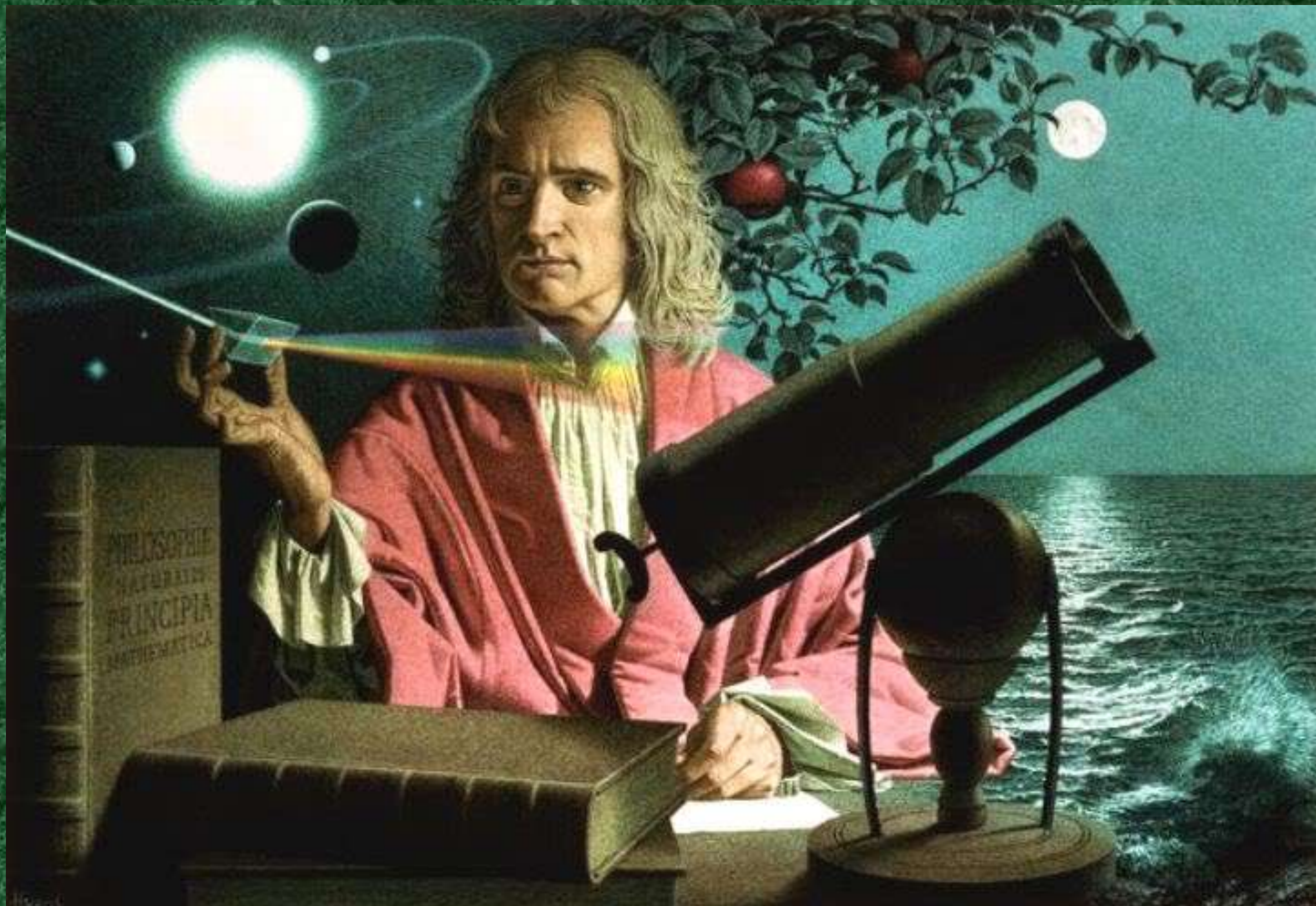
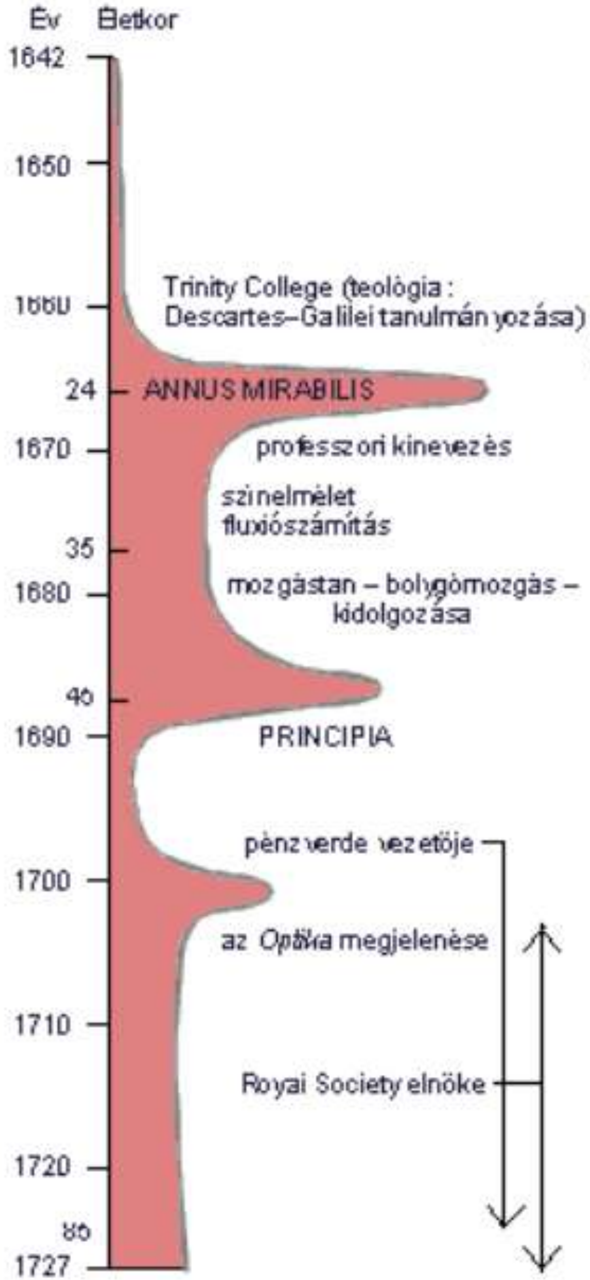
Isaac Newton



A csillagászat története 2, 2015. március 13.



Woolsthorpe

Grantham

Cambridge

Woolsthorpe

Cambridge

London

Elmélkedés a görbék kvadratúrájáról (1664, 1665, 1704)
binomiális tétel (1665)

differenciálás és integrálás (1665-6, 1669-71, 1736)
mechanikai- és bolygómozgás (tömeg, erő, II-III. és gravitációs törvény)
Filozófiai kérdések (Isten, korpuszkulák, vákuum, tér-idő, testek tulajdonságai, elemek, ásványok, növények, emlékezet, képzelet, lélek, érzékelés-látás
optikai kísérletek - fehér fény felbontása prizmával (1666, 1673, 1704)

tükrös távcső (1668, 1672)
Newton-gyűrűk (1675)
alkímia (1668-97)
teológia (1670-9)
Principia (1684-7, 1709, 1726)

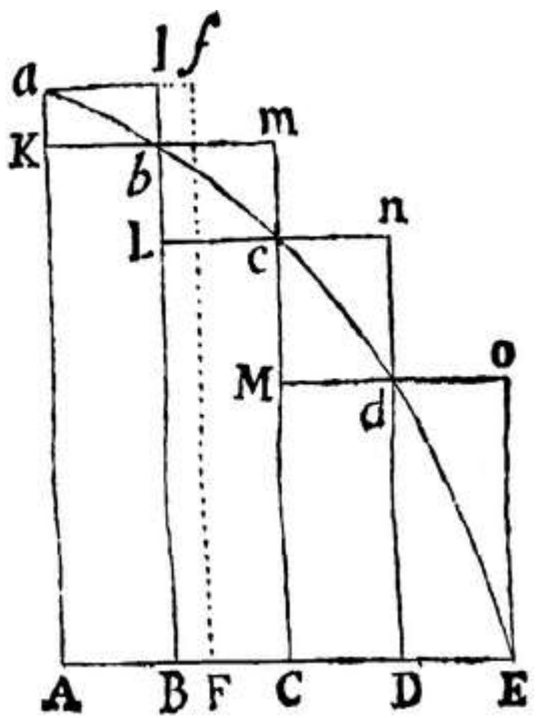
Az ókori birodalmak kronológiájának módosítása (1697, 1728)
Megjegyzések Dániel próféciáihoz és Szent János jelenéseihez (1655, 1733)

Korai élete

- Született: 1642 dec. 25 (JD) vagy 1643 jan. 4 (GD), Woolsthorpe
- Tehetősebb gazdálkodó család
  - apja születése előtt meghal
  - anyai nagyanyja neveli
- Iskola: eleinte rossz tanuló, de egyre inkább kitűnik
- 1661: Cambridge-i egyetem
  - 1665-67: pestisjárvány miatt bezár az iskola → a vidéki farmon tölti az idejét
  - 1667: pozíciót kap az egyetemen („fellow”)
  - 1668: diplomát szerez matematikából
  - 1669: professzori kinevezés („Lucasian”)
    - elődje és tanára, lelkes támogatója: Isaac Barrow

1666 – *Annus mirabilis*

Newton „csodálatos éve”: a tanyán elmélkedve megsejti, körvonalazza legfontosabb felfedezéseinek alapjait:



Matematikai analízis: integrál- és differenciál-számítás

Optika: a színek és a fény természete

Természetfilozófia: egyetemes gravitációs vonzás

I. Newton matematikája
A források

- 1664-66: a semmiből valószínűleg kora legjobb matematikusává válik
- Főbb forrásai:
  - François Viète munkájának összefoglalása
    - betűalgebra: szimbolikus egyenletek paraméteres megoldásai
    - trigonometrikus megoldások algebrai egyenletekhez
    - másod- és harmadfokú egyenletek gyökei és együtthatói
  - Descartes: *La Géométrie* (1637)
    - geometria algebrára alapozva: vonalszakaszokat konkrét mennyiségekkel reprezentál, és a probléma megoldását algebrai egyenletekkel végzi el
    - geometriai görbék algebrai kezelése
  - John Wallis: *Arithmetica Infinitorum* (1655)
    - görbék alatti területek és görbékhez húzott érintők „végtelen kis” részekre való osztás révén
    - az x^n görbe alatti terület $x^{n+1}/n+1$ egész kitevőkre

A kvadratúra problémája: négyszögesítés, vagyis görbe alatti terület

Félkör görbéje: $y = (1 - x^2)^{½}$

$(1 - x^2)^0 \rightarrow x$

$(1 - x^2)^1 \rightarrow x - x^3/3$

$(1 - x^2)^2 \rightarrow x - 2x^3/3 + x^5/5$

$(1 - x^2)^3 \rightarrow x - 3x^3/3 + 3x^5/5 - x^7/7$

stb.

