

**Tudomány és  
csillagászat a  
Tudományos  
Forradalom  
idején  
+  
Newton**

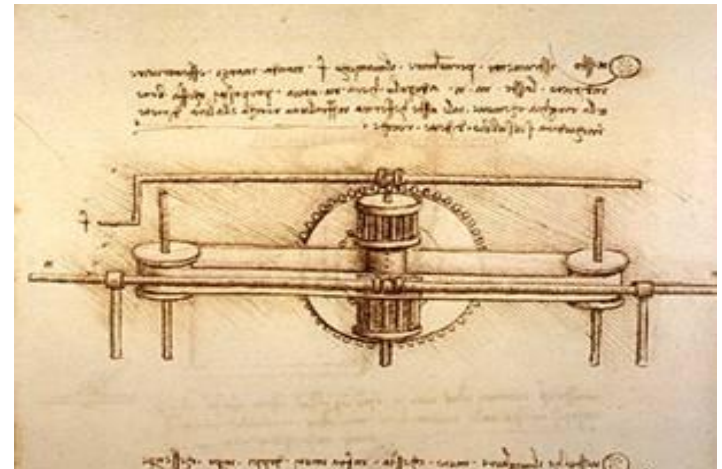
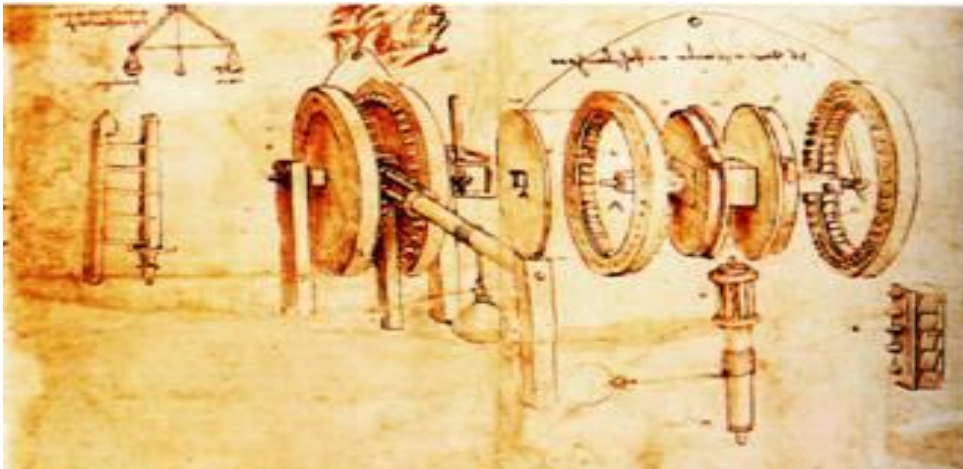
**A kopernikuszi fordulat  
2015. május 5.**

# A tudományos forradalom

- 16-17. sz.: radikálisan új „természetfilozófia”  
⇒ kialakulnak a modern tudomány fogalmi, módszertani és intézményes alapjai
  - kezdet: 1543 (Kopernikusz *De revolutuonibus*-ának megjelenése)
  - vég: 1687 (Newton *Pricipia*-jának megjelenése)
- A fogalom első használata: Alexandre Koyré, 1939  
⇒ első könyv ezzel a címmel: A. Rupert Hall, 1954
- Korábban igen elterjedt történetírási fogalom,  
ma erősen vitatott: tényleg olyan drasztikus váltás?  
+ se a „forradalom”, se a „tudományos” nem jó fogalom
- Egy biztos: a legnagyobb „hősei” újnak látták a tevékenységüket
  - Kepler: *Nova Astronomia*
  - Bacon: *Novum Organum*
  - Galilei: *Discorsi... a due nuove scienze*
  - ...

# A matematika szerepe

- Felerősödnek hagyományosan matematikailag (is) tárgyalt, de nem standard tudományos tradíciók
- Arkhimédész, Hérón, Papposz, stb.:  
matematizált optika, sztatika, hidrosztatika, kinematika  
⇒ ezek a középkorban nem voltak ismertek  
⇔ 17. sz. elején lefordítják és tanulmányozzák őket
- Ezek esetén erős gyakorlati motiváció: gépek, szerkezetek, stb. (már az ókorban is: hidraulikus szobrok, mechanikus szerkezetek...)  
⇒ a hagyományos „töprengő” tudósmodellt fokozatosan felváltja az alkotó mesterember modellje



# A módszeres megfigyelés



- Szaporodnak a „furcsa”, távoli vidékekről származó tapasztalatok  
→ a tapasztalatokra módszeresen, óvatosan kell szert tenni
  - Francis Bacon (1561-1626), *Novum Organum* (1620):  
a megfigyeléseket táblázatokba kell rendezni. Például:
    - A jelenlét táblázata: olyan jelenségek, amelyek jelenlétében a kérdéses jelenség is jelen van  
Pl. Hő → napfény, tüzes meteorok, égető villámok, súrlódó testek, erjedő szerves anyag, stb.
    - A hiány táblázata: olyan, az eddigiekhez hasonló jelenségek, melyeknél a kérdéses jelenség hiányzik  
Pl. csillagfény, holdfény, hideg villámok, stb.
    - A fokozat táblázata: olyan jelenségek, ahol a jelenség jelenléte fokozat kérdése  
Pl. állatok hője nő a mozgással, az üllő hője nő az ütésekkel
    - stb. stb.
- ⇒ cél: együttjárások megállapítása kizárások révén

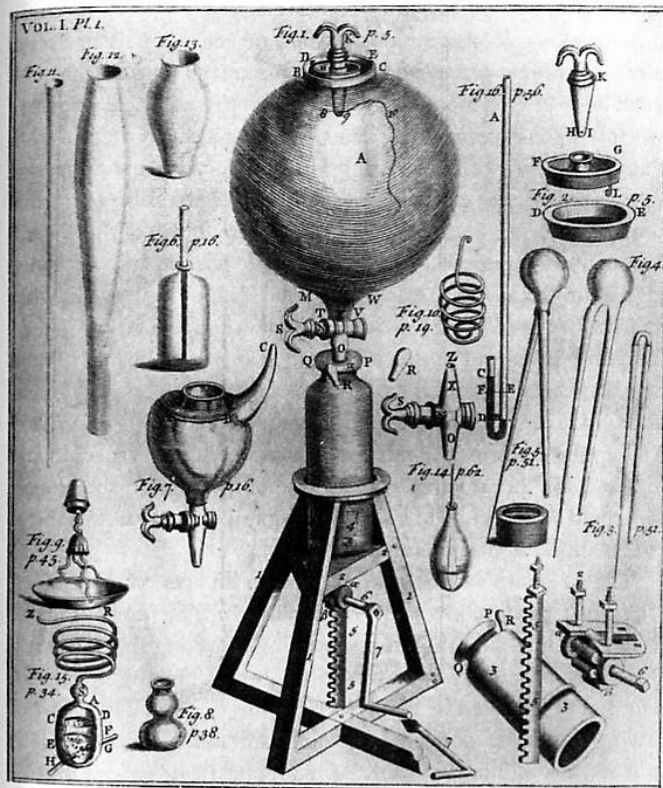


# A természeti törvény fogalma

- A görög tudományban nincs ilyen: tipikus mintázatok vannak, nem egyetemesen és mindig ugyanúgy érvényesülő összefüggések
- A keresztény gondolkodás hajlamos Istenre törvényhozóként tekinteni  
→ 15-16. századi állatpercek: az embereket megtámadó, betegséget okozó, vagy természetellenesen viselkedő állatokat (pl. tojást rakó kakas) kivégzik, mert megsértik Isten törvényét
- René Descartes (1596-1650):
  - „felfedeztem néhány törvényt, amelyeket Isten olyanképpen állapított meg a természetben, amelyeknek olyan fogalmait véste lelkünkbe, hogy kellő megfontolás után nem tarthatjuk kétségesnek pontos érvényesülésüket mindabban, ami van vagy történik a világban.” (*Értekezés a módszerről*, V.)
  - a mechanikai viselkedés szabályait néha törvényeknek is hívja
- Newton: mindenféle megszorítás nélkül használja, az ő nyomán terjed el: egyetemesen érvényesülő szabályok (a természet képtelen megszegni), melyek matematikai formában kifejezhetők

# Kísérletezés

- Arisztotelész: passzívan megfigyelni kell a természetet, nem beavatkozni
- F. Bacon: „a természetről le kell rántani fátylát”, „kínpadra kell vonni”  
→ a tapasztalat nem „általánosan tudott”, hanem „itt és most”, egyedi körülmények között végzett megfigyelés ⇒ nem „természetes”  
→ *Experientia* (tapasztalat) és *experimentum* (kísérlet) szavak elválnak



## A légszivattyú:

- A 17. sz. közepének vitatott kísérleti eszköze
- Otto von Guericke, 1647 → Robert Boyle
- „Cáfolja” a *horror vacui* elvét
- Kedvelt bemutató-, népszerűsítő eszköz
- Úgy segíti a megismerést, hogy „erőszakot tesz” a természetten...



