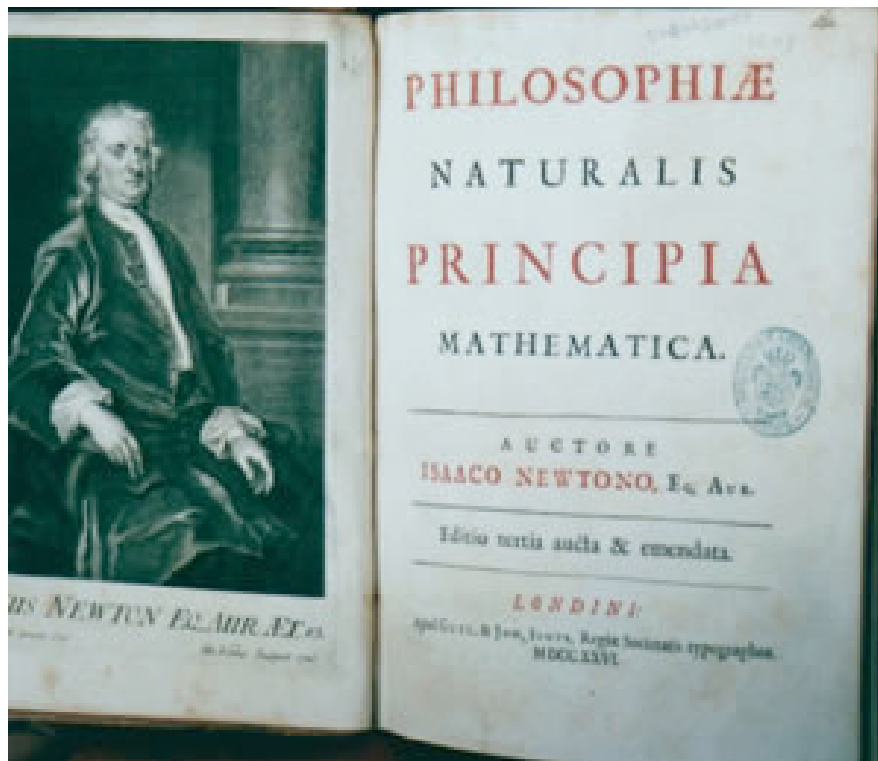


# GRAVITATION UNIVERSELLE : NEWTON & SES LOIS



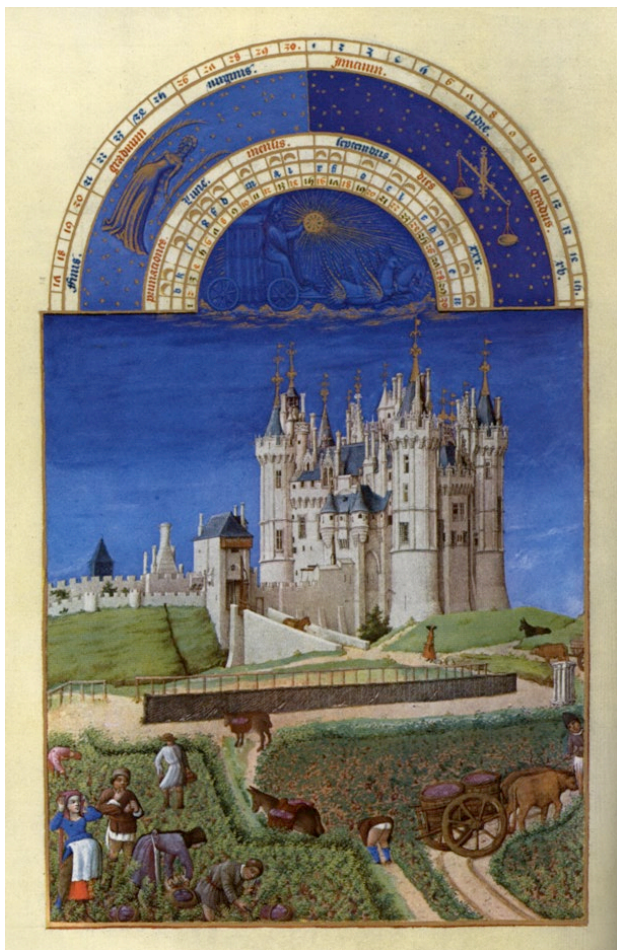
May 2, 2012

Isaac Beeckman (Middleburg 1588-1637) Études



de médecine et de langues à Leiden

Saumur l'Académie protestante Du Plessis-Mornay



Simon Stevin

Ami de



Mersenne



Gassendi



Renè Descartes.

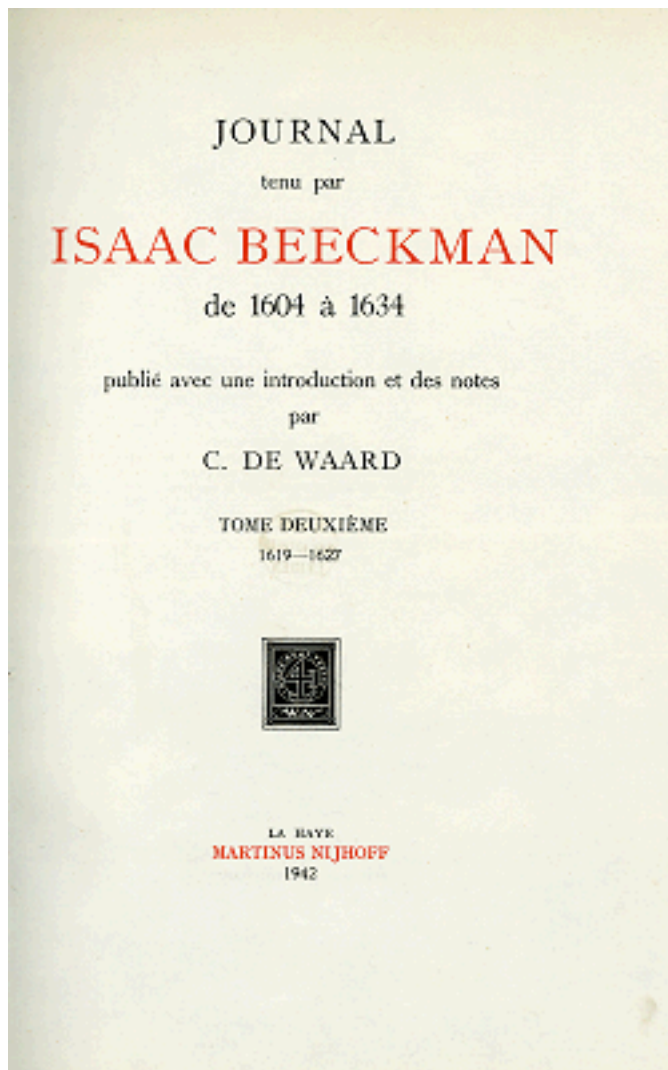
1614 le rapport entre longueur et fréquence de vibration des cordes vibrantes.



1618 Caen

Bonnet de médecin

Découvertes documentées dans



Redécouvert en 1905

Pense que la gravitation agit par des “à-coups”, qui ont pour effet des croissances égales de la vitesse,  $v \rightarrow v + \Delta v$ .

**PRINCIPE D'INERTIE** : Vitesse reste constante entre deux “à-coups”. Après  $n$  “à-coups” :

$$v = n \times \Delta v.$$

Distance parcourue en  $t = n \times \Delta t$  :

$$\begin{aligned} s &= \Delta v \Delta t + 2\Delta v \Delta t + \dots n\Delta v \Delta t \\ &= \Delta v \Delta t (1 + 2 + \dots n) \\ &= \Delta v \Delta t \frac{n(n+1)}{2} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta v}{\Delta t} t^2. \end{aligned}$$

*“Haec ita demonstravit Mr Peron”*



Descartes



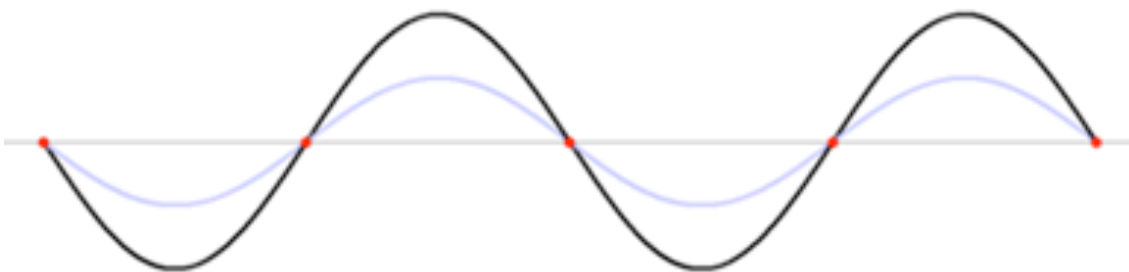
- **FORCE  $\propto$  ACCELERATION  $\approx \frac{\Delta v}{\Delta t}$**

- **PRINCIPE D'INERTIE** : mobile lancé sur un plan horizontal où il ne rencontre aucun obstacle effectuera indéfiniment un mouvement uniforme. **Galilei** (Discorsi)

Avant : [**Aristoteles**] : force s'arrête  $\Rightarrow$  corps laissé seul s'arrête aussi !

- concept de molécule

- Etudie les vibrations d'une corde : fréquence de vibration est inversement proportionnelle à leur longueur.





Jeremiah **HORROX**  
- 1641)

(1618



1632 rentre à Emmanuel College Cambridge







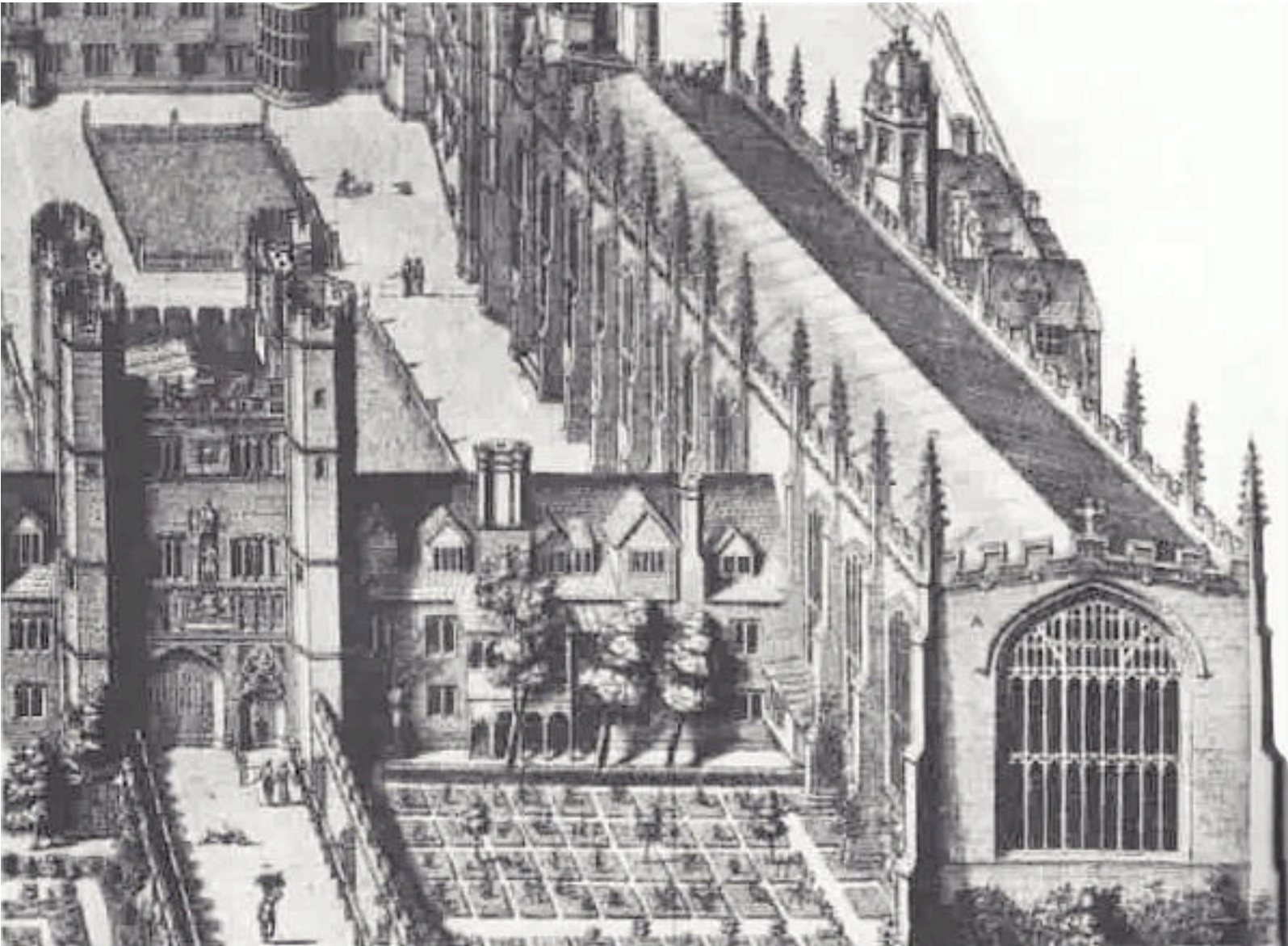
Isaac **NEWTON**

(1642 - 1727)

