגלה "נקודה שחורה" בבועות סבון. (בעתיד יתקשר להתאבכות האור) באופן בלתי תלוי בגרימלדי מציע שהאור נובע מתנועה מחזורית מהירה וקצרה המתקדמת בקוים ישרים דרך מדיום הומוגני.

1667 מדווח ב"מיקרוגרפיה" על טבעות התאבכות של אור בין שתי זכוכיות. נצפה לראשונה ע"י בויל, אך נקראות "טבעות ניוטון". נותן הסבר לשבירה והתאבכות גלים הנעים באתר. מציע שאור לבן הוא הפרעה פשוטה, וצבעים הם עוות מורכב של האור הלבן.

היה מודד בשחזור לונדון ע"י Wren אחרי השריפה הגדולה ב-1666. הוא עסק גם באסטרונומיה, הכיר בכוח הגראויטציה, למרות שלא ידע את תלות הכח במרחק, וניסח את חוק התנועה בקו ישר ללא כח לפני ניוטון.



1600- William Gilbert

רופא החצר של המלכה אליזבת. גילה שהארץ היא מגנט עצום ומסביר פעולת המצפן. חוקר חשמל סטטי ומסביר שנוזל חשמלי משתחרר בשיפשוף. רופאים רבים במאה ה-16 באנגליה של המלכה אליזבת הראשונה האמינו שלמגנטיות כוח ריפוי. גילברט בנה מעין מצפן עם מחט לא מגנטית, שהוסטה בשדה מגנטי – מעין אלקטרוסקופ, וקרא לגופים שהזיזו את המכשיר שלו "חשמליים". היה כנראה הראשון להשתמש ב"חשמל" (המילה היונית לעינבר) "כוח חשמלי" "קוטב מגנטי" "משיכה חשמלית". עירבוב בין חשמל ומגנטיות.

1605 Sir Francis Bacon

מפרסם ספר על לימוד המכיל "שיטה מדעית למחקר".
1620 מחקר מקיף על חום ומסיק שחום קשור לתנועה.

1620- Niccolo Cabeous

1630 מגלה שמטען חשמלי בא בשתי צורות ויכול למשוך וגם לדחות.

1660 תחרות טלסקופים

התפתחות האופטיקה ושימושיה למשקפיים, טלסקופים ומיקרוסקופים קסמה לא רק למדענים ושוחרי המדע אלא גם למלכים, אצילים ובעלי ממון. הטלסקופ היה בראש ההתעניינות, אולי כי השימוש בטלסקופ ארצי איפשר הדגמה מרשימה.

ברומא הוכרזה תחרות שבה יקראו טקסטים בסדר מעורב של פטרוקה, דאנטה ואריסטו ממרחקים הולכים וגדלים, וייבחנו דיאגרמת כושר הפרדה, דומה למה שבשימוש כיום אצל רופא העינים, שהוכנה ע"י האקדמיה del Cimento בפירנצה. נבחנו טלסקופים של בונה מכשירים ידוע – Eustachio Divini מול השען הצעיר Giuseppe Campani. למרות שלא הוכרז מנצח בתחרות, קמפארי הצעיר זכה בפירסום. שני הטלסקופים ניקנו לאוסף מדיצ'י ומוצגים היום במוזיאון המדע בפירנצה.

שעונים וזמן

בסוף המאה ה-15 שענים בנירנברג פיתחו שעוני קפיץ במקום המישקולות. ההמצאה איפשרה פיתוח שעונים נישאים.

1335 שעון מכאני במילאנו.

1581 גלילאו מבחין במחזור המטוטלת תלותו באורך ואי תלותו במסה. מדווח

לרשויות בהולנד וכנראה הגיע להויגנס Huygens

1659 רישום לבנית שעון ע"י וויאני Vincenzo Viviani 1622-1703 לפי הוראות של

גלילאו שנמסרו לבנו וינצ'נטו Vincenzo 1606-49 השען הפלורנטיני פרוצ'לוטי

Eustachio Porcellotti השתמש ברישומים ובנה את "מודד הזמן".

1656 קריסטיאן הוגנס (הוכנס) Christian Huygens בונה שעון מטוטלת, ובפריז

שעוני העיר מסונכרנים.

הויגנס Christiaan Huygens, 1629 1695

מדען הולנדי שבין ממצאיו: (ראה גם במתמטיקה)
טבעות השבתאי (סטורן) וירחו טיטאן. ערפילית אוריון וכמה
כוכבים בתוכה. קבע מרחקי כוכבים מבהירותם – טעות
(מדוע?).

המצאת שעון מטוטלת ושעון קפיץ, תנועה הרמונית.

מחזור מטוטלת:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

תנודות מיתר – סולם צלילים מושווים, שימוש בלוגריטם.
צלילי המיתרים בכנור יחסיים הפוך לאורך.

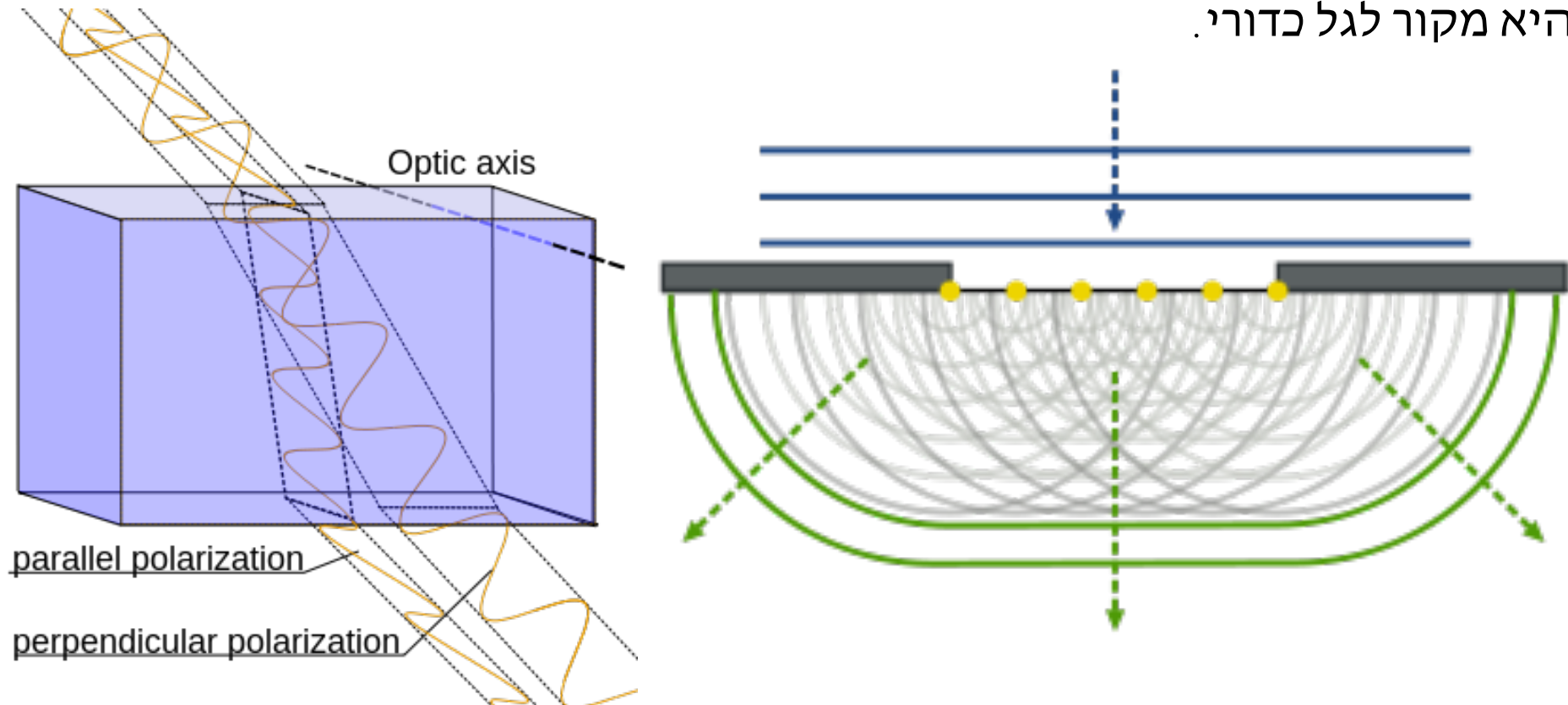
תדירות תנועת המיתר $f =$
המתיחות $T =$
המסה ליחידת אורך $\mu =$

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

מסלולי קליעים: רושם את חוק ניוטון השני.
כוח צנטריפטאלי $F=mv^2/r$ מסיק מחוקי קפלר את התלות
הריבועית של כח הכבידה.



אופטיקה: 1678 עקרון הויגנס-פרנל Huygens-Fresnel לבנית התקדמות חזית הגל, מתוך שמהירות האור קבועה (לפי רומר, 1679 במצפה בפריז). כל נקודה בחזית הגל היא מקור לגל כדורי.



מאחר וגל אורכי אינו יכול להסביר שבירה כפולה birefringence בגבישי קלציט הסיק שהאור הוא גל רחבי עם שני קיטובים אפשריים. פורסם בצרפתית 1690 "Tratié lumière" (רצה אך לא תירגם ללטינית). מעניין שהתיאוריה מבוססת על פולסים ולא גל מחזורי!
1651-2 חקר התנהגות עדשות כדוריות וטלסקופים. היה מקור השראה להרשל.

Ismael Bullialdus

1640 מציע תלות ריבועית לכח הכבידה

Cavalieri

1647 מפתח את התלות בין עקמומיות עדשה ומרחק המוקד:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Pierre de Fermat

1665 מראה שעקרון הזמן המינימאלי למסלול קרן אור מסביר שבירה. העקרון הוצע ע"י הירו האלכסנדרוני.

גרימאלדי Francesco Maria Grimaldi

1665 מגלה שתמונת האור העובר בסדק צר אינה מוסברת כהתפשטות קרניים בקוים ישרים: תמונת "עקיפה" דיפרקציה לאור. מוסברת ע"י האופי הגלי של האור.

John Wallis

1668 מציע חוק שימור התנע.

1676-1689 - Gottfried Leibniz

1676–89 מפתח תורה (מוגבלת) של שימור אנרגיה.

1673 — Ignace Pardies

1673 מציע הסבר גלי לשבירת אור.

René Descartes

אופטיקה: אישר זווית הקשת הראשונית והמשנית ביחס לכוון השמש.

תעופה

Evliya Çelebi מדווח על Hezarfen Ahmet Celebi

הדואה בכנפיים מלאכותיות מראש מגדל גלאנטה באיסטנבול וחוצה את מיצר בוספורוס.

Jesuit Francesco Lana de Terzi

1670 יישועי שמציע מבנה לספינת אויר, אך אלהים לא ירשה זאת... כי כל עיר תהיה פרוצה לכיבוש.

Jacob Besnier

1678 חרש ברזל צרפתי שמדווח שעף עם מכונת כנפיים מתנפנפות.

מנועי חום

Johann Joachim Becher

1669 חקר נסיוני על מינרלים. תיאוריה לשריפה: מציע שאדמה שמנונית גורמת לשריפות – בסיס הרעיון של נוזל החום – פלוגיסטון flogiston.

Christiaan Huygens (1629-95)

1673 בונה מנוע בכוח התפוצצות אבק שריפה.

Denis Papin 1647-1712

1679 מפתח מיכל סגור בו מדד שנקודת הרתיחה עולה בעלות הלחץ, כהדגמה לתלות נקודת הרתיחה בגובה.

1690 ממציא משאיבה עם בוכנה המונעת בקיטור.

Thomas Savery 1650-1715

1698 מנוע קיטור המבוסס על יצירת ריק בעיבוי הקיטור – רשם פטנט. ייושם לשאיבת מים ממיכרות פחם וגם לאספקת מים לבתי כפר מרוחקים וגבוהים.

Thomas Newcomen (1664-1729)

1712 מנוע בוכנה בשאיבת קיטור – לשאיבת מים ממכרות.