Wright of Derby, 1768: An Experiment on a Bird in the Air Pump

# A mechanisztikus természetfilozófia

- a 17. sz. uralkodó metaforája az óramű: apró kis alkatrészek mechanikus mozgása adja ki a rendszert
  - Kepler: „Céлом megmutatni, hogy az univerzum gépezete nem egy isteni lényhez, hanem órához hasonló.”
  - Robert Boyle: „A természeti világ „úgy, ahogy van, egy hatalmas óramű”
- Az alkotórészek megértése teszi lehetővé a rendszer megértését
  - Descartes: a vérkeringés mechanisztikus magyarázata: a szívben kis tűz ég, amely kitágítja és „elpárologtatja” a bal pitvarba érkező vért → a szív kitágul, a billentyűk kinyílnak, a vér távozik, majd lehűl → a szív összehúzódik, kinyílnak a túlsó billentyűk, belép a lehűlt vér
  - „...ha volnának olyan gépek, amelyek egy majom vagy más oktan állat szerveivel és külső alakjával bírnának, semmiképp sem tudnók felismerni, hogy nem egyeznek meg mindenben ezekkel az állatokkal.”

Az inger mechanisztikus magyarázata: hő hatására az idegpálya kitágul és nyomja az agyat

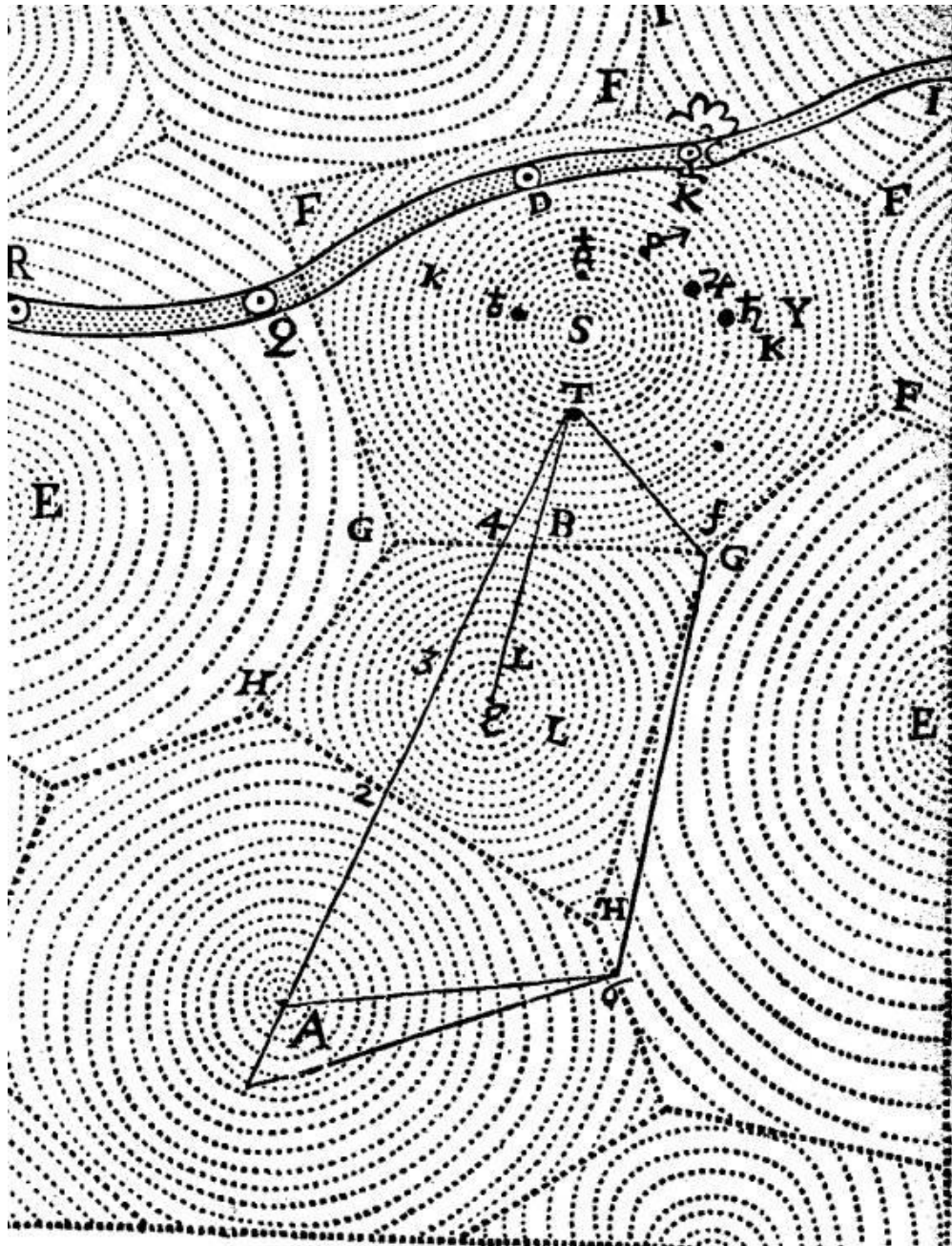




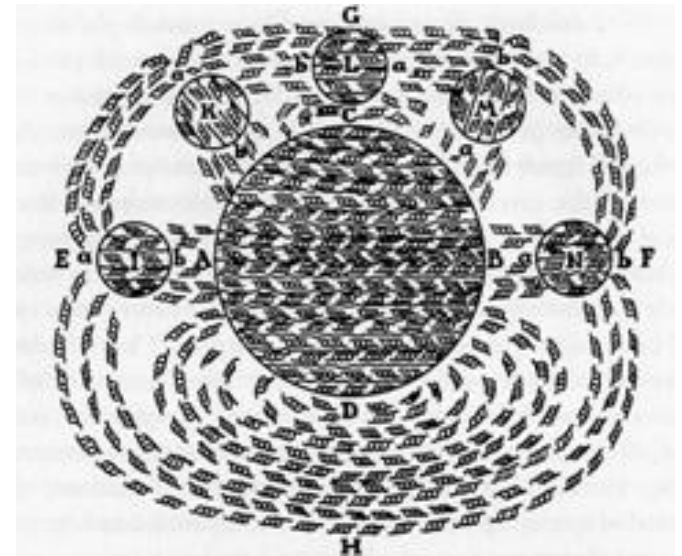
# Részecsketan (korposzkularianizmus)

- Azok az alkatrészek, melyek megértéséből kiindulunk, apró kis részecskék (nem feltétlenül „atom”, mert az feltételezi az űr létezését)
- Tulajdonságaik (alak, méret, mozgás, mennyiség) matematikailag leírhatók
- Descartes leírása
  - I. a részecskék viselkedése
    1. a részecskék önmagukban
      - egyenes vonalú mozgás
      - egyenletes mozgás (a lendület megmarad)
    2. a részecskék kölcsönhatása
      - ütközési törvények matematikai alakban (többnyire rosszul)
  - II. a rendszerek viselkedése: az ütközések közti idő tartson a nullához  
⇒ ha a részecskék egymást lökődik, és nem akarunk a lökődések sorozatával a végtelenbe menni (nem lenne kezdet, végtelen hatások), akkor a lökődések láncá előbb-utóbb magába zárul ⇒ örvények





- nem lehet űr → az egyenes vonalú mozgás során távozott anyagot pótolni kell → végső soron körmozgások
- a szomszédos örvények „összetartják” egymást (ütközésekkel)
- éterörvénnyel magyarázható:  
**Naprendszer mozgása,**  
**Hold mozgása, gravitáció,**  
 kémia, geológia, optika, stb.



# A tudomány intézményes keretei

- Hagyományosan a tudós egyénileg, „magányosan” ismeri meg a világot
- A 17. sz-ban létrejönnek a tudományos közösségek
  - Bacon, *Új Atlantisz*: „Salamon háza”: egy államilag szervezett és fenntartott kollaboratív kutató- és mérnökintézet („tudásgyár”)
  - tudás = hatalom: békét és jólétet teremt az államban
- 1657: Firenzei Kísérleti Akadémia: a Mediciek által támogatott intézmény kísérletek végzésére (Galilei követői alapítják: Viviani, Toricelli)
- 1662: az angol Királyi Társaság
  - főként angol gentleman-ek alkotják, de beférnek a híres külföldi tagok (Huygens, Cassini, Leibniz...)
  - rendszeresen kísérleteket végeznek (kísérletek kurátora: Robert Hooke)
  - eleinte magánpénzből, majd 1682-től rendszeres állami támogatás
- 1666: a francia Tudományos Akadémia
  - kezdettől fogva állami támogatás, komoly berendezések, könyvtár, stb.

# Tudományos kommunikáció

- Rendszeres összefoglalók a kutatási eredményekről:
  - 1665: *Philosophical Transactions of the Royal Society*
  - 1665: *Journal des savans*
- Ennek mintájára alakulnak az első tudományos folyóiratok
  - 1682: *Acta Eruditorum* (Leibniz)
- Könyvek, nyomdászat, ábrák, stb.: a tudományos publikáció standardizálódik
- Átalakul
  - a tudást előállítók státusza: nem teológusok és egyetemi doktorok, hanem megbízható, szavahihető polgárok, mérnökök stb.
  - a befogadók státusza: nemcsak egymásnak írnak, hanem a tudás publikus, és egy széles polgári réteg érdeklődik iránta
  - a tudás célja: nem a világ érdekmentes megismerése, hanem az emberiség fejlődésének elősegítése → azok a területek fejlődnek, ami fontos az ipar, a hadászat, a navigáció, a kereskedelem stb. számára
  - a tudás értéke: a nemzet nagyságát és fejlettségét méri



# A kor néhány prominens csillagásza

Kepler angol követői:



Jeremiah Horrocks  
(1618-1641)



William Crabtree  
(1610–1644)



William Gascoigne  
(1612-1644)



Johannes Hevelius  
(1611-1687), lengyel?



Christiaan Huygens  
(1629-1695), holland



Jean-Félix Picard  
(1620-1682), fr.



Adrien Auzout  
(1622-1691), fr.

