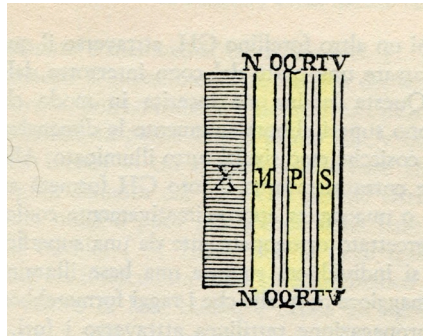
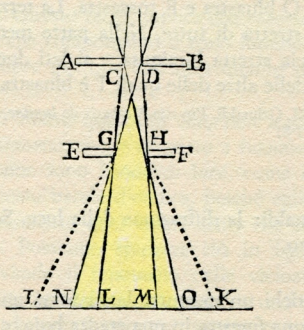


*Giuseppe Mezzorani
INFN Sezione di Cagliari*

*Francesco M. Grimaldi,
la scoperta della diffrazione*

*Scuola di Storia della Fisica
Ferrara
Febbraio 2019*





Francesco Maria Grimaldi
(1618 - 1663)





Engraved by W. L. Fry.

SIR ISAAC NEWTON.

OB. 1727.

FROM THE ORIGINAL OF KNELLER, IN THE COLLECTION OF

THE RIGHT HON^{BLE} THE EARL OF EGREMONT.

London, Published May 1, 1829, by Harding & Lepard, Pall Mall East.

OPTICKS:

OR, A

TREATISE

OF THE

REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS

OF

L I G H T.

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.

[113]

THE
THIRD BOOK
OF
OPTICKS.

*Observations concerning the Inflexions of the rays of Light,
and the Colours made thereby.*

*Observations concerning the Inflexions of the rays of Light,
and the Colours made thereby.*

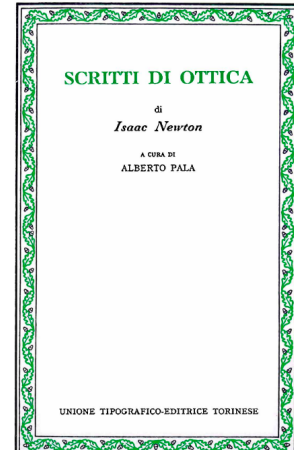
G *Rimaldo* has informed us, that if a beam of the Sun's Light be let into a dark Room through a very small Hole, the shadows of things in this Light will be larger than they ought to be if the rays went on by the Bodies in streight Lines, and that these shadows have three parallel fringes, bands or ranks of coloured Light adjacent to them. But if the Hole be enlarged the fringes grow broad and run into one another, so that they cannot be distinguished. These broad shadows and fringes have been reckoned by some to proceed from the ordinary refraction of the Air, but without due examination of the matter. For the circumstances of the Phenomenon, so far as I have observed them, are as follows.

LIBRO TERZO DELL'OTTICA

PARTE I.

Osservazioni riguardanti le inflessioni dei raggi di luce e i colori formati con esse.

Grimaldi ci ha informati che se un raggio della luce del sole viene immesso in una camera oscura attraverso un foro molto piccolo, sotto questa luce le ombre delle cose saranno più ampie di quanto sarebbero se i raggi passassero presso i corpi secondo linee rette, e che queste ombre hanno tre frange, o bande o ordini paralleli di luce colorata adiacenti ad esse. Ma se il foro viene allargato, le frange diventano estese e passano l'una nell'altra, così che esse non possono venire distinte. Queste ombre estese e queste frange sono state ritenute da alcuni come procedenti dalla normale rifrazione dell'aria, ma senza la dovuta indagine sull'argomento. Infatti, i particolari del fenomeno, come li ho osservati, sono i seguenti.



O B S. I.