–> מנועים מאפשרים טכנית את המהפיכה התעשייתית –>

Edmond Halley 1656-1742

בעל קריירה מדהימה: קברניט ספינה, משרטט מפות (קרטוגרף) פרופסור לגיאומטריה באוקספורד, מנהל המטבעה המלכותית (mint), אסטרונום מלכותי, ממציא פעמון הצלילה, כתב על מגנטיות, גאות ושפל, תנועת כוכבי הלכת, והשפעות אופיום. המציא מפות מזג אויר, טבלאות תמותה, הציע שיטות לקביעת גיל הארץ ומרחקו מהשמש, ושיטה לשימור דגים טריים. את השביט שעל שמו לא הוא גילה (הוא דווח בשנים 1456, 1531, 1607) אך כשראה אותו ב-1682 הבין שזה אותו שביט שנראה מקודם. השביט נקרא על שמו ב-1758 לאחר שנפטר. בסעודה עם Robert Hooke (מגלה התא במיקרוסקופ, וחוק הקפיץ) ו-Sir Christopher Wren (האסטרונום והארכיטקט) הציעו פרס להסבר על התנועה האליפטית של כוכבי הלכת. הליי הביא את הבעיה לניוטון שקישר את המסלול האליפטי לחוק הגראוויטציה התלוי ברבוע המרחק, וכתב את Principia.

1693 מגלה את נוסחת המרחק הפוקאלי לעדשה כדורית ואת הקשר למרחק הדמות:

$$1/o + 1/i = 1/f$$

John Hadley (1682-1744)

מראה מחזירה פרבולית בטלסקופ ניוטוני.

חשמל ומגנטיות

בתחילת המאה ה-17 היה עדין ערבוב בין חשמל ומגנטיות. שניהם הראו הפעלת כוח מרחוק (אולי הבסיס להבנת כוחות הכבידה). היו כמה דרכים ניסיוניות שאיפשרו "הטענת" גופים בחשמל (מברקים, מחיכוך), שהביאו לגילוי שיש שני סוגי חשמל ויש כוחות משיכה או דחיה ביניהם. רק לאחר שיכלו לייצר מטענים באופן רצוף גילו את הולכת חשמל במתכות, ופירוק מטען חשמלי, ולעומתו שבירת מגנט שיוצרת שני מגנטים כל אחד עם שני קטבים.

חשמל

Otto von Guericke

1672 יוצר חשמל במכונת חיכוך – גנרטור. (ראה גם ואקום להלן).

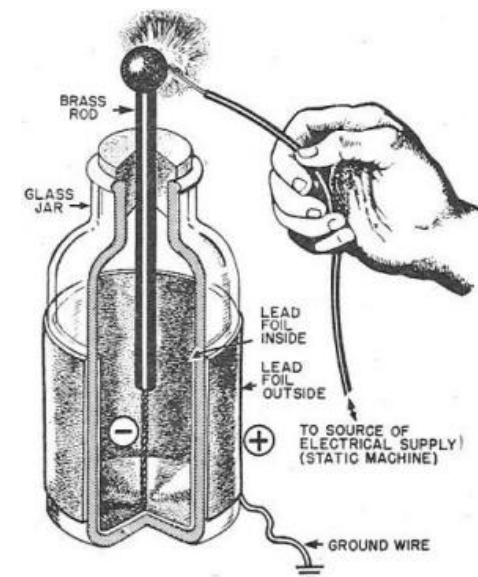
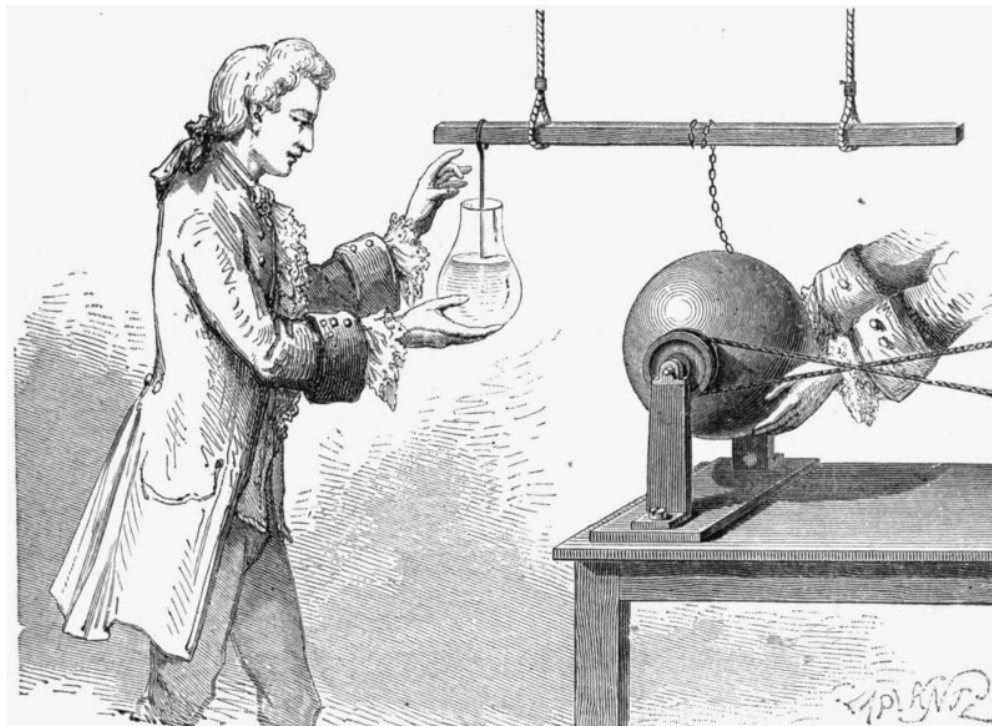
Stephen Gray (1666-1736)

1729 חשמל מועבר בכבל מתכתי.

Pieter van Musschenbroek from Leyden

1745 צבירת מטען חשמלי בכד ליידין - Leyden jar

ציפוי הכד מבפנים ובחוץ בדיל (עם זכוכית מבודדת ביניהם) שימשה כקבל, והקיבול גדל ככל שהזכוכית נעשתה דקה יותר, ויכלה לשמור על מטען של אלפי וולטים. חשיבותו כספק חשמל זרם ישר יציב לנסיונות, בניגוד לגנרטורים.



Benjamin Franklin (1706-1790)

1749 באמריקה, "תופס" ברקים בעזרת עפיפון וכמעט מת מהשוק החשמלי.

Cavendish

נותן לעצמו מכות חשמל עד אובדן הכרה.

מנסח חוקי הולכת חשמל. נתגלו במחברותיו רק ע"י מקסוול בסוף המאה ה-19 מבלי לדווח, גילה חוק שימור אנרגיה, חוק אוהם, חוק הלחצים החלקיים (דלתון), חוק ריכטר של יחסים הדדיים (Richter's law of Reciprocal Proportions) חוק הגאזים של צ'ארלס, עקרונות מוליכות חשמלית, השפעת חיכוך בגין גאות ושפל על האטת סיבוב כדור הארץ (Kelvin & G.H.Darwin) התקררות מקומית של האטמוספירה (Larmor 1915), תערובות מקפיאות (Pickering) שוי משקל בתערובות (Rooseboom) וניבא קיום גאזים אצילים.
על שמו הוקמה מעבדת קאוונדיש המפורסמת בקיימברידז'.

גאזים

פון גויריקה Otto von Guericke

פיזיקאי וראש העיר מגדנבורג. קובע משקל האויר. בונה משאיבת ואקום 1654 שוקל אויר
Magdeburger Halbkugeln הדגמת חצאי הכדורים של מגדנבורג בפני הרייכסטג הגרמני: כוח
הואקום לאחוז בין שני חצאי כדורי מתכת חזק ממשיכת 16 סוסים. מזכיר את חיתוך הקשר
הגורדי ע"י אלבסנדר מוקדון - חרב חדה או חוד מחט ישחרר כוח של סוסים.
מצא כי פעמון אינו מצלצל בואקום, ונר דועך. בנה גנרטור היוצר חשמל, והראה הולכתו בחוט

רטוב למרחק
כמה מטרים.



תכונות פיזיקאליות של גזים

Boyle's Law	$PV = \text{const}$	1662 חוק בויל – מריוט
Amontons's Law	$P/T = \text{const}$	1699 חוק אמונטונס
Charles's Law	$V/T = \text{const}$	1780 חוק צ'רלס
Gay-Lussac	שוב ע"י	

Robert Boyle

1660 משתמש במשאיבת ואקום שפיתח ומוצא באופן נסיוני את "חוק בויל", הקשר בין נפח ולחץ גז $PV = \text{const}$
מוצא שקול אינו נשמע בואקום, ומסיק שקפיצות האויר מעבירה קול.
למעשה החוק מופיע בפירסום מוקדם יותר של **Henry Power**

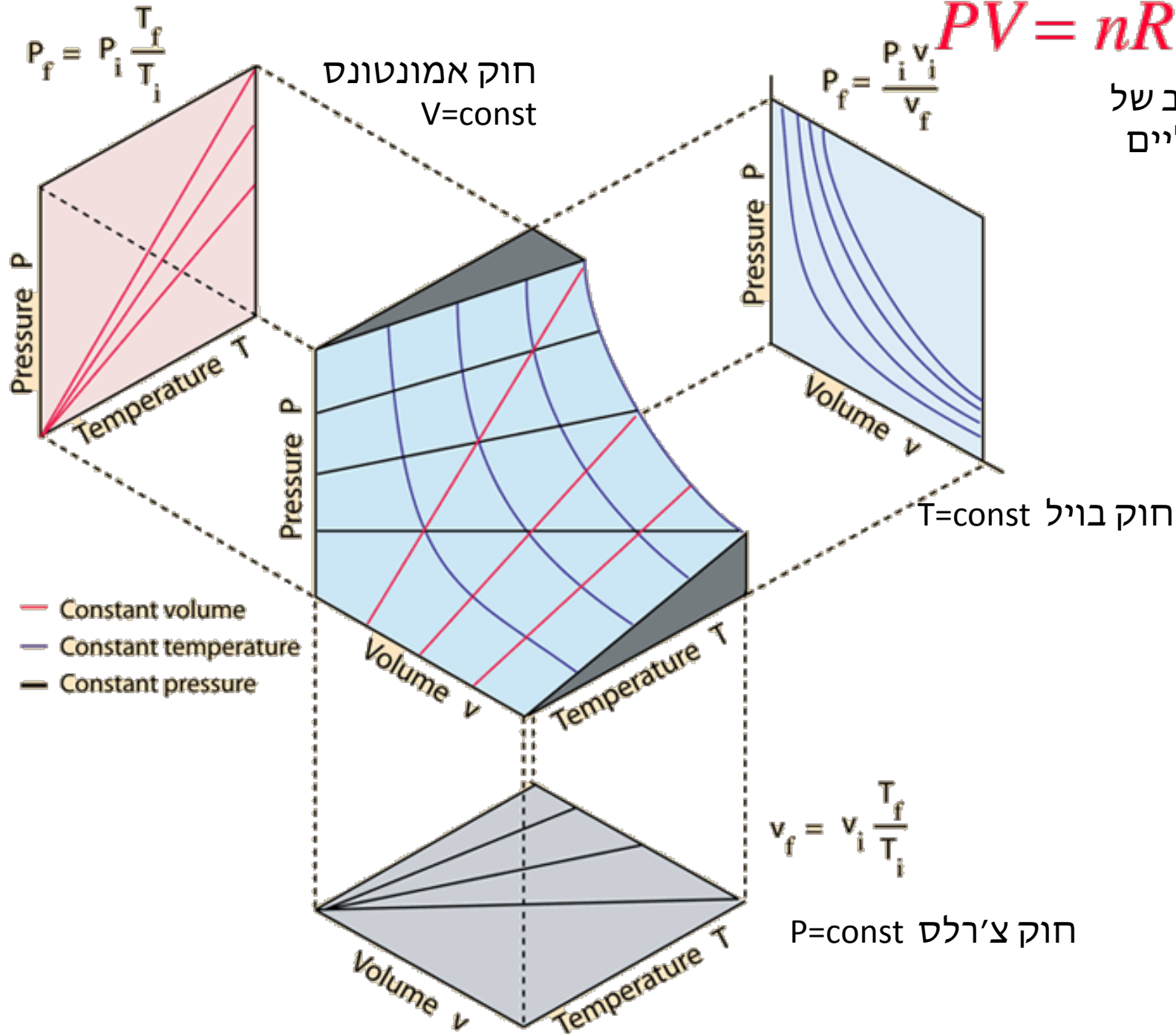
1676 Edmé Mariotte

1676 מוצא את חוק בויל באופן בלתי תלוי ומציין שהוא נכון רק בטמפרטורה קבועה

הברומטר – ראה נוזלים

$$PV = nRT = NkT$$

משוואת המצב של
גאזים אידיאליים

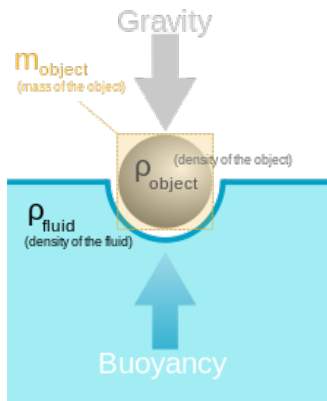


נחלים

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 Hero ו-Ctesibius.
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 שלשת האחים Banū Mūsā בבגדד מתכננים שסתומים הפותחים וסוגרים אוטומאטית מים למזרקות.