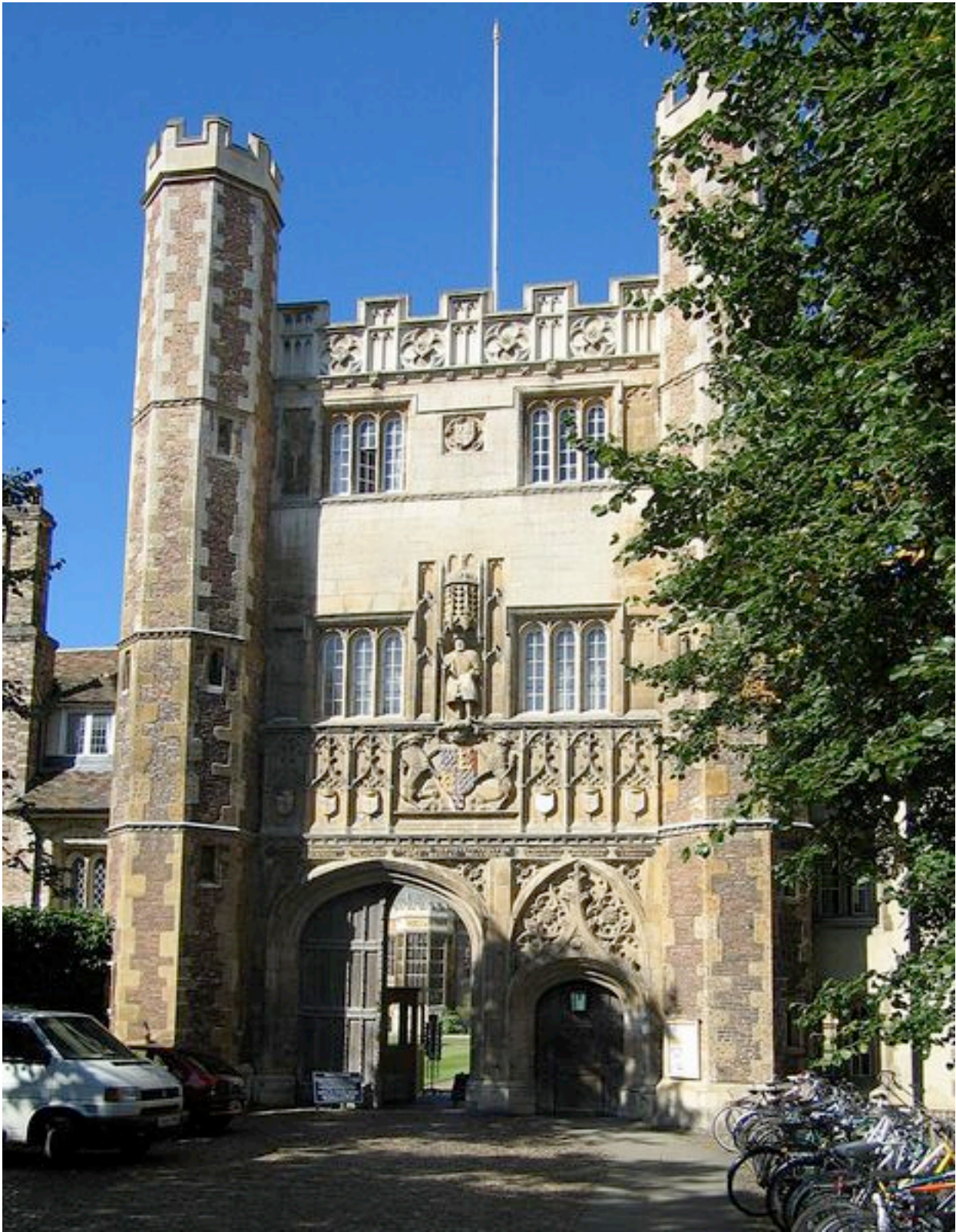


Woolsthorpe  
en Lincolnshire

1661 rentre au Trinity College Cambridge











Etudie les travaux d'Euclides, Fermat, Descartes, Kepler, Galilei :

*"Si j'ai vu plus loin que les autres, c'est parce que j'ai été porté par des épaules de géants"*

**1664** Découvre les **séries infinies** (résultat publié en **1676** . . . )

- formule binomiale :

$$(1 + x)^2 = 1 + 2x + x^2$$

$$(1 + x)^3 = (1 + x)(1 + x)^2 =$$

$$(1 + x)(1 + 2x + x^2) = 1 + 3x + 3x^2 + x^3$$

⇒ pour  $n \in \mathbb{N}$  :

$$(1 + x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2 + \dots$$

Newton : valable aussi pour

$n$  fractionnaire  $n = 1/2$  :

$$\sqrt{1 + x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \dots$$

ou négatif  $n = -1$  :

$$\frac{1}{1 + x} = 1 - x + x^2 + \dots$$





1666

Peste



blackdeath

Newton se retire Woolsthorpe en Lincolnshire



- Commence à réfléchir sur les “fluxions” [vitesse de variation de quantités comme aire, longueur ...]  $\rightsquigarrow$  calcul différentiel & intégral

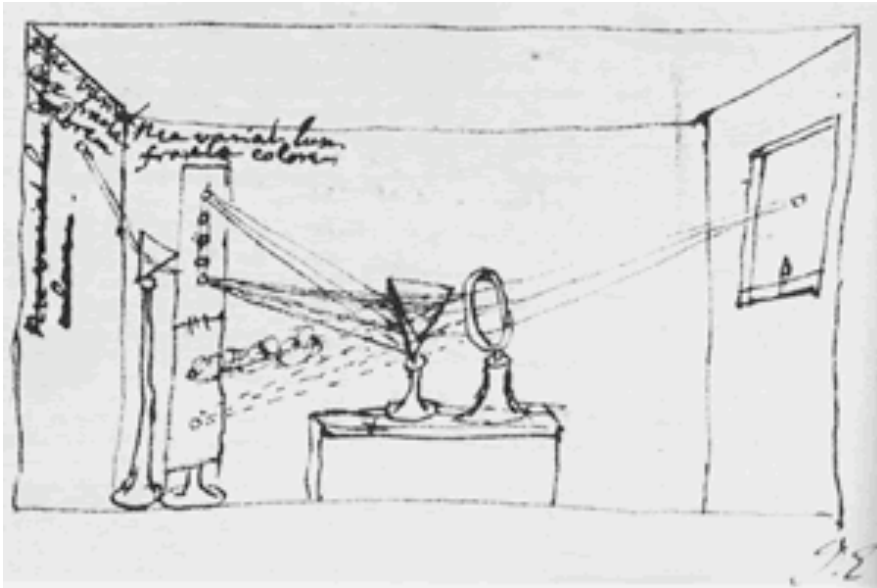


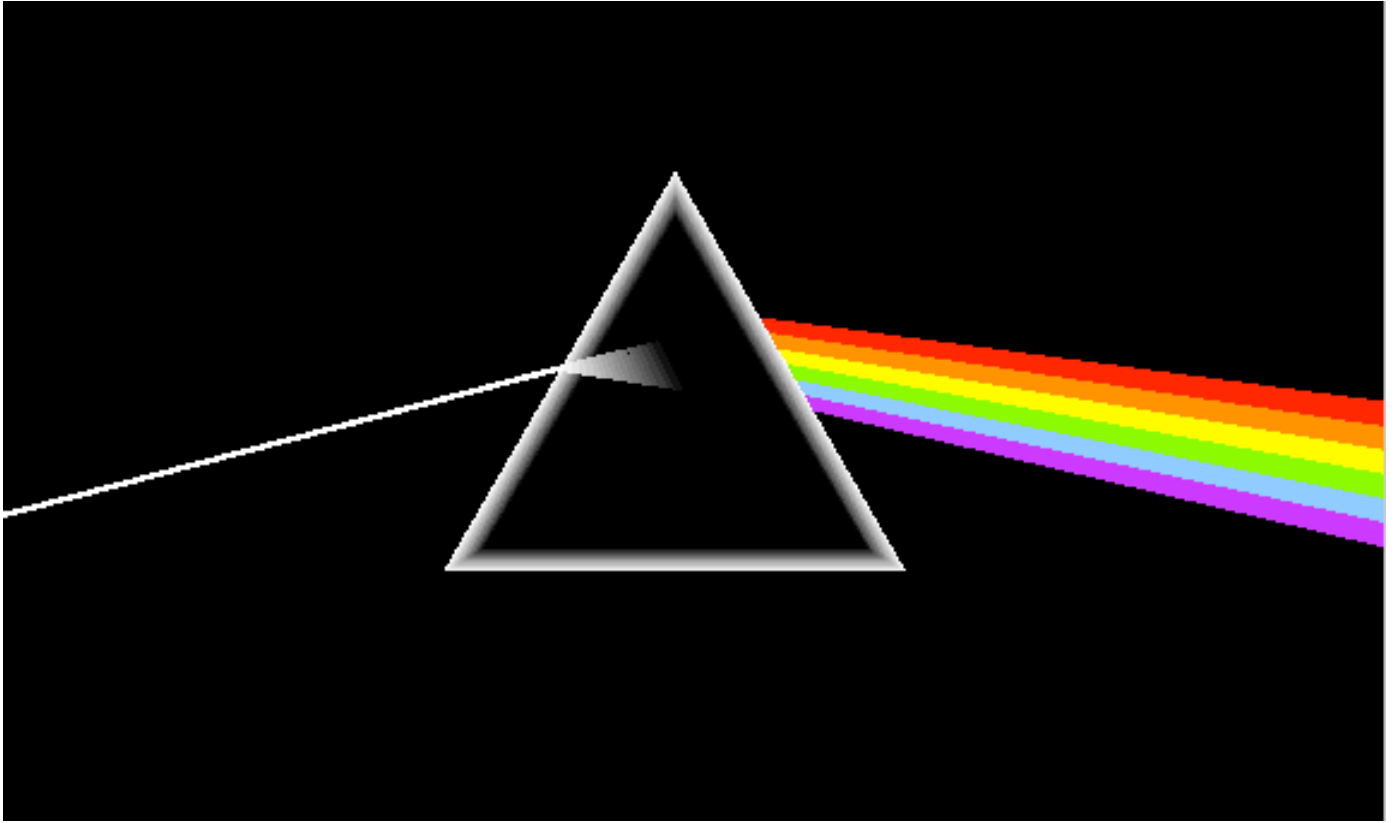
*Sensibiles sensibilibum velocitatum mensuræ. vid. pag. 273.*



Τὰ χοινὰ χαυνῶς, τὰ χοινὰ χοινῶς.

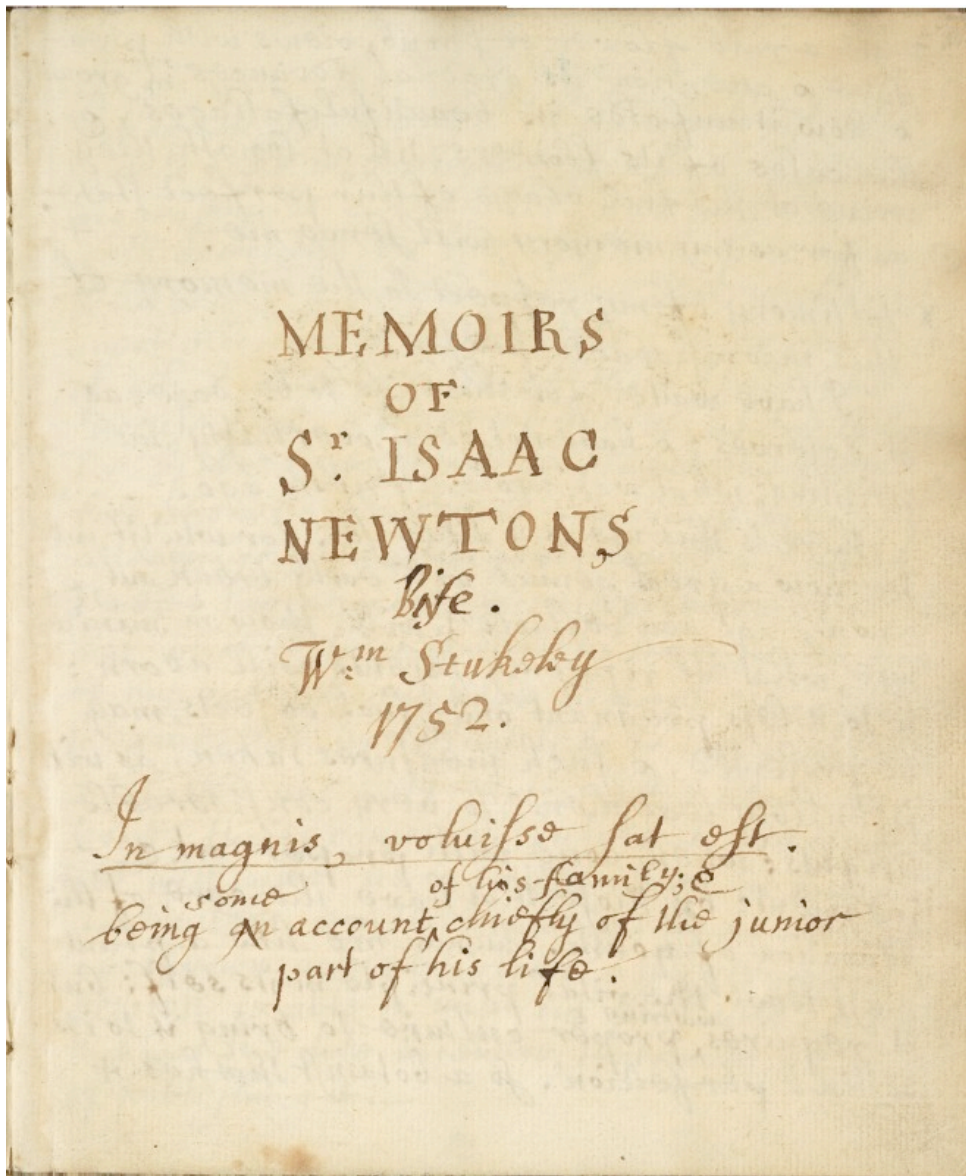
- nature des couleurs







## GRAVITATION UNIVERSELLE



*Mémoires de la vie de Newton* 1752

William Stukeley, antiquaire et scientifique, se lie d'amitié avec Newton à partir de 1717.



there; & a few more whom he knew.

15

after dinner, the weather being warm, we went into the garden, & drank thea under the shade of some apple-trees; only he, & my self. amidst other discourse, he told me, he was just in the same similitude, as when formerly, the notion of gravitation came into his mind. why sh. that apple always descend perpendicularly to the ground, thought he to himself; occasioned by the fall of an apple, as he sat in a contemplative mood. why sh. it not go sideways, or upwards? but constantly to the earths center? assuredly, the reason is, that the earth draws it. there must be a drawing power in matter. & the sum of the drawing power in the matter of the earth must be in the earths center, not in any side of the earth. therefore does this apple fall perpendicularly, or toward the center. if matter thus draws matter; it must be in proportion of its quantity. therefore the apple draws the earth, as well as the earth draws the apple.

& thus by degrees, he began to apply this property of gravitation to the motion of the earth, & of the heavenly bodies: to consider their distances, their magnitudes, their periodical revolutions: to find out, that this property, conjointly

*“Après le dîner, le temps étant chaud, nous sommes sortis au jardin pour prendre le thé à l’ombre d’un pommier.*

*Il m’avait fait remarqué, entre autres, qu’il était dans la même situation que quand l’idée de la gravitation lui est venu à l’esprit pour la première fois. “Pourquoi la pomme doit-elle descendre toujours perpendiculairement au sol ?” – s’était-il demandé, assis, d’humeur contemplative, en voyant une pomme tomber. “Pourquoi n’irait-elle pas sur le côté, voire vers le haut, mais toujours vers le centre de la terre ?” La raison est, sans doute, que la terre l’attire. La matière doit posséder un pouvoir d’attraction. Et le résultant des pouvoirs d’attraction de la matière de la terre doit pointer vers le centre de la terre, et non pas vers un côté de la terre. Par conséquent, la pomme tombe perpendiculairement, c’est à dire vers le centre. Si la matière attire donc la matière, cela doit être proportionnel à sa quantité. Donc la pomme attire la terre tout comme la terre attire la pomme.”*



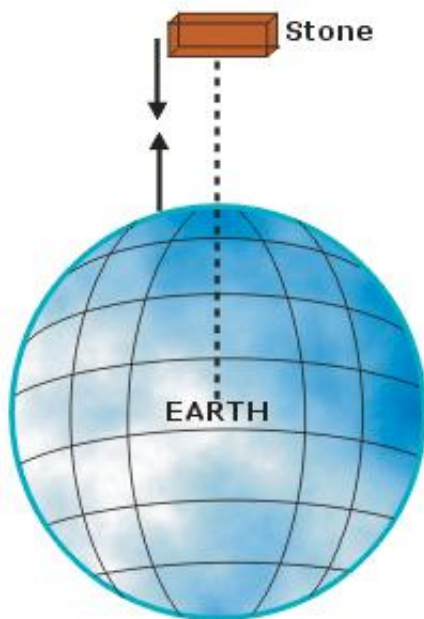
## Chute de la **pomme**



& **mvmt de la Lune** : **mêmes causes** ?