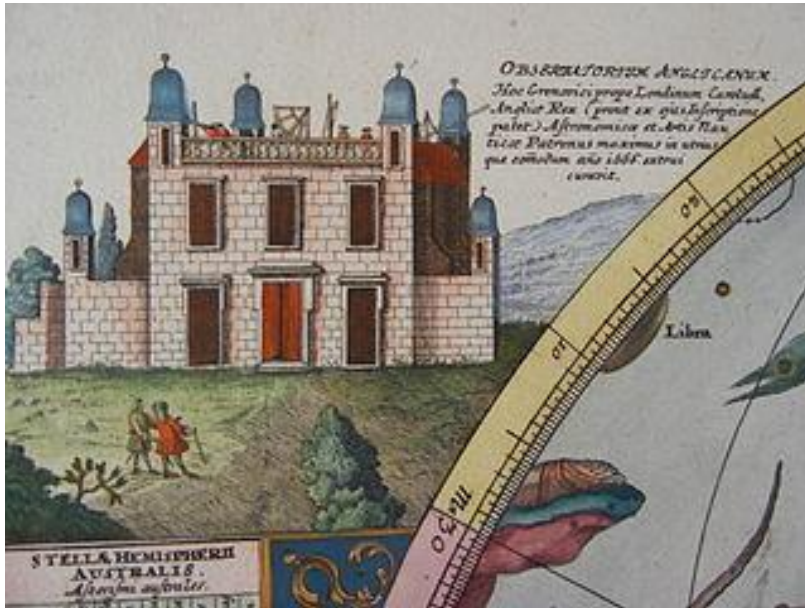


Giovanni Domenico Cassini  
(1625-1712), olasz → francia

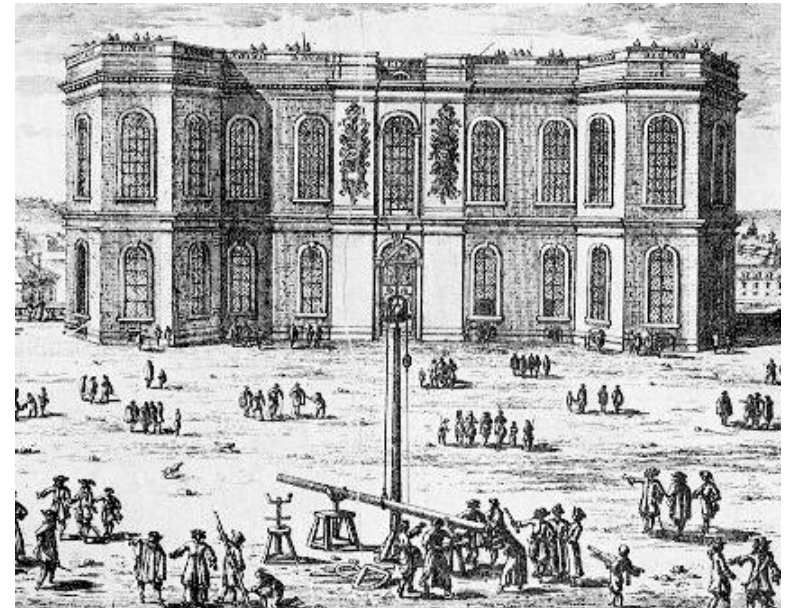


Ole Rømer  
(1644-1710), dán

# A legfontosabb csillagvizsgálók



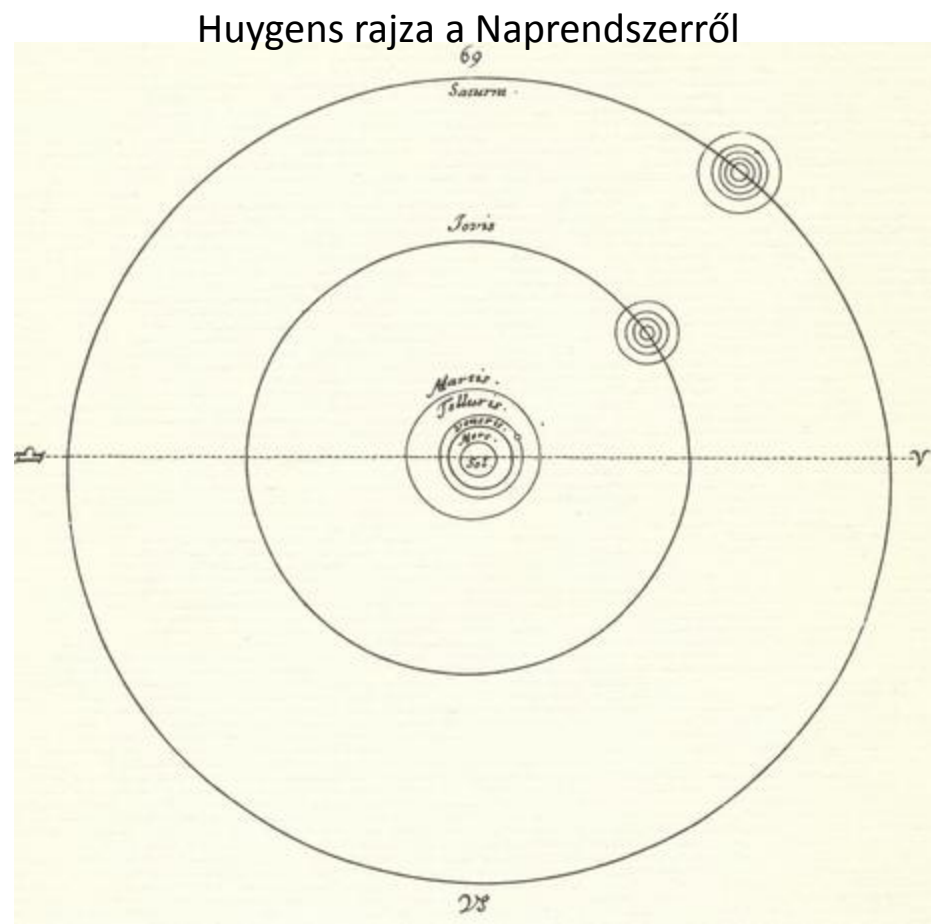
- **Greenwich, 1676**
- az első királyi csillagász: Flamsteed
- 7 lábnyi szextáns és falikvadráns, távcsövekkel felszerelve, pontos és kiterjedt észlelések, stb.
- (a greenwichi délkör csak a 19. században válik etalonná, addig Párizst stb. használják)



- **Párizs, 1671**
- az első igazgató: Cassini
- Jean Picard, Adrien Auzout, Ole Rømer, Christiaan Huygens kötődnek hozzá
- Itt is: adatgyűjtés (pontos meridián-átvonulások), táblázatok, hajózási almanach, stb.

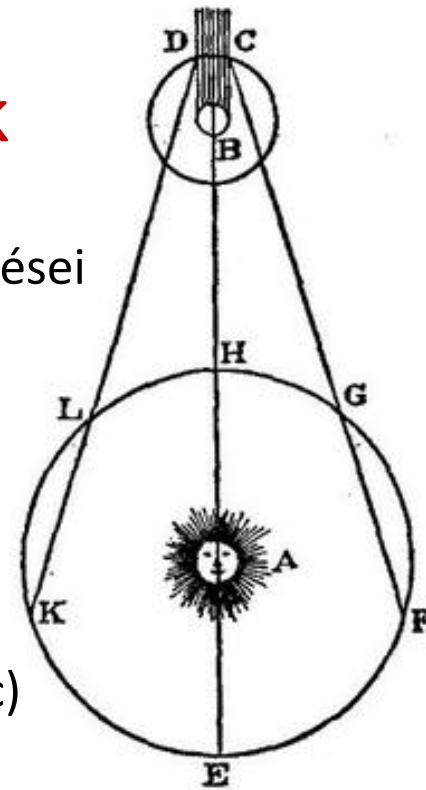
# Csillagászati témák 1: a bolygók

- További holdak a Naprendszerben:
  - Huygens, 1655: Titán (Szaturnusz)
  - u.ő, 1671-1684: 4 további Szaturnusz-hold (Iapetus, Rhea, Dione, Thetis)
- Bolygók egyenetlenségei:
  - Huygens, Cassini: foltok a Jupiteren és a Marson
    - Pl. Nagy Vörös Folt:  
Cassini és Robert Hooke (1665)
  - ez alapján: a bolygók forognak ( $P_J = 9\text{h}56\text{m}$ ,  $P_M = 24\text{h}40\text{m}$ )
    - Cassini: differenciális rotáció
    - (1630, Scheiner: u.ez a Napra)
  - u.ő: a Iapetus fénye korrelál keringésével ( $\rightarrow$ kötött?)
- Huygens: Szaturnusz-gyűrűk „titka” (1659: *Systema Saturnium*)
- Cassini-rés a Szaturnusz gyűrűjében



# Csillagászati témák 2: A Jupiter-holdak

- fogyatkozások (holdak a bolygó árnyékában) rendszeres észlelései (pl. Giovanni Alfonso Borelli (1665) és Cassini (1668))
  - Ez a földpálya F és G, ill. L és K pontjai között lehetséges:
- Ole Rømer, 1670-es évek: az Iót figyeli: gyakori fogyatkozások ( $p = 42,5h$ )
  - megfigyelés: amikor közeledik a Földhöz, rövidebbek a periódusok, amikor távolodik, hosszabbak (kb.  $\pm 10$  perc)
  - magyarázat: a fénynek idő kell, hogy ideérjen
    - **véges a fénysebesség**
  - becslése: a fény 11 perc alatt ér ide a Napról (valójában kb. 8,5 perc)
  - többen megismétlik a mérést (Huygens, Newton, Bradley...)
  - a fény véges sebességét majd 1727 után (Bradley és az aberráció) fogadják el széles körben
- (Ha már Rømer: Koppenhága első közvilágítása, az első dán mértékegységek rögzítése, az egyik első hőmérséklet-skála, a Gergely-naptár ottani bevezetése, ...)