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, נפילה בנוזל, סיפון, זרימת מים בנחלים ובצינורות.



מאה 17

1608–1647 אוונגליסטה טוריצ'לי Evangelista Torricelli

תלמידו של גליליי.

1644 ממציא ברומטר הכספית. יוצר ואקום מעל הכספית. הבין שגובה הכספית מאוזן ע"י לחץ האוויר, ולא ע"י הואקום מעליו (שגובהו משתנה בתלות באורך הצנור). **למה כספית ולא מים? אפקט לחץ האדים**

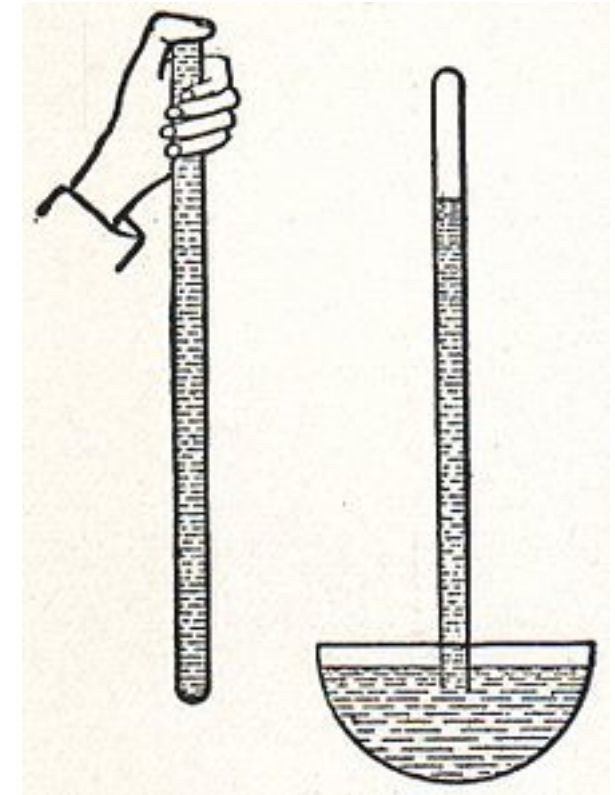
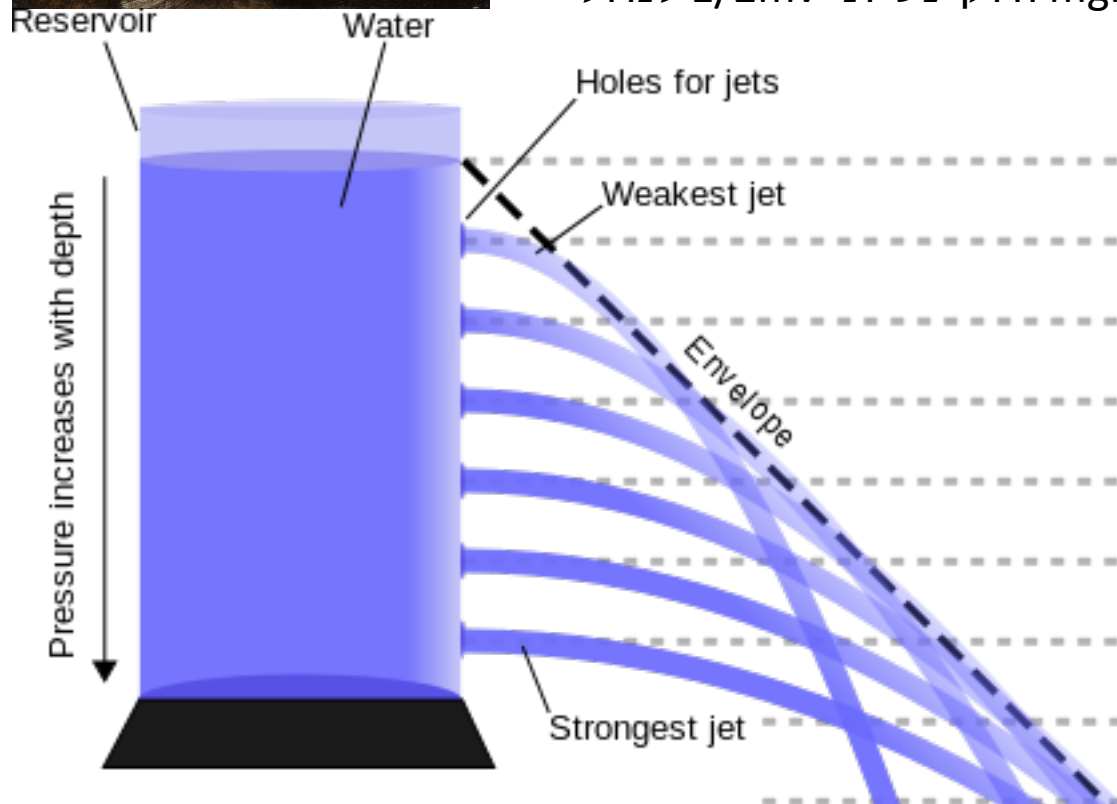
1643 חוק טוריצ'לי – לחץ תלוי רק בגובה הנוזל מעליו.

1648 אושר נסיונית ע"י Raffaello Magiotti

מהירות זרימת הנוזל מחריר בחבית תלויה בשרש גובה הנוזל

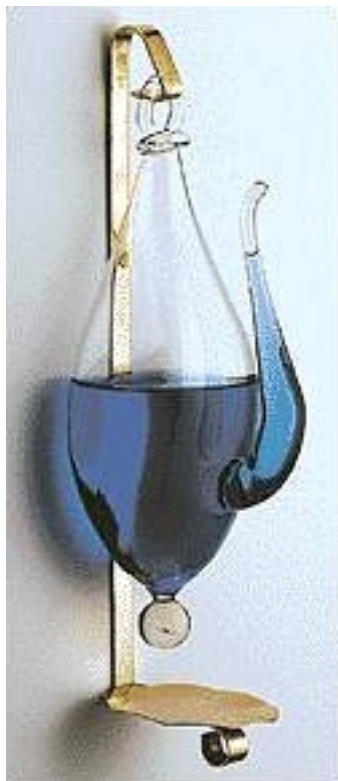
שמעל החריר: $v = \sqrt{2gh}$

נובע משוויון בין האנרגיה הפוטנציאלית mgh והקינטית $\frac{1}{2}mv^2$ לנוזל



ברומטר דיפרנציאלי נבנה ע"י גטה Johann Wolfgang Von Goethe
הוא לא צורך כספית, ששימושה אסור מאז 2007, ואורכו אינו
10 מטרים...

ברומטרים מודרניים מבוססים על קפסולת ממתכת קפיצית
שבתוכה ואקום, הנמתחת מול קפיץ. בשינוי לחץ חיצוני הקפסולה
מתכווצת או משתחררת, והתנועה מועברת לחוגה.
תחנות רישום למזג אויר הפעילו תוף רישום מסתובב ועט הקשורה
לקפסולה הקפיצית. כיום הרישום (והשידור לבסיס) דיגיטאליים.



Benedetto Castelli 1629

חקר זרימת מים בתעלות ובצינורות

Edme Mariotte 1620–1684 אדמה מריוט

1676 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 וצילי החצוצרה.

היה אחראי לתכנון הצנרת למזרקות בוורסיי – מבצע הידרודינאמי מרשים!
1685 תנועת מים ונוזלים אחרים – פורסם לאחר מותו.



1623–1662 **בליז פסקל** מושך מים למגדל. כספית יוצרת ואקום.
(ראה להלן)

Domenico Guglielmini 1655–1710

חיכוך נוזל הזורם עם דפנות התעלה או הצינור.

1649, Gassendi

1649 מדגים ששינוי גובה הכספית בברומטר טוריצ'לי תלוי בגובה: משקל עמוד האויר שמעל דוחס את האויר – הלחץ גורם לעמוד הכספית לעלות.

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

Blaise Pascal 1623-1662
חוק פסקל בהידרודינאמיקה

1646–7 לאחר ששמע על נסיונות טוריצ'לי בברומטרים, ושחזר עמוד כספית בצינור אטום מצידו האחד וטבול במיכל כספית, שאל מה קובע את גובה הכספית, ומה נמצא מעליה בצינור. לפי אריסטו גוף נע מונע ע"י משהו, הממלא כל מקום ביקום – העובדה שאור (הדורש משהו כדי לנוע) עובר דרך האזור מעל הכספית "מונע קיום ואקום". הוא שער שהצינור מעל הנזל מלא באדי הנזל, וציפה שאלכוהול ישאיר מעליו נפח גדול יותר. אך פסקל בדק גובה עמודי נוזלים שונים והראה שגובה הנזל קבוע (שונה לנוזלים שונים) בעוד גובה "הואקום" מעליהם משתנה בהתאם לגובה הצינור. 1648 מגלה מחדש שלחץ האטמוספירה יורד עם הגובה, (גיסו מדד לחץ על ראש ההר Puy de Dome) ומסיק שמעל האטמוספירה יש ריק (ואקום). הראה שהלחץ לא תלוי במשקל על בוכנה, אלא במשקל ליחידת שטח של הבוכנה. לחץ בנזל מועבר באופן שווה לכל ניפחו ופועל אנכית למיכל בו הוא נמצא.

מדוע לא ניתן לשאוב מים מעומק של מעל 10 מטר? מה הפתרון בבארות עמוקים?

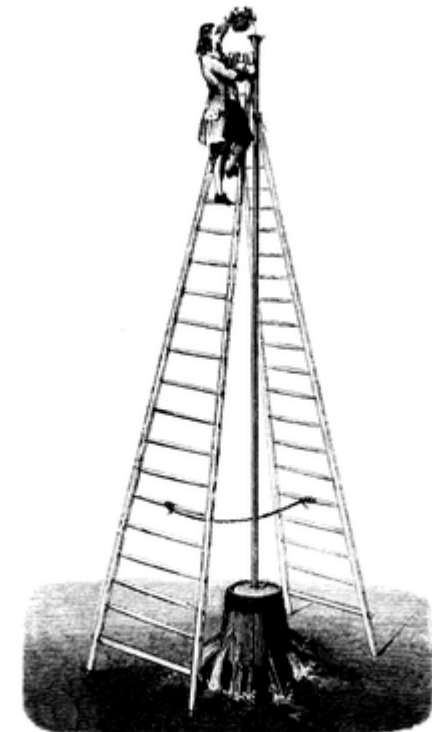
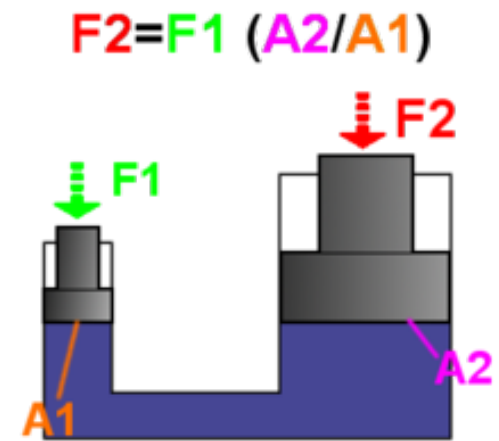


Fig. 45.—Hydrostatic paradox. Pascal's experiment.