*“Cette même année, j’ai commencé à penser que la gravitation devait s’étendre jusqu’à l’orbite de la Lune. Ayant pu estimer la force (...) en utilisant la règle de Kepler qui dit que les carrés des périodes sont comme les cubes de leurs distances des centres de leurs orbites, j’ai déduit que les forces qui tiennent les planètes sur leurs orbites sont inversement proportionnelles au carrés de leurs distances de leur centres de révolution. En comparant la force nécessaire à tenir la Lune sur son orbite avec la force de gravitation sur la surface de la terre, j’ai trouvé la réponse presque correcte. Tout cela s’était passé pendant les deux années de peste, en 1665-1666”.*

all matter attracts all other matter  
with a force proportional to the product  
of their masses and inversely proportional  
to the square of the distance between them.





Vérification :

Distance Terre-Lune  $\approx 60 \times$  (rayon de la Terre)

$$r_L \approx 60 \times 6,4 \times 10^6 m = 3,84 \times 10^8 m.$$

En supposant que la force est  $\sim \frac{1}{r^2}$ , l'accélération de la Lune :

$$a_L = \frac{g}{60^2} \approx 2,8 \times 10^{-3} m/s^2.$$

Mais accélération centripète :  $a = \frac{v^2}{r} \Rightarrow$

$$a_L = \left( \frac{2\pi r_L}{T_L} \right)^2 \frac{1}{r_L} = \frac{4\pi^2}{T_L^2} r_L$$

[orbite de la Lune supposée circulaire].

$$T_L \approx 27 j = 2,3 \times 10^6 s \Rightarrow a \approx 2,9 \times 10^{-3} m/s^2 !$$

Données utilisées imprécises [Galilei :  $g \approx 5 m/s^2$  !]

$\rightsquigarrow$  écarts trop grands  $\rightsquigarrow$  met ses calculs de côté pour 15 ans !

## MEMES LOIS SUR TERRE ET DANS LE CIEL !



Synthèse de la **MECANIQUE** de **Galilei** et de  
l'**ASTRONOMIE** de **Kepler**

1669



**Barrow** théologue, qui s'intéresse à la chronologie (!), lui cède son poste de "Lucasian Professor" et devient "Master"



de Trinity





1671 Newton (+ Leibniz)

découvrent, indépendamment, le calcul infinitésimal.

Pb. trouver la tangente.

Exemple  $y = x^n$  :

Soit  $o$ , intervalle de temps infiniment petit.  $\dot{x}o$  et  $\dot{y}o$  accroissements infiniment petits de  $x$  et  $y$ .  
En remplaçant  $x$  et  $y$  par  $x + \dot{x}o$  et  $y + \dot{y}o$

$$y + \dot{y}o = (x + \dot{x}o)^n$$

Développant par formule du binôme :

$$y + \dot{y}o = x^n + n\dot{x}ox^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2}o^2\dot{x}^2x^{n-2} + \dots$$

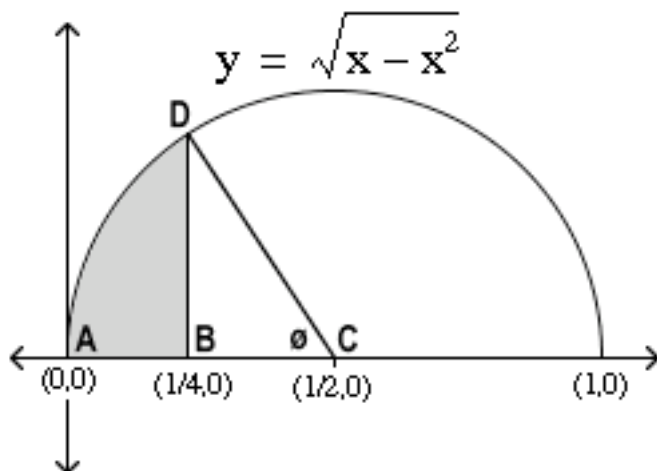
Retranche  $y = x^n$  et divise par  $o$ .

$$\dot{y} = nx^{n-1}\dot{x} + \frac{n(n-1)}{2}o\dot{x}^2x^{n-2} + \dots$$

Enfin, néglige tous les termes contenant  $o$ , et obtient :

$$\dot{y} = nx^{n-1}\dot{x}.$$

Pb: trouver l'aire  $F$  sous courbe. Ex.



$$x^1 + \left(y - \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow F = \int_0^{1/4} \sqrt{x - x^2} dx.$$

Thm binomial  $\Rightarrow$

$$\sqrt{x - x^2} = x^{1/2}(1 - x)^{1/2} = x^{1/2} \left(1 - \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 - \frac{1}{16}x^3 + \dots\right)$$

$$F = \int_0^{1/4} \left(x^{1/2} - \frac{1}{2}x^{3/2} - \frac{1}{8}x^{5/2} - \frac{1}{16}x^{7/2} + \dots\right) dx$$

En sachant

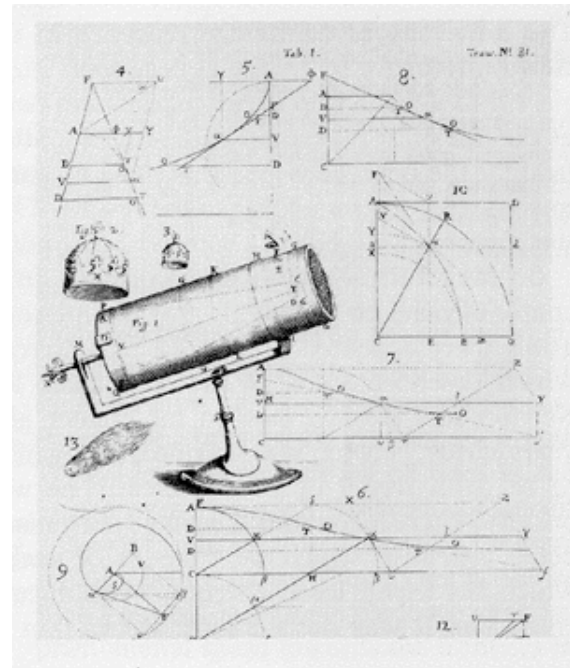
$$\int x^n = \frac{x^{n+1}}{n+1} \Rightarrow$$

$$F = \frac{2}{3}x^{3/2} - \frac{1}{25}x^{5/2} - \frac{1}{87}x^{7/2} - \frac{1}{169}x^{9/2} + \dots \quad (1)$$

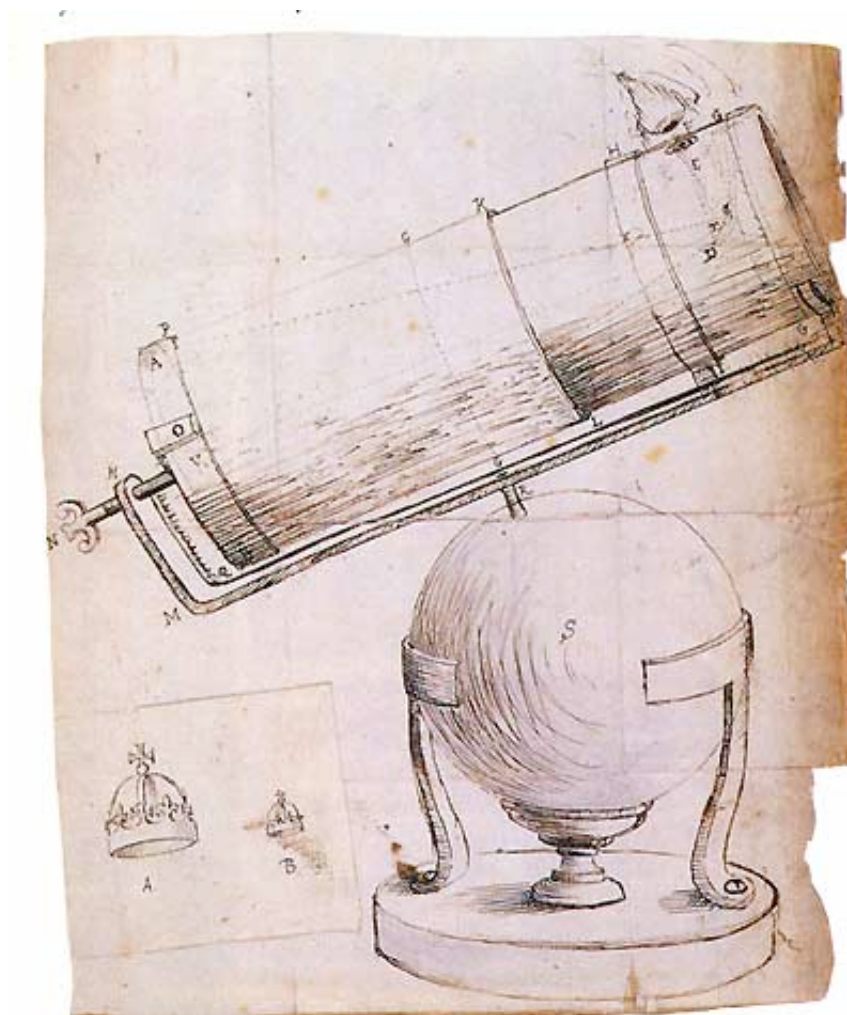
En posant  $x = 1/4$  p.ê. évalué.

Dérivée est procédure inverse de l'intégration

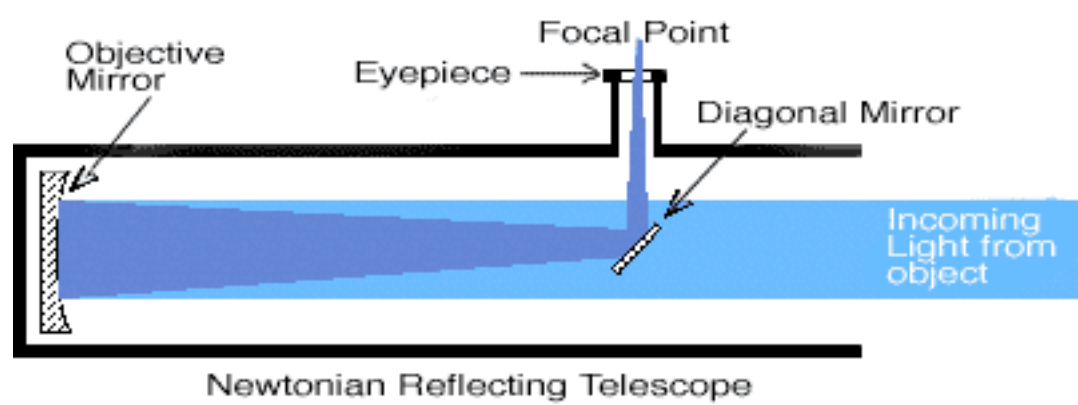
1671



invente **telescope à miroir**









Télescope de Newton (réplique)

## ROTATION DIURNE DE LA TERRE

1679 Lettre de **Newton** à la *Royal Society* :

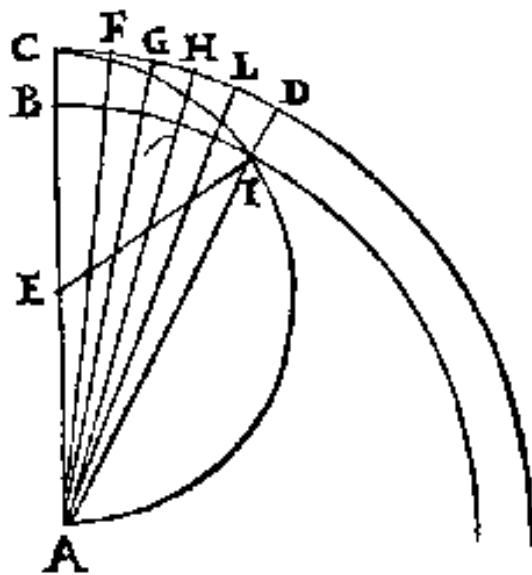
*Les adversaires de Copernicus argumentent comme suit. Laissons tomber un objet du haut d'une tour. "Si la terre tournait de l'ouest à l'est, la tour se déplacerait pendant la chute et nous devrions retrouver l'objet non pas au pied de la tour, mais à l'ouest. Comme cela ne se pas comme ça, la terre ne peut pas tourner."*

*Cet argument est faux, car ne tient pas compte de la vitesse initiale de l'objet. Et comme la vitesse est plus grande en haut de la tour qu'à son pied, l'objet devrait être trouvé non pas à l'ouest, mais à l'est.*

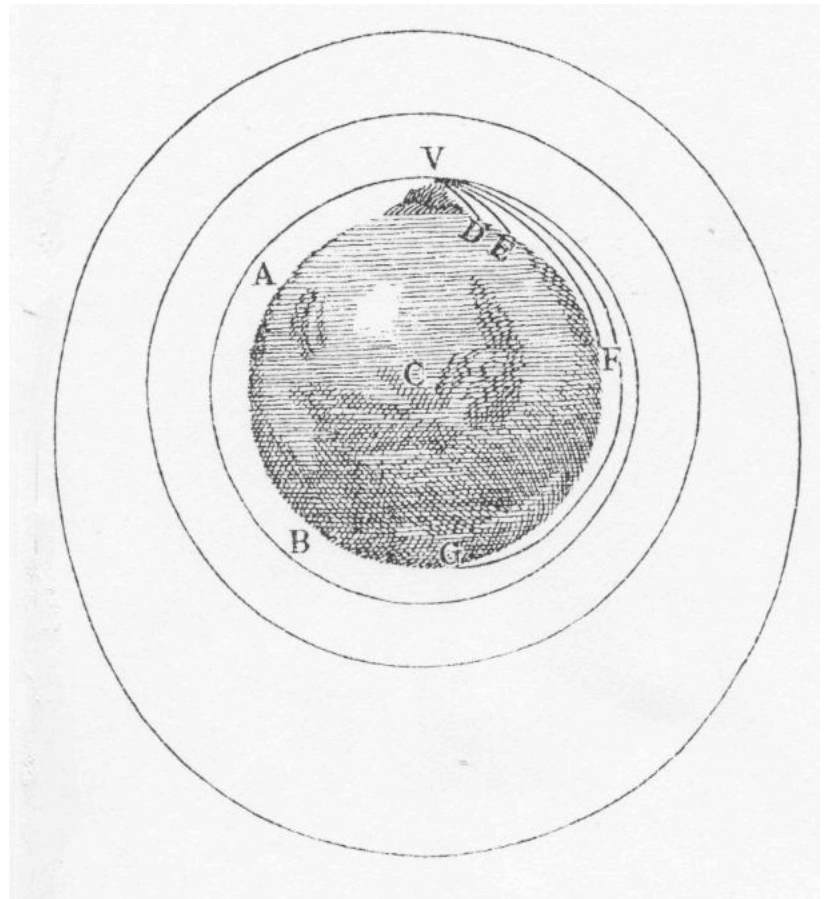
Traduit en formules :

$$\Delta_{Newton} = \omega \sqrt{\frac{2h^3}{g}}.$$





**GALILEI** 1632



**NEWTON** 1728

Provoque un grand débat. **Hooke**, le Secrétaire de la *Society*, réalise l'expérience en laissant tomber, dans une église, *trois fois de suite*, des boules métalliques dans une caisse remplie d'argile. Il confirme les prédictions de **Newton**.