Összefüggés:

$(n - 0)/1 \times (n - 1)/2 \times (n - 2)/3 \times \ldots$

		[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	…
x	$\times$	1	1	1	1	1	1	…
$- x^3/3$	$\times$	0	1	2	3	4	5	…
$x^5/5$	$\times$	0	0	1	3	6	10	…
$- x^7/7$	$\times$	0	0	0	1	4	10	…
.		.	.	.	0	1	5	…
.		.	.	.	.	0	1	…
.		.	.	.	.	.	0	…

Az együtthatók táblázata

→ kijönnek az együtthatók: az *n*-edik e.h. az (*n*-1)-edik taggal bezárólag szorozva

Pl. n=3 esetén: az 1. együttható 1 (az mindig annyi)

a 2. együttható (3-0)/1 = 3

a 3. együttható (3-0)/1 x (3-1)/2 = 3

a 4. együttható (3-0)/1 x (3-1)/2 x (3-2)3 = 1

az 5. együttható (3-0)/1 x (3-1)/2 x (3-2)3 x (3-3)/4 = 0, innentől mind 0

Hogyan lehet ebből **$(1 - x^2)^{½}$** (félkör) esetére interpolálni?

– Válasz: $x - (1/2)x^3/3 - (1/8)x^5/5 - (1/16)x^7/7 - (5/128)x^9/9 - ...$

És hogyan lehet a hiperbola kvadratúráját kiszámolni?

– $y = x^{-1}$ nem megy, mert $x^0/0$ lenne, ami nem értelmes

– toljuk el: **$y = 1/(1 + x)$**

$(1 + x)^0 \rightarrow x$

$(1 + x)^1 \rightarrow x + x^2/2$

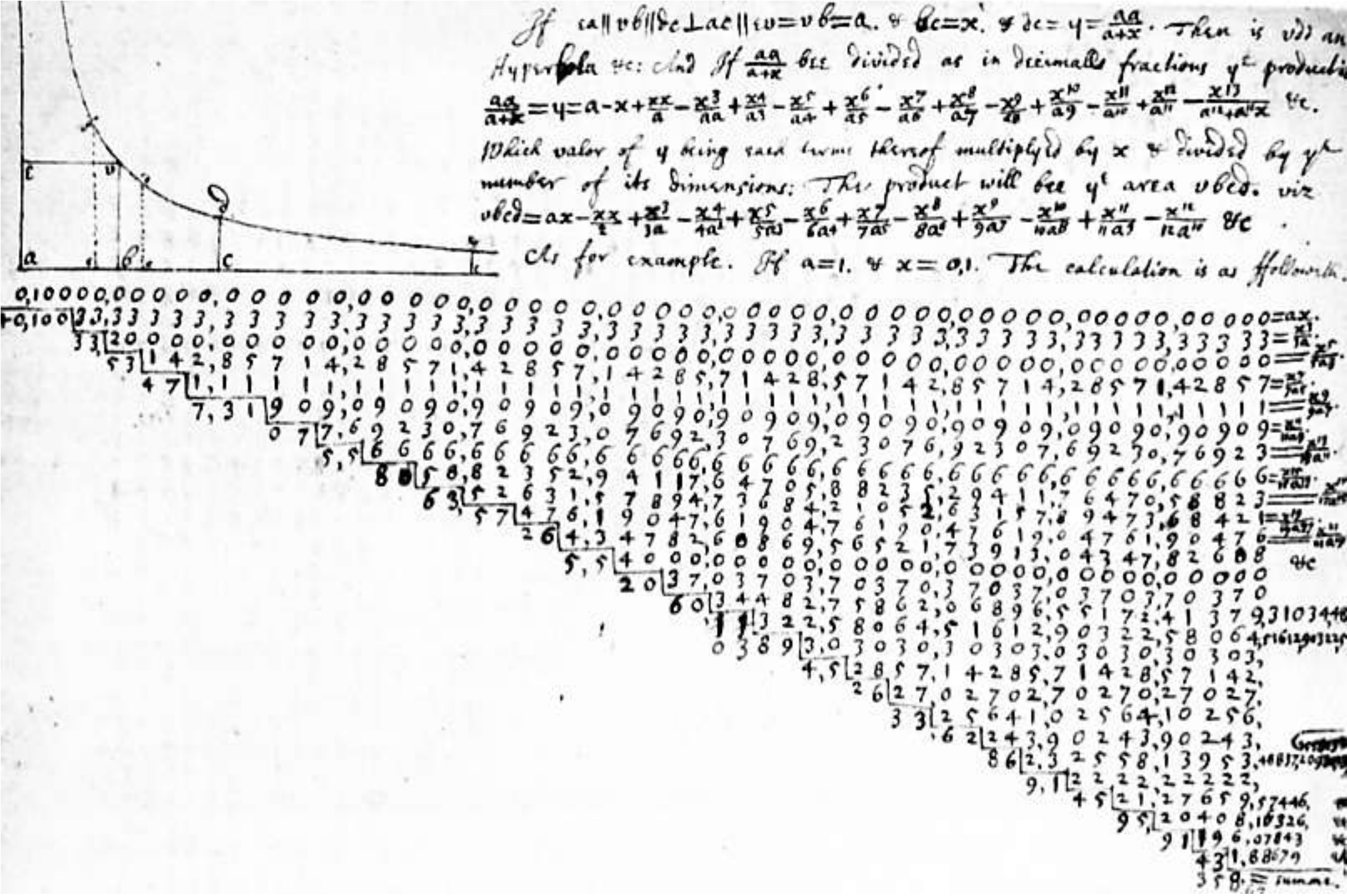
$(1 + x)^2 \rightarrow x + 2\,x^2/2 + x^3/3$

$(1 + x)^3 \rightarrow x + 3\,x^2/2 + 3\,x^3/3 + x^4/4$

stb.

		[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	...
x	×	1	1	1	1	1	1	...
$x^2/2$	×	0	1	2	3	4	5	...
$x^3/3$	×	0	0	1	3	6	10	...
$x^4/4$	×	0	0	0	1	4	10	...
.		.	.	.	0	1	5	...
.		.	.	.	.	0	1	...
.		.	.	.	.	.	0	...

- Pascal-háromszög: bármely szám és a fölötte lévő összeadva a számtól jobbra lévőt adja ki
- ezért [-1] hatvány esetén a kitevők rendre: 1, -1, 1, -1, 1, -1, ...
- tehát $(1 + x)^{-1}$ alatti terület: $x - x^2/2 + x^3/3 - x^4/4 + ...$
- Megjegyzés: pozitív egész kitevők esetén mindig véges a sor, de itt végtelen!



If $ca \parallel vb \parallel de \perp ac \parallel ev = vb = a$. & $bc = x$. & $dc = y = \frac{aa}{a+x}$. Then is vdd an Hyperbola &c: And If $\frac{aa}{a+x}$ bee divided as in decimall fractions ye product is

$$\frac{aa}{a+x} = y = a - x + \frac{xx}{a} - \frac{x^3}{aa} + \frac{x^4}{a^3} - \frac{x^5}{a^4} + \frac{x^6}{a^5} - \frac{x^7}{a^6} + \frac{x^8}{a^7} - \frac{x^9}{a^8} + \frac{x^{10}}{a^9} - \frac{x^{11}}{a^{10}} + \frac{x^{12}}{a^{11}} - \frac{x^{13}}{a^{12}+a^{11}x} \text{ \&c.}$$

Which valor of y being each terme thereof multiplyd by x & divided by ye number of its dimensions: The product will bee ye area vbed. viz

$$vbed = ax - \frac{xx}{2} + \frac{x^3}{3a} - \frac{x^4}{4aa} + \frac{x^5}{5a^3} - \frac{x^6}{6a^4} + \frac{x^7}{7a^5} - \frac{x^8}{8a^6} + \frac{x^9}{9a^7} - \frac{x^{10}}{10a^8} + \frac{x^{11}}{11a^9} - \frac{x^{12}}{12a^{10}} \text{ \&c.}$$

As for example. If $a=1$. & $x=0,1$. The calculation is as ffolloweth.

Logaritmus-számítások a hiperbola kvadratúrája alapján

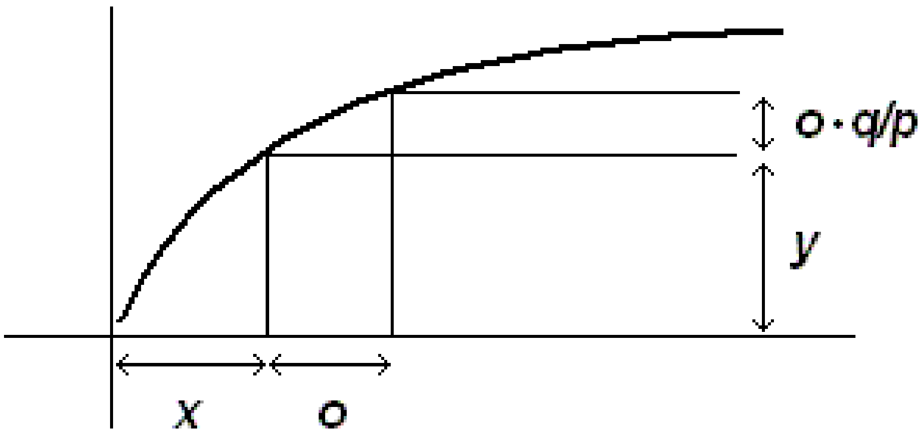
A binomiális tétel

- Ha a görbe polinomiális, akkor a kvadratúra egyenlő a tagok alatti területek összegével
- Ha x az első hatványon van a nevezőben, vagy törtkitevős a kifejezés, akkor végtelen sor, és tagonként kell számolni
- $(b + x)^{m/n}$ együtthatóit eszerint keressük:

$$\frac{1 \cdot m \cdot (m - n) \cdot (m - 2n) \cdot (m - 3n) \cdot \ldots}{1 \cdot n \cdot 2n \cdot 3n \cdot 4n \cdot \ldots}$$

- Később: tovább általánosodik (pl. ha x és y ugyanabban a tagban megjelenik, és nem fejezhetők ki egymás explicit függvényeként…)
- A görbék kifejezhetők végtelen sorokkal
  - újabb algebrai reprezentáció a „geometriai” vonalakra
  - a végtelen sorokat mennyiségeknek tekinti, amikkel lehet műveleteket végezni stb.

Görbék érintője



Tfh. (1) $\mathbf{y = a \cdot x^m}$

Ekkor kis *o* növekmény:

(2) $y + o \cdot q/p = a\cdot(x + o)^m$

Tudjuk, hogy (2) jobb oldala:

$a\cdot x^m + a\cdot m\cdot o \cdot x^{m-1} +$ *„blabla”*$\cdot o^2\cdot x^{m-2} +$ *„blablabla”*$\cdot o^3\cdot x^{m-3} + \ldots$

(2) – (1):

$o \cdot q/p = a\cdot m\cdot o \cdot x^{m-1} +$ *„blabla”*$\cdot o^2\cdot x^{m-2} +$ *„blablabla”*$\cdot o^3\cdot x^{m-3}\ldots$

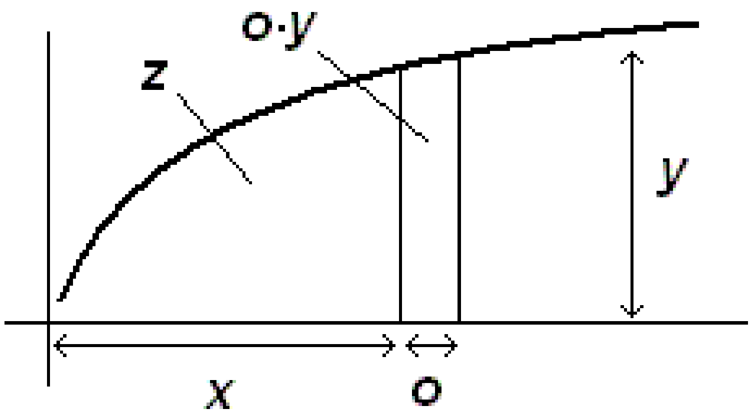
/*o* :