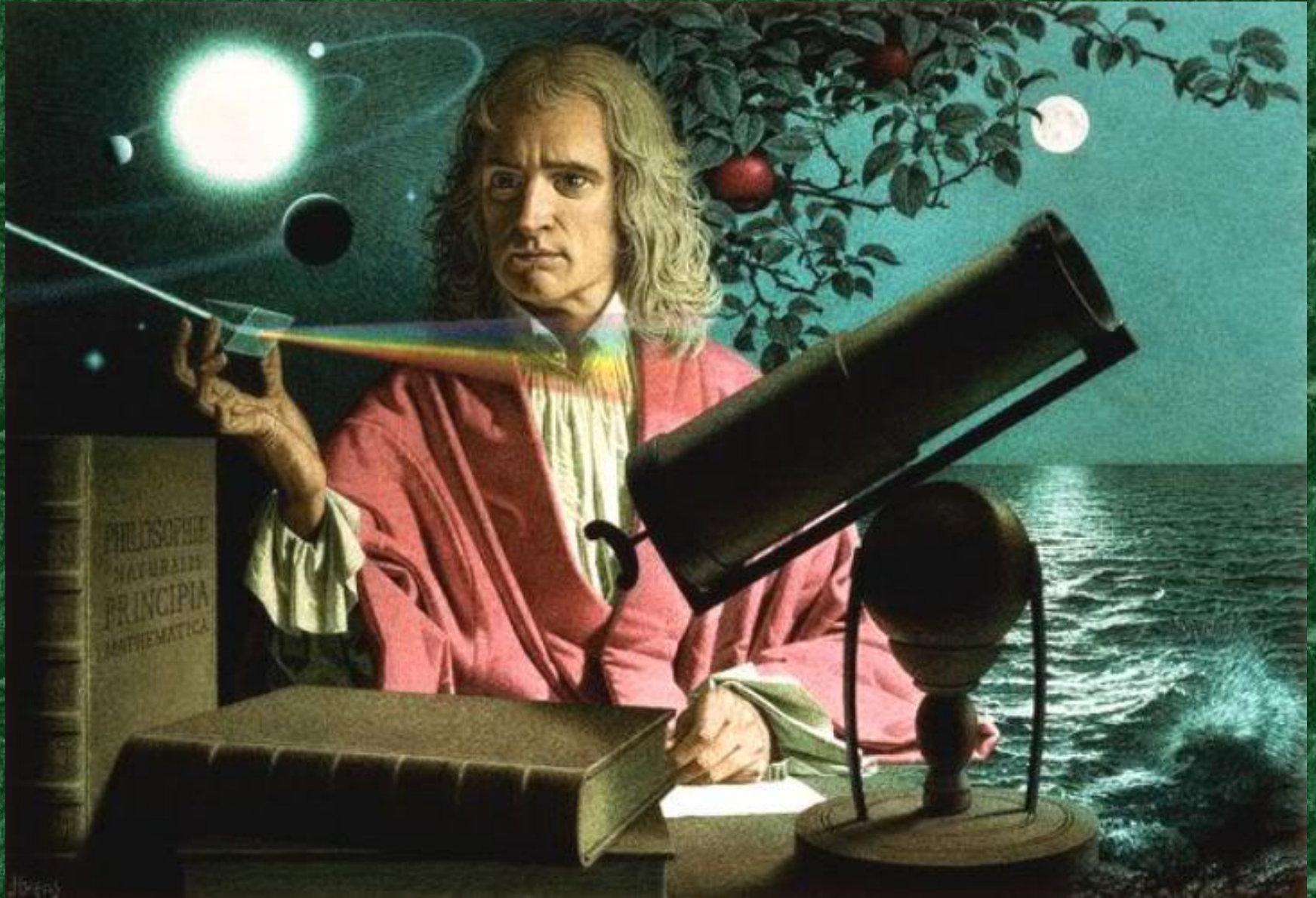
# Csillagászati témák 3: a földönkívüli élet

- G. Bruno: miért is ne? Kepler, *Álom*: a Hold népeit írja le
- szaporodnak a hasonlóságok a Föld és a bolygók közt (felhők, forgás...)
- Huygens, *Cosmotheoros*: az élet feltételeit keresi más bolygókon:

„Aligha lehetséges, hogy Kopernikusz követői néha ne képzeljék azt, hogy nem tűnik ésszerűtlennek a feltevés: glóbuszunkhoz hasonlóan a többi bolygó sem mentes a vegetációtól és a díszítéstől, és talán a lakóktól sem.”

- vizet keres mindenütt: szerinte ez az alapfeltétel
- más életek: olyan messze vannak, hogy nem lenne szabadna tudniuk egymásról, de az emberek túljártak Isten eszén
- Bernard Le Bovier de Fontenelle, 1686: *Beszélgetések a világok sokaságáról*
  - nagyon népszerű, ismeretterjesztő mű a kor kozmológiájáról
  - ha van értelmes élet más bolygókon, teológiai problémák lépnek fel: Ők is Ádámtól származnak-e? Megváltotta-e őket is Krisztus?  
Megoldás: ők nem emberek.

# Isaac Newton



Év  
1642  
1650  
1660  
24  
1670  
35  
1680  
40  
1690  
1700  
1710  
1720  
85  
1727



Trinity College (teológia:  
Descartes–Galilei tanulmányozása)

**ANNUS MIRABILIS**

professzori kinevezés

színelmélet  
fluxiószámítás

mozgástan – bolygómozgás –  
kidolgozása

**PRINCIPIA**

pénzverde vezetője

az *Optika* megjelenése

Royal Society elnöke

**Woolsthorpe**

**Grantham**

**Cambridge**

**Woolsthorpe**

**Cambridge**

**London**

Elmélkedés a görbék kvadraturájáról (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, korpuszculák, vákuum,  
tér-idő, testek tulajdonságai, elemek, ásványok,  
növények, emlékezet, képzelet, lélek, érzékelés-látás  
optikai kísérletek - fehér fény felbontása prizmával  
(1666, 1673, 1704)

tükros távcső (1668, 1672)

Newton-gyűrűk (1675)

alkímia (1668-97)

teológia (1670-9)

Principia (1684-7, 1709, 1726)

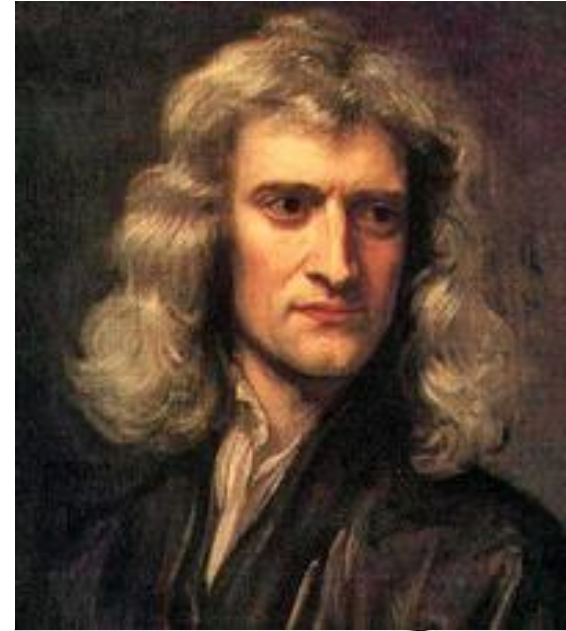
Az ókori birodalmak kronológiájának módosítása  
(1697, 1728)

Megjegyzések Dániel próféciaihoz és Szent János  
jelenéseihez (1655, 1733)



# Korai élete

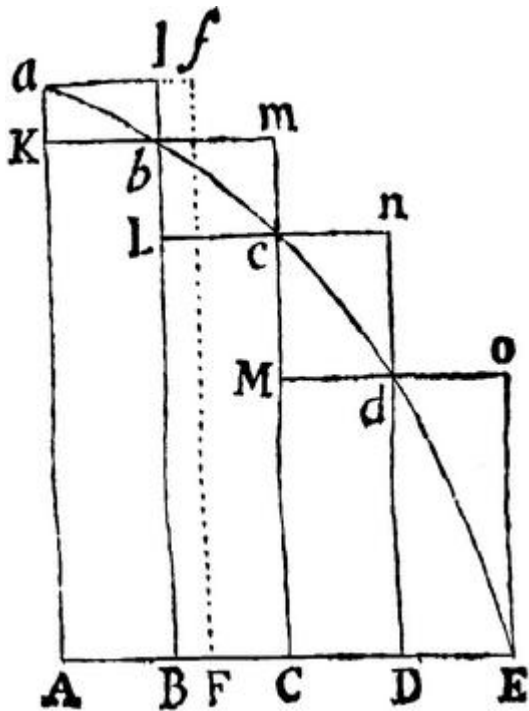
- Született: 1642 dec. 25 (JD) vagy 1643 jan. 4 (GD), Woolsthorpe
- Tehetősebb gazdálkodó család
  - apja születése előtt meghal
  - anyai nagyanyja neveli
- Iskola: eleinte rossz tanuló, de egyre inkább kitűnik
- 1661: Cambridge-i egyetem
  - 1665-67: pestisjárvány miatt bezár az iskola  
→ a vidéki 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