- **MAIS** dans les circonstances expérimentaux, l'écart serait de *0,3mm*, **IMPOSSIBLE** à observer !

- L'argument de Newton est **INCOMPLET**, car ne tient pas compte de la "force de Coriolis". Résultat correct :

$$\Delta = \frac{2}{3} \cdot \omega \sqrt{\frac{2h^3}{g}} = \frac{2}{3} \cdot \Delta_{Newton} !$$

N.B. Pourrait être obtenu en utilisant les lois de Kepler !

## LA LOI DE LA GRAVITATION (II)

Hooke 1666 : forme des trajectoires liée à la loi de la gravitation ? Conférence *publiée* à la Royal Society en 1674. Mais il manque de connaissances mathématiques pour démontrer.

1679 Hooke écrit à Newton

$$F \sim \frac{1}{r^2} ?$$

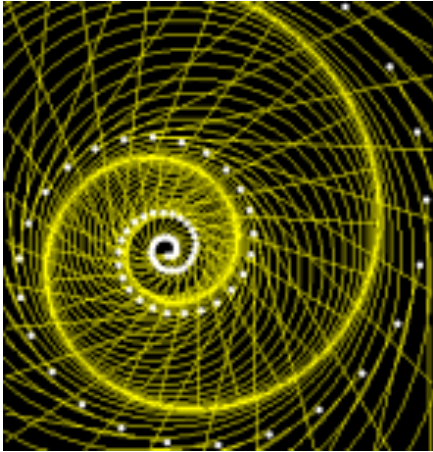
Demande ce que Newton pense de son hypothèse (basée sur la (fausse) forme  $v \propto \frac{1}{r}$  de KII + l'observations de Halley).

Newton : “n'en a jamais entendu parler” .

1680: Hooke propose à Newton d'élaborer son idée avec lui (aucune réponse – mais Newton garde la lettre).



NB Newton : trajectoire  $\sim$  spirale !

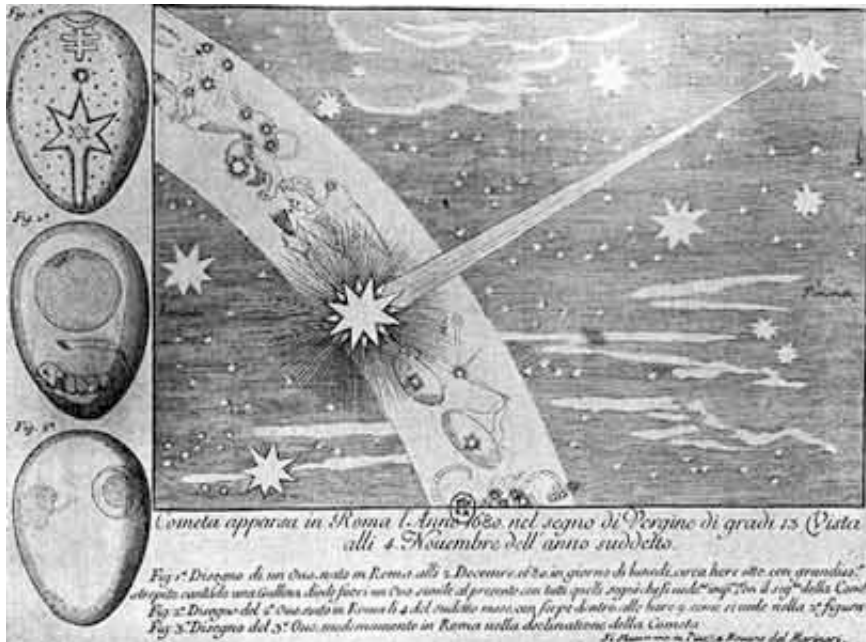


(montrera + tard: traj. spirale  $\Rightarrow$

$$\text{force} \propto \frac{1}{r^3} !$$



## 1680 interlude : Comète





Halley

Quelle trajectoire ?

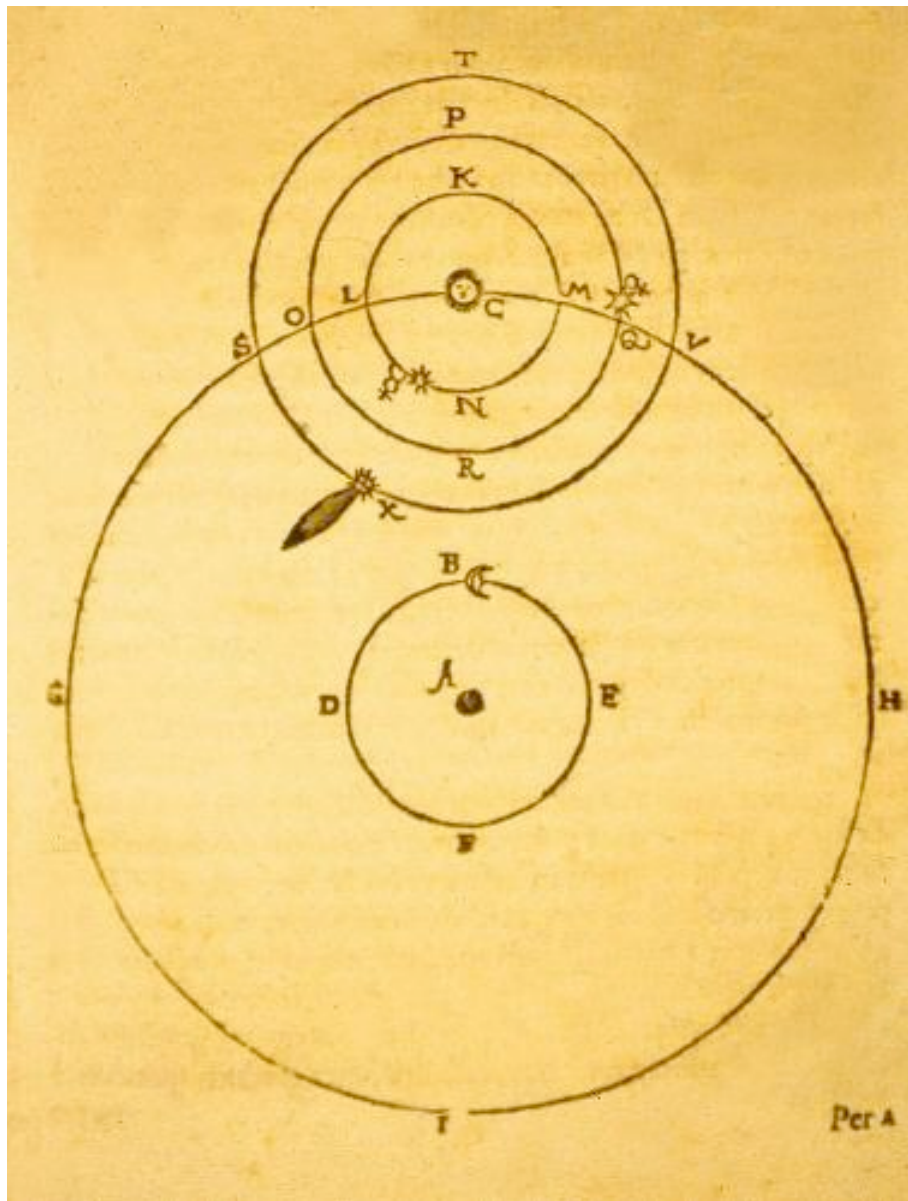
avant Kepler 1609 : circulaire. Kepler 1609

Mars  $\rightsquigarrow$  pour toute planète ellipse

Pour comètes ????



- Tycho 1577



orbit circulaire



Kepler, Harriot, Longomontanus 1607,



1619 Kepler : trajectoire rectiligne





Arisototeles – circulaire – rectiligne

1684 : Halley visite Cambridge.

Newton : “a résolu le problème mais a égaré ses



calculs”

Novembre 1684 : Newton envoie “DE MOTU CORPORUM” (9 pages) à Halley (sans autorisation de les rendre publiques).

Continue à travailler en élaborant des détails





[ 402 ]  
 REGVLÆ PHILOSOPHANDI.  
 HYPOTHESES.

*Hypoth. I. Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quàm quæ & vera sunt & earum Phenomenis explicandis sufficiunt.*

*Natura enim simplex est & rerum causis superfluis non luxuriat.*

*Hypoth. II. Idemque effectuum naturalium ejusdem generis eadem sunt cause.*

Uti respirationis in Homine & in Bestia; descensus lapidum in Europa & in America; Lucis in Igne culinari & in Sole; reflexionis lucis in Terra & in Planetis.

*Hypoth. III. Corpus, ubi in alterius cujuscunque generis corpus transformari possit, & qualiatum gradus omnes intermedios successivè indigere.*

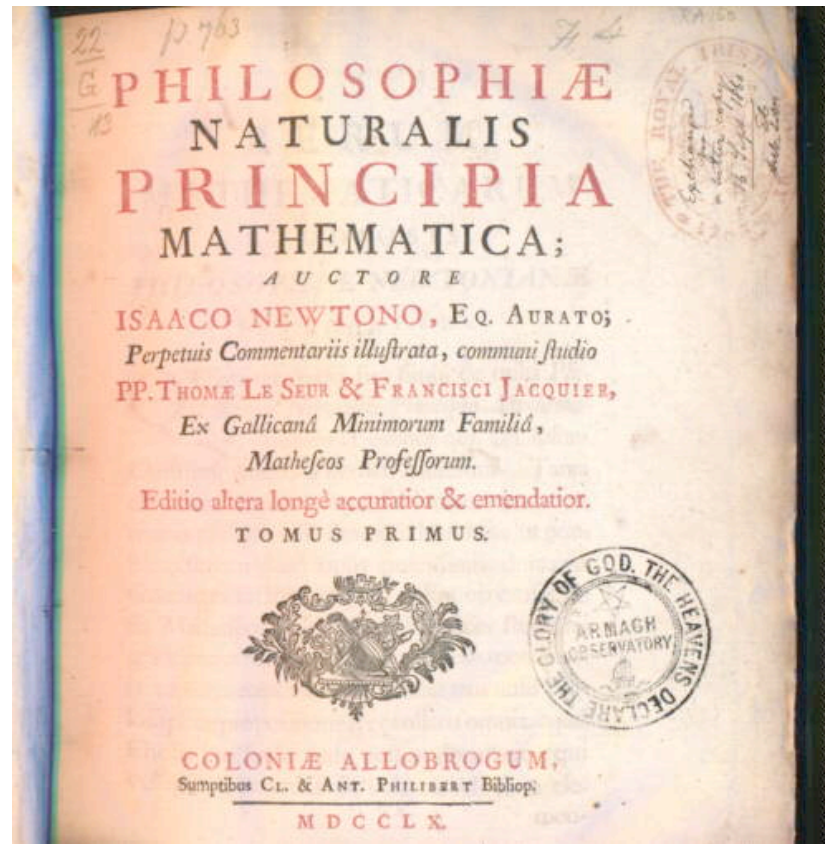
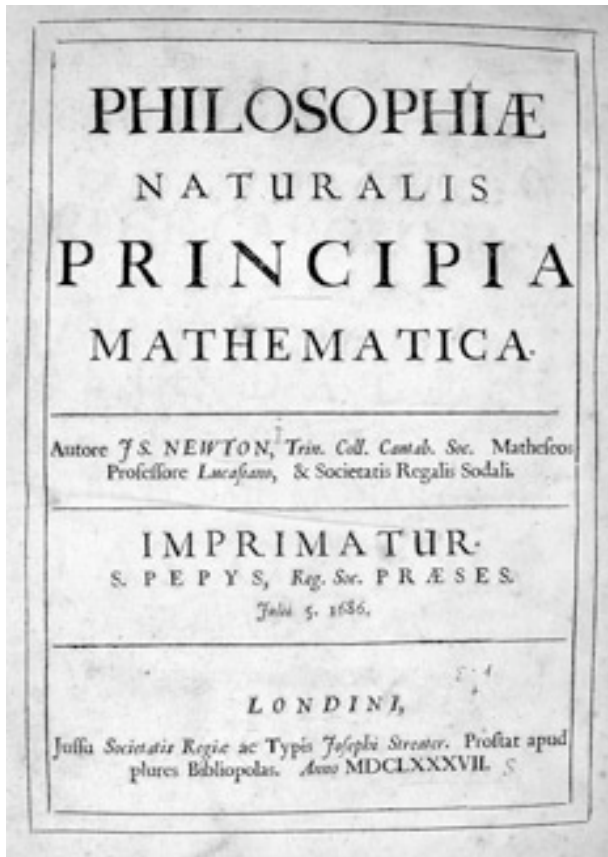
*Hypoth. IV. Centrum Systematis Mundani quiescere.*

Hoc ab omnibus concessum est, dum aliqui Terram alii Solem in centro quiescere contendunt. PHÆNOMENA.