$q/p = a\cdot m\cdot x^{m-1} +$ *„blabla”*$\cdot o\cdot x^{m-2} +$ *„blablabla”*$\cdot o^2\cdot x^{m-3}\ldots$

Mivel *o* végtelen kicsi, ezért a meredekség: $\mathbf{q/p = a\cdot m\cdot x^{m-1}}$

Görbék meghatározása a görbe alatti területből

Legyen a görbe alatti terület:



(1) $\mathbf{z = a \cdot x^m}$

(2) $z + o \cdot y = a \cdot (x + o)^m$

Ismét (2) jobb oldala:

$a \cdot x^m + a \cdot m \cdot o \cdot x^{m-1} + \text{„}\textit{blabla}\text{”} \cdot o^2 \cdot x^{m-2} + \text{„}\textit{blablabla}\text{”} \cdot o^3 \cdot x^{m-3} + \ldots$

(2) – (1):

$o \cdot y = a \cdot m \cdot o \cdot x^{m-1} + \text{„}\textit{blabla}\text{”} \cdot o^2 \cdot x^{m-2} + \text{„}\textit{blablabla}\text{”} \cdot o^3 \cdot x^{m-3} \ldots$

$/o$:

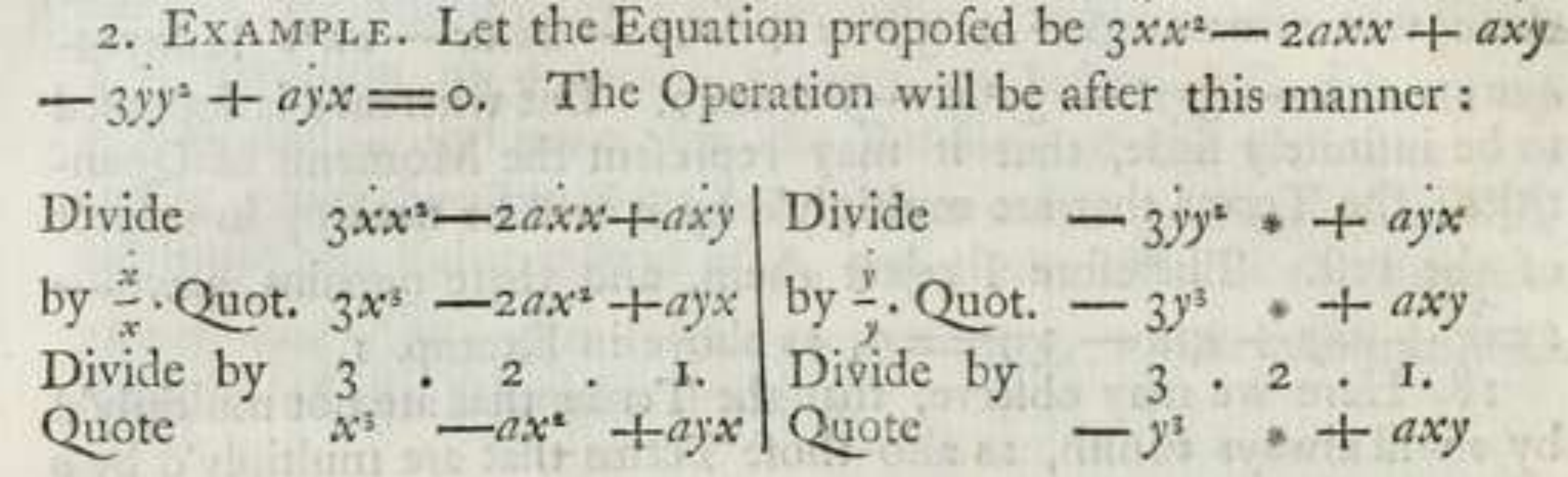
$y = a \cdot m \cdot x^{m-1} + \text{„}\textit{blabla}\text{”} \cdot o \cdot x^{m-2} + \text{„}\textit{blablabla}\text{”} \cdot o^2 \cdot x^{m-3} \ldots$

Mivel *o* végtelen kicsi, ezért a keresett görbe: $\mathbf{y = a \cdot m \cdot x^{m-1}}$

Az analízis alaptétele

- a két előbbi probléma (érintő meghatározása és terület kiszámítása) egymás inverze → a kettő együtt egy egységes területet körvonalaz
- ennek felismerését tekintik az analízis területének létrejötteként
  - Newton: az 1666-os év egyik nagy felismerése
    ↔ először csak 1704-ben publikálja (az *Opticks* függelékeként)
    ⇒ Newton csak keveset és vonakodva publikált, főleg idősebb korában
  - Leibniz: 1675 körül ugyanerre rájön, feltehetőleg függetlenül
    → 1684-ben publikálja
  - 1699: a Királyi Társaság tagjai plágiummal vádolják Leibnizet, 1711: megállapítják, hogy a vád jogos (elég elfogult és kifogásolható eljárásban)
    → 1716-ig (Leibniz halála) súlyos prioritási viták folynak
- Leibniz jelölése terjed el később: (francia, német szerzők nyomán)

	Newton	Leibniz
első derivált	$\dot{x}$	$\frac{dx}{dt}$
második derivált	$\ddot{x}$	$\frac{d^2x}{dt^2}$
integrál	x'	$\int x\,dt$

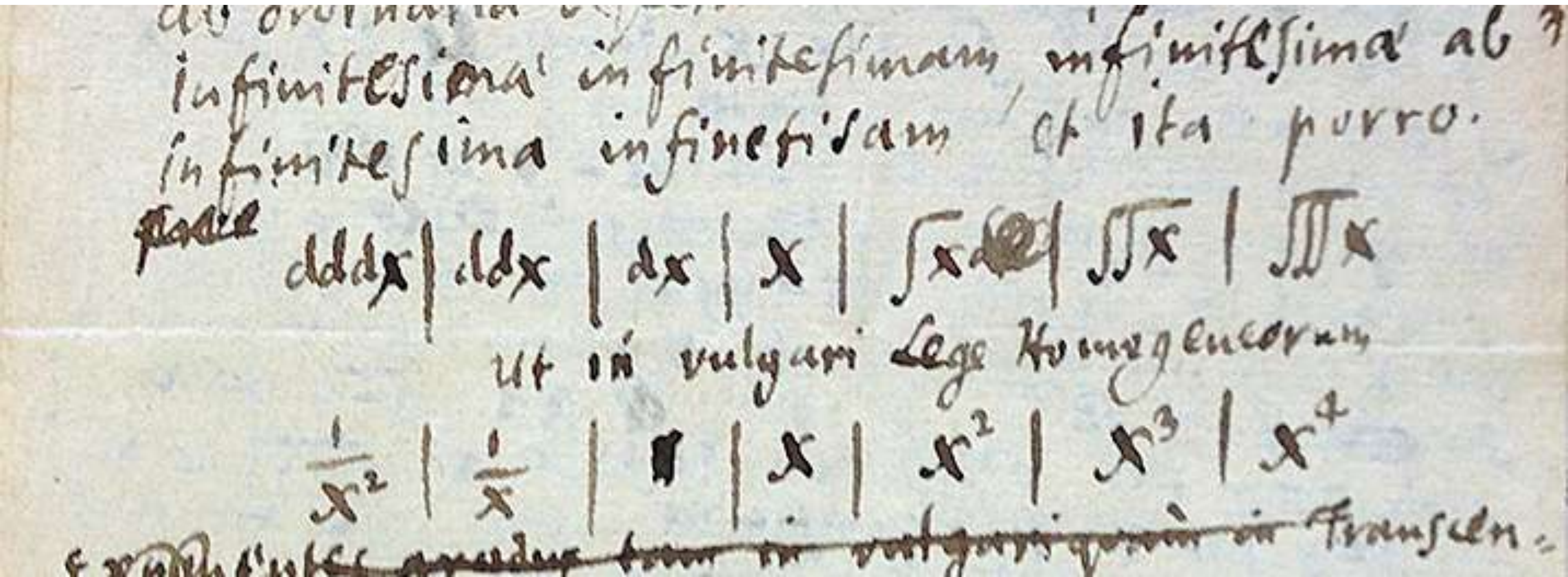


2. EXAMPLE. Let the Equation proposed be $3\dot{x}x^2 - 2a\dot{x}x + a\dot{x}y - 3\dot{y}y^2 + a\dot{y}x = 0$. The Operation will be after this manner:

Divide	$3\dot{x}x^2 - 2a\dot{x}x + a\dot{x}y$	Divide	$-3\dot{y}y^2 \; * \; + a\dot{y}x$
by $\frac{\dot{x}}{x}$. Quot.	$3x^3 - 2ax^2 + ayx$	by $\frac{\dot{y}}{y}$. Quot.	$-3y^3 \; * \; + axy$
Divide by	3 . 2 . 1.	Divide by	3 . 2 . 1.
Quote	$x^3 - ax^2 + ayx$	Quote	$-y^3 \; * \; + axy$

↑ Newton jelölése

Leibniz jelölése ↓



infinitesima infinitesimam, infinitesima ab
infinitesima infinitesimam et ita porro.

$ddd x \mid dd x \mid d x \mid x \mid \int x \mid \int\int x \mid \int\int\int x$

ut in vulgari Lege Homogeneorum

$\frac{1}{x^2} \mid \frac{1}{x} \mid 1 \mid x \mid x^2 \mid x^3 \mid x^4$

Transcen.

Fluxióelmélet

- 1670-es évek: a technika marad, a szemlélet változik
- az analízis alapvető változója az idő: fizikai mozgások leírására hivatott
  - *o* már nem x növekménye, hanem „végtelenül kis időintervallum” $(\dot{x})$
  - a fluens (folyó) mennyiségek (*x*) változásának sebességei a fluxiók

„Itt nem úgy kezelem a matematikai mennyiségeket, mint amik nagyon kis részekből állnak, hanem mint amiket folytonos mozgás határoz meg. A vonalakat nem a részek összetétele, hanem pontok mozgása hozza létre, a felületeket a vonalak mozgása, a testeket a felületek mozgása, a szögeket a szárak forgása, az időtartamokat a folyamatos *fluxio*… A fluxiók nem mások, tetszőleges közelítéssel, mint a folyó mennyiségek idő szerinti növekményei, olyan kicsik és olyannyira egyenlők, mint amennyire lehetséges, és, hogy pontosan fogalmazzunk, a születőben lévő növekmények első arányában állnak, mégis kifejezhetők bármely vonallal, amely arányos velük.”

Tractatus de Quadratura Curvarum (Értekezés a görbék kvadratúrájáról), 1676 (publ.: 1704, az *Opticks* függeléke)

- cél: megszabadulni az oszthatatlanul kis (infinitezimális) mennyiségektől ↔ ez a 19. századig (Cauchy, Weierstrass) senkinek sem sikerül

Későbbi matematika

- A *Principia*-ban a szükséges matematika technikailag a korábbival azonos, viszont kifejtése a görög geometriában történik
  - az algebrai tradíciót sokan ferde szemmel nézték a korban
  - ő is egyre távolabb Descartes-tól
- Publikációk:
  - 1685: Wallis *Algebra*-jában részek
  - 1687: *Principia*
  - 1704: *Opticks* függeléke
  - 1711: „Analízis végtelen sok tagú egyenletek segítségével”

  ⇒ amit a 60-as években kitalált, azt csak évtizedekkel később, apránként, kozmetikázva meri megjelentetni

Book One

THE MOTION OF BODIES

SECTION I

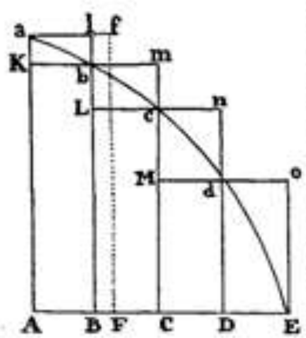
The method of first and last ratios of quantities, by the help of which we demonstrate the propositions that follow.