# OPTIKA

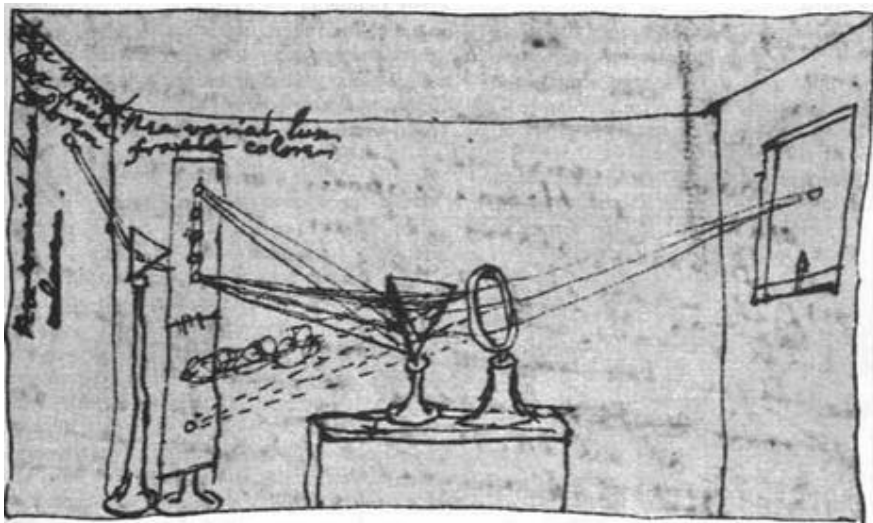
- a kép megnyúlt és elszíneződik
- a szín a fény saját tulajdonsága, nem pedig a fény által érintett felületen jön létre
- ↔ a modifikacionista elmélet szerint igen és a korban ez a leginkább elfogadott (Descartes, Robert Hooke)



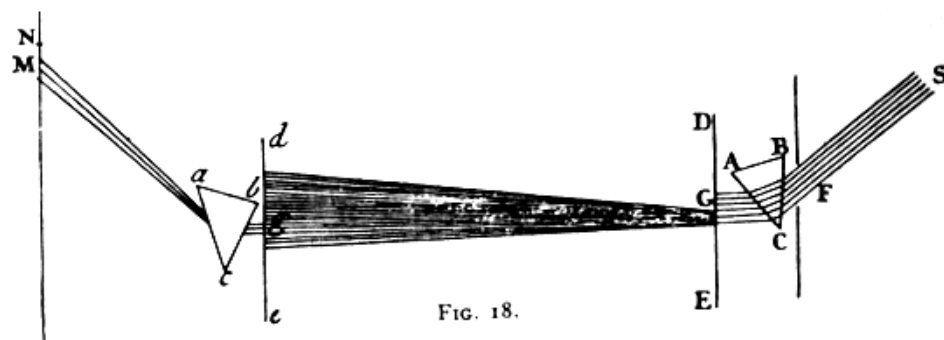
# A „döntő kísérlet” (*experimentum crucis*)

- 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

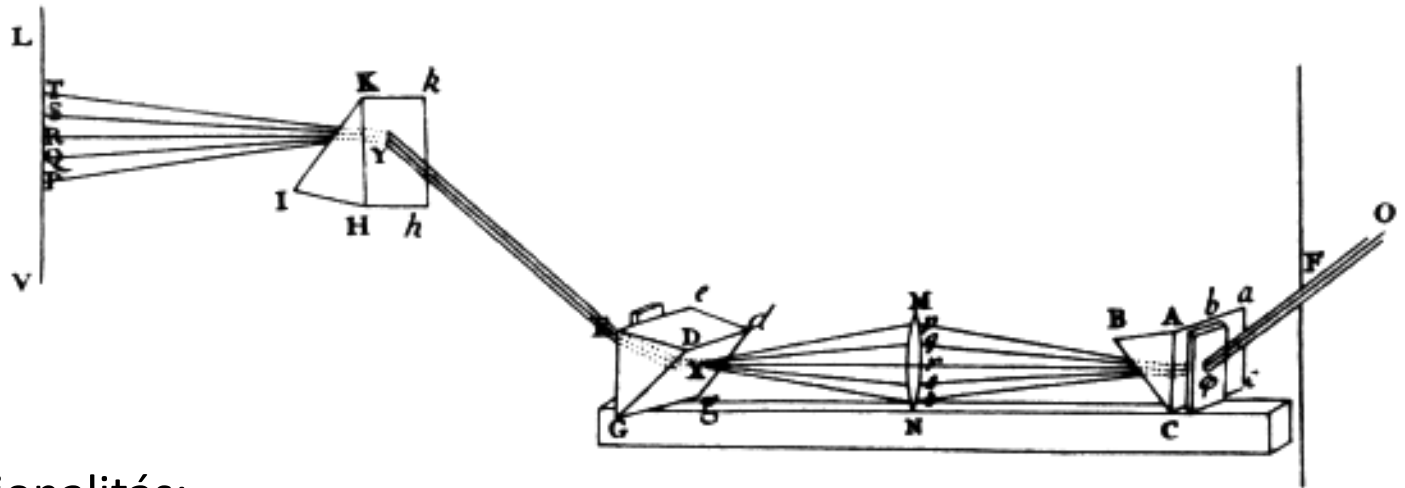


Ábra az *Opticks*-ből



# További kísérletek

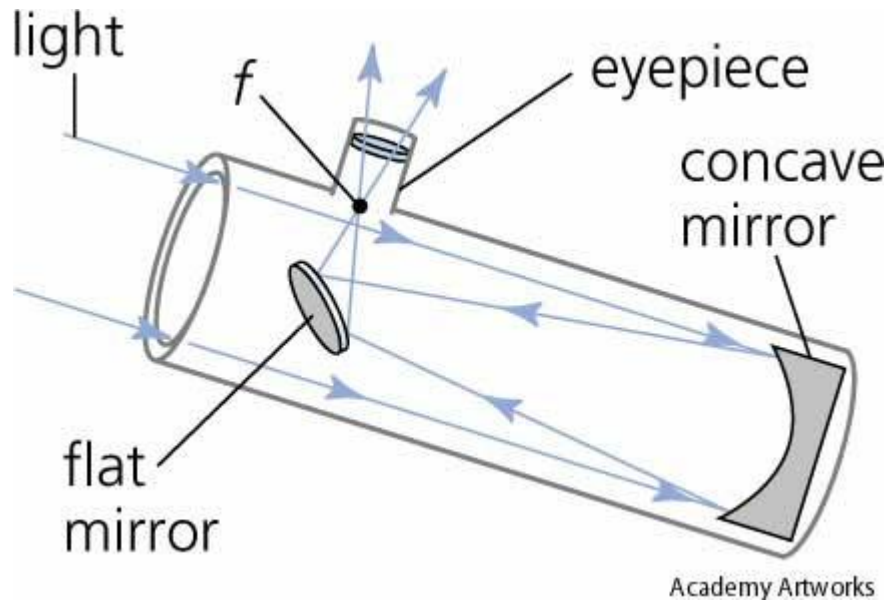
- Egy prizmával színeire bontott fénynyaláb újraegyesíthető, és újabb prizmával visszaáll a fehér nyaláb:



- 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

# A Newton-távcső

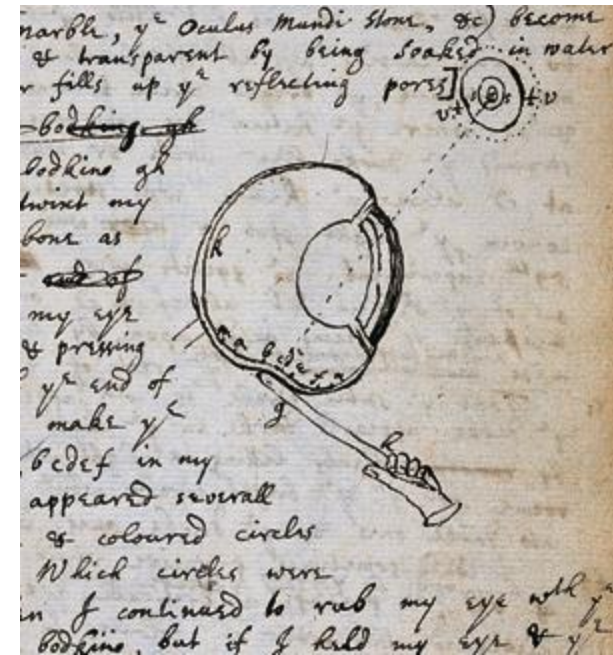
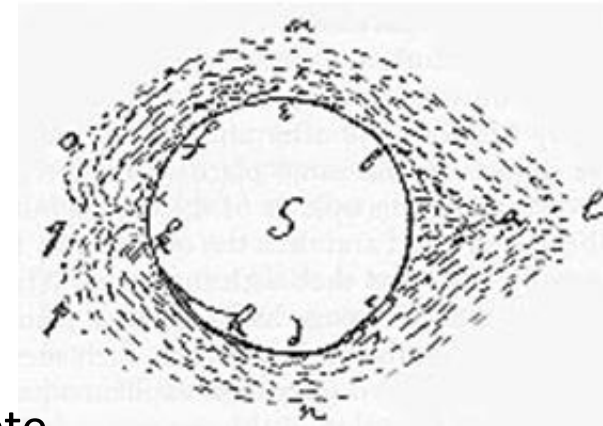
- Ha minden lencse kromatikus aberrációtól szenved (hiszen prizma), vagyis a fény törése színeket generál, akkor törés helyett tükrözni kell → 1668:



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

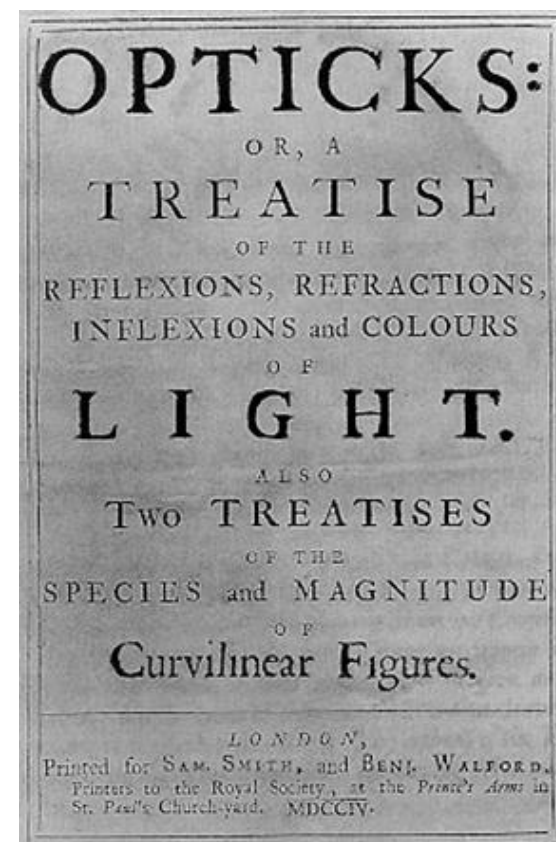
# Optikai részecsketan

- Pierre Gassendi, Thomas Hobbes: a fény apró részecskékből áll, melyek véges sebességgel utaznak és *impetust* 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 *Principiánál*: ez a Főmű)
  - sok területnek (pl. kémia) ad módszertani alapot





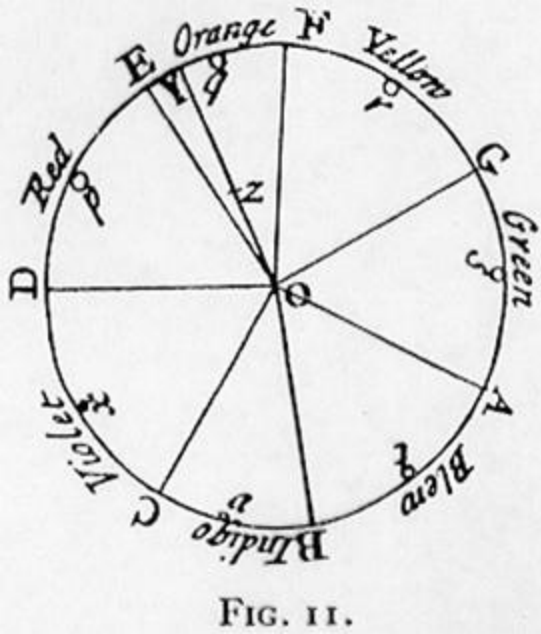
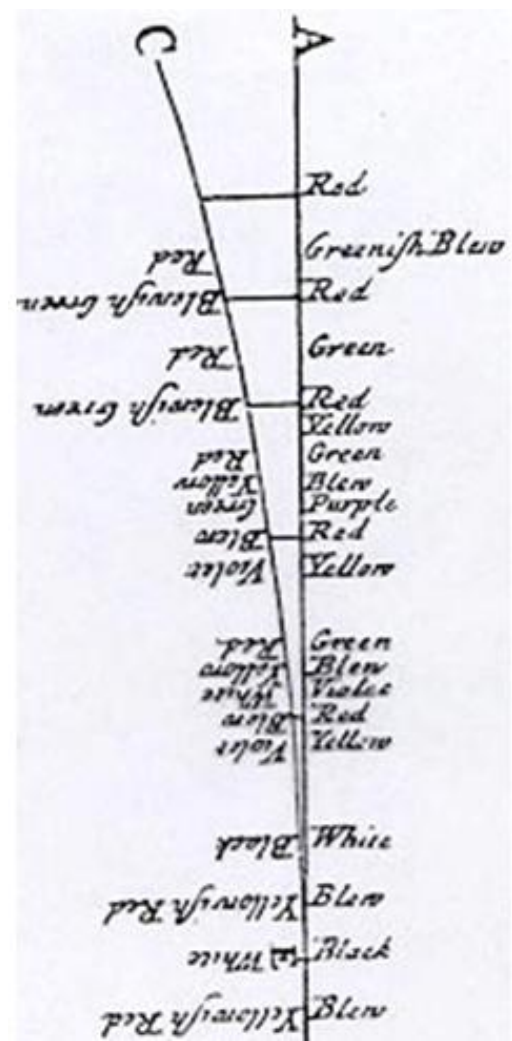
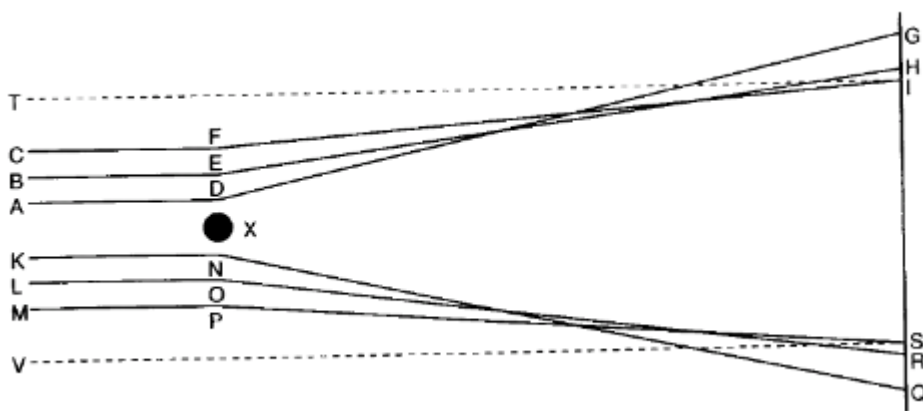
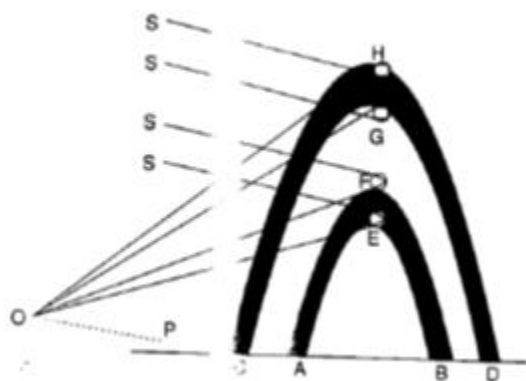
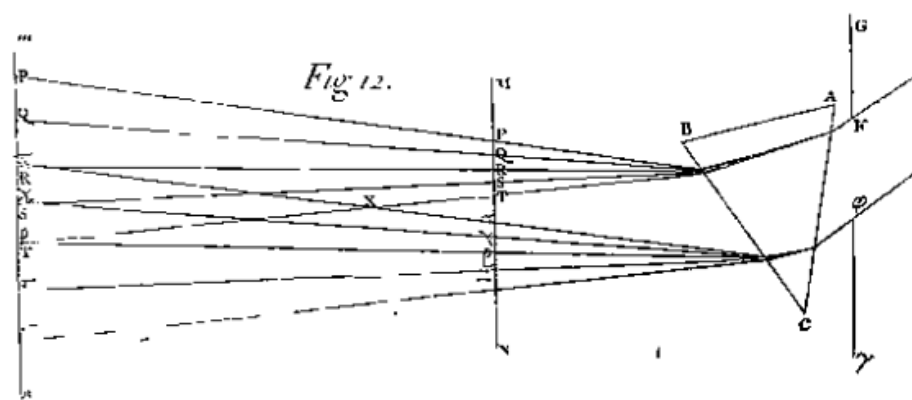


FIG. 11.