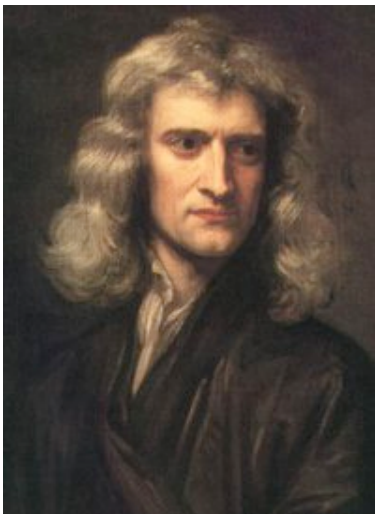
*Hypoth. VI. Planetas circumjoviales, radiis ad centrum Jovis ductis, areas describere temporibus proportionales, eorumque tempora periodica esse in ratione sesquialtera distantiarum ab ipsius centro.*

Constat ex observationibus Astronomicis. Orbes horum Planetarum non differunt sensibiliter à circulis Jovi concentricis, & motus eorum in his circulis uniformesprehenduntur. Tempora verò periodica esse in ratione sesquialtera semidiametrorum orbium consentiunt Astronomi: & ~~Samuelius, qui omnia Mi-~~  
~~crocentro & per Jovis Satellitum accuratè definit, licet ad me-~~  
~~das, quinquiesimæ numeri suis mecum convenientis, significavit~~  
~~rationem illam sesquialteram non accuratè obtinere, quàm sit pos-~~  
~~sibile sensu deprehendere. Id quod ex Tabula sequente manife-~~  
~~stum est.~~

Satellitum



1687 Principia (publié aux frais de Halley )



GRAVITATION UNIVERSELLE

déduit les lois de Kepler par des raisonnements

géométriques

## LOIS DE LA DYNAMIQUE

(forme d'aujourd'hui)

- **NI** Tout corps reste au repos ou continue son mouvement rectiligne et uniforme, sauf si une force le contraint à changer
- **NII** force=(masse)×(accélération)

$$F = m \times a$$

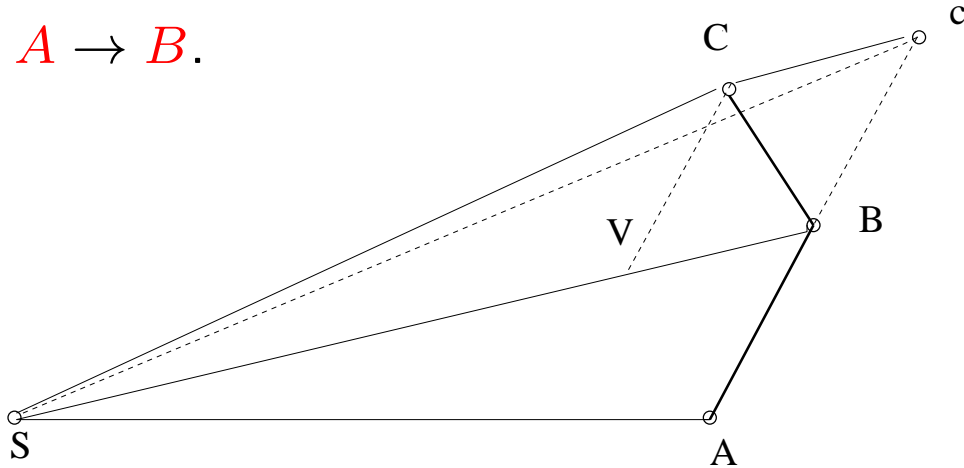
- **NIII** L'égalité de l'action et de la réaction







$$\Delta T \sim A \rightarrow B.$$



**N I** : sans l'attraction du Soleil, la planète irait de  $B$  à  $c$  à vitesse uniforme.  $\overrightarrow{Bc} = \overrightarrow{AB}$ .

Mais en  $B$  le Soleil dévie la planète dans la direction  $\overrightarrow{BV}$ .

**N II** : résultante de  $\overrightarrow{Bc}$  et de  $\overrightarrow{BV}$  :  $\Rightarrow B \rightarrow C$

$$\text{Aire}(SAB) = \frac{1}{2}AB \times h = \frac{1}{2}Bc \times h = \text{Aire}(SBc)$$

(bases égales :  $AB = Bc$ , hauteur  $h$  commune).

De même :  $\text{Aire}(SBc) = \text{Aire}(SBC)$ . (Même base  $SB$ ;  $Cc$  et  $SB$  parallèles  $\Rightarrow$  hauteurs égales)

$$\text{Aire}(SAB) = \text{Aire}(SBC)$$

Les aires balayées en temps égaux sont égales

THM valable pour toute force centrale.

## LOI DE LA GRAVITATION

- Considère orbite circulaire.

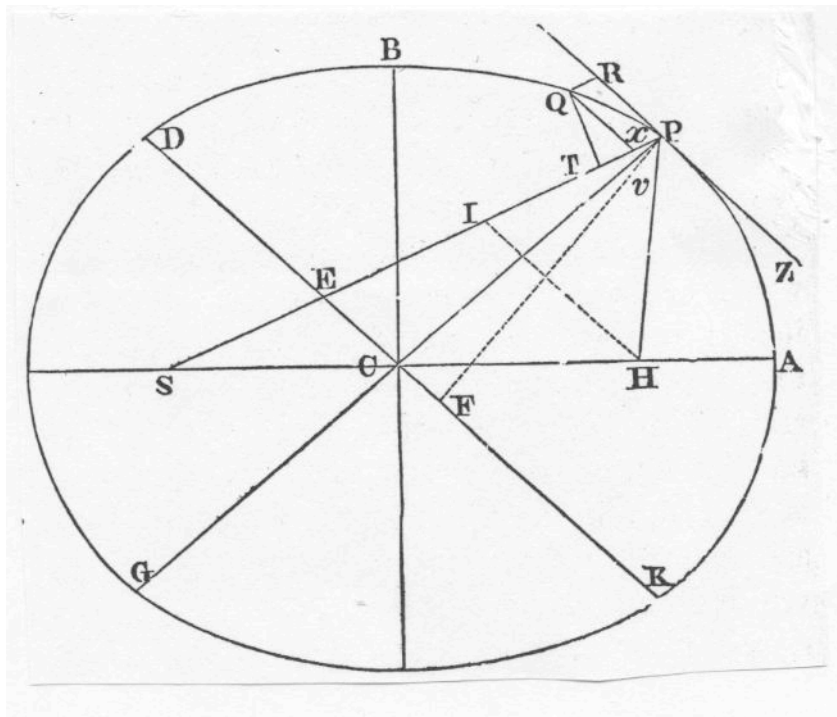
Huygens 1658, Newton force centripète :

$$F = m \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2} R.$$

$$\text{KIII} : T^2/R^3 = C. \Rightarrow$$

$$F \propto \frac{1}{R^2}$$

- orbites elliptiques compatibles avec une force  $\propto \frac{1}{r^2}$ , issue d'un des foyers.



Autres : **Hooke** (pas de portrait)



**Wren**

1657 prof d'Astronomie



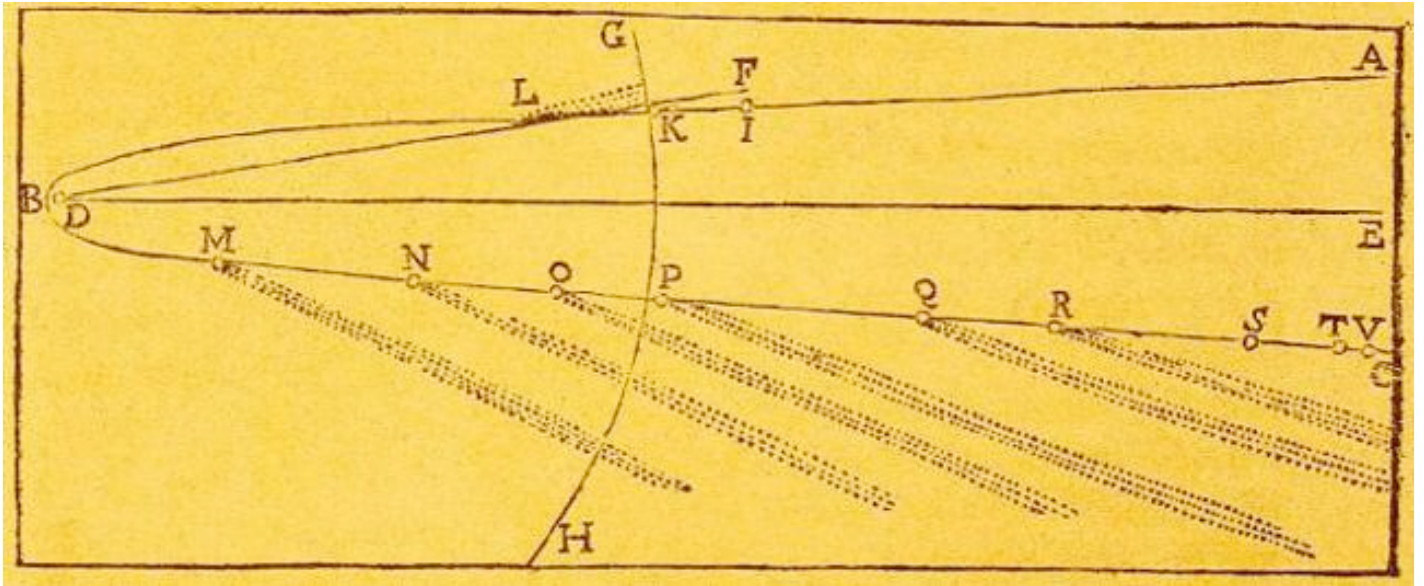
1666



**Huygens**

1658

Newton 1687 Principia : montre que la trajectoire de la comète de 1680 est une parabole



Mentionné par Diderot dans son Encyclopédie

“Par les observations de la comète de 1680, M. Newton a trouvé que la vapeur qui étoit à l’extrémité de la queue le 25 janvier, avoit commencé à s’élever du corps avant le 11 décembre précédent, & qu’ainsi elle avoit employé plus de quarante-cinq jours à s’élever; mais que toute la queue qui avoit paru le 10 décembre s’étoit élevée dans l’espace de deux jours écoulés depuis le périhélie.”

Newton démontre que parabole & hyperbole trajectoires dynamiquement possibles !





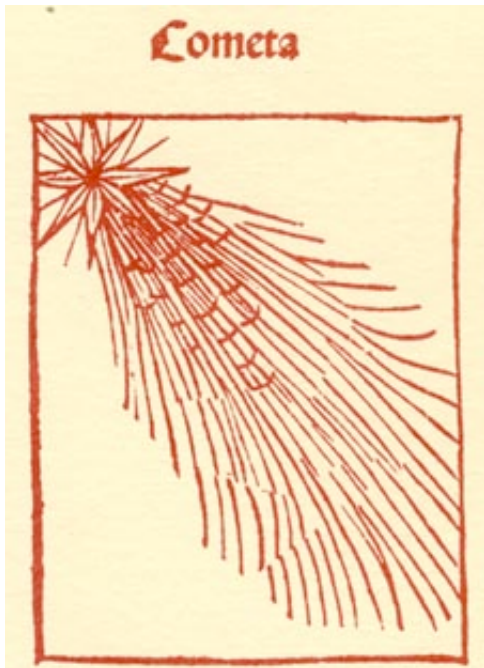


**MOTUM COMETARUM IN ORBE PARABOLICO  
ELEMENTA ASTRONOMICA.**

| Cometa<br>Anni. | Nodus Ascend. |    |    |    | Inclin. Orbitæ. |    |    |    | Perihelium. |    |    |        | Diffinitio<br>Perihelii<br>à Sole. |        | Logarithmus<br>Diffinitio Perihelii<br>à Sole. |        | Logarithmus<br>Medii Motus<br>Diurni. |    | Temp. Equat. Perihel. |     |    | Perihel. à Nudo. |         |  |  |
|-----------------|---------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|-------------|----|----|--------|------------------------------------|--------|--|--------|---------------------------------------|----|-----------------------|-----|----|------------------|---------|--|--|
|                 | o             | i  | ii |    | o               | i  | ii |    | o           | i  | ii |        |                                    |        | D.   | H.     | i                                     | o  | i                     | ii  |    |                  |         |  |  |
| 1337            | II            | 24 | 21 | o  | 32              | 11 | o  | ♂  | 7           | 59 | o  | 40666  | 9                                  | 609236 | o  | 546274 | Junis 2                               | 6  | 25                    | 46  | 22 | o                | Retrog. |  |  |
| 1472            | W             | 11 | 46 | 20 | 5               | 20 | o  | ♂  | 15          | 33 | 30 | 54273  | 9                                  | 734584 | o  | 358252 | Feb. 28                               | 22 | 23                    | 123 | 47 | 10               | Retrog. |  |  |
| 1531            | ♂             | 19 | 25 | o  | 17              | 56 | o  | ☿  | 1           | 39 | o  | 56700  | 9                                  | 753583 | o  | 329754 | Aug. 24                               | 21 | 18                    | 107 | 46 | o                | Retrog. |  |  |
| 1532            | II            | 20 | 27 | o  | 32              | 36 | o  | ♂  | 21          | 7  | o  | 50910  | 9                                  | 706803 | o  | 399924 | Oct. 19                               | 22 | 12                    | 30  | 40 | o                | Direct. |  |  |
| 1556            | W             | 25 | 42 | o  | 32              | 6  | 30 | W  | 8           | 50 | o  | 46390  | 9                                  | 666424 | c  | 460492 | Apr. 21                               | 20 | 3                     | 103 | 8  | o                | Direct. |  |  |
| 1577            | Y             | 25 | 52 | o  | 74              | 32 | 45 | ♂  | 9           | 22 | o  | 18342  | 9                                  | 263447 | 1  | 064958 | Oct. 26                               | 18 | 45                    | 103 | 30 | o                | Retrog. |  |  |
| 1580            | Y             | 18 | 57 | 20 | 64              | 40 | o  | ♂  | 19          | 5  | 50 | 59628  | 9                                  | 775450 | o  | 296953 | Nov. 28                               | 15 | o                     | 90  | 8  | 30               | Direct. |  |  |
| 1585            | ♂             | 7  | 42 | 30 | 6               | 4  | o  | Y  | 8           | 51 | o  | 109358 | o                                  | 038850 | 9  | 901853 | Sept. 27                              | 19 | 20                    | 28  | 51 | 30               | Direct. |  |  |
| 1590            | W             | 15 | 30 | 40 | 29              | 40 | 40 | W  | 6           | 54 | 30 | 57661  | 9                                  | 760882 | o  | 318805 | Jan. 29                               | 3  | 45                    | 51  | 23 | 50               | Retrog. |  |  |
| 1596            | ☿             | 12 | 12 | 30 | 55              | 12 | o  | W  | 18          | 16 | o  | 51293  | 9                                  | 710058 | o  | 395041 | Julii 31                              | 19 | 55                    | 83  | 56 | 30               | Retrog. |  |  |
| 1607            | ♂             | 20 | 21 | o  | 17              | 2  | o  | ☿  | 2           | 16 | o  | 58680  | 9                                  | 768490 | o  | 307393 | Oct. 16                               | 3  | 50                    | 108 | 5  | o                | Retrog. |  |  |
| 1618            | II            | 16 | 1  | o  | 37              | 34 | o  | Y  | 2           | 14 | o  | 37975  | 9                                  | 579498 | o  | 590881 | Oct. 29                               | 12 | 23                    | 73  | 47 | o                | Direct. |  |  |
| 1652            | II            | 28 | 10 | o  | 79              | 28 | o  | Y  | 28          | 18 | 40 | 84750  | 9                                  | 928140 | o  | 067918 | Nov. 2                                | 15 | 40                    | 59  | 51 | 20               | Direct. |  |  |
| 1661            | II            | 22 | 30 | 30 | 32              | 35 | 50 | ♂  | 25          | 58 | 40 | 44851  | 9                                  | 651772 | o  | 482470 | Jan. 16                               | 23 | 41                    | 33  | 28 | 10               | Direct. |  |  |
| 1664            | II            | 21 | 14 | o  | 21              | 18 | 30 | ♂  | 10          | 41 | 25 | 102575 | o                                  | 011044 | 9  | 943562 | Nov. 24                               | 11 | 52                    | 49  | 27 | 25               | Retrog. |  |  |
| 1665            | W             | 18 | 2  | o  | 76              | 5  | o  | II | 11          | 54 | 30 | 10649  | 9                                  | 027309 | 1  | 419164 | Apr. 14                               | 5  | 15                    | 156 | 7  | 30               | Retrog. |  |  |
| 1672            | W             | 27 | 30 | 30 | 83              | 22 | 10 | ♂  | 16          | 59 | 30 | 69739  | 9                                  | 843476 | o  | 194914 | Feb. 20                               | 8  | 37                    | 109 | 29 | o                | Direct. |  |  |
| 1677            | W             | 26 | 49 | 10 | 79              | 3  | 15 | ♂  | 17          | 37 | 5  | 28059  | 9                                  | 448072 | o  | 788020 | Apr. 26                               | o  | 37                    | 99  | 12 | 5                | Retrog. |  |  |
| 1680            | W             | 2  | 2  | o  | 60              | 56 | o  | I  | 22          | 39 | 30 | 00612  | 7                                  | 787106 | 3  | 279469 | Dec. 8                                | o  | 6                     | 9   | 22 | 30               | Direct. |  |  |
| 1682            | ♂             | 21 | 16 | 30 | 17              | 56 | o  | ☿  | 2           | 52 | 45 | 58328  | 9                                  | 765877 | o  | 311313 | Sept. 4                               | 7  | 39                    | 108 | 23 | 45               | Retrog. |  |  |
| 1683            | W             | 23 | 23 | o  | 83              | 11 | o  | II | 25          | 29 | 30 | 56020  | 9                                  | 748343 | o  | 337614 | Julii 3                               | 2  | 50                    | 87  | 53 | 30               | Retrog. |  |  |
| 1684            | I             | 28 | 15 | o  | 65              | 48 | 40 | W  | 28          | 52 | o  | 96015  | 9                                  | 982339 | 9  | 986620 | Maii 29                               | 10 | 16                    | 29  | 23 | o                | Direct. |  |  |
| 1686            | H             | 20 | 34 | 40 | 31              | 21 | 40 | II | 17          | o  | 30 | 32500  | 9                                  | 511883 | o  | 692304 | Sept. 6                               | 14 | 33                    | 86  | 25 | 50               | Direct. |  |  |
| 1698            | I             | 27 | 44 | 15 | 11              | 46 | o  | W  | o           | 51 | 15 | 69129  | 9                                  | 839660 | o  | 200638 | Oct. 8                                | 16 | 57                    | 3   | 7  | o                | Retrog. |  |  |