LEMMA I

Quantities, and the ratios of quantities, which in any finite time converge continually to equality, and before the end of that time approach nearer to each other than by any given difference, become ultimately equal.

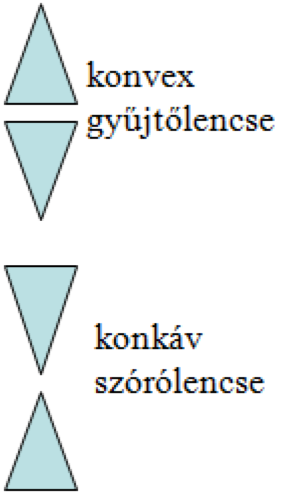
If you deny it, suppose them to be ultimately unequal, and let D be their ultimate difference. Therefore they cannot approach nearer to equality than by that given difference D; which is contrary to the supposition.

LEMMA II



If in any figure AacE, *terminated by the right lines* Aa, AE, *and the curve* acE, *there be inscribed any number of parallelograms* Ab, Bc, Cd, *&c., comprehended under equal bases* AB, BC, CD, *&c., and the sides,* Bb, Cc, Dd, *&c., parallel to one side* Aa *of the figure; and the parallelograms* aKbl, bLcm, cMdn, *&c., are completed: then if the breadth of those parallelograms be supposed to be diminished, and their number to be augmented* in infinitum, *I say, that the ultimate ratios which the*

II. Newton optikája
A prizma



- a lencséken agyal: hogyan lehetne kiküszöbölni a szférikus aberrációt? → egy lencse két prizmával helyettesíthető:
- 1666: prizmákkal játszik, kísérletezget
  – vásári gyerekjáték, nagyon rossz minőségűek

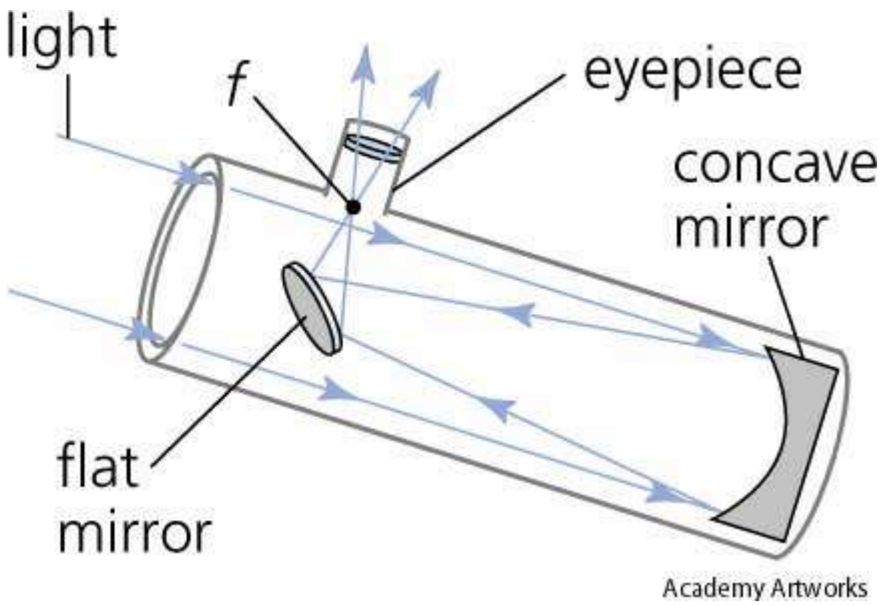
→ a kép megnyúlt és elszíneződik

→ a szín a fény saját tulajdonsága, nem pedig a fény által érintett felületen jön létre

↔ a modifikacionista elmélet szerint igen és a korban ez a leginkább elfogadott (Descartes, Robert Hooke)

A Newton-távcső

- Ha minden lencse kromatikus aberrációtól szenved (hiszen prizma), vagyis a fény törése színeket generál, akkor törés helyett tükrözni kell → 1668:

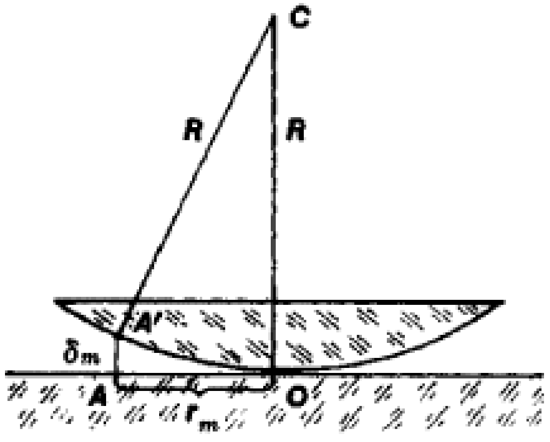


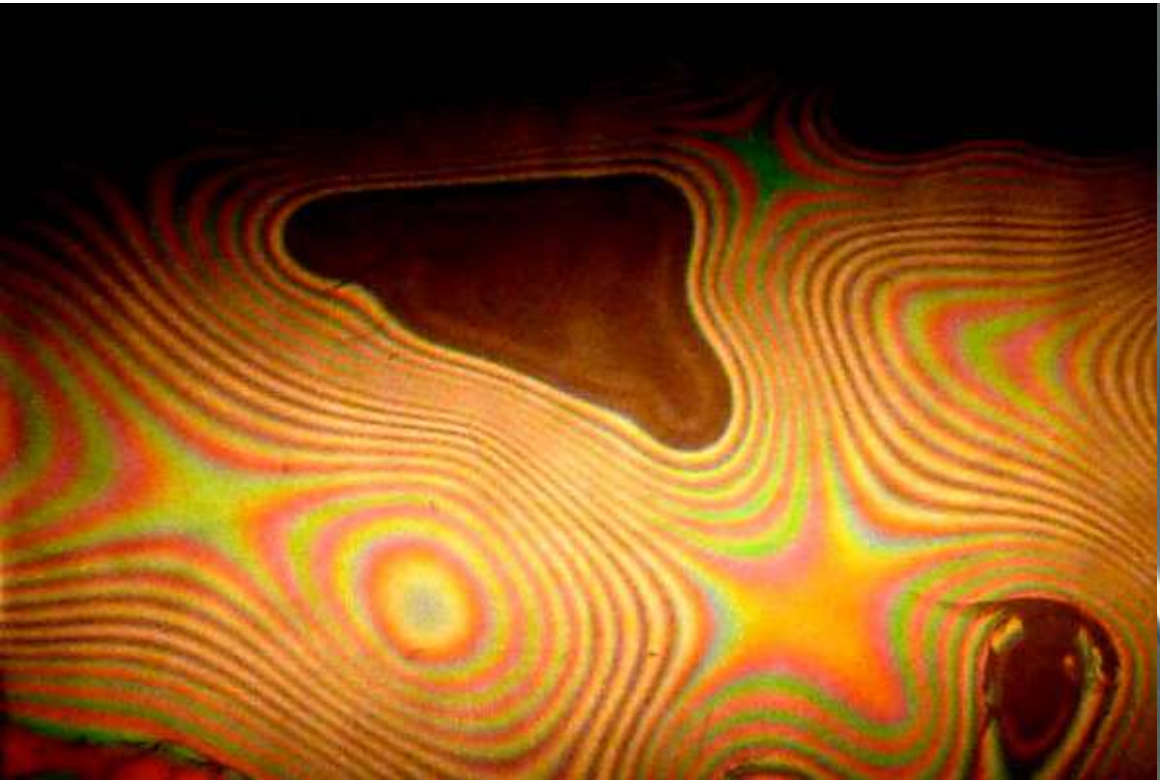
- kell megfelelő anyag: „tükörbronz” (2/3 réz – 1/3 ón)
- kell pontos csiszolás → Newton-gyűrűkkel ellenőrzi

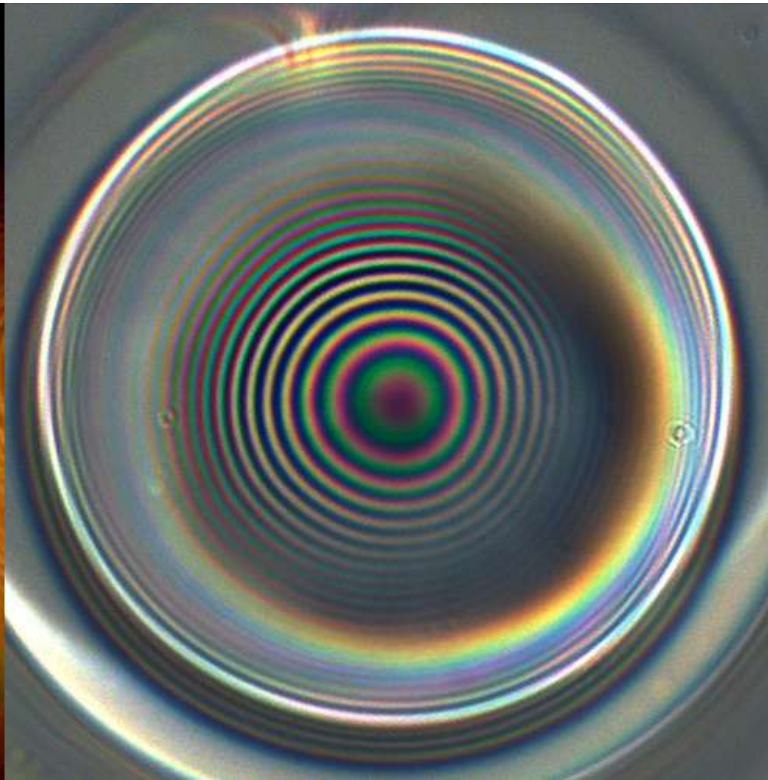
Kitérő – Newton-gyűrűk:

sík és domború felületek találkozásánál létrejövő interferencia-jelenség

- először Hooke írja le (*Micrographia*, 1664)
- egyik kísérleti támasztéka a fény hullám-elméletének (Hooke, Huygens)
- Newton újraértelmezi és az első kvantitatíve helyes leírását adja (*Opticks*)



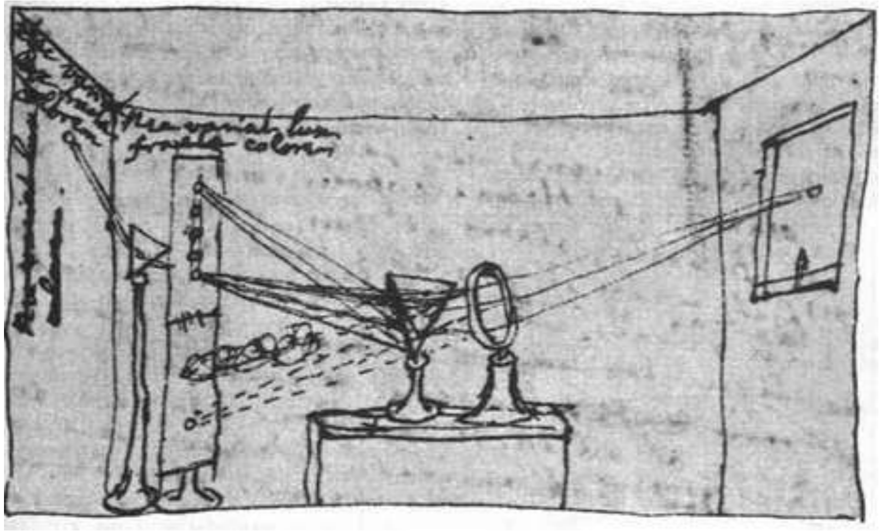




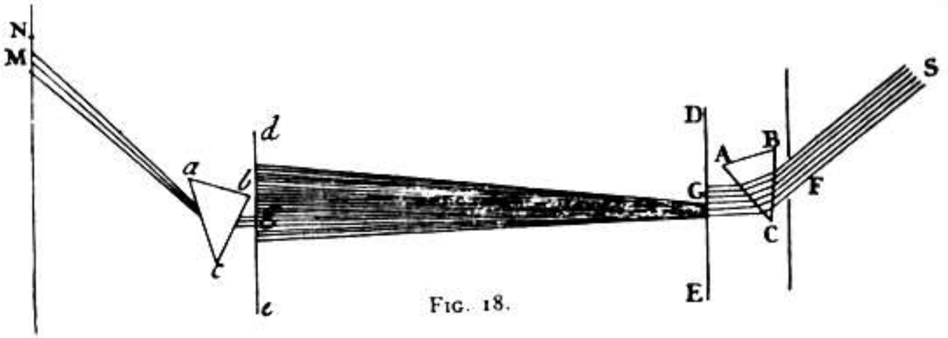
A „döntő kísérlet” (*experimentum crucis*)