1642–1727 ניוטון מגדיר מאמץ גזירה במוצק ובנוזל, וזרימה מחרירים, חקר גלים בנוזל.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

שינוי מהירות נוזל צמיג במרחק מקיר :

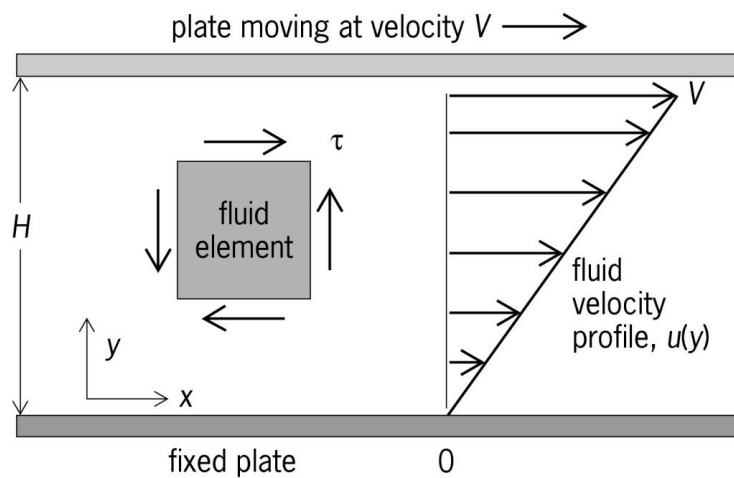
τ

מאמץ הגזירה (drag) בנוזל

μ

צמיגות הגזירה של הנוזל

נגזרת המהירות במקביל לכוון הגזירה ואנכית לכוון תנועת הנוזל $\frac{du}{dy}$



הכוח בין שני לוחות המוסעים במהירות ונוזל ביניהם

מדוע בנוסחא לא מופיע המרחק בין הלוח
הנע והנייח?



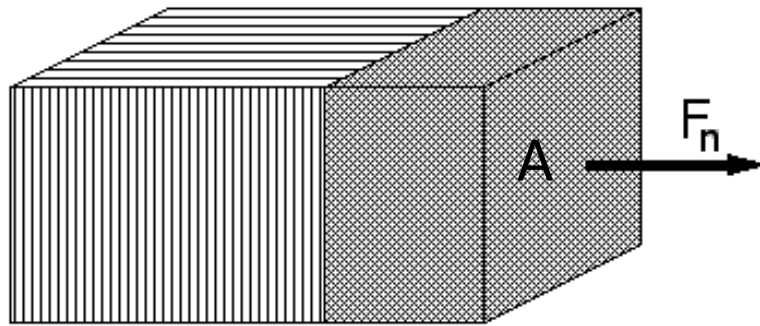
Robert Hooke 1635 – 1703

1678 חוק הוק להתכווצות קפיץ: $F = kX$

עקב העוות הגדול והמדיד לקפיץ - חוק הוק קדם לחוקי העוותים למוצקים (השקפים הבאים)



$\longleftrightarrow \ell \longrightarrow \longleftrightarrow \delta \ell \longrightarrow$

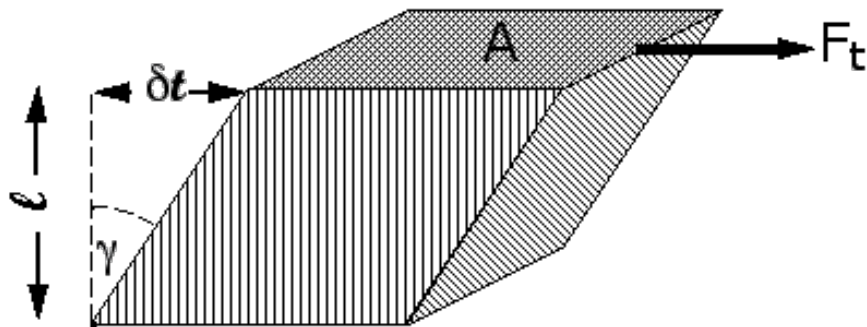


בתחום האלסטי של העוותים:

עוות לחיצה במוצק לכח האנכית לפני הקוביה

$$E \delta \ell / \ell = F_n / A$$

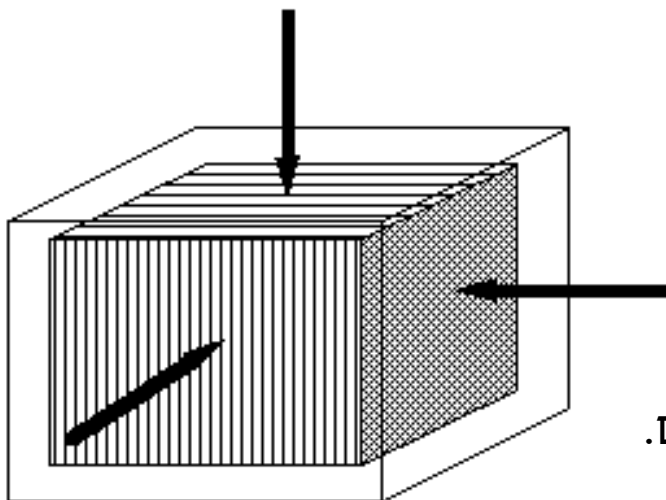
"מודולוס יאנג E"



עוות גזירה במוצק

$$F_t / A = G \gamma$$

כאשר G הוא "מודולוס הגזירה"



"מודולוס דחיסה" K
שנוי יחסי בנפח קוביה $\delta V / V$ עקב לחץ P

$$P = K \delta V / V$$

הקשר הליניארי בין הכוחות לעוותים "נשבר" לעוותים גדולים.
בהמשך נראה קשר בין המודולוסים האלה (יחס פואסון)

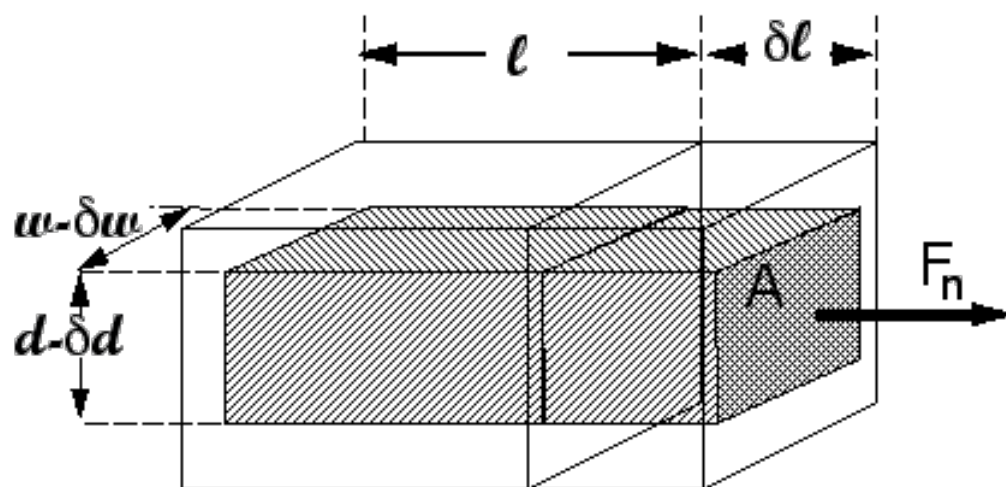
בהמשך:

Siméon Denis Poisson 1781– 1840

פואסון הבין את הקשרים בין המודולוסים השונים, הנובע מכך שכל המוצק נמתח בכוון אחד, הוא מתכווץ בכוונים האנכיים:

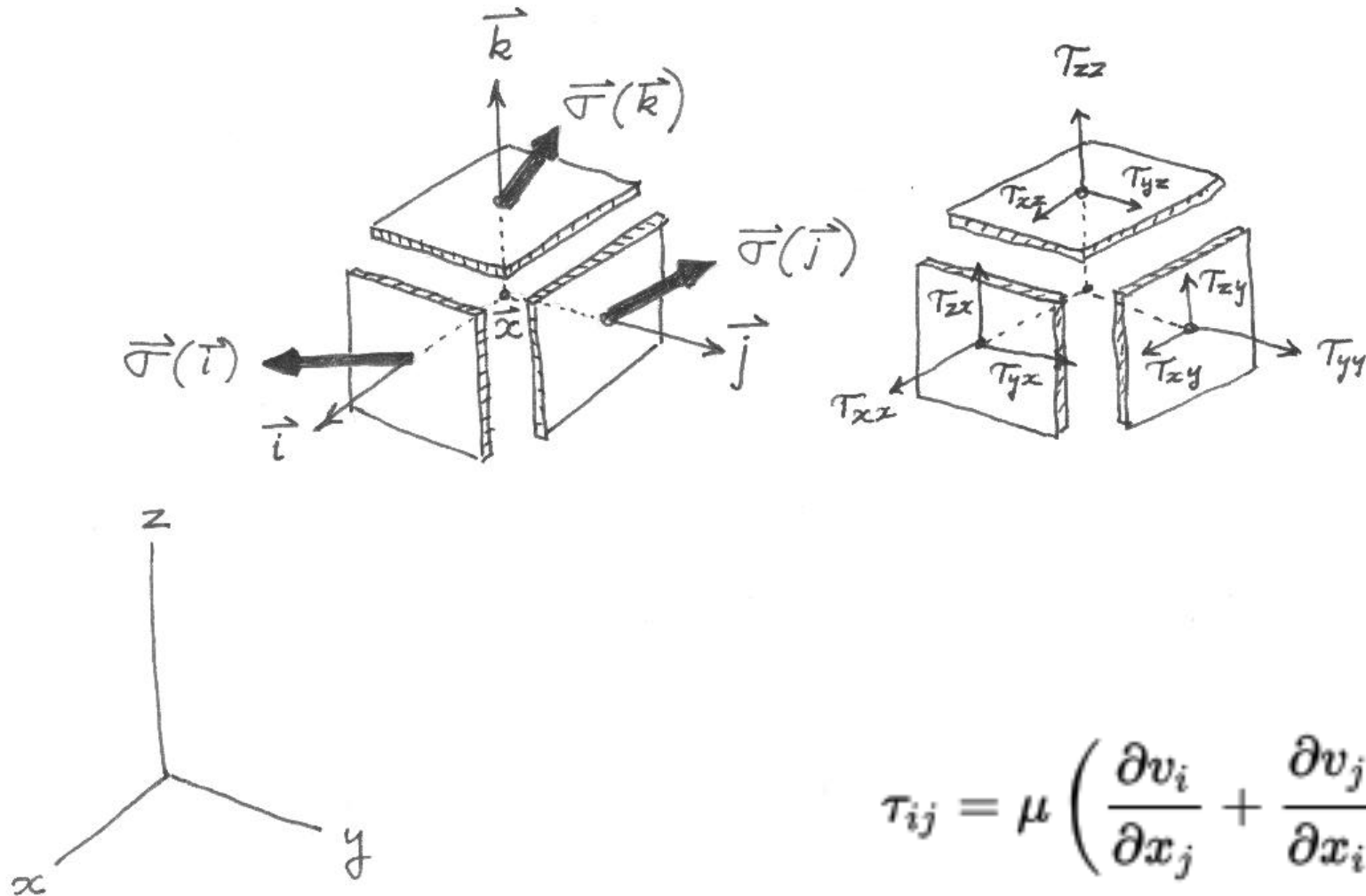
יחס פואסון, ν הוא יחס השינוי היחסי באורל לשינוי בכוון האנכי לו:

$$\nu = [\delta\omega/\omega]/[\delta\ell/\ell] = [\delta d/d / \delta\ell/\ell]$$



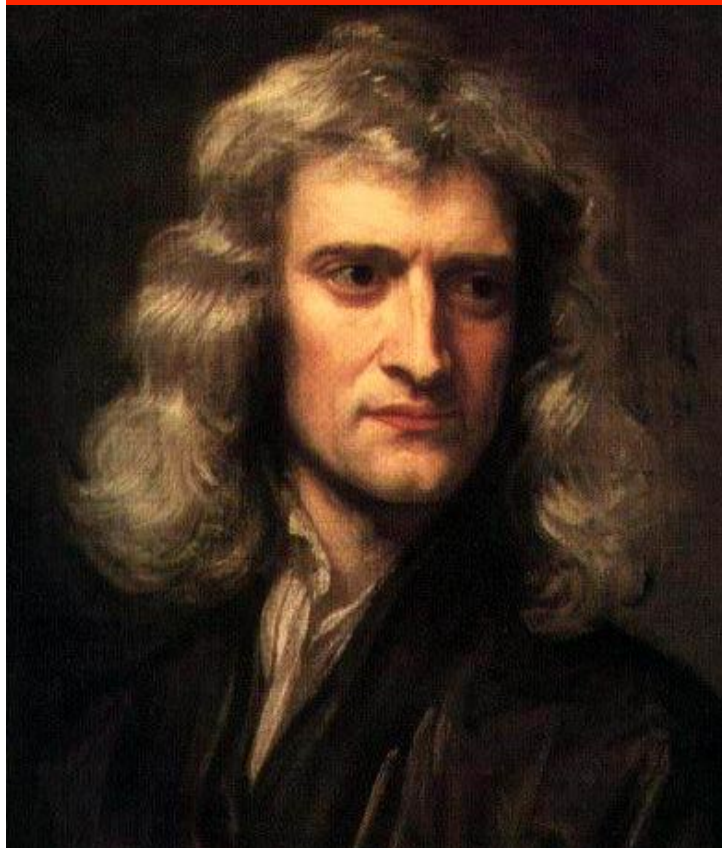
המאמצים והעוותים בתוך מוצקים אינם מוגדרים לפי המודולוסים הנ"ל אלא מהווים קומבינציות של כולם.