I made in a piece of Lead a small Hole with a Pin, whose breadth was the 42th part of an Inch. For 21 of those Pins laid together took up the breadth of half an Inch. Through this Hole I let into my darkened Chamber a beam of the Sun's Light, and found that the shadows of Hairs, Thred, Pins, Straws, and such like slender substances placed in this beam of Light, were considerably broader than they ought to be, if the rays of Light passed on by these Bodies in right Lines. And particularly a Hair of a Man's Head, whose breadth was but the 280th part of an Inch, being held in this Light, at the distance of about twelve Feet from the Hole, did cast a shadow which at the distance of four Inches from the Hair was the sixtieth part of an Inch broad, that is, above four times broader than the Hair,

Osservazione 1. In un pezzo di piombo praticai con uno spillo un piccolo foro, la cui larghezza era la quarantaduesima parte di un pollice. Infatti, 21 di quelle spille messe assieme costituivano la larghezza di mezzo pollice. Attraverso questo foro, immisi nella mia camera oscurata un raggio di luce del sole, e trovai che le ombre di capelli, fili, spilli, o paglie, e di altri simili corpi sottili collocati in questo raggio di luce, erano considerevolmente più estese di quanto avrebbero dovuto essere, se i raggi di luce fossero passati presso questi corpi secondo linee rette. In particolare, un capello umano, la cui larghezza era soltanto la 28oma parte di un pollice, tenuto in questa luce, alla distanza di circa dodici piedi dal foro, proiettava un'ombra che alla distanza di quattro pollici dal capello era larga la sessantesima parte di un pollice, ossia, più di quattro volte l'estensione del capello;

When I made the foregoing Observations, I designed to repeat most of them with more care and exactness, and to make some new ones for determining the manner how the rays of Light are bent in their passage by Bodies for making the fringes of Colours with the dark lines between them. But I was then interrupted, and cannot now think of taking these things into further consideration. And since I have not finished this part of my Design, I shall conclude, with proposing only some Queries in order to a further search to be made by others.

Query 1. Do not Bodies act upon Light at a distance, and by their action bend its rays, and is not this action (*ceteris paribus*) strongest at the least distance?

Qu. 2. Do not the rays which differ in refrangibility differ also in flexibility, and are they not by their different inflexions separated from one another, so as after separation to make the Colours in the three fringes
above

[133]

above described? And after what manner are they inflected to make those fringes?

Allorché feci le osservazioni che precedono, mi proponevo di ripeterne alcune con maggiore cura ed esattezza, e di farne di nuove al fine di determinare il modo in cui i raggi di luce sono incurvati nel loro passaggio in prossimità dei corpi per formare le frange di colori con le linee scure fra loro. Ma allora dovetti interrompere, e ora non posso pensare di riprendere queste cose in nuova considerazione. E poichè non ho portato a termine questa parte del mio proposito, concluderò col proporre alcune questioni, confidando nel fatto che da altri vengano compiute ulteriori ricerche.

Questione 1. I corpi non agiscono a distanza sulla luce, e per effetto della loro azione non incurvano i raggi di essa; e questa azione non è (a parità delle altre cose) massimamente forte alla minima distanza?

Questione 2. I raggi che differiscono per rifrangibilità non differiscono anche per flessibilità; e non sono essi, per effetto delle loro differenti inflessioni, separati l'uno dall'altro, così da formare, dopo la separazione, i colori nelle tre frange sopra descritte? Secondo quale modo sono essi incurvati al fine di formare quelle frange?

PHYSICO-MATHESIS
DE LVMINE,
COLORIBVS. ET IRIDE.

ALIISQVE ADNEXIS

LIBRI DV O,

In quorum Primo afferuntur Noua Experimenta, & Rationes
ab ijs deductæ pro Substantialitate Luminis.

In Secundo autem dissoluuntur Argumenta in Primo adducta,
& probabiliter sustineri posse docetur Sententia,
Peripaterica de Accidentalitate Luminis.

QVA OCCASIONE

*De hactenus incognita Luminis Diffusioni, de Reflexione, Refractione, ac Dif-
fractionis Modo & Causis, de Visione, deque Speciebus Intentionalibus
Visibilibus & Audibilibus, ac de Substantiali Magnetis effluuii omnia
corpora permeante, non pauca scitu digna proferuntur,
& speciali etiam argumenta impugnantur Atomica.*

AVCTORE

P. FRANCISCO MARIA GRIMALDO

SOCIETATIS IESV.

OPVS POSTHVMMVM.



BONONIÆ. MDC.LIV.

Ex Typographia Hæredis Vissani Bonæ. Superius permissit.
Impressi Hieronymi Berni Bibliopola Bononiensis.

PHYSICO-MATHESIS
DE LVMINE.
COLORIBVS. ET IRIDE.

Aliisque sequenti pagina indicatis.

AD ILLVSTRISSIMVM, AC REVERENDISSIMVM D.

D. CAROLVM ANTONIVM
DE SANCTO PETRO

Bononiensem Patritium,

ABBATEM. ET COMMENDATARIVM SANCTÆ LVCIE DE ROFFENO.
L. V. D. COLLEGIATVM.



BONONIÆ. MDC.LIV.

Ex Typographia Hæredis Vissani Bonæ.

Superius permissit.

PROPOSITIO I.

*Lumen propagatur seu diffunditur non solum Directè,
Refractè, ac Reflexè, sed etiam alio quodam
Quarto modo, DIFFRACTE'.*

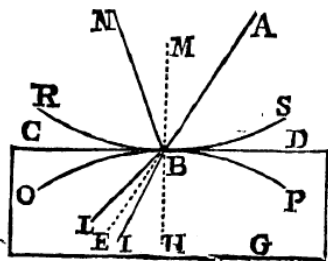


Proposizione I

*Triplex dif-
fusio luminis
hactenus co-
gnita.*



Adenus nonnisi tribus modis exerceri luminis diffusionem Optici communiter agnouerunt, Directè scilicet, Refractè, ac Reflexè. Certissimis namq; experimentis obseruatum est, lumen per lineam quidem rectam propagari, seu diffundi, donec medium, per quod diffunditur, maneat idem: mutare verò lineam, seu viam suæ diffusionis, eamq; cum fractione radij inclinare ad vnâ partem, statim ac transit ab vno medio ad aliud, densitatem habens diuersam à densitate medij prioris, si tamen in illud incurrat oblique: ac tandem suum cursum retro conuertere per reflexionem, quotiescunq; incidit in corpus illi resistens, nec permittens vltiorem progressum.



Directa.

Refracta.

2 Exempli gratiâ à luminoso A descendat lumen per radium AB, oblique incidentem superficiei planæ, ac politæ corporis alicuius diaphani, quæ sit CD: erit enim diffusio luminis per radium AB, rectissima, quia ille totus transit per vnicum medium. At quia deinde mutatur medium, idem lumen non perget amplius rectâ per radium ABE, si corpus diaphanum de nouo occurrens diuersam habue-

rit densitatem ab ea, quam habet corpus item diaphanum, per quod radius AB. descendit. Quin immò si transitus fiat à medio rariore ad densius, radius refringetur versùs perpendicularem, hoc est versùs lineam rectam, quæ concipiatur educi per punctum ingressus B, ita vt faciat cum superficie CD, angulos omnes æquales. At si transitus fiat à medio densiore ad rarius, radius flectetur, seu refringetur ad partes contrarias, magis recedendo à prædictâ perpendiculari.

3 Ponamus iam corpus CDG, in quod radius incidit, esse crystallum, aërem vero esse illud medium prius, per quod defluit radius AB: & quia crystallum est quidem diaphanum, densius tamen quam aër; propterea lumen relicta via BE, aliam instituet viciniorem lineam perpendiculari BH, & procedet per BI. E contrariò si corpus CDG ponatur esse rarius, quam medium CDA, radius AB, alioqui rectâ iturus per BE, perget per rectam BL remotiorem à prædictâ perpendiculari BH, & ipse passus refractionem, hoc est obliquationem à rectitudine viæ, quam prius tenebat. Cæterum si radius perpendiculariter incideret superficiei CD, vt facit recta MB, tenderet absq; vlla refractione per viam semper rectam in H.

Tum in medio densiore,

Tum in rarioris,

4 Iam verò fingamus corpus CDG esse opacum, ac lumini imperuium: idem enim lumen incidens superficiei CD, cum non possit vilo modo vltius progredi, cogetur flecti retrorsum aliquatenus contra luminosum A. Et si quidem inciderit perpendiculariter, vt facit radius MB reflectetur in se ipsum per eandem viam, qua venit: Si verò oblique inciderit, vt facit radius AB, reflectetur ad partes oppositas

Et Reflexa.

A

per

La luce si propaga o si diffonde non solo direttamente, per rifrazione e per riflessione ma anche in un quarto modo, per diffrazione.

Fino ad ora gli ottici generalmente hanno ritenuto che la luce si propaghi in tre modi: direttamente, per rifrazione e per riflessione. Infatti si è osservato con esperimenti ormai provati che la luce si propaga e si diffonde in linea retta fino a che il mezzo rimane lo stesso. Cambia traiettoria o linea di propagazione e la devia lateralmente con interruzione del raggio quando passa da un mezzo ad un altro di diversa densità, purché vi incida obliquamente. E ancora si è osservato che la luce inverte il suo corso per riflessione ogni volta che incide su un corpo resistente che non le permette di proseguire oltre. [...]

per lineam BN, ita vt tantus sit angulus, quem facit radius reflexus BN cum perpendiculari MB, quantus est ille, quem cum eadem perpendiculari facit radius incidens AB.

At si radius AB incidat superficiei sphericæ siue conuexæ, vt est OBP, siue concauæ, vt est RBS, tunc intelligenda est recta tangens huiusmodi superficiem in puncto incidentiæ B, & per talem rectam CD imaginariam explicandum est pro quocunque casu refractionis, aut reflexionis, quidquid diximus fieri in ordine ad talem rectam, quando re vera illa adest.

§ Hæc omnia vulgatis, ac facillimis obseruationibus firmata, indubitanter certa sunt apud Opticos, qui hactenus quidem putauerunt luminis propagationem his tribus dumtaxat modis perfici, Directè, Refractè, ac Reflexè, adeoque diuisionem illius in hæc tria membra partiri con-

Quartus modus diffusionis per Diffractionem.

sueuerunt. Nobis alius Quartus modus illuxit, quem nunc proponimus, vocamusq; Diffractionem, quia aduertimus lumen aliquando diffingi, hoc est partes eius multiplici dissectione separatas per idem tamen medium in diuersa vterius procedere, eo modo, quem mox declarabimus. His præcognitis

6 Prima pars Propositionis, quæ est de propagatione luminis Directa, Refracta, & Reflexa iam non eget vteriori probatione, quia ex dictis teste experientiâ abundè manet probata, & communiter admittitur. De illa tamen erit infra dicendum aliquid, cum ex professo agetur de causa & legibus Refractionum, & Reflexionum luminis.

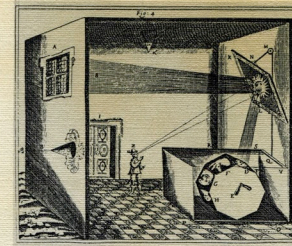
Secunda pars, quæ est de lumine Diffracto, peculiariter hîc probanda est. Probatum autem euidenter duplici sequenti Experimento.

Tutto ciò, confermato da osservazioni ordinarie e facilissime, è ormai certo per gli ottici che finora hanno creduto che la propagazione della luce avvenisse solo in questi tre modi, cioè direttamente, per rifrazione e per riflessione e naturalmente l'hanno sempre considerata suddivisa in questi tre casi. A noi è apparso un altro modo di propagazione che ora presentiamo e che chiamiamo *Diffrazione* perché abbiamo visto che la luce a volte si diffrange, cioè le sue parti suddivise in diverse sezioni, anche attraverso un mezzo omogeneo, procedono in direzioni diverse nel modo che ora spiegheremo. [...]

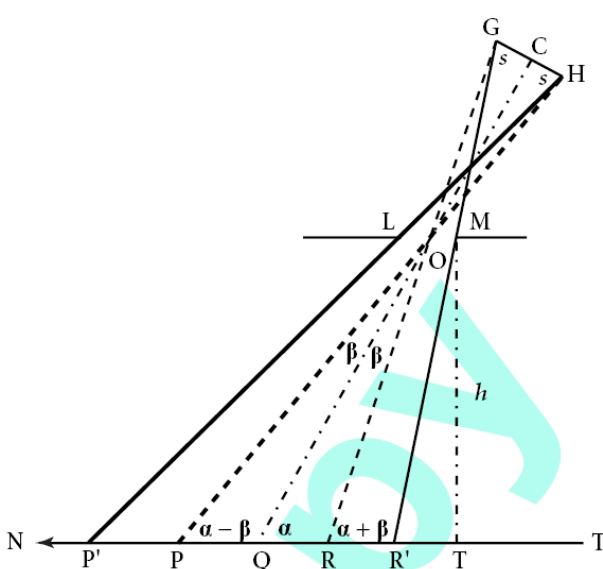
Ora dobbiamo provare accuratamente [...] che la luce si diffrange. Lo faremo in modo evidente mediante i due esperimenti seguenti.

Fabio Bevilacqua
Maria Grazia Ianniello

L'OTTICA
DALLE ORIGINI
ALL'INIZIO DEL '700



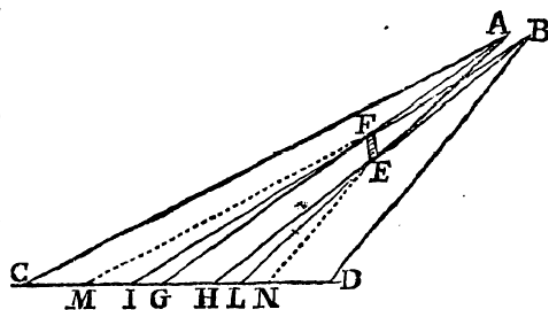
LOESCHER EDITORE



Experimentum Primum.

7 Aperto in fenestra foraminulo perquam paruo AB, introducatur per illud in cubiculum, alioqui valde obsecurum, lumen Solis Cælo serenissimo, cuius diffusio erit per conum, vel quasi conū ACDB visibilem si aer fuerit refertus atomis pulueris, vel si in eo excitetur aliquis fumus. Huic cono inseratur aliquod corpus opacum EF, in magna distantia à foramine AB, & ita vt sal-

Conicūm lino
men perfora-
tū in promi-
sū quomo-
do reddatur
nisi.



tem vnum extremum corporis opaci illu-
minetur. Excipiatue deinde in tabella can-
dida, vel in folio chartæ albæ super pau-
mento extensa, conus prædictus, seu ba-
sis eius lucida CD, cum vmbra GH, quam
proijcit opacum EF insertum cono, & il-
luminatum in vtroq; sui extremo E. & F.
quæ tamen vmbra secundum leges Opti-
cæ non erit exactissimè præcisa, & termi-
nata in vno puncto G versus vnâ partem,
& in vno alio puncto H versus aliam: sed
ratione foraminis AB, aliquam tandem
latitudinem habentis, simulq; ratione So-
lis in latum extensis, aliæ de causa erit
confinium vmbre aliquo modo incertum

propter penumbram quandam, & cum
sensibili decremento, seu vt vocant ex-
tinctione luminis per spatium LG inter cer-
tam vmbram, & nitidum lumen ad vnā
partem prædictæ basis, & per spatium HL
ad aliam partem.

8 Sed quod valdè notandum est, apparebit tota umbra IL insigniter maior de facto, quàm debuerit esse, si supponatur rem totam agi per lineas rectas ab extremis A,B, per vtrumq; extremum E,F, productas, vt in figura hìc posita, & maior quàm ipsa deducatur per calculum ex datis distantijs BF & FI, nec non mensuris AB & EF, ac denique angulis omnibus ne-

In eo si infecturatur aliquod opacū, projicit umbram nimiam, hoc est extensam magis, quam requiratur et cetera luminis diffusio.

Dopo aver praticato un foro piccolissimo AB nell'imposta di una finestra in una stanza buia, vi si lasci penetrare la luce solare quando il cielo è serenissimo. La luce si diffonde formando un cono ACDB che si può rendere visibile se si riempie l'aria di polvere o di fumo.

Si ponga all'interno di questo cono un corpo opaco EF, a grande distanza da AB e in modo tale che almeno una faccia ne venga illuminata (cfr. fig. 36). Il cono sia poi intercettato su uno schermo bianco o su un foglio di carta bianca disposta sul pavimento; in questo modo si può osservare la base luminosa CD, con l'ombra GH proiettata dal corpo opaco EF introdotto nel cono e illuminato in entrambi i suoi orli E e F. Quest'ombra però, prevista dalle leggi dell'ottica, non è definita esattamente dai punti G e H ma, a causa dell'ampiezza del foro AB, dell'estensione laterale del sole e per qualche altra causa, i limiti dell'ombra risultano un po' incerti in corrispondenza della cosiddetta penombra che presenta una gradazione sensibile, o come si usa dire una sfumatura della luce lungo il tratto IG, compreso tra l'ombra netta e la luce da una parte della base, e lungo HL dall'altra parte. Ma ciò che più sorprende è che l'ombra complessiva IL apparirà sensibilmente più grande di quello che dovrebbe essere supponendo che ogni cosa avvenga per linee rette condotte dagli estremi AB

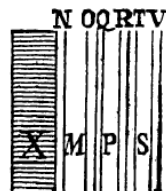
ai margini EF, come in figura, e maggiore di quella dedotta con il calcolo conoscendo le distanze BF e FI, nonché le misure di AB e EF e infine tutti gli angoli necessari

cessarijs pro solutione triangulorum in figura exhibitorum, ut nos re ipsa non semel experti sumus. Nimirum (ut hoc breviter innuamus) datis in triangulo AFE tribus lateribus colligitur Trigonometricè angulus A, cum quo in triangulo AGL præter latus AG, vel AL cum observato angulo G, deprehenditur GL. Deinde in triangulo AFB, quod sumi potest pro isoscele, datis tribus lateribus cognoscitur angulus F, eiq; conuerticalis, & æqualis angulus IFG: cum quo in triangulo IGF vna cum distantia FI, & observato angulo I, obtinetur recta IG, addenda inventæ GL, ut tandem fiat basis quaesita IL, quanta scilicet deberet esse, si lineis rectis administraretur tota luminis diffusio in cono lucido, interrupto per interpositum opacum EF. Porro quia triangula hæc valde acuta sunt, erunt quidem necessariae tabulæ ad magnum Radium extensæ, eorum tamen solutio non est impossibilis. Itaq; in figura ponamus umbram per calculum, & suppositis lineis rectis deductam ut supra, esse IL; umbram verò defacto apparentem in observatione esse MN.

9 Præterea observetur super lucidæ basis parte CM, & ND, nitidæ ac fortiter illustrata, spargi & distingui tractus ali-

recipiuntur in tabella candida, immò & quò magis hæc obliquatur radiationi Solari. Quod ratio ipsa postulat, quia pinguntur à radijs, qui sunt parconi lucidi, & magis magisq; ab invicem disiunguntur, quò longius procedunt.

11 Erit verò fortasse, qui ob defectum aduertentiæ in hac observatione, nolit agnoscere prædictas series esse series luminis, ut nos diximus; sed contendat eas dicendas potiùs series umbrarum, quia non satis aduertat colores illos subobscuros, quos diximus apparere in lateribus lucidarum serierum. Quod ut clariùs explicemus, in sequenti figura prope umbram X ab opaco, ut supra, proiectam, ac terminatam in tabella, seu folio chartæ munda, represententur tres illæ series lucidæ, singule ex tribus velut fasciis constantes. Prima & latior series sit NMO, in cuius medio sit M, fascia omnium latissima, & lucidissima, quæ nullum præfert colorem, sed continetur à duabus minoribus, & coloratis, quarum vna N, quæ prior est umbræ, cærulea est. altera verò O, rubi-

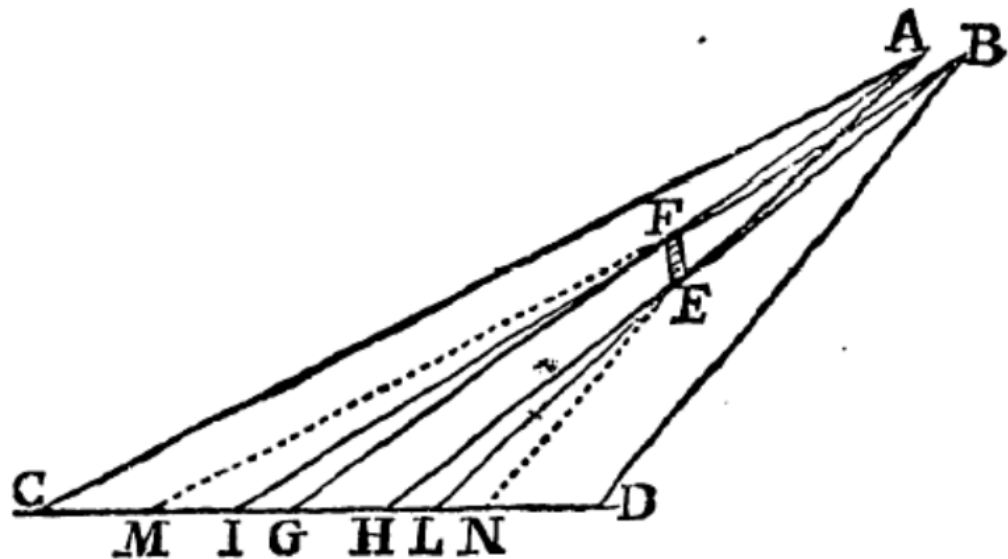


In hi pars media magis lucida quam extrema: omnes tamen ex luce constanter, non ex umbræ.

cessari alla soluzione dei triangoli mostrati in figura, come noi stessi più volte abbiamo sperimentato.¹

Per definire brevemente la questione, calcoliamo per via geometrica nel triangolo AFE l'angolo A noti i tre lati; successivamente nel triangolo AGL, noto A e il lato AG o AL, calcolato l'angolo G, determiniamo GL. Allora nel triangolo AFB, che possiamo considerare isoscele, noti i tre lati, calcoliamo l'angolo F e quindi l'angolo IFG ad esso opposto. Quest'angolo, insieme al lato FI e all'angolo I, ci permette di calcolare, nel triangolo IGF, il lato IG che sommato a GL dà la distanza cercata IL, cioè quanto essa dovrebbe essere lunga se la luce nel cono luminoso intercettato dal corpo opaco EF si propagasse per linee rette. Trattandosi di triangoli molto acuti, saranno necessarie tavole estese a grande raggio,² però la loro soluzione non è impossibile. Pertanto nella figura abbiamo riportato in IL l'ombra dedotta mediante il calcolo, supponendo che le linee fossero rette, in MN invece l'