- vékony fénysugarat prizmával színeire bontunk →
- egy elkülönített színsugarat egy további prizmára ejtünk →
- a második prizma már nem bontja tovább az egyszínű sugarat

⇒ legerősebb érv a modifikacionizmus ellen: a második felület már nem színez



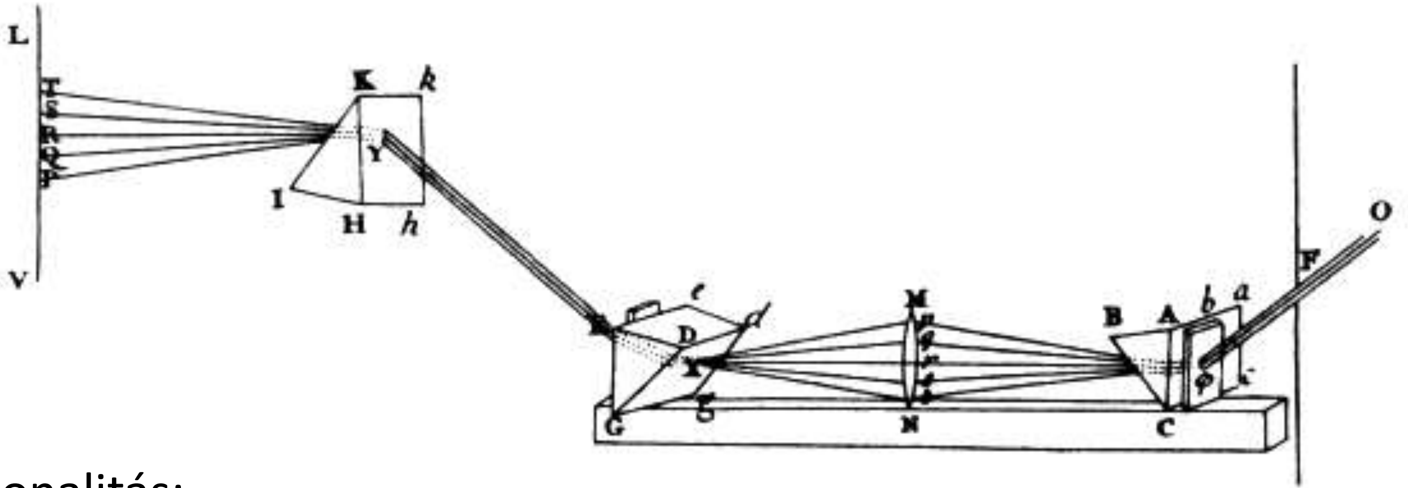
Korai rajza a kísérletről



Ábra az *Opticks*-ból

További kísérletek

- Egy prizmával színeire bontott fénynyaláb újraegyesíthető, és újabb prizmával visszaáll a fehér nyaláb:



- kompozicionalitás:
  a fehér fényt színes alkotórészek építik fel
- ez is cáfolja a felületen létrejövő színek tanát
- meg a még további kísérletek is: egy elkülönített színsugár különböző felületeken is ugyanolyan színű lesz

Az első nyilvánosság

- 1671: bemutatja a távcsövet a Királyi Társaságnak
- 1672: megjelenik első publikációja: egy színelméleti levél
  - ebben rendkívül magabiztosan, precízen érvelve azt állítja, hogy egy csapásra megcáfolta a modifikacionizmust, forradalmasította az optikát
  - részecskeelméletet fejt ki a divatos hullámelmélettel szemben
- Csakhogy:

Hullámokkal jól magyarázható:	*Részecskékkel jól magyarázható:*
diffrakció (1665, Grimaldi)	
interferencia (1665, Hooke)	diszperzió (1672, Newton)
polarizáció (1669, Erasmus Bartholin)	

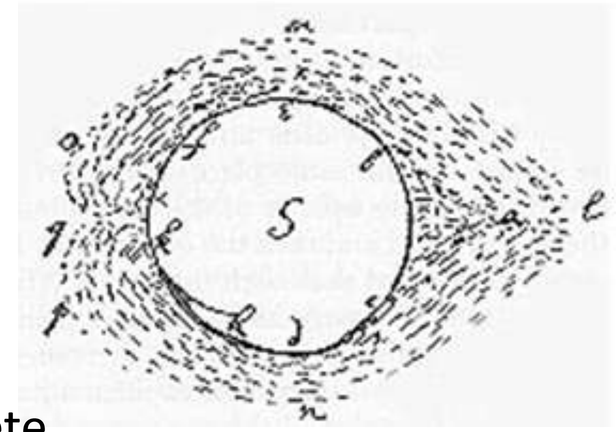
→ Robert Hooke határozottan megkritizálja

→ Newton kegyetlenül megsértődik és visszariad a nyilvánosságtól

→ nagyon intenzív viták a kortársakkal éveken keresztül

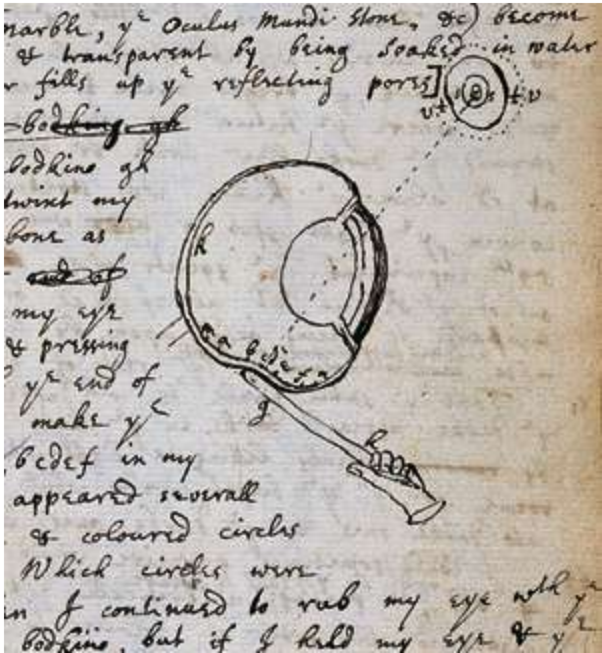
→ Newton idegösszeroppanást kap (1693)

Optikai részecsketan

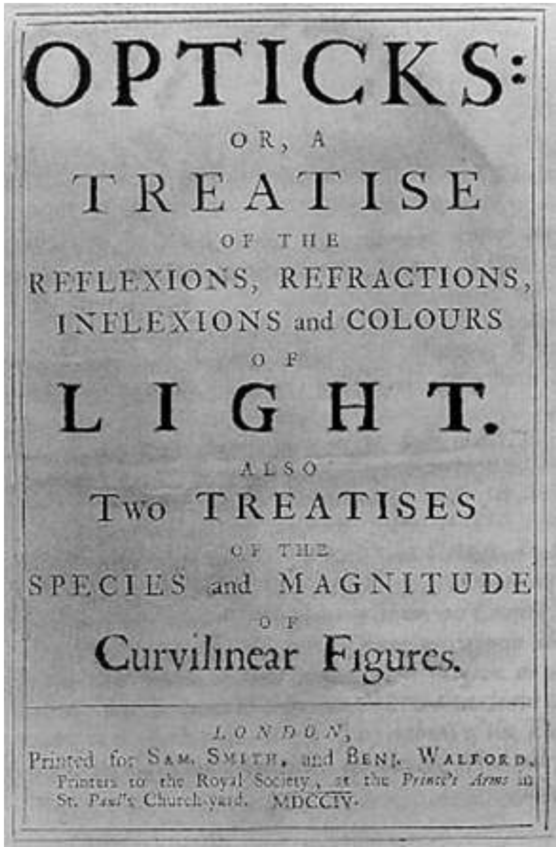


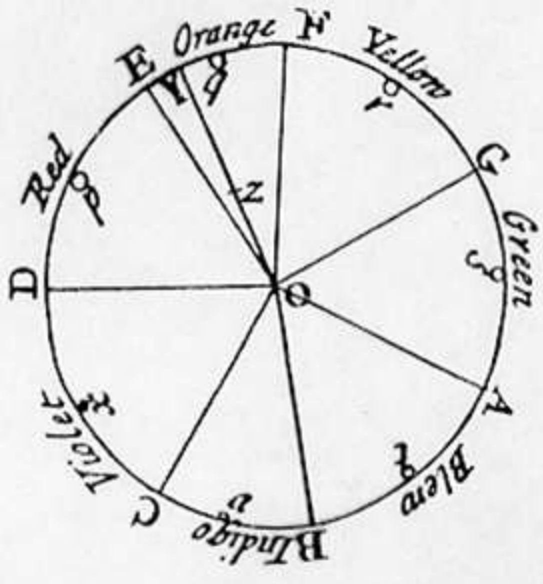
- Pierre Gassendi, Thomas Hobbes: a fény apró részecskékből áll, melyek véges sebességgel utaznak és *impetus*t hordoznak
- Newton: először Huygens hullámelméletét próbálja igazolni ↔ a 44. kísérletnél feladja: a fénytörés és tükröződés tisztán geometriai természete részecskét sugall, mert az egyenes vonalban halad, míg a hullámok nem
- színek és részecskék kapcsolata:
  - forgás? tömeg? sebesség? nyomás?
  - sebesség nem: a Jupiter-holdak fogyatkozásainál az eltűnések és feltűnések színesek lennének (különböző színek különböző gyorsan érnek ide)
  - nyomás talán: ha szem mögé óvatosan benyúlva egy tárggyal a látóideget erősen nyomjuk, akkor nagyon intenzív színeket lehet látni*

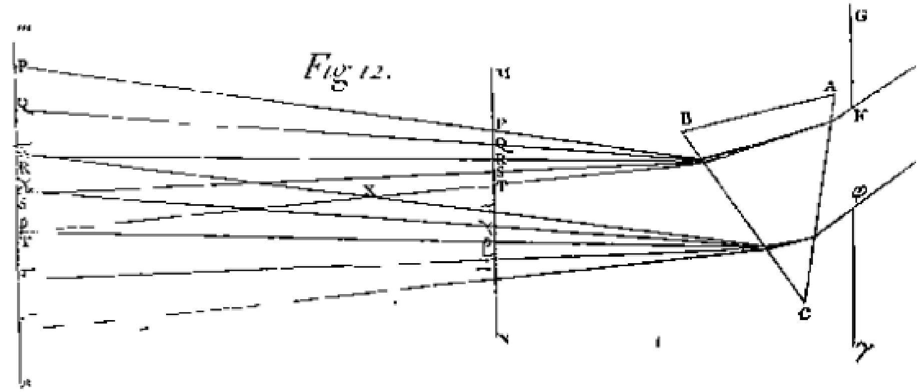
(* Ne legyünk Newtonok, ne próbáljuk ki otthon!)