במאות הבאות – משוואות טנזוריות כלליות, שימושיות בעיקר לקשר כוח-עוות במוצקים):
 חשיבות עצומה בהנדסה, מטוסים, קורות בבנינים רבי קומות, וכו')
 פתרונות מעשיים כיום עם מחשבים (finite element analysis)



$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right)$$

ניוטון



Isaac Newton (1642-1727)

ניוטון נולד באנגליה (מחוז לינקולנשייר) בשנה בה נפטר גלילאו. בלימודיו הוקסם מכימיה ורוקחות.

1661 למד מתמטיקה בטרניטי קולג' בקיימברידג' ושילם את לימודיו בשרותי מלצרות ונקיון חדרים למרצים ולסטודנטים עשירים.

1664 קיבל מלגה. 1665-6 עקב סגירת הלימודים בגלל מגיפה חזר לעיר מולדתו, והגה את רעיונות הכבידה (התפוח) וצבעי האור, אך לא פירסמם עד שאויים שיאבד את הקרדיט עליהם...

1667 חזר לקיימברידג' ועבד באלכימיה. 1668 קרא את ספרו של מרקטור **Nicolas Mercator** על סדרות אינסופיות, ומיד פירסם עבודה משלו, עם מבט רחב יותר. המנחה שלו, בארו **Isaac Barrow**, שלח את העבודה לפירסום ללונדון

1669 ניוטון מתמנה לפרופסור בקתדרה הלוקאסית **Lucasian Professor** למתמטיקה, קטדרה בה כהן בארו לאחר שנוסדה (כיום מכהן בקטדרה סטיבן הוקינג **Stephen Hawking**)

1672 מציג באגודה המלכותית טלסקופ מראה אותה ליטש בעצמו, ותיאוריה על פיצול אור לבן לצבעים בפרזמה ובעדשות (אברציות כרומאטיות), ומתמנה לחבר. גריגורי וקסגרן **James Gregory 1638-1675** and **Guillaume Cassegrain 1625-1** בנו לפניו טלסקופים עם מראות פרבוליות ואליפטיות ובהם קדח לעינית.

1970 מתעניין בדת: הנצרות התרחקה מהמקור. המלך צ'רלס השני מפרסם חוק מיוחד שהמחזיק בקטדרה הלוקאסית פטור מתפילות...

1684 שלשת חברי החברה המלכותית רן, הוק והליי

Christopher Wren 1632-1723, Robert Hooke 1635-1703 & Edmond Halley 1656-1742

מתווכחים האם המסלול האליפטי של כוכבי הלכת נובע מהתלות הריבועית של המרחק של כוח המשיכה לשמש. הליי נסע לקיימברידג' כדי להציג את הבעיה לניוטון, שטען כי פתר אותה לפני שנים, אך לא מצא את ניירותיו. הוא שלח את הפתרון לאחר שלשה חדשים.

1686 האגודה המדעית המלכותית פירסמה בשנה זו "The History of fishes" שעלה הון ולא נמכר, ולא הסכימה לממן את ספרו של ניוטון "עקרונות" *Principia*. המימון היה מכיסו של הליי, שהיה מזכיר האגודה, ובנוסף, בגלל דילדול מקורות המימון של האגודה, קיבל הליי כרכים של ספר הדגים במקום משכורת... פירסום *Principia* הפך את ניוטון לידוען. הוא עובר ללונדון, מתמנה לאדון המטבעה, ומקבל תואר אבירות מהמלכה אן.

ניוטון עיקב את פירסום החלק השלישי של "עקרונות" בגלל מריבה עם הוק על זכות הקדימה לתלות הריבועית של כוח הכבידה, מה שדרש מהליי תווך רציני. הוא המשיך להתנצח עם הוק עד יום מותו של הוק ב-1703. מריבה נוספת היתה לניוטון עם לייבניץ, על קדימות בהמצאת האינפי.

תורתו של ניוטון לא התקבלה בקלות. תרגום *Principia* מלטינית לצרפתית ע"י אמילי די שאטלה (שכנראה היתה אהובתו של וולטר) כנראה תרם להפצת תורתו ולקבלתה באירופה עוד לפני שהתקבלה באנגליה. בהמשך חייו נבחר לפרלמנט ונעשה נשיא האגודה המלכותית.

ניוטון היה טיפוס די איזוטרי. בנסיונות להבין ראייה דקר את גלגל העין שלו במחט סנדלרים וחייטט בקרקעית. למזלו לא פגע ברטינה. כן קיבע מבט בשמש לזמן ארוך. אמנם היה צריך להסתגר בחדר חשוך לזמן ארוך כדי להשתקם מסנוור השמש, אולי קרינת השמש החלשה בקמברידג' הצילה אותו מעוורון קבוע... לא לנסות להביט בשמש ביום קיץ בישראל!

תרומותיו של ניוטון מתפרסות על מכאניקה, אופטיקה, מתמטיקה, אלכימיה ותיאולוגיה. הוא בנה טלסקופ, ולמרות שערך מעט תצפיות טלסקופיות, היה אחראי למהפיכה אסטרונומית כשתיקן את המורשת הקלאסית ושל הרנסאנס, ובעיקר יישם חוקי תנועה ארציים (יחד עם כוח הכבידה) למסלולי גרמי השמים.

1727 נפטר ונקבר בכנסית ווסטמינסטר, למרות הסתייגותו המוצהרת מהכנסיה האנגליקאנית.

שלשת חוקי התנועה של ניוטון

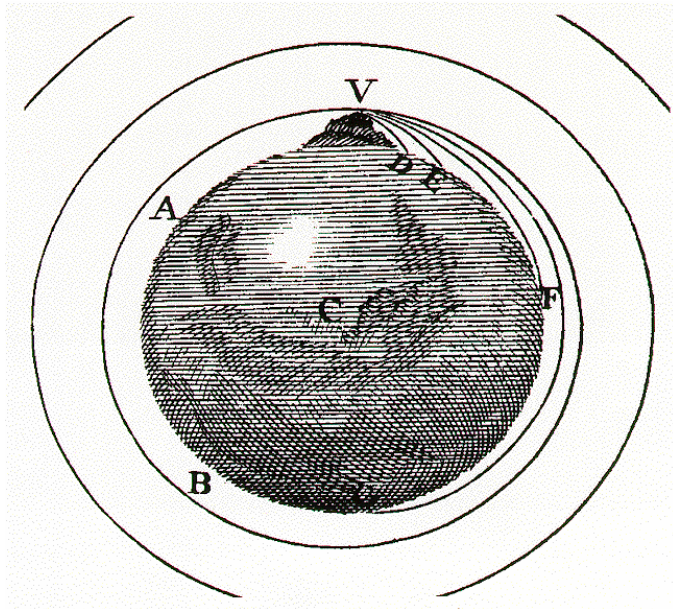
החוק הראשון: גוף ממשיך בתנועה במהירות קבועה (או במנוחה) אם לא מופעל עליו כוח חיצוני.

החוק השני: קצב שינוי מהירות (תנע) גוף יחסי לכוח המופעל עליו והוא בכוון הכוח.
החוק השלישי: כוח הפעולה והתגובה לו שווים והפוכים במגמתם. כששני גופים פועלים זה על זה, הכוח שאחד מפעיל על השני שווה והפוך לכוח שהשני מפעיל על הראשון.

אריסטו: טען שגוף נופל במהירות קבועה, והמהירות יחסית למשקל.
נפילת גופים באוויר היתה מהירה מידי כדי שיוכל לערוך מדידות, ולכן כנראה הסיק את החוק מנפילה במים.

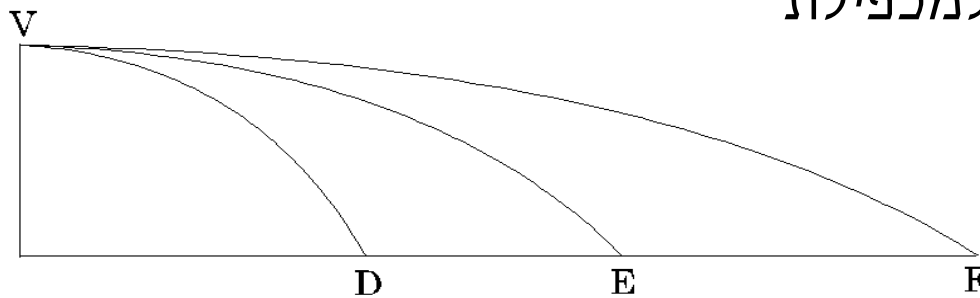
גלילאו: ידוע בניסויים בנפילת גופים ממגדל הפעמונים בפיזה, אך כנראה ערך מדידות על כדורים נופלים במישורים משופעים מאחר והתנועה היתה איטית בהרבה.
מסקנותיו – 1. גופים נופלים צוברים מהירות בקצב קבוע – תאוצה. 2. אם ניתן להזניח התנגדות האוויר וכוח העילוי, לכל הגופים תאוצה שווה. 3. כדורים מתגלגלים ללא חיכוך במהירות ובכוון קבועים. 4. תנועות אנכיות ואופקיות ניתן לכמת באופן בלתי תלוי. לכן מסלול גוף הנורה הוא פרבולי.

גלילאו לא קישר את חוקי התנועה הארציים לתנועת גרמי השמים!!!



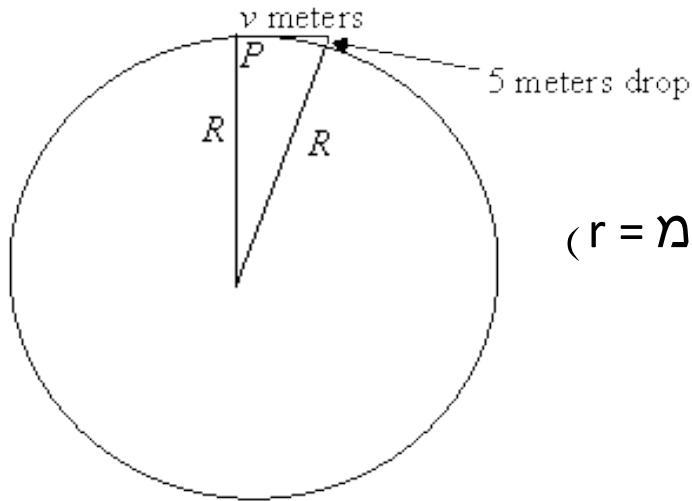
ניוטון הסיק מנסיונות ירי תותחים כי אם יציב אותם על הר מספיק גבוה וקליע התותח יירה במהירות מספיק גבוהה אז הוא יקיף את הארץ כמו הירח: לכן אותו הכוח הגורם לנפילת גופים אחראי לסיבוב ירחים או כוכבי לכת.

מאחר וכוח הכבידה מאיץ גופים בנפילתם בתאוצה שווה שאינה תלויה במסה, כוח הכבידה חייב להיות יחסי למסה. ומתוך החוק השלישי – יחסי למכפילת מסות שני הגופים המושכים זה את זה.



$$F = Gm_1m_2/r^2 \quad G=6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

ניוטון הבין את הקשר בין חוקי קפלר לתנועה באליפסות, לבין התלות הריבועית במרחק של כח הכבידה. תרמו לכך הגיאומטריקנים שחקרו "חתכי קונוס" ומשוואותיהם הריבועיות.



נערוך חשבון קטן:

רדיוס מסלול הירח = $R = 384,000$ ק"מ

רדיוס מסלול הירח הוא פי 60 מרדיוס הארץ ($r = 6,350$ ק"מ)
הכח לירח הוא פי $60^2 = 3,600$ קטן מאשר על פני הארץ

משלים סיבוב בחדש (27.3 ימים)

לכן מהירות הירח 1 ק"מ/שניה $v =$

תאוצת הנפילה על פני הארץ 10 מטר/שניה²

בשניה נופל על פני הארץ מרחק של $5 = \frac{gT^2}{2}$ מטר

בשניה נופל הירח 1.4 מ"מ $= \frac{5}{3,600}$ מטר

על פני הארץ קלע במהירות 8 ק"מ/שניה לא ייפול: $(R + 5)^2 = R^2 + v^2$

מצא את הגובה בו לוויין ישאר מעל אותה נקודה על פני הארץ?