## Apparitions précédentes



684 (Nürnberg 1493)



1066

Tapisserie de Bayeux [vu aussi en Chine !]

1038 La princesse byzantine **Anne Comnène** rapporte dans son Alexiade : “une grande comète apparut dans le ciel, la plus grande de toutes celles qu’on avait vues auparavant...”

1145 Canterbury

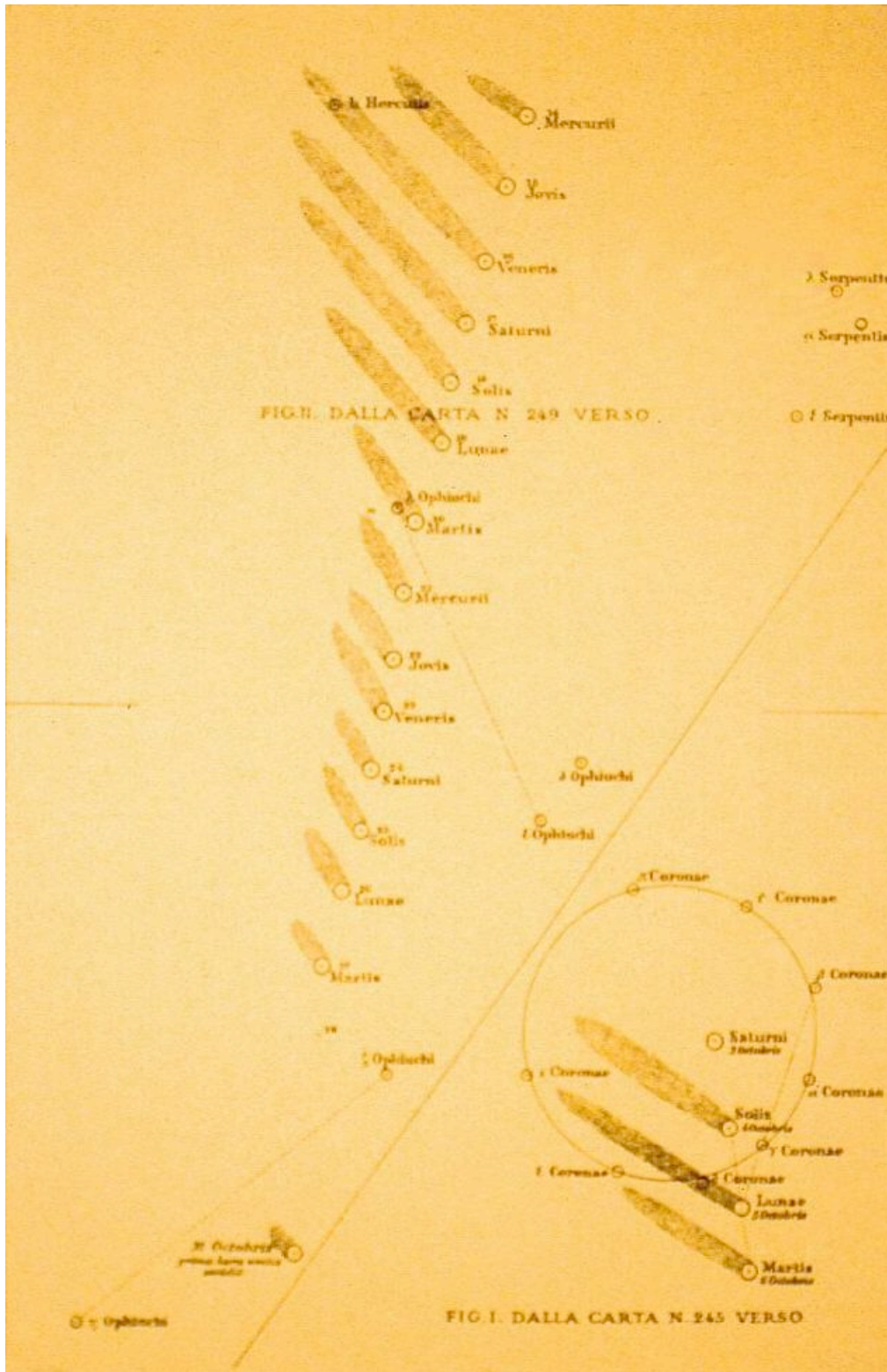


psaltère Eadwine





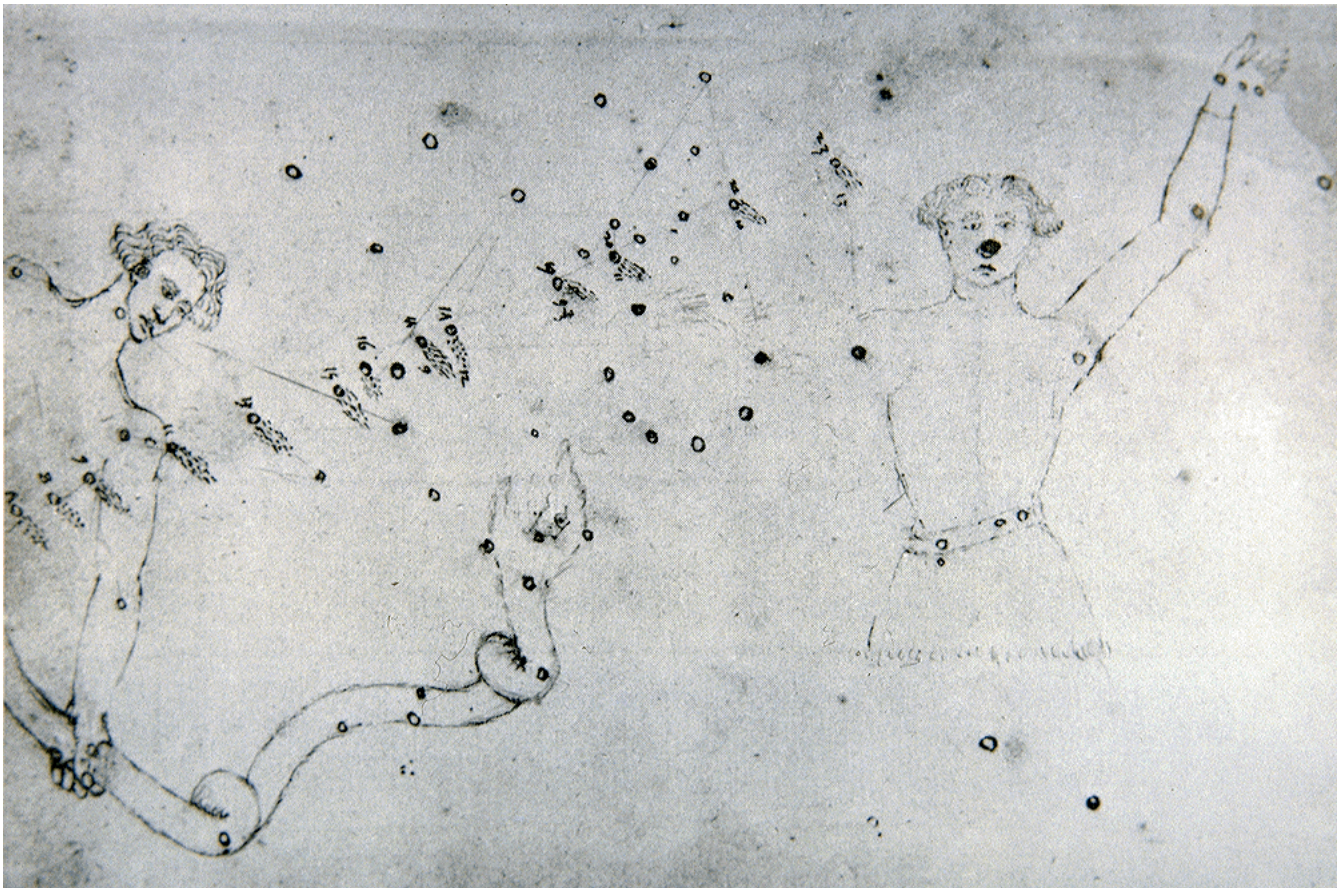
Giotto 1301 Padova





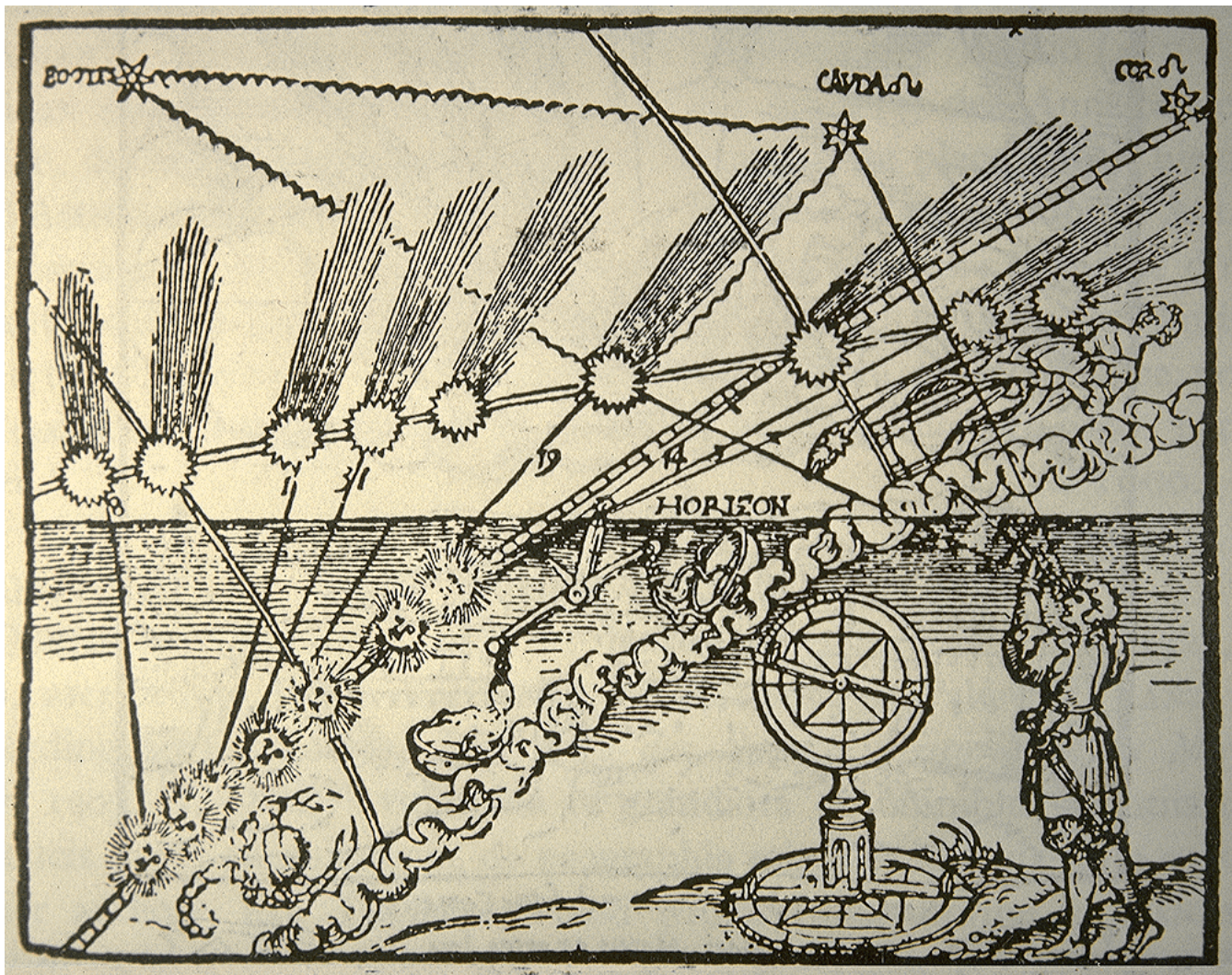
Toscanelli 1442 (Halley)

1449





Apianus 1531

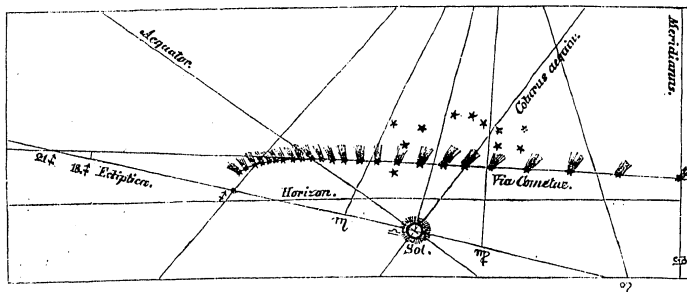


## Kepler 1607 observe comète (Halley)

End aber, den 24. 25. Octobris, ist Mars auch dem Jovi entgegen gestanden, gar scharff in den mittel Puneten, da Tag vnd Nacht gleich worden.