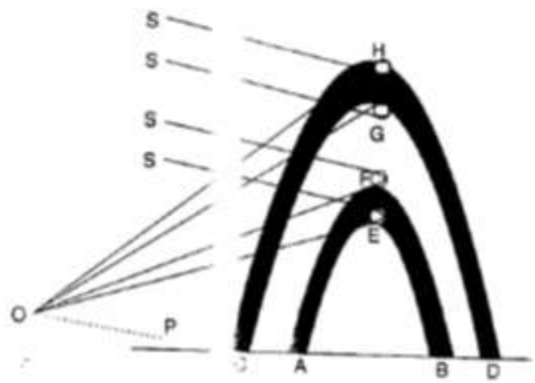


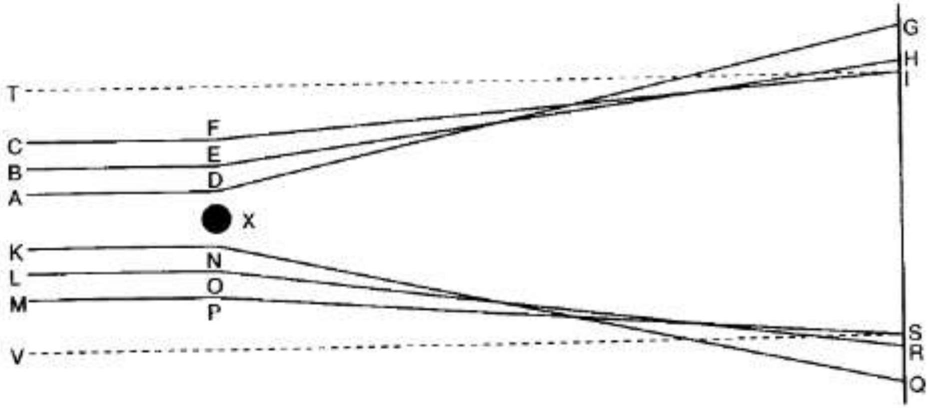
- később (1675): a részecskék éterben haladnak, és ezek erőket közvetítenek köztük (vonzások) → ekkor erős alkímiai érdeklődés jellemzi
- *Opticks* (1704): nincs ilyen közvetlen redukció az ún. elsődleges tulajdonságokra
  → a szín maga egy elsődleges tulajdonság, a fény sajátja („törékenység”)
  → nagyon kis részecskékből áll (a rendes anyag részecskéihez képest)
  → kérdések: vajon a kis és nagy részecskék átalakulhatnak egymásba?
  a kicsik részt vesznek a nagyok felépítésében?
- Ha már *Opticks*:
  - egy évvel Hooke halála után adja ki (erre várt)
  - az első kiadás borítóján nincs a szerző neve ☺
  - angol: szélesebb közönségnek szánja
    (nem a tudományos kollégáknak)
  - axiomatikus-deduktív felépítés + *kísérletek*
  - sok és gyakori későbbi kiadás, igen népszerű
    (sokáig jóval népszerűbb a *Principiá*nál:
    ez a Főmű)
  - sok területnek (pl. kémia) ad módszertani alapot

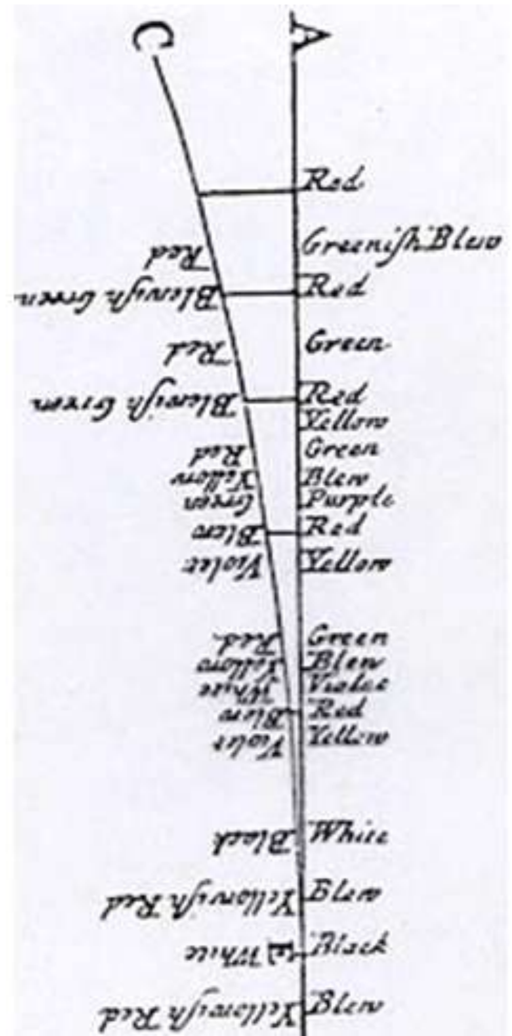



Orange
Yellow
Green
Blew
Indigo
Violet
Red
D
E
F
G
A
B
C
O
Y
Z
FIG. 11.


G
A
B
F
c
X
Fig 12.


S
S
S
S
H
G
F
E
O
P
C
A
B
D


T
C
B
A
F
E
D
X
K
L
M
N
O
P
V
G
H
I
S
R
Q

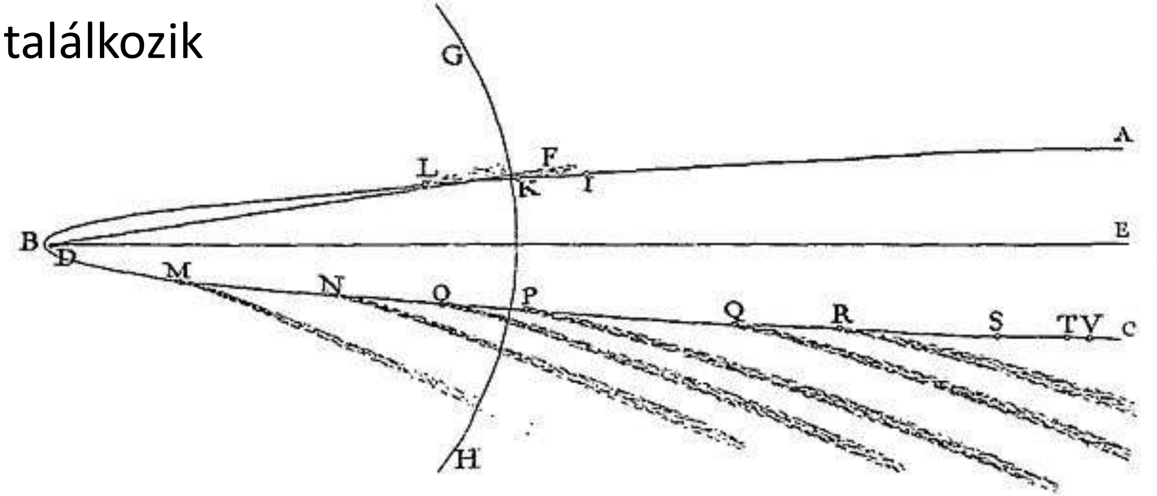

C
A
Red
Greenish Blew
Red
Green
Red
Yellow
Green
Blew
Purple
Red
Yellow
Green
Blew
Violet
Red
Yellow
White
Blew
Black
Blew

III. Newton mechanikája

A Newton-üstökös

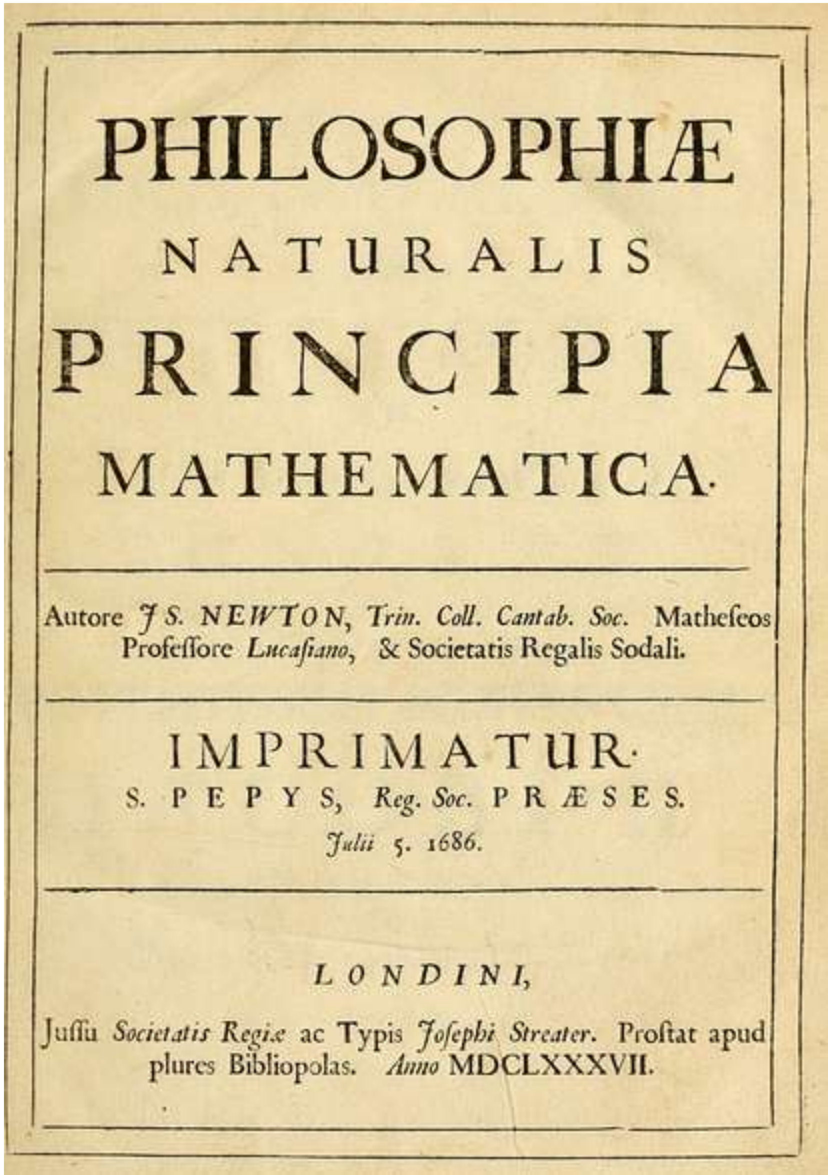
- 1680: hatalmas üstökös az égen
  - az első, amit távcsővel fedeztek fel (Gottfried Kirch)
  - nagyon fényes (nappal is látszik) és hosszú a csóva
- 1681: „újabb”
  - Flamsteed: ez ugyanaz, előjött a Nap mögül
  - Newton pályát számol
    → konklúzió:
    az ellipszis (és egyéb kúpszelet) pályák
    $1/r^2$-es alakú vonzóerőt sugallnak
- Levelezik erről Hooke-kal, és találkozik Halley-vel