מדוע אפשרי גם מסלול אליפטי (לא רק מעגלי)?

במסלול יציב: כוח הכבידה = לכוח הצנטריפטאלי

ניתן למדוד את תאוצה g על פני כדור הארץ. לפי חוק הכבידה: $g = Gm_E/r_E^2$
נוכל לחשב את G רק אם נדע את רדיוס הארץ ומשקלו, או לחשב את משקל הארץ אם
נמדוד את G .
1798 קוונדיש מודד את המשיכה המזערית בין כדורי עופרת במשקל ידוע בפיתול חוט
פלדה, וממנו מחשב את G .
מסיק שמשקל הארץ 6 בליון טריליון טונות (כיום - 5.9725). מאשר הערכה דומה של
ניוטון ללא ביסוס נסיוני.

השפעת גוף שלישי על מסלול אליפטי של כוכב:
1781 התגלה אורנוס, ונמצא שאינו נע במסלול המחושב, עקב כוכב לכת אחר שלא
התגלה:

1846 התגלה נפטון באופן בלתי תלוי ע"י אדמס ולה-ורייר
John Couch Adams (1819-1892) and Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877)
1930 התגלה פלוטו.

1669 ניוטון מפיץ לראשונה חיבור על אינפי (calculus) דרך לחישוב קצב השינוי ולהפוך זאת לבעיות סיכום. שנתיים אח"כ מציע טרמינולוגיה. החיבור הראשון פורסם ב-1711 והשני ב-1736.

1671 ניוטון מזים את התיאוריה של הוק לצבעים בנסיון עם פריזמות, שהדגים פיצול אור לבן לצבעים, ואי יכולת אור בצבע לשנות את ציבעו.

1675 ניוטון טוען נגד אור כתנודות של האתר (הויגנס), ומאמין שמהו אחר עובר באתר: לא ממש חלקיקים אלא מין האצלה אודחף של פולסים. החלקיקים מבטאים שינוי צפיפות. בקשר לתוצאות הויגנס לשבירה כפולה בקלציט מוצא אנלוגיה בין שני קצוות קרן לקטבי מגנט, ומכנה את התכונה - קיטוב אור. תנודות אתר (כמו קול) אורכיות ולא ניתנות לקיטוב. 1 מפרסם "אופטיקה" תיאוריה חלקיקית של אור וצבע.

1679 במכתב לבויל (פורסם רק ב-1744) מתאר אתר כהתנגדות האויר המוסטת הצידה כששני כדורים מתקרבים, והאתר מחזיק אותם ביחד. ראו בזה מילה אחרונה למשיכה חשמלית.

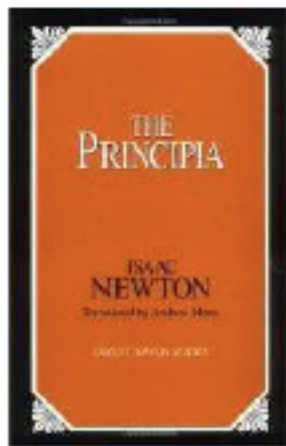
1684 ניוטון מוכיח שכוכבי הלכת הנמשכים בכוח משיכה התלוי הפוך בריבוע המרחק נעים במסלולים אליפטיים לפי חוקי קפלר. ברנולי מראה 50 שנה אח"כ גם את ההפך: מסלול של חתכי קונוס מחייב כח עם תלות ריבועית במרחק.

1686 ניוטון משתמש בשעון מטוטלת באורך קבוע ומשקל משתנה כדי להוכיח את עקרון האקויוולנטיות החלש בדיוק 1 ל-1000. העקרון, שנוסח ע"י גלילאו לראשונה, טוען שתאוצת הנפילה זהה לכל הגופים, בלי תלות במסה שלהם. עקרון זה הורחב ע"י איינשטיין בתורת היחסיות, הטוען כי כוח ותאוצה אקויוולנטיים, או כוח במערכת אחת יכול להתאפס במערכת מואצת).

1687 ניוטון מפרסם את הבסיס הקלאסי לפיזיקה (מכאניקה ארצית ושמימית) ומשתמש באינפי. בספר שני מציג פיתוח כוח הסחיפה drag equation בנוזלים. הוא מתייחס למוצקים כאטומים קרובים ולכן נמשכים זה לזה בכוח חזק. 1713 מהדורה חדשה של פרינסיפיאה "עקרונות" מכילה תיאור האתר בנושא הכוחות בין חלקיקים שכנים.

סיכום תרומותיו החשובות של ניוטון:

1. איחוד של חוקי התנועה הארציים, (3 חוקי התנועה) והשמימיים (מדידות קפלר).
2. שימוש בדיפרנציאלים לתיאור חוקים דינאמיים. בנוסף לשימוש במתמטיקה של גלילאו ודקארט, הציג תיאוריה פיזיקאלית וסיבתיות המבוססת על נסיונות לכימות חוקי הטבע, בעקבות **Gassendi, Roberval, Boyle, and Hooke**. והשתמש במתמטיקה להרחבה ממיקרים פשוטים לכלל המיקרים (כמו מהירח לכלל כוכבי הלכת).
3. אמונה במערכת קואורדינטות אבסולוטית.
4. אמונה בתורה האטומית ויצירת חמרים ממשיכה בין מולקולות (ראה כימיה)
5. גם בתורת האור האמין בחלקיקי אור ולא בגלים (הויגנס)



"פרינציפיאה"
ספרו של ניוטון
שנשאר רב מכר
עד היום

כימיה

Michal Sedziwój

1 מחבא ספר אלכימיה בו מציע שבאוויר נמצא מזון החיים (חמצן)

Jean Beguin

ספר כימיה ראשון המשתמש במשוואות כימיות

Jean Rey

1630 מודד עליה קטנה במשקל עופרת ובדיל בחימום לטמפרטורות גבוהות. מסיק "שמשהו מהאוויר מסתפח לחלקיקים הקטנים ביותר של המתכת".
חימום היה נפוץ בהפיכת אבן גיר (CaCO_3) לקציום קרבונט (CaO) לסיד (CaO) לקציום אוקסיד CaO ו – לקציום הידרוקסיד (CaOH_2) לבניה.

1633, Descartes

1633 דן באלמנטים היסודיים: אויר, אש, מים ואדמה, והשתלבותם.

1648 Johann Baptista van Helmont

1648 מפרסם חיבור רפואי שמסמן את המעבר מאלכימיה לכימיה, והשפיע על בויל. מכיל נסיונות רבים, ורומז לשימור מסה. ניסויים בצמח המראים שהוא סופג מים.

1661, Robert Boyle (1627-91)

1661 מפרסם "הכימאי הספקן" הגדרה של אטום ומולקולה, יסוד כימי, ריאקציה כימית, אנליזה כימית, חומצות ובסיסים.

1 מגלה שבריאקציה של חומצה עם מתכות מסויימות נפלט גז דליק (מימן) ומבודד אותו.

John Mayow

1674 מנסיונות על עכברים ונרות מציע בפרסומיו שהאוויר מכיל שני סוגי גאזים.

Hennig Brand

1669 בהמבורג, מנסה למצות זהב משתן, ומגלה את הזרחן 1674.

1675, Nicolas Lémery

1675 מפרסם ספר כימיה בו מציג את תיאורית הגופיפים corpuscle – אטומים

Johann Joachim Becher 1635=1682/85

כימאי אנגלי שהציע תיאורית שריפה: כשחומר בוער משתחררת "אדמת אש" (אדמה, מים אש ואוויר הם היסודות)

1734–1694 – Georg Ernst Stahl

1697 מכנה את "אדמת האש" פלגיסטון – סוכן השריפה המשתחרר בבעירה וגם בחלודה.

Abraham Darby I (1678-1717)

1670 מפתח תנור היתוך לברזל המוסק בקוק המחליף את הפחם. קוק נוצר בחימום פחם ללא חמצן, הוא אבן נקבובית ואפורה, ובבעירתו משיגים טמפרטורה גבוהה יותר.

Cavendish

הראשון לבודד מימן, ולהראות ששריפתו בחמצן יוצרת מים.

Isaac Neuton

1692 היררכיה של חלקיקים בלתי ניתנים לפירוק וחלקיקים מורכבים.
אם ניתן לפרק זהב הוא יהפך נזל. אם נוכל להתסיס או להרקיב זהב הוא יהפוך למשהו אחר.
כוחות בין חלקיקים הופכים אותם להיות מגוון החמרים בטבע.

ביוכלוגיה ורפואה

Gaspar Bauhin

1620 תיאור מפורט ל-6000 צמחים

Joachim Jung

1620 הגדרות מדוייקות לחלקיו של הצמח

Gasparo Aselli

1 מגלה את הצנורות הלימפטיים lacteal vessel המספקים חומצות שומן לדם, ואת וריד

הצוואר jugular vein

Matteo Realdo Colombo 1516-1559

מתאר את מחזור הדם

William Harvey 1578-1657

1627 מחזור הדם, שסתומי הלב, הלב כמשאיבת דם. מזים תיאור שגוי של דקארט לפעולת הלב.

1628 מניתוחים ונסיונות על חיות לומד על תנועת הדם.

1651 כל החיים מתפתחים מביצית, כולל יונקים. אין יצירה ספונטאנית של חיים.

1645, Marc Aurelio Severino

1645 תפקיד הזימים לדגים בנשימה, איחוד בעלי החוליות – כולל היונקים.

1614 – Santorio Santorio

שוקל עצמו לפני ואחרי אכילה, שינה, עבודה, מין, צום, שתיה ויציאות. מוצא שמשקל רוב המזון שאכל אובד בהתאדות הזיעה.

Jean Baptiste van Helmont

1648 נסיונות בצמחים – סופגים מזון ממים ומהאוויר וזקוקים לאור.

איכול בחומצה ניתן לנטרל בעזרת מיצי מרה: שינויים פיזיולוגיים נגרמים מפעולה כימית.

טבע את השם "גאז" (מהמילה היוונית כאוס) כקבוצה כמו נוזלים ומוצקים.

מתכות שאוכלו ע"י שלשת החומצות המינרליות ניתנות לשיחזור.

Thomas Bartholin

1652 מגלה את המערכת הלימפטית והקשר שלה למחזור הדם

Thomas Sydenham

אמצע שנות ה-1960 מחלות הם אורגאניזמים בתוך המארח, מטיף למבט ישיר ומיון המחלות וגורמיהן. משתמש בכינין ובאופיום ברפואה

Jan Swammerdam

1658 מגלה כדוריות דם אדומות בעזרת מיקרוסקופ לוונהוק שכנראה נבנה עבורו

Johan Joosten van Musschenbroek ע"י

Marcello Malpighi

1661 תנועת דם בנימים, חקר הבלוטות

1664, Thomas Willis

1664 מגלה את גנגליוני הבסיס במוח כשולטי התנועה וקולטי החושים. מבדיל בין התאים האפורים בקליפת המוח לתאים הלבנים הפנימיים. זונח תורת גאלן של חדרי המוח.

Pilatre de Rozier

שורף מימן ע"י שנופח אותו מפיו אל להבה, ועפעפיו נשרפים.

1663 — Robert Hooke

רואה תאי פקק במיקרוסקופ

Francisco Redi

1668 מתאר סדרת ניסויים שרימות בשר מתפתחות רק בכלים פתוחים, ולא בכלים שכוסו בבד גבינה. הרימות הן זחלי זבובים. בכך שלל יצירה ספונטאנית של חיים.

Marcello Malpighi

1672 התיאור הראשון של התפתחות התרנגולת, כולל יצירת שרירים, סומיטים, מחזור הדם ומערכת העצבים.

Anton van Leeuwenhoek

1674 משפר מיקרוסקופ פשוט (עדשה בודדת) ורואה פרוטוזואה (קורא להם "אנימאלקול")
1677 מגלה תאי זרע 1683 רואה תאי דם ובקטריות. שולל יצירת ספונטאנית של מיקרואורגניזמים, ומאמין שהם נישאים באויר. הראשון לתאר את מערכת העצבים ואת מחזור החיים של נמלים - מביצית, לזחל, לגולם ולמבוגר.



Nicolas Malebranche

1674 תיאוריה שכל עובר עטוף בעובר הוריו..

Nehemiah Grew

1676 מציע מהו הטבע האמיתי של ביציות ואבקנים

1649 Daniel Sennert

חוקר את התורה החלקיקית של החמר.
הפריה = גופים נפרדים לחלקיהם הקטנים ביותר, וחוזרים ומתאחדים.