Der Weg, welchen der Comet gelauffen vnd durchgeschossen, wie er vnserm Gesicht auff Erden fürkommen, ist gewesen gar nahe ein circulus magnus, allein in dem letzten Theil desselbigen hat er sich gekrümmt vnd ist mehr gegen der Sonnenstrassen abwertz, denn für sich gelauffen. Dann zu anfangs einen Tag oder drey ist er am weitesten von der Sonnenstrassen, bey 36, 38, 40 Grad abgewichen, vnd solche Tage, etsi mutata latitudine, constanti tamen declinatione, denjenigen Orten vber das Haupt gegangen, welche haben alt. poli  $48\frac{1}{2}$  Grad, etwas mehr vnd weniger, als da ist Casmaw, Wien, Saltzburg, Passaw, Regensburg, Nürnberg, Anspach, Amberg, Newburg, Augspurg, Esslingen, Speyr, Trier, Ingolstadt, Vlm, Costnitz, Basel, Strassburg, Pariss, Orlens; folgende Tage ist er je mehr vnd mehr gegen Mittag abgewichen, vnd den 22. Sept. oder 2. Oct. den tropicum Cancrī, bald hernach den 30. Sept. oder 10. Oct. den Aequinoctialem vberschritten.

Fig. 2.



Wann ich nun die ersten Tage seinen circulum oder Weg in Horizontem gesetzt, so hat es seyn müssen alt. poli  $41\frac{1}{2}$  Grad, darunter Rom, Neapolis vnd Hispania eintheils gelegen, vnd alsdann ist der 25. Grad des Wassermanns mitten am Himmel, der 21. Grad aber des Schützens im Nidergang geschwebet, hat sich also der Schuss des Cometens gar eigentlich auff den Ort begeben, da anno 1604 der neue Stern erschienen.

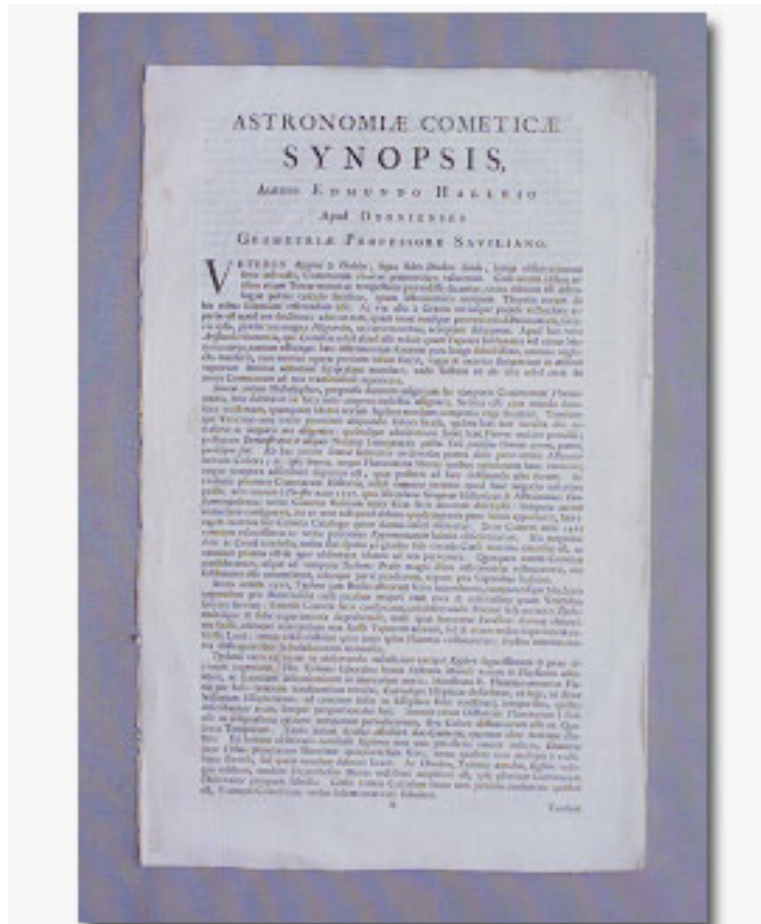
In nachfolgenden Tagen hat dieser Weg sich ein wenig gekrümmt, vnd ist dem 8. Grad des Schützens zugegangen, allda anno 1603. Saturnus vnd Jupiter zusammenkommen. Endlich nach dem 16. Oct. hat er sich gar gekrümmt vnd ist gerad nach dem 2. Grad des Schützens vntersich gefahren.

Ist in der erst sehr schnell gewesen, doch den 30. Sept. den grössten Schritt gethan vnd grösser denn der Mond; vor vnd nach langsamer vnd endlich so gemach, dass man ihn auch für stillstehend oder gar hindersich weichend angesehen.

Und weil er die drey ersten Tage nicht vntergegangen, sondern Morgens vor vnd Abends nach der Sonnen gesehen worden, haben etliche gemeynet, es seyen der Cometens zween; andere haben anstatt des beschreyeten Cometens Venerem nach Vntergang der Sonnen, etliche den alten Jupiter ersehen, der damaln Abends, wann die Sonn hinunter gewesen, vom Aufgang herfürkommen

1619 De Cometis. Pense que la trajectoire d'une comète est rectiligne



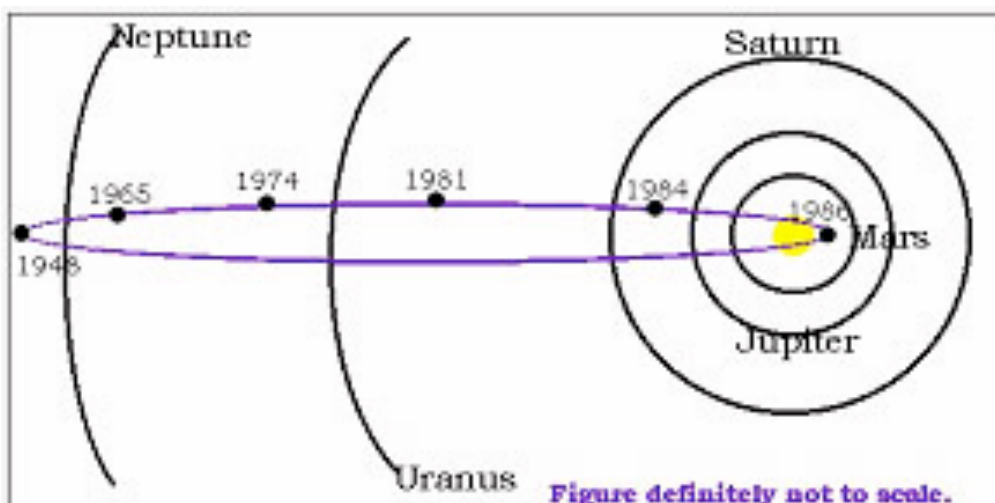


Halley

Astronomiae cometicae synopsis, Edmond Halley, 1705

1705. Dédit

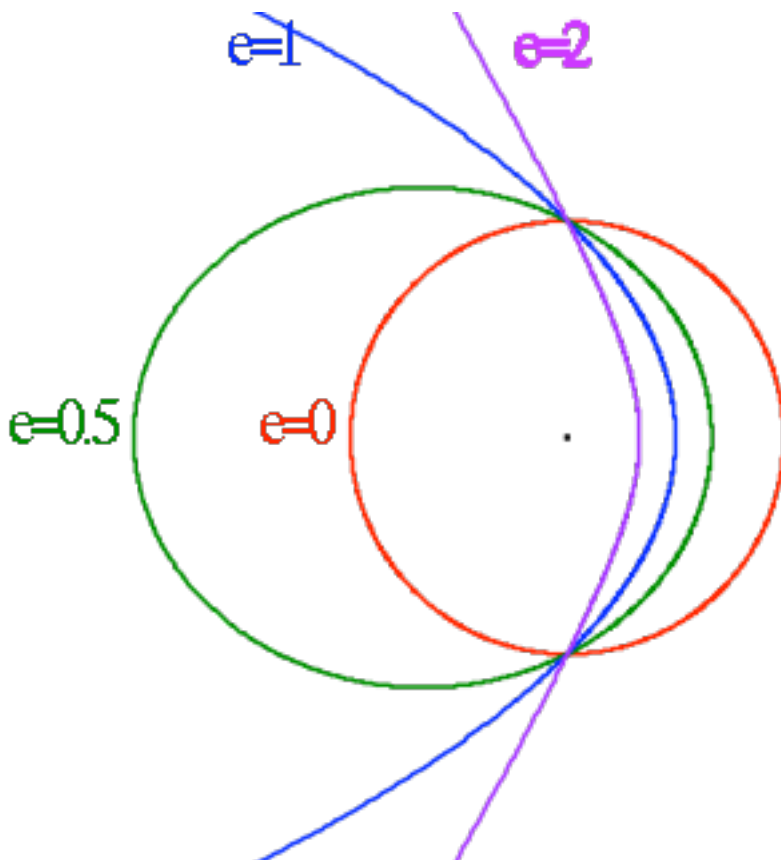
de ses observations et de l'examen des des observations précédentes que la trajectoire de la "comète de 1682" est **ELLIPTIQUE**. période  $\approx 76$  ans





Newton  $\Rightarrow$  l'orbite est tjrs section conique avec le Soleil au foyer. Forme dépendant de l'excentricité  $e$

- $e = 0$  cercle
- $0 < e < 1$  ellipse
- $e = 1$  parabole
- $e > 1$  hyperbole



# OPTICKS:

OR, A

## TREATISE

OF THE

REFLEXIONS, REFRACTIONS,  
INFLEXIONS and COLOURS

OF

## LIGHT.

ALSO

## TWO TREATISES

OF THE

SPECIES and MAGNITUDE

OF

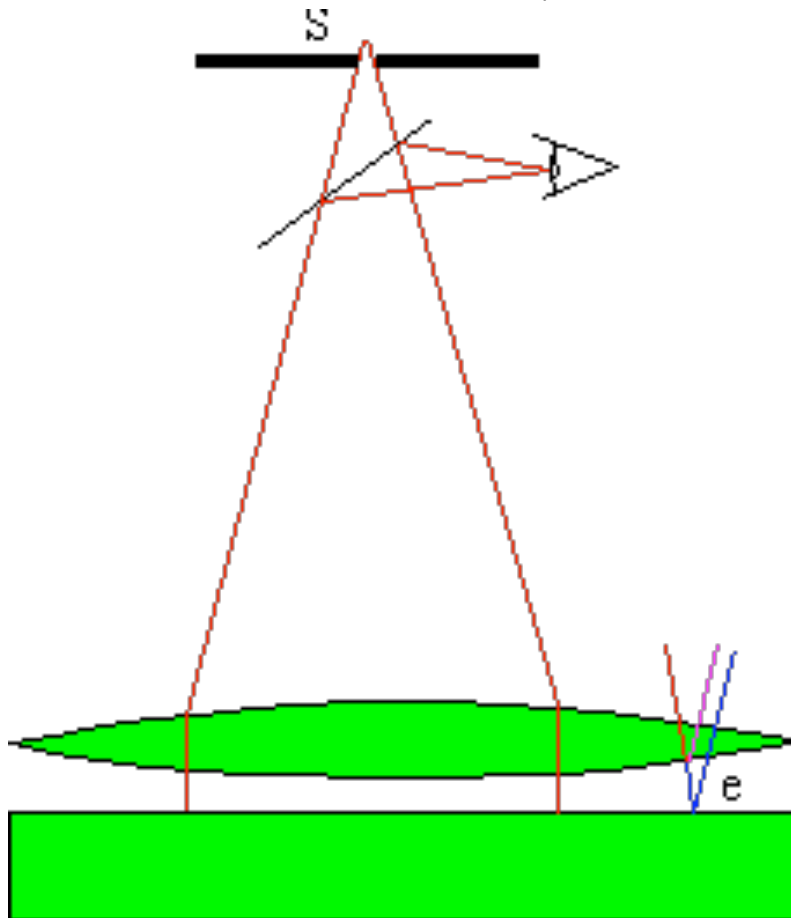
## Curvilinear Figures.

L O N D O N,

Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD,  
Printers to the Royal Society, at the *Prince's Arms* in  
St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

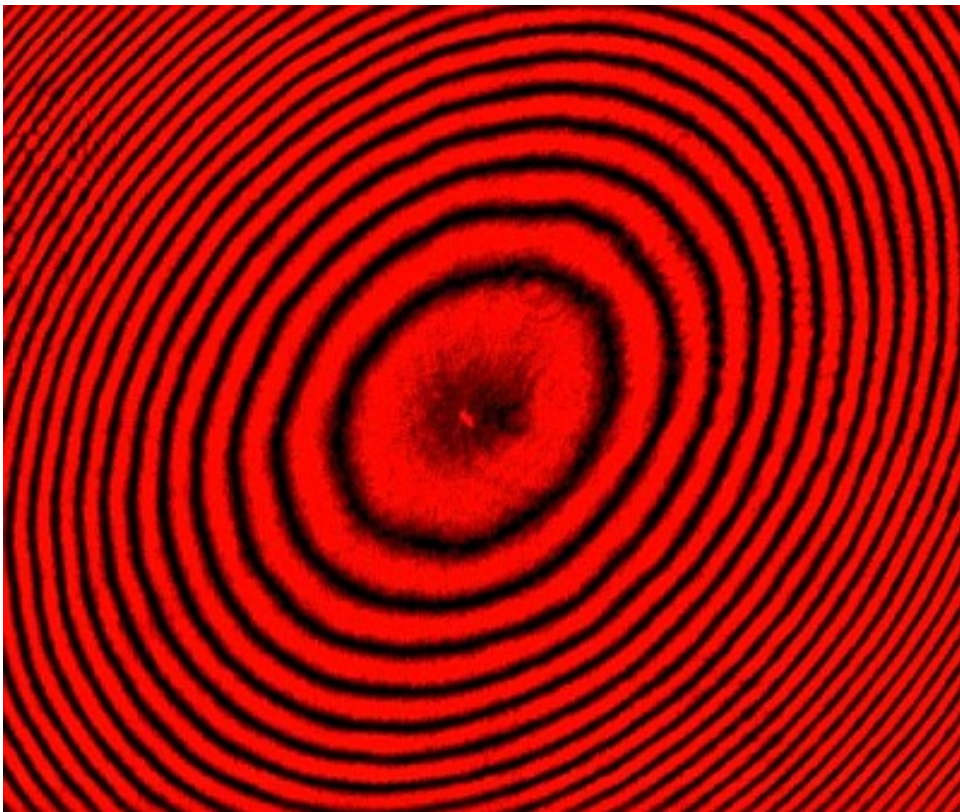
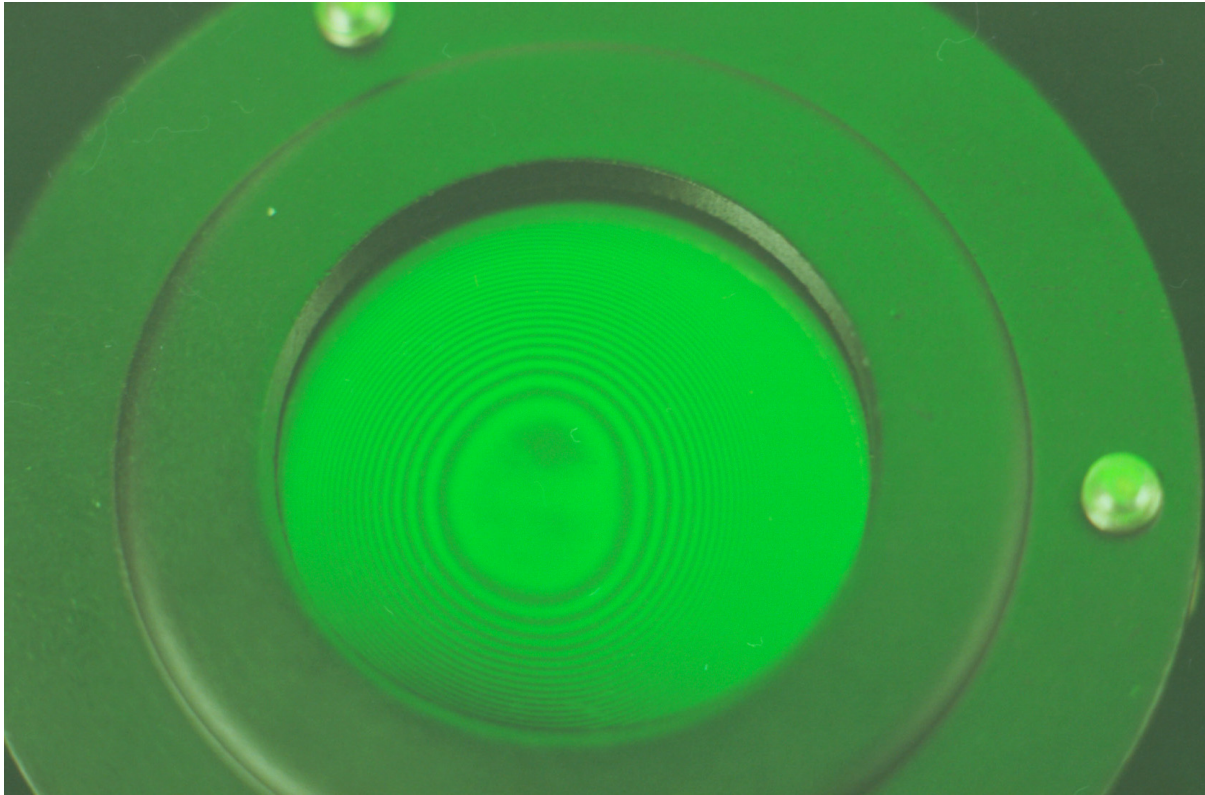
anneaux de Newton : interférence entre rayons lumineux

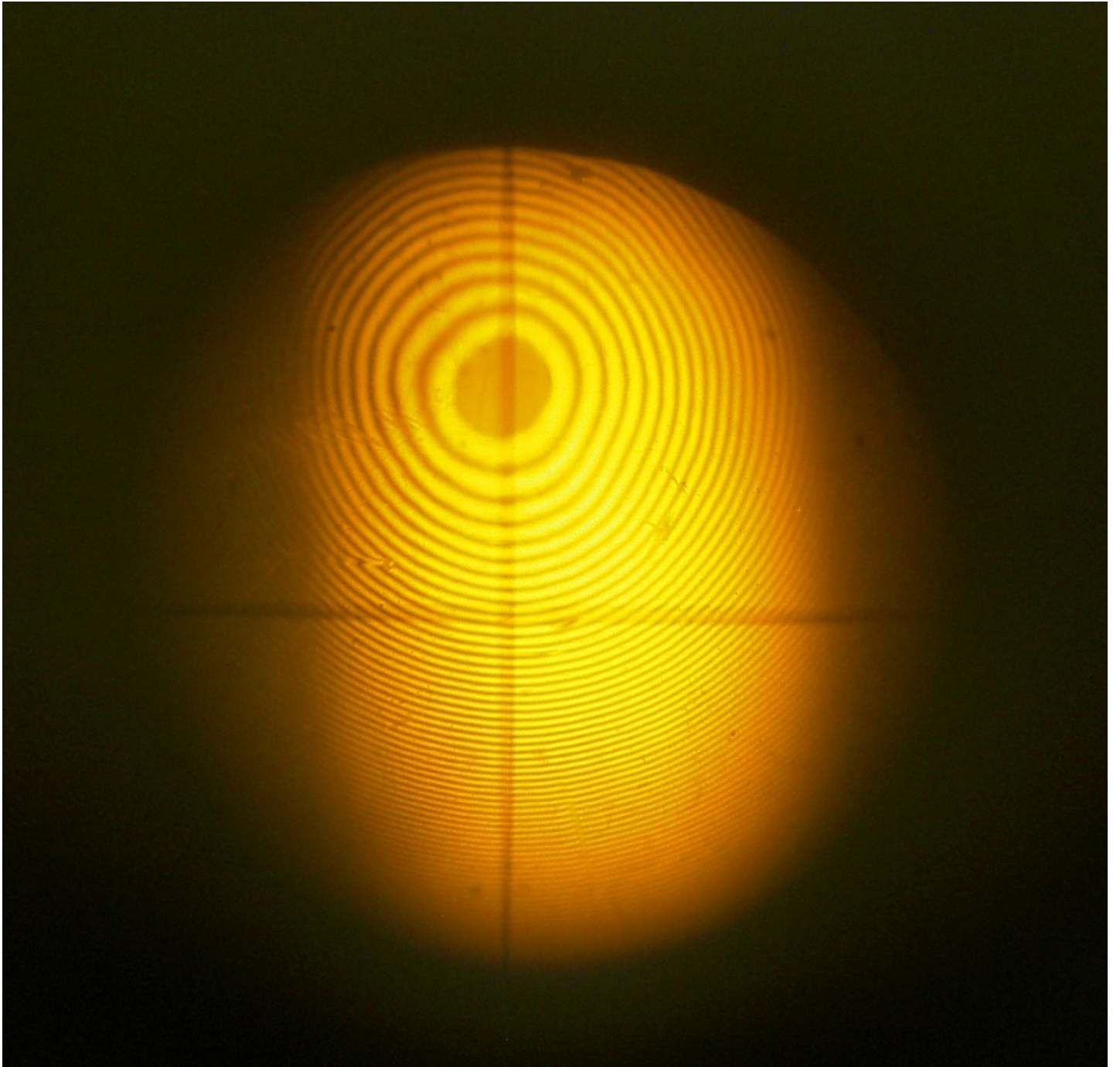
On considère deux surfaces réfléchissantes et sensiblement parallèles : un plan et une sphère de grand rayon. Le rayon en rouge (à droite du schéma) peut se réfléchir sur l'interface verre-air (rayon violet) ou franchir cet interface et se réfléchir sur le plan inférieur (rayon bleu).



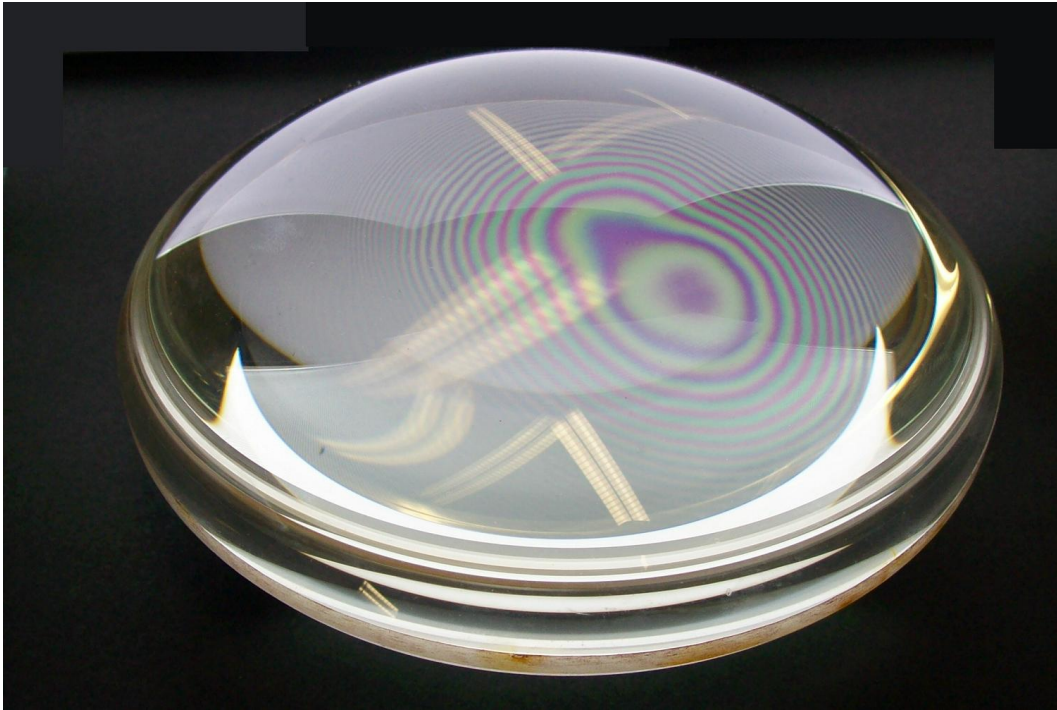


Ces deux rayons peuvent interférer en donnant des franges de lame mince.







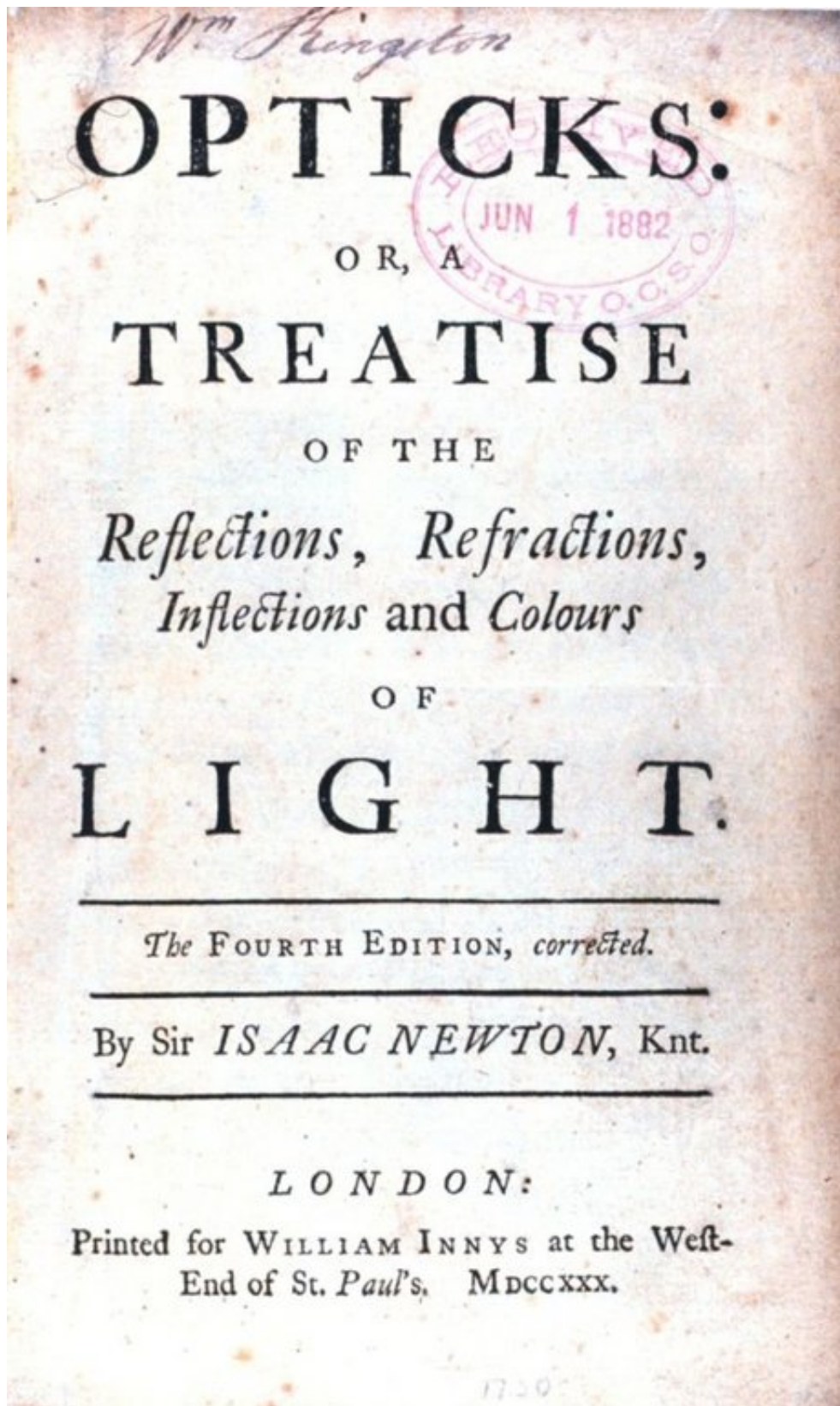


tâche d'huile





bulle de savon



théorie corpusculaire de la lumière. Abandonnée  
– puis resuscitée par Einstein en 1905 “photon”



F. Algarotti 1737. Architecte, conseiller de Frederick II de Prussie.





Isaac **Newton** (Trinity College, Cambridge)