  → bíztatják, hogy jelentesse meg a felismeréseit



Principia mathematica philosophiae naturalis

- „A természetfilozófia matematikai alapelvei”, 1687 (1685-86-ban írja)
- latin nyelv: tudós közösségnek szól
- (cím: Descartes *Principia philosophiae* c. művére utalás)
- életében 3 kiadás (1687, 1713, 1726)
- A felépítés alappillérei:
  - kalkulus: mozgás matematikája
  - egyetemes tömegvonzás adott alakban
    - az 1660-as években már sokan f eltételezték az $1/r^2$-es alakot (Hooke, Huygens), de Newton „bizonyította” először a Kepler-törvényekből
  - a három mozgástörvény, és a kapcsolódó fogalmak és filozófiai elvek



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Mathefeos Profeffore *Lucafiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR·
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Juffu *Societatis Regiæ* ac Typis *Jofephi Streater*. Proftat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

- Az Előszóban:

> matikai alapjait. Úgy tűnik ugyanis, hogy a természetfilozófia feladata abban áll, hogy a mozgásjelenségből következtessen a természeti erőkre, és ezeknek az erőknek az ismeretében találjon magyarázatot a többi jelenségre is. Ezt a célt szolgálják azok az

- „direkt probléma”: egy test mozgásából határozzuk meg a rá ható erőt
  „inverz probléma”: egy testre ható erőből határozzuk meg a test mozgását
- nem mondja meg, *mi* az erő: azonosítja matematikai alakú hatásával
- ezen elv alapján rengeteg jelenséget tárgyal hatékonyan:
  - levezeti a Kepler-törvényeket (módosított alakban)
  - meghatározza a hangsebességet
  - megjósolja a Föld szferoid (forgási ellipszoid) alakját
  - a Hold hatásával magyarázza a Föld forgásának precesszióját
  - megoldást ad üstökösök pályájának meghatározására
  - becslést ad az égitestek tömegére
  - 3D harmonikus oszcillátort tárgyal
  - empirikus hűléstörvény
  - pontosan tárgyalja az árapályt

Az alapfogalmak

- kifejtés: axiomatikus-deduktív (Eukleidész mintájára) → tekintélyesebb

tömeg

I. MEGHATÁROZÁS

Az anyag mértéke a mennyisége[12];
ezt a mennyiséget az anyag sűrűsége
és térfogata együttesen határozza meg.

impulzus

II. MEGHATÁROZÁS

A mozgás mértéke a mozgásmennyiség[14];
ezt az anyag sebessége és mennyisége
együttesen határozza meg.

tehetetlenség

III. MEGHATÁROZÁS

Az anyag vele született belső ereje[15] az az ellenálló
képesség, amellyel minden test rendelkezik.
A magára hagyott test megőrzi nyugalmi állapotát
vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását.

külső erő

IV. MEGHATÁROZÁS

A kívülről ható erő az a testre gyakorolt hatás, amely
megváltoztatja a test nyugalmi állapotát vagy egyenes
vonalú egyenletes mozgását.

centrális erő

V. MEGHATÁROZÁS

A centripetális erő az az erő, amelynek hatására a test
valamely pont mint középpont felé vonzódik,
taszítódik, vagy valami módon errefelé igyekszik.

VI. MEGHATÁROZÁS

A centripetális erő abszolút mennyiségének mértéke
az a nagyobb vagy kisebb hatás, amely a középponttól
a külső részek felé terjed.

VII. MEGHATÁROZÁS

A centripetális erő gyorsító mennyiségének mértéke
arányos azzal a sebességgel,
amelyet adott időtartam alatt létrehoz.

VIII. MEGHATÁROZÁS

A centripetális erő mozgató mennyiségének mértéke
arányos azzal a mozgással,
amelyet adott időben létrehoz.

„A mozgás axiómái vagy törvényei”

- tehetetlenség: Galilei, Descartes, Borelli, Huygens stb. már kimondta

ELSŐ TÖRVÉNY

Minden test megmarad nyugalmi állapotában vagy egyenletes és egyenes vonalú mozgásában, hacsak külső erő nem kényszeríti ennek az állapotnak elhagyására.

- ez kb. benne volt Huygens művében az ingaóráról (1673)

MÁSODIK TÖRVÉNY

A mozgás megváltozása arányos a külső, mozgató erővel[33], és annak az egyenesnek az irányában megy végbe, amelyben ez az erő hat.

- ez sem teljesen forradalmi, de ő hangsúlyozza először széles körben (a relációk fogalmilag nehezek: nem egy dolog tulajdonsága…)

HARMADIK TÖRVÉNY

A hatással mindig egyenlő nagyságú és ellentétes visszahatás áll szemben; más szóval: két testnek egymásra gyakorolt kölcsönös hatása mindig egyenlő és ellentétes irányú.

$\Rightarrow$ ezekből vezeti le a tételeket 3 könyvön át

Newton módszere a pályaszámításokhoz:

a) rögzített, pontszerű Nap
+ mozgó, pontszerű bolygó
→ Kepler-törvények levezetve

b) pontszerű testek közös t.k.p. körül
→ módosított Kepler-törvények

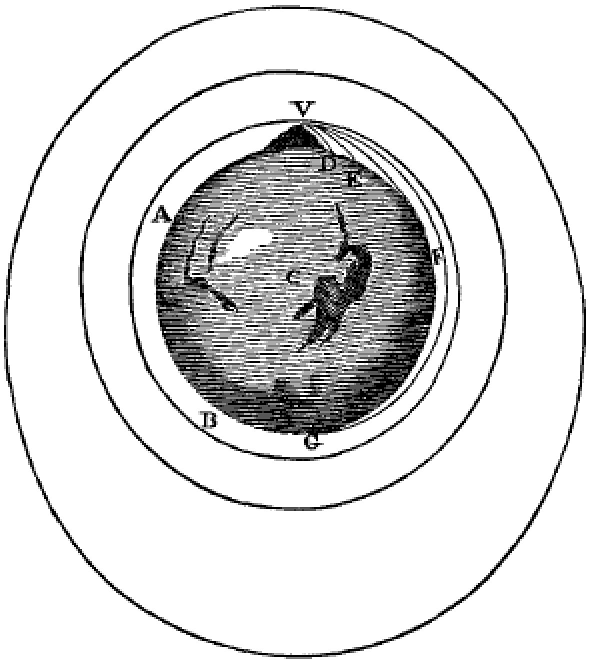
c) pontszerű testek helyett tömeggolyók
→ alapfelismerés (1685): a földgolyó hatása olyan, mintha a kp-ba sűrítenénk az egész tömeget

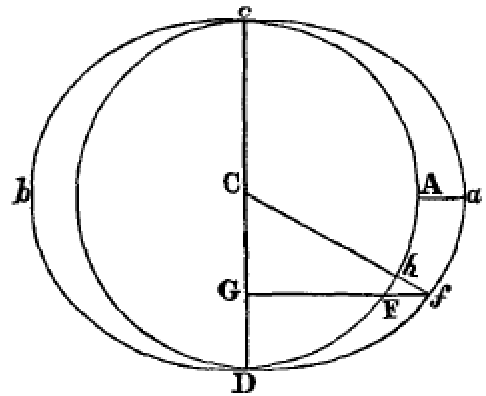
d) több bolygó is, de egymásra nem hatnak, csak a Napra

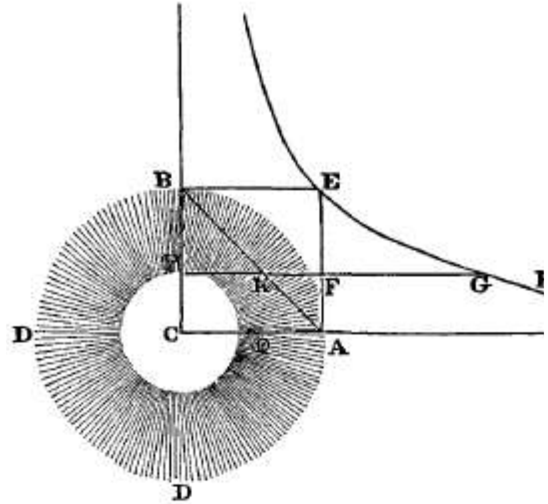
e) több bolygó, egymásra is hatnak
→ többtest-probléma

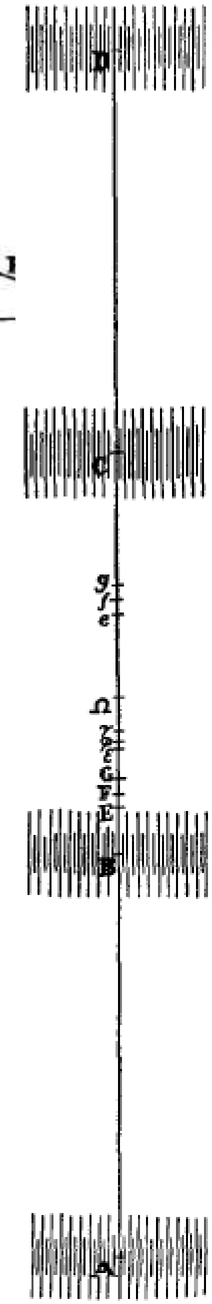
A módosított Kepler-törvények:

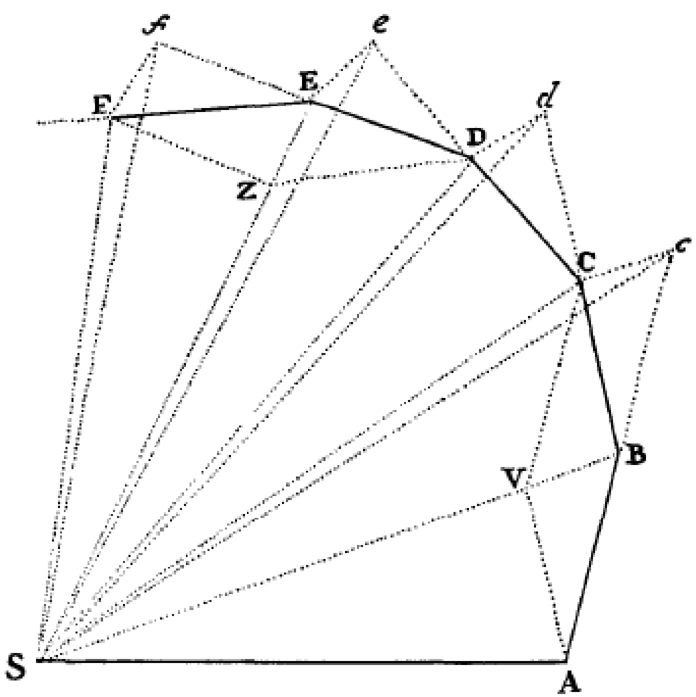
1. Két test egymás körül olyan ellipsziseken mozog, melyek egyik (közös) fókuszpontjában a közös tömegközéppont áll
2. A területi sebesség állandó (változatlan → impulzus-momentum megmaradása)
3. Ha két test közös kp. körül kering, akkor a pályák félnagytengejének köbe osztva a periódus négyzetével arányos a két test tömegének összegével
$(M_1 + M_2) \sim a^3 / P^2$

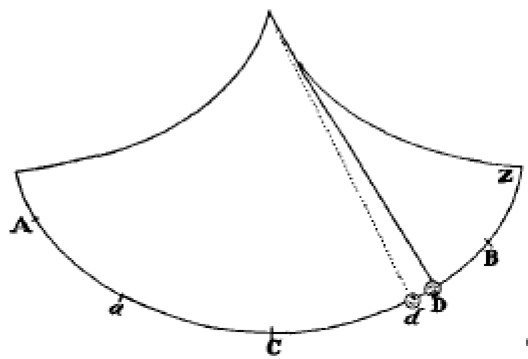

V
D
E
A
F
C
B
G

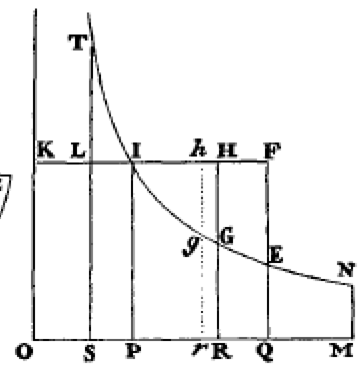

c
b
C
A
a
h
G
F
f
D

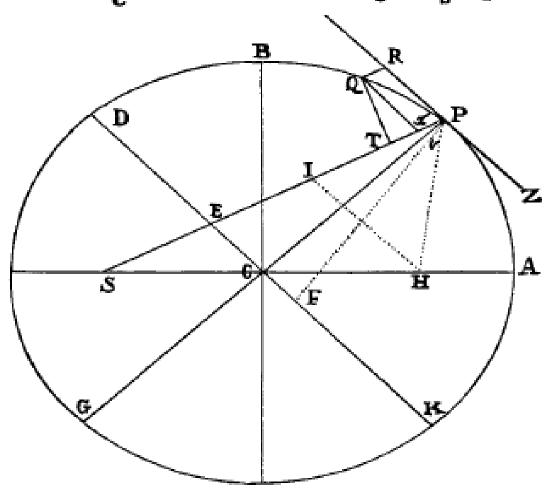

B
E
K
F
G
D
C
A
D


D
C
g
f
e
Ω
G
F
E
B
A


f
e
E
F
d
D
Z
C
c
B
V
S
A


Z
A
B
d
D
C


T
K
L
I
h
H
F
g
G
E
N
O
S
P
r
R
Q
M

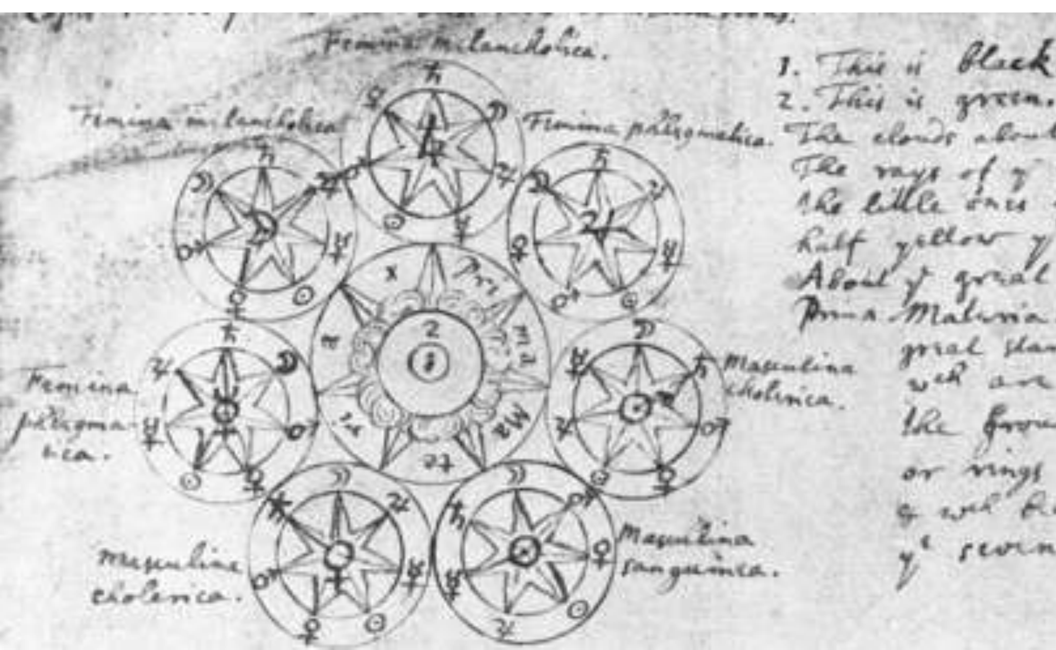

B
R
Q
P
D
T
I
E
Z
S
C
F
H
A
G
K

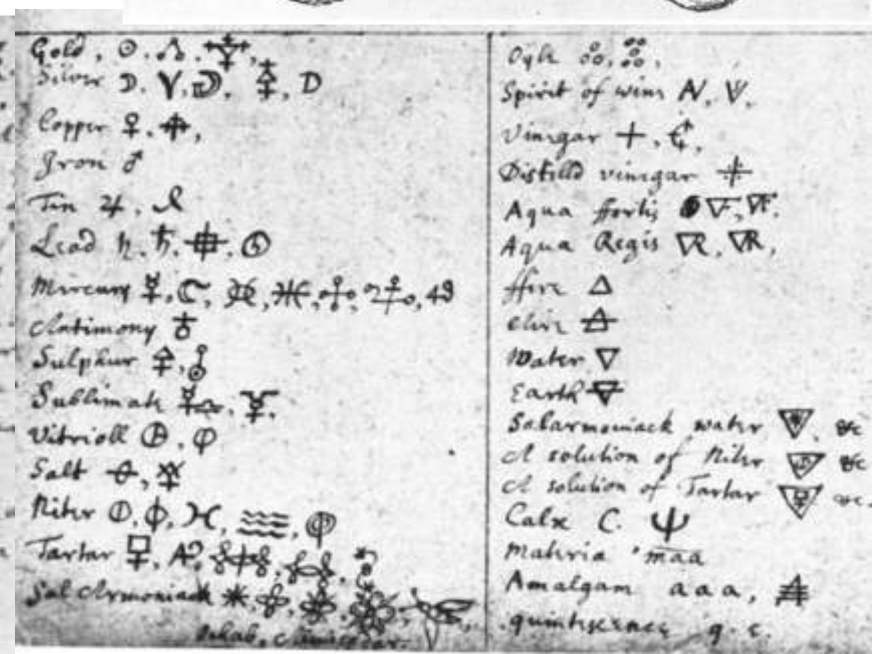
Filozófiai problémák

- abszolút tér és idő: „tartályok”, amik függetlenek a bennük történő eseményektől („Isten érzékszerve”I
  ↔ Leinbiz: a teret és időt a benne végbemenő események összessége határozza meg → 19. sz. végén újra előjön a probléma → rel.elm.
- egyetemes vonzás: miért nem zuhan egy pontba az anyag?
  → mert ∞ eloszlású és kb. homogén, ezért minden részre kiegyensúlyozott erő hat minden irányból
- távolhatás fogalma: hogyan valósul meg fizikailag a gravitáció?
  - jegyzetfüzetek: részecskés magyarázat-kísérletek, de nem működik
    - a semmi által közvetített vonzó hatás fizikailag teljesen abszurd nézet
  - erős alkímiai motiváció: affinitások, vonzalmak, stb.
  - „Általános tanulságok” a 3. kiadáshoz:
    „Hipotéziseket nem agyalok ki! Márpedig mindaz, amire nem a jelenségekből következtetünk, hipotézisnek nevezendő. Metafizikai, fizikai vagy mechanikai hipotéziseknek, rejtett tulajdonságoknak nincs helyük a kísérleti filozófiában.”
  - a probléma továbbra is fennmarad, de a gyanús fogalmat elfogadják amiatt, hogy milyen sok jelenséget képes jól leírni

Kitérő: Newton és az alkímia

- rengeteget foglalkozott vele: talán többet, mint bármi mással
  - 140 alkímiai tárgyú könyv a tulajdonában
  - félmillió szóra rúgó jegyzetanyag
  - saját alkímiai kemence Cambridge-ben
  - de nem nagyon hirdette és nem publikálta
- Összefügg: részecsketan, éter, erők





Késői évei

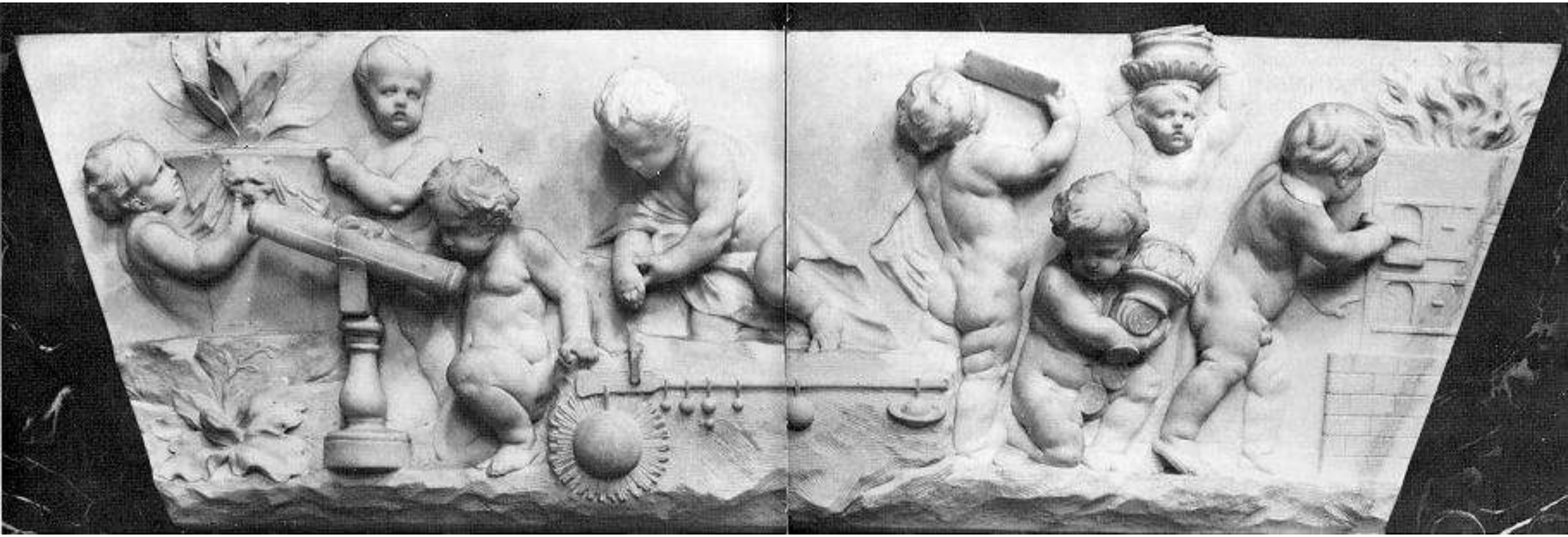
- 1690-es évek: vallási témájú értekezések (arianista: Szentháromság-tagadó)
- 1696: az Állami Pénzverde őre, majd igazgatója (1699-1727)
  - innentől kezdve Londonban él
  - nagy lelkesedés: személyes nyomozások, száznál több hamisítót leleplez, egyet kivégeztet
- 1689-90: parlamenti tagság (de itt nagyon passzív)
- 1703-27: a Királyi Társaság elnöke
- 1705: lovaggá ütik (F. Bacon után ő a 2. tudós lovag)
- utolsó nagy munka (az újrakiadásokon kívül): a történelmi kronológia pontosítása a Biblia alapján

Newton címere

Halotti maszkja

Síremléke a Westminster-apátságban

A munkásság szimbólumai a síremlék domborművén:



Newton-távcső

Mérlegen a naprendszer

Prizma

Frissen vert pénzérmék

Kemence

A természet s törvényei felett az éj sötétje szállt,
Isten monda: legyen Newton! – S minden világosra vált.

(Alexander Pope, Newton halálára)

Nem tartott soká. Kiáltott az ördög: „Hó, legyen Einstein!” – s visszaállt a status quo.

(Sir John Collings Squire)