Guillaume Lamy

1677 משתמש לחלופין בנפש וברוח

Giovanni Alfonso Borelli

1679 מסביר את מערכות התנועה של בעלי חוליות כמערכות מכאניות: אבי הביומכאניקה.
הסיק ששרירי האדם לא יוכלו להעיפו כמו הציפור.
בחקר מחלות מסיק שמהו חדר לגוף החולה, ויכול להתרפא בעזרת כימיקלים.

John Ray

1682 מתאר 18,000 מיני צמחים

1693 מפריך טענת דקארט שחיות חסרות רגש

John Locke

1690 מתאר את המח כלוח ריק הצובר יידע והבנה באמצעות חמשת החושים.
אדם טוב מיסודו, ויש לו זכות למלא את מאויו.

1694, Rudolph Jakob Camerarius

1694 מדווח על קיום הפריה מינית בפרחים וצמחים

לידת הרפואה המודרנית

מחלות מידבקות – אפידמיולוגיה מוחלפת בבקטריוLOGיה
ניתוחים –

Ambroise Paré 1510-1590

אבי המנתחים – טיפול בפציעות בשדה הקרב .

Matteo Realdo Colombo 1516-1559 William Harvey 1578-1657

הבנת מחזור הדם –

Herman Boerhaave 1668-1738

אבי הפזיולוגיה

Pierre Fauchard 1678-1761

אבי רפואת השניים

Guy de Chauliac

מנתח

Realdo Colombo

אנטומיקאן ומנתח שתאר את מחזור הדם הקטן (מהלב לריאות)

Michael Servetus

מתאר את מחסור הדם דרך הריאות

Ambroise Paré

השתמש בקשירה במקום בצריבה של גדמים

בחן פעילות אבני בזואר (אבן ירקרקה שנמצאת במעי עיזים, ונודעה כסופחת ארסן).
מלכים שמו אותה במשקה כדי למנוע הרעלה.

John Hunter

מנתח

Amato Lusitano

מתאר שסתומי ורידים ותפקידיהם

Garcia de Orta

הראשון לתאר כולרה ומחלות טרופיות אחרות, ודרכי טיפול במיצויי צמחים

Percivall Pott

מנתח

Sir Thomas Browne

רופא ונירולוג

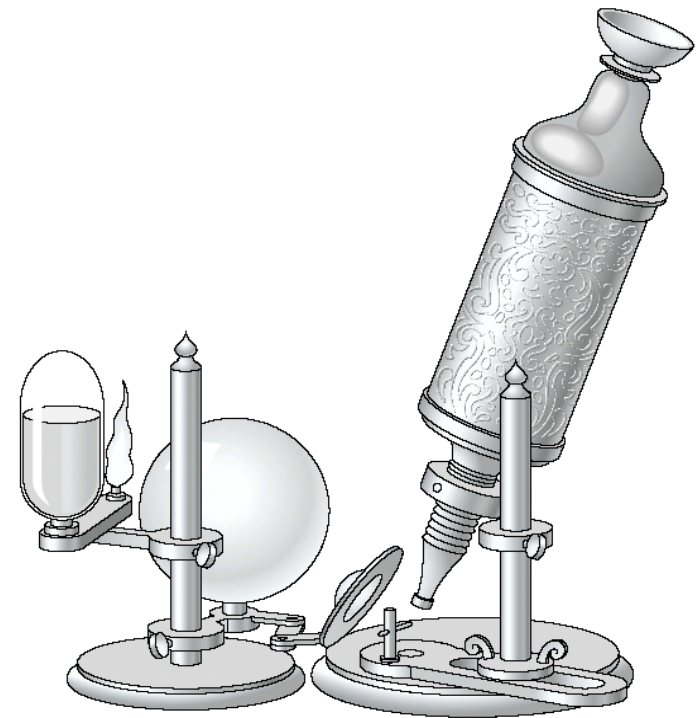
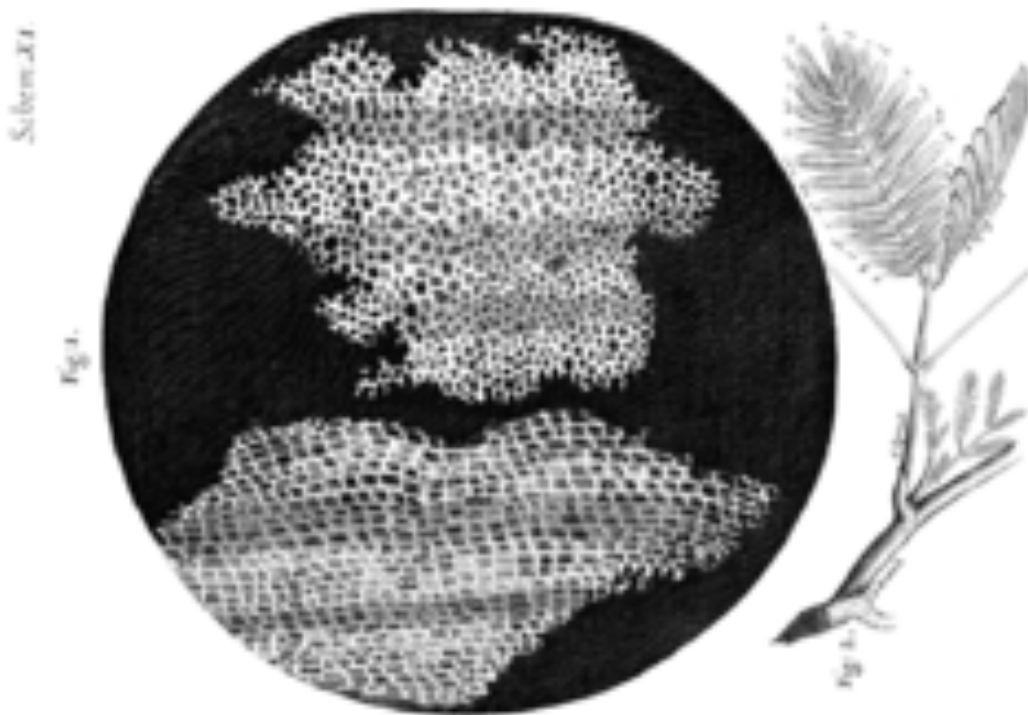
Thomas Sydenham

רופא המכונה "היפוקראטוס האנגלי"

Robert Hooke 1635-1702/3

1660 הוק, נטורליסט אנגלי, מתכנן ובונה מיקרוסקופ "מורכב" משתי עדשות - עצמית ועינית, ותאורה מהחזרת שמש או מנורת כהל במראה קעורה המרכזת את האור על הדוגמא.

1665 מזהה קופסאות כחלות דבש בחתכי פקק דקים בעזרת המיקרוסקופ, וטובע את השם "תא" - חדר קטן. התורה האטומית של היוונים נשללה, והעובדה שחמר חי הנראה רציף בנוי מתאים בדידים היתה מהפכנית ועוררה סערה!
1667 משווה צמחים חיים למאובנים, "מיקרופיה" אוסף רישומים ביולוגיים.



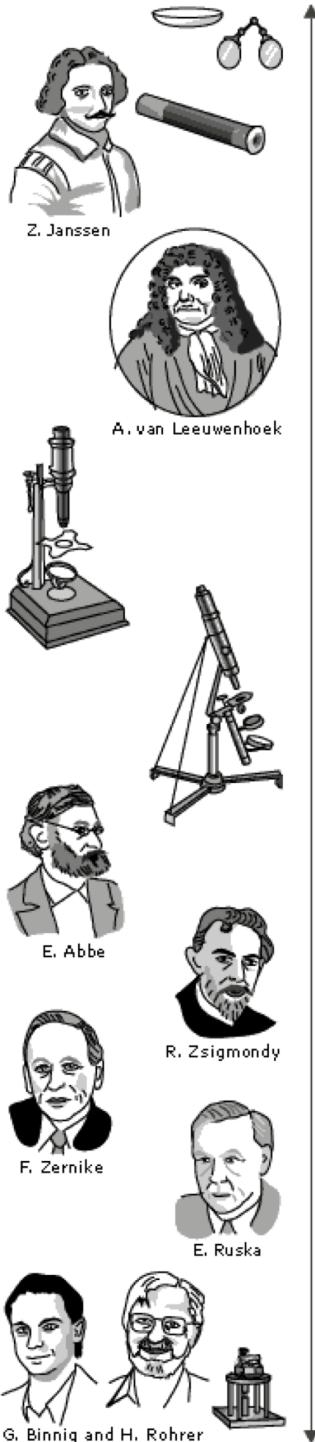
Landmarks in the History of Microscopy

Interdisciplinary step-by-step progress in science

- 1900BC Egyptian queens use for cosmetics flat and spherical mirrors
- Phoenicians Glass spheres filled with water divert light and magnify
- Thales, 600BC Plant leave “cells” through morning dew droplets
- Greeks Eye sends rays that “sense” the world
- Alexandria school: +/-200, Euclid, Hero and Ptolemy optics book
- Middle age Arab scholars: Ibn al-Haytham (Alhazen) physical nature of light
- ~9C vision glasses in China & Arabia (Ibn Firnas) -> 15C Europe (Cusa)
- 1590 Zacharias Janssen, Holland (polish lenses), builds two-lens microscope
- 1611 Kepler builds telescopes, suggests microscopes
- 1655* Hooke microscope - cork “cells”
- 1674* Leeuwenhoek use 1.5mm glass sphere magnifiers - protozoa
- 1683* Leeuwenhoek sees bacteria
- 1733 Chester Hall use doublets to correct chromatic aberration
- 1830 Airy, diffraction rings in star images
- 1833* Brown, nucleus in orchids
- 1838* Schleiden & Schwann cell theory
- 1876 Abbe's theory of diffraction in light microscopy
- 1879* Flemming, mitotic chromosomes
- 1881* Cajal use stains to see tissue anatomy
- 1882* Koch, microbiology (Cholera, Tuberculosis)
- 1886 Zeiss and Abbe design and build a diffraction limited microscope

1898 Golgi use silver nitrate staining to see “his” apparatus
 1924 Lacassagne use Marie Curie’s radium in Autoradiography
 1924 de Brogli, electron’s wave character
 1930 Lebedeff, interference microscope
 1931* Ruska, transmission EM. Commercialized: 1939 (Siemens)
 1932* Zernike, phase contrast microscope-> Cells in culture (Nobel prize).
 1941* Coone, fluorescence microscopy
 1945* Porter, cells fixed in Osmium. Palade: organelles. Huxley: muscles
 1952 Nomarski, Differential Interference Contrast (DIC)
 1940-60 Koana, Naora, Minsky (confocals) Petráň (Tandem scanning->spinning disk)
 1968 Gabor, lasers
 1975 Ploem “pack”: excitation emission and dichroic filters
 1977-80 Sheppard, Brakenhoff, Koester, & Amos, White (laser scanning confocals)
 50’ s TV technology develops
 70’ s Digital image processing
 1981 Allen & Inoue, Video-enhanced microscopy
 1983 Sedat & Agard 3D digital microscopy using “wide field” + deconvolution
 1985 Boyde, Kino Nipkow-disk tandem confocal (spinning disk)
 90’ s Near field, Tunneling and Atomic force microscopy.
 80’ s pSec pulsed lasers
 1997* Webb, two photon microscope
 2000- Breaking the Abbe resolution limit: PALM, STED, SI (Nobel 2014)