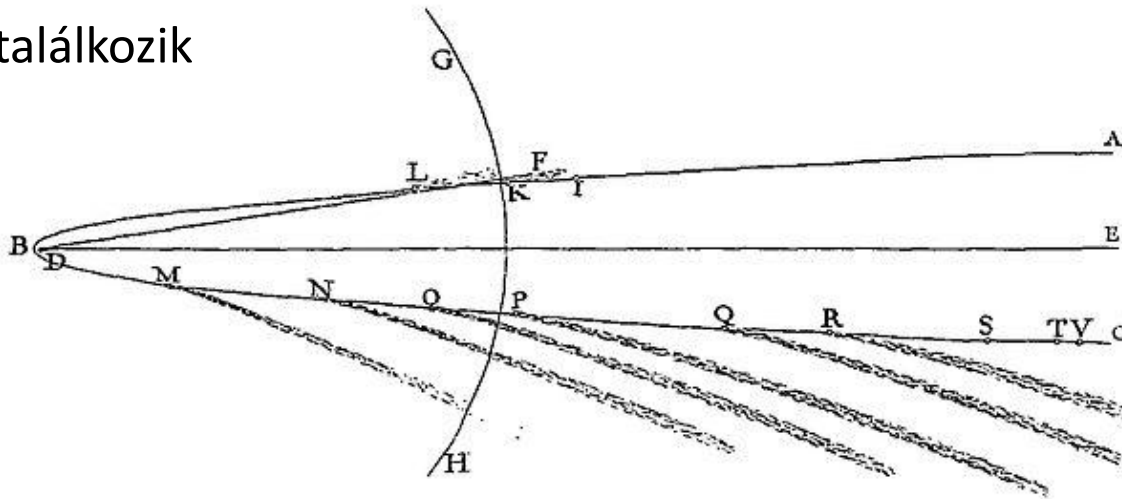


# MECHANIKA: A Newton-üstökös

- 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

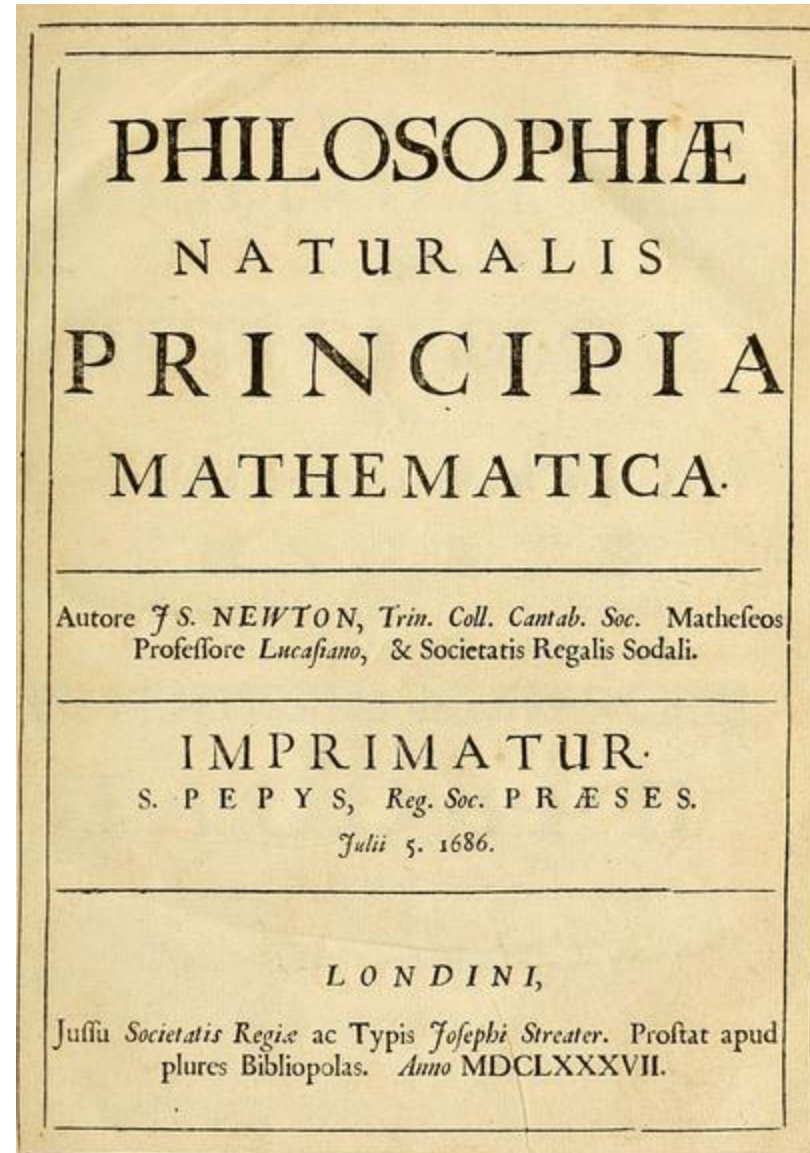


→ bíztatják, hogy  
jelentesse meg a  
felismeréseit



# *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



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

- Az Előszóban:

- „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<sup>12</sup>;  
ezt a mennyiséget az anyag sűrűsége  
és térfogata együttesen határozza meg.

## impulzus

### II. MEGHATÁROZÁS

A mozgás mértéke a mozgásmennyiség<sup>14</sup>;  
ezt az anyag sebessége és mennyisége  
együttesen határozza meg.

## tehetetlenség

### III. MEGHATÁROZÁS

Az anyag vele született belső ereje<sup>15</sup> 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 mozgó mennyiségének mértéke  
arányos azzal a mozgással,  
amelyet adott időben létrehoz.

# „A mozgás axiómái vagy törvényei”

- tehetetlenség: Galilei, Descartes, Borelli, Huygens stb. már kimondta
- ez kb. benne volt Huygens művében az ingaóráról (1673)
- ez sem teljesen forradalmi, de ő hangsúlyozza először széles körben (a relációk fogalmilag nehezek: nem egy dolog tulajdonsága...)

## ELSŐ TÖRVÉNY

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

## MÁSODIK TÖRVÉNY

A mozgás megváltozása arányos a külső, mozgató erővel<sup>33</sup>, és annak az egyenesnek az irányában megy végbe, amelyben ez az erő hat.

## 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.

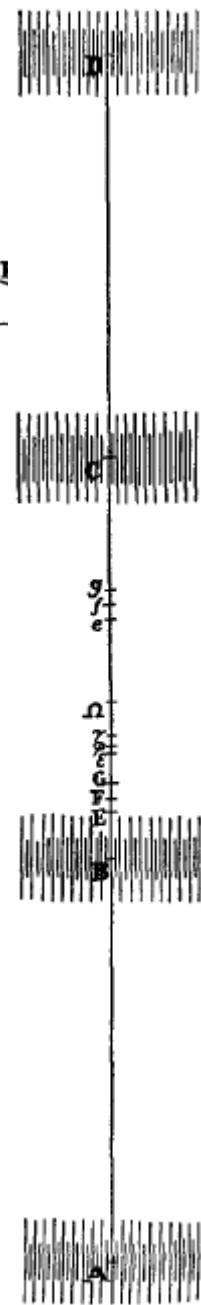
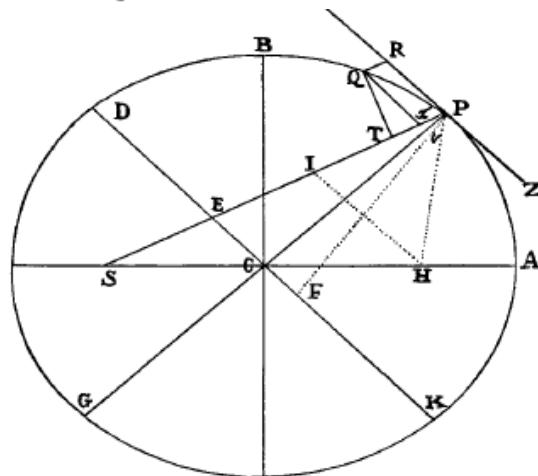
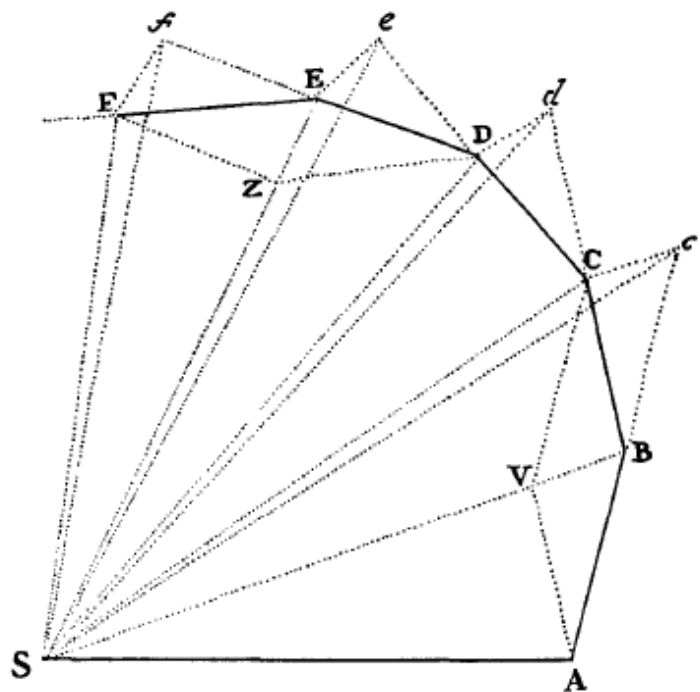
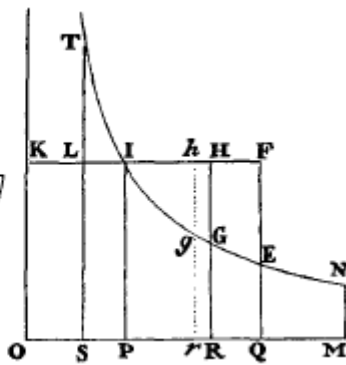
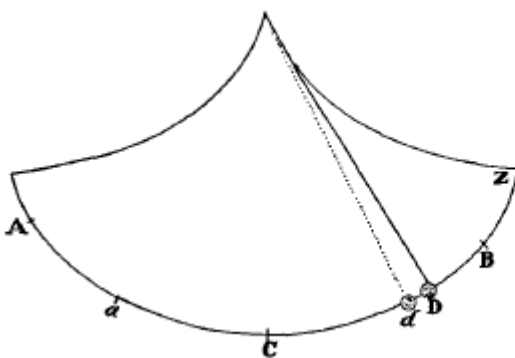
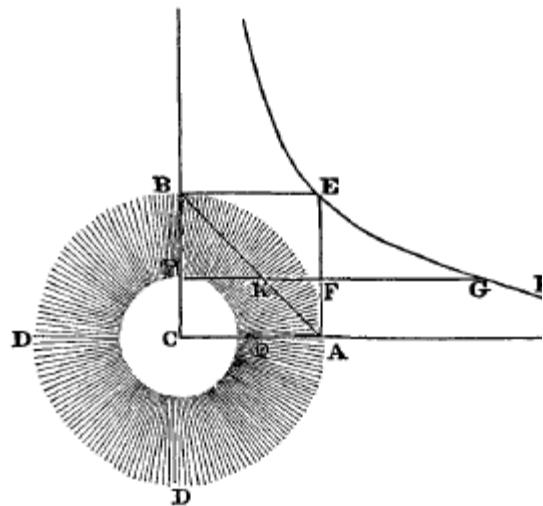
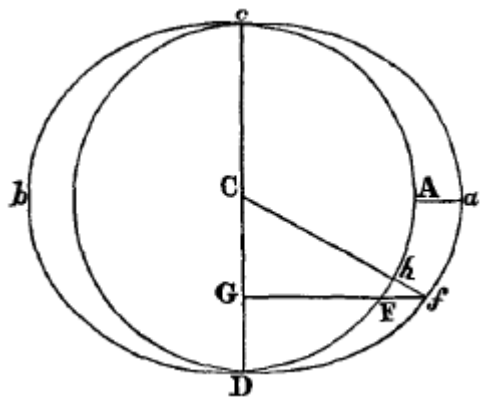
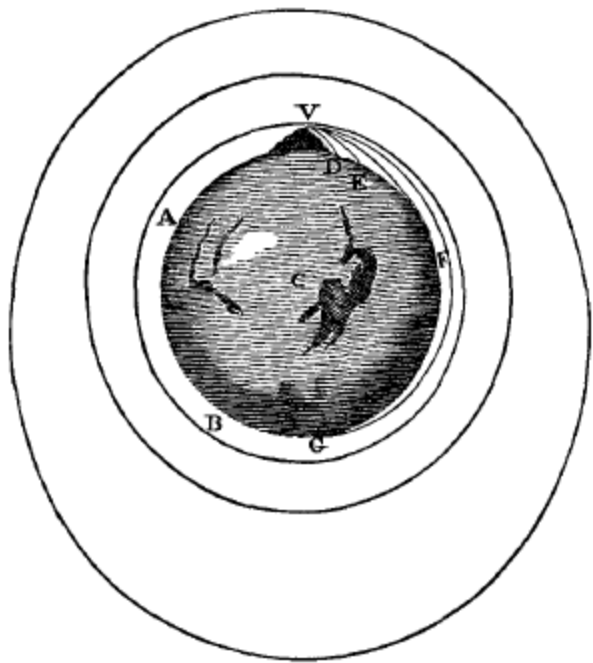
⇒ ezekből vezeti le a tételeket 3 könyvön át