מיקרוסקופיה – נקודות ציון הסטוריות



- מאה-14 אמנות ליטוש עדשות באיטליה לצורך משקפי ראייה
- 1590 מלטשי עדשות הולנדיים ממשפחת ינסן **Hans and Zacharias Janssen** בונים מיקרוסקופ משתי עדשות בשפופרת
- 1667 הוק – **Robert Hooke** חוקר דוגמאות שונות במיקרוסקופ ומפרסם "מיקרוגרפיה", בו תאר תאים הפקק, ומדוע הוא צף על מים.
- 1675 לוונהוק **Anton van Leeuwenhoek** משתמש במיקרוסקופ עם עדשה אחת, ובוחן דם, חרקים, ובקטריות.
- מאה-18 עדשות משני סוגי זכוכית מפחיתות אברציות צבע.
- 1830 ליסטר – **Joseph Jackson Lister** מקטין אברציות ספריות בשילוב כמה עדשות.
- 1878 אבה **Ernst Abbe** מנסח קשר בין אורך הגל לכשר הפרדה המכסימאלי, ובונה עדשות המתקרבות לאידיאלי.
- 1903 זיגמונדי – **Richard Zsigmondy** מפתח אולטרה-מיקרוסקופ: פיזור מתרחיפים של חלקיקים קטנטנים. נובל-1925 על מחקריו בתרחיפים.
- 1932 זרניקה **Zernike** ממציא מקרוסקופ פאזות שמאפשר הדמית תאים חיים לא צבועים. נובל-1953
- 1938 רוסקה **Ernst Ruska** בונה מיקרוסקופ אלקטרוני. נובל-1986
- 1952 נומרסקי **Nomarskii** בונה DIC – Differential Interference Contrast
- 1940-60 פטרן – **Petráň** הארה וצפיה דרך דיסקית מחוררת מסתובבת spinning-disk microscope
- 1977-80 מיקרוסקופ ליזר סורק **Sheppard, Brakenhoff, Koester, Amos, White**
- 1981 ביניג ורוהר **Gerd Binnig and Heinrich Rohrer** בונים מקרוסקופ אטומי סורק scanning tunneling microscope המציג פני שטח תלת ממדיים בכושר הפרדה אטומי נובל-1986
- 1 אלן ואינווי – **Bob Allen & Singe Inoue** מיקרוסקופית וידיאו לתאים חיים
- 1983 סדאט ואגרד **John Sedat & David Agard** מיקרוסקופיה תלת ממדית ע"י דקונבולוציה
- 1997 ווב **Watt Webb** מקרוסקופ פלואורוסנציה דו-פוטוני
- 2000 ~3 שיטות superresolution fluorescence microscopy – השוברות את מגבלת כשר ההפרדה של אבה. נובל-2014 לשני האחרונים, גוסטפסון נפטר צעיר אחרי מחלת סרטן מוח)
1. גוסטפסון **Mats Gustafsson** הארת פסים - structured illumination
2. סטיפן הל **Stefan W. Hell** שאיבת פלואורוסנציה ע"י דעיכה מושרית STED Stimulated Emission Depletion
3. בציג ומורנר **William E. Moerner & Eric Betz** מיקרוסקופית מיקום Localization Microscopy PALM

אסטרונומיה ומדעי כדור הארץ

1620, F. Bacon

מעיר כי הדמיון של קו החוף של אפריקה ואמריקה אינו מיקרי

1631, Gassendi

עוקב אחר מעבר הונוס על פני השמש, ומבסס שמרחקו מהשמש קצר מהמרחק של הארץ

1638 John Wilkins

גילוי עולם בירח

1655, Christiaan Huygens

מגלה את טיטן – הירח הגדול של סטורן, ושמה שגלילאו חשב כירח הם טבעות.
הראשון שהבחין בסימנים על המאדים. חישוב כח צנטריפטאלי mv^2/r

1665, Gian Domenico Cassini

בזמן מיפוי יופיטר גילה כתם אדום גדול הנודד לרוחב חלקו הדרומי

1640, Jeremiah Horrocks

הירח נע במסלול אליפטי, וכאילו נופל לכוון הארץ.

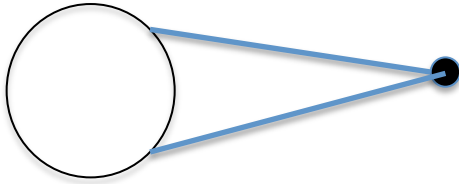
1668, Cassini

מפרסם טבלאות מדוייקות של מסלול יופיטר, מאדים (מארס) וונוס. לכן קיבל את רשות מצפה הכוכבים בפריז. הויגנס ורומר עבדו תחתיו.



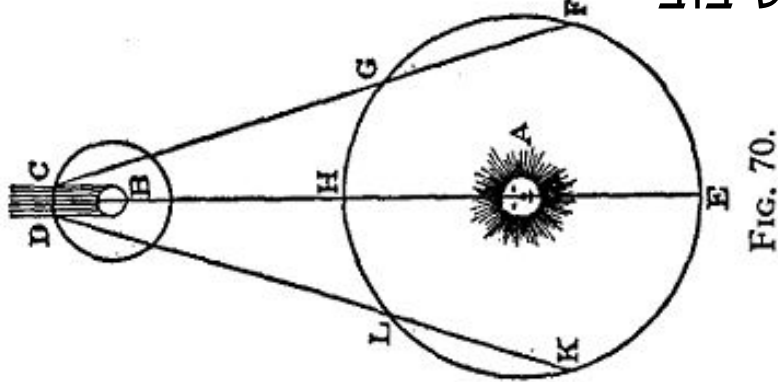
1671-1684, Cassini

מגלה את ארבעת ירחי שבתאי (סטורן), ואת פיצול הטבעות סביבו.
1671 מדידה ראשונה מוצלחת לפרלקסה של מאדים, כשג'ין ריכטר מוביל משלחת לגיניאה ליצירת הבסיס לטריאנגולציה.



1676 Ole Rømer (Copenhagen)

הציע למדוד את מהירות האור משינוי זמן מחזור הסיבוב של איו, הירח של יופיטר, כשהארץ מתקרבת F→G או מתרחקת L→K מיופיטר. רומר מדד שינוי של ± 22 דקות מזמן סיבוב כל 1,769 ימים. אך לא חישב מכאן את מהירות האור ממש, אולי כי לא סמך על הערך של מהירות כדור הארץ. הויגנס ייחס בטעות 22 דקות לקטר הארץ. למעשה לוקח 22 דקות לעבור את קוטר מסלול סיבוב הארץ סביב השמש, $2R = 300 \times 10^6$ ק"מ. לכן מהירות האור $2R/22 = 227,000$ ק"מ לשניה



1669, Nils Steensen, known as Steno

מאובנים מראים שקיעת חיות בקרקעית הים, שבגלל כוחות תת קרקעיים עלתה, ונסחפה ע"י גשמים.

1672 , More

לימד את ניוטון בקמברידג'. היקום ברובו ואקום.

1675- Olaf Roemer

חוזר על נסיון התאוצה של גלילאו בהשתמשו בירחי יופיטר, מודד 1104m/s

1678, Edmond Halley

אחרי צפיה בכוכבים מחצי הכדור הדרומי בסנט הלנה מוסיף 341 כוכבים לרשימה.
לאחר שצפה במעבר מרקורי על פני השמש, הבין שמעבר וונוס ב-1761 יכול לקבוע את המרחק מהשמש.

1637: Richard Norwood

מודד אורך מעלה מטריאנגולציה כ-11072 ק"מ

William Crabtree 1610-1644 & Jeremiah Horrocks 1619-1641

בונה מכשירים ומורה, שניבאו זמן מעבר הונוס על פני השמש ואישרו את תחזיתם.

1675 המלך צ'רלס השני מממן בנית מצפה כוכבים בגריניג' לצורך נווט ספינות

Edmund Halley (1656-1742)

שביט הלוי HALLEY'S COMMET

נצפה בשנות 1059, 260 ו-1066. שייקספיר ב-1611
כותב כי הופעת שביט מנבאת מלחמה.

הלוי עקב אחרי השביט ב-1531 ו-1607 וקבע כי זה אותו
השביט עם מסלול 76 שנים, וניבא הופעתו ב-1758

ואח"כ 1835, 1910, 1984, 1985, 2062

צורתו אליפטית 16x8x8 Km



Precession of the equinoxes

הארץ שטוחה בקטבים וקמורה יותר בקו המשווה. משיכות השמש והירח גורמים לציר
סיבוב הארץ סביב עצמו לעשות פרצסיה במחזור 26,000 שנים, הגורם להזזת נקודת
שויון היום והלילה שהיתה ידועה לקדמונים, אך הוסברה לראשונה ע"י הלוי.

1669: Jean Picard

בהנחה שהארץ כדור מצא בשיטה מסובכת כי אורך מעלה הוא 110.46 km/degree

16: Giovanni & Jaques Cassimi**

הארץ שטוחה יותר בקטבים. ניוטון כתב זאת.

גיאוגרפיה, גיאופיזיקה, לימודי כדור הארץ

William Gilbert's "De Magnete" (1600)

המצפן פונה צפונה כי הארץ היא מגנט

Newton

גראויטציה, גאות ושפל, פרצסיה של שוויון יום-לילה. צורת הארץ, צפיפותה ושדה הכבידה.

Pierre Bouguer; Alexis Clairaut and Henry Cavendish

השדה המגנטי של הארץ

Alexander von Humboldt, Edmund Halley and Carl Friedrich Gauss

סיסמולוגיה

John Milne and Robert Mallet

גיל האדמה מטמפרטורה.

Arthur Holmes and William Thomson, 1st Baron Kelvin

מחזור המים

Marcus Vitruvius, Leonardo da Vinci and Bernard Palissy

חלוצי ההידרולוגיה

Pierre Perrault, Edme Mariotte and Edmund Halley

גשמים, שטחי ניקוז, חתכי נחלים ויכולת הניקוז שלהם.

Darcy's law. the Dupuit-Thiem well formula

הידרולוגיה של מי תהום

כלכלה

1530 בפירנצה הלוטו מממן הוצאות ממלכתיות.

1589 **ויליאם לי** האנגלי ממציא מכונת תפירה לגרביים. תעשית טכסטיל פורחת במאה ה-16.
1846 האמריקני אליאס האו בונה מכונת תפירה רב תכליתית.

נספח: רשימת המדענים בעידן התבונה

Guldin Paul 1577-1643 Swiss math [in 17-cent]

Bramer Leonaert 1596-1674 Dutch painter

Etienne Pascal

Mersenne Marin 1588-1648 French mathematician, music theory & acoustics

Desargues Girard 1591–1661 French mathematician and engineer. [projective geometry](#)

Gassendi Pierre 1592-1655 [transit of Mercury & Venus](#) as [Kepler predicted](#)

Beaune ???

Albert Girard 1595-1632 mathematician First to use sin, cos etc. Area of a spherical triangle: [Girard's theorem](#)

Descartes René 1596-1650

La Faille

Gellibrand Henry 1597–1637 English mathematician. Earth's magnetic field.

Claude Hardy 1598-1678

Carcavi Pierre de 1600-1684

Vlacq Adriaan 1600–1667 Dutch book publisher and author of mathematical tables

Delamain Richard 1600–1644 English mathematician. circular slide rule & sundials.

Fermat Pierre de 1601-1665

de Beaune Florimond 1601-1652 mathematician

Billy ???

Roberval Gilles Personne de 1602-1675 mathematician

Boulliau Ismaël 1605–1694 astronomer and mathematician

Nicolas Steno [1638 –1686](#) Danish anatomy and geology

Athanasius Kircher (Kirchner) 1602–1680 geology, egyptiology

Grimaldi Francesco Maria 1618 –1663

Frenicle de Bessy

Caramuel

Fabri

Torricelli Evangelista 1608–1647 Italian physicist and mathematician, barometer

Le Tenneur

Stampioen

Pell

Arnauld

Tacquet

Wilkins

Schooten

Wallis

Mouton

Ricci

Jean Picard

Brouncker

Nicolaus Mercator

Dechales

Rahn

Viviani

Sluze

Angeli

Collins

Cassini Giovanni Domenico 1625-1712 Italian mathematician & astronomer

Bartholin Caspar 1655–1738 Danish anatomist

de Witt Johan 1625-1672 Dutch statesman and accomplished mathematician

Mengoli

Boyle Robert 1627-1691 chemist & physicist

Jonas Moore

Hudde

Huygens Christiaan 1629-1695

Barrow

Richer

Cocker

Wren Sir Christopher Michael 1632-1723

English architects

Heuraet

Hooke Robert 1635-1703

Neile

Malebranche

Gregory

La Hire

Mohr

Lamy

Ozanam

Seki

Newton Isaac 1642-1727

Leibniz Gottfried 1646-1716

Flamsteed

Papin

Giovanni Ceva

Tommaso Ceva

Raphson

Tschirnhous

Le Févre

Rolle

Jacob Bernoulli

Varignon

Reyneau

Halley Edmond 1656-1742

Fontenelle

David Gregory

Saurin

Lagny

de l'Hôpital

Craig

de Moivre

Johann Bernoulli

Whiston

Arbuthnot

Saccheri

Magnitsky

Grandi

Keill

Doppelmayr

Clarke

Jones

Riccati

Privat de Molères

Hermann

Montmort

Hadley

Cotes

Giulio Fagnano

Poleni

Berkeley

Taylor

Simson

Nicolaus I Bernoulli

'sGravesande

Castel

Godbach

Stirling

Nicolaus II Bernoulli

Bourguer

Maupertuis

Maclaurin

Camus ~1700-