### *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 sűríténénk 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 félnagy tengelyének köbe osztva a periódus négyzetével arányos a két test tömegének összegével  
 $(M_1 + M_2) \sim a^3 / P^2$





# Filozófiai problémák

- abszolút tér és idő: „tartályok”, amik függetlenek a bennük történő eseményektől („Isten érzékszerve”)
  - ↔ Leibniz: 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  $\infty$  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



## Késői évei

- 1690-es évek: vallási témájú értekezések (arianista: Szentháromság-tagadó)
- 1696: az Állami Pénzverde őre, majd igazgatója (1699-1727)
  - inentől 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

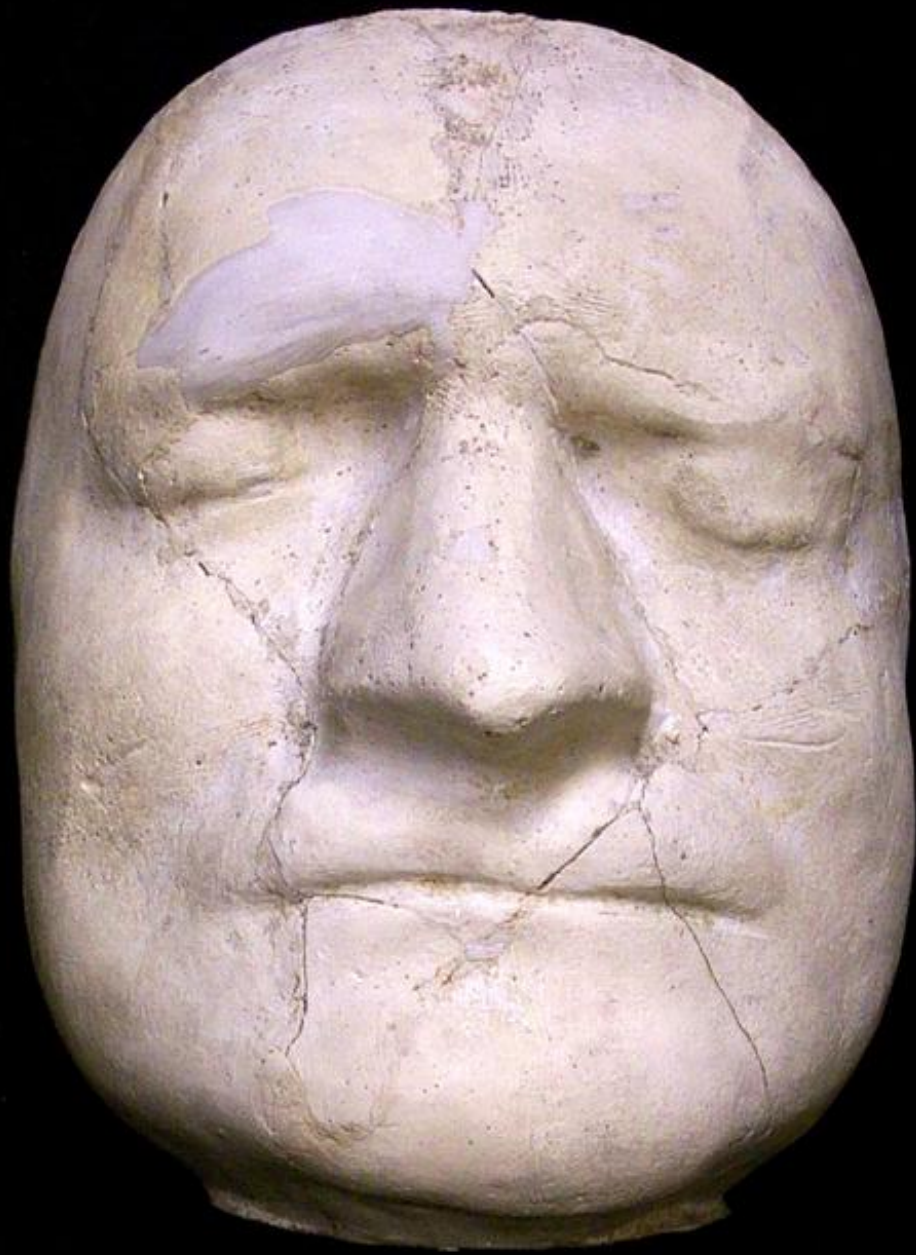


*Is. Newton*



Newton címere





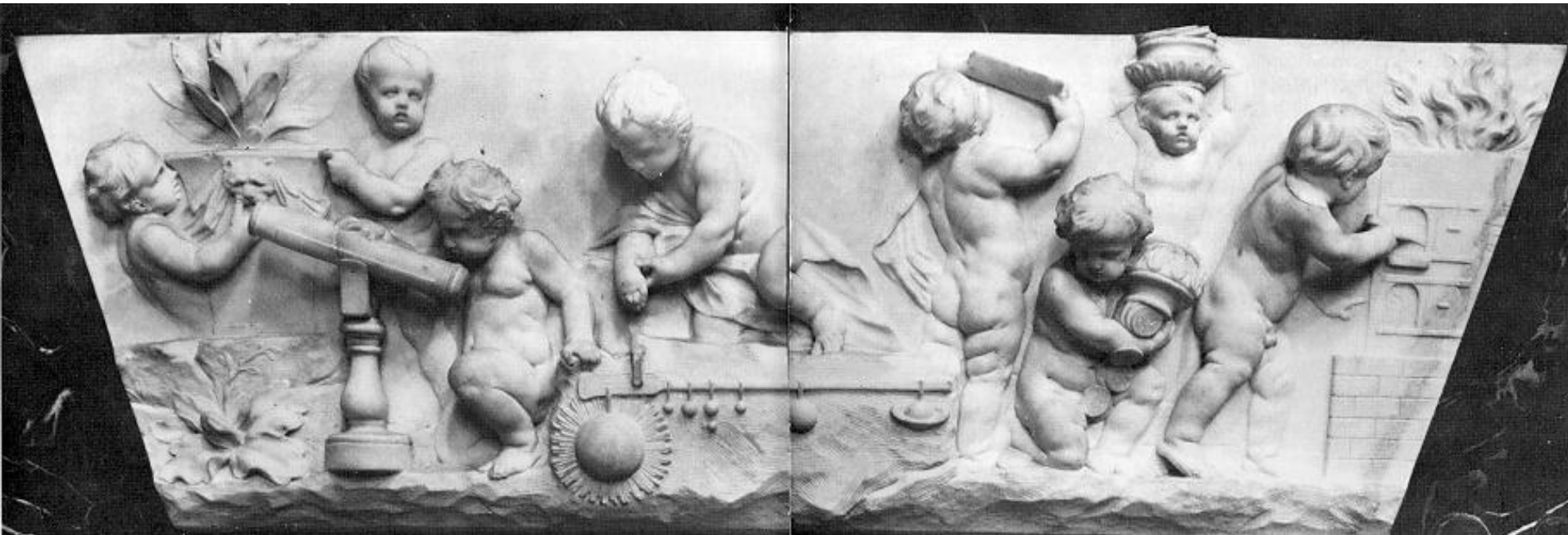
Halotti maszkja



Síremléke a Westminster-apátságban



## A munkásság szimbólumai a síremlék domborművén:



Newton-távcső

Mérlegen a naprendszer

Prizma

Frissen vert pénzérték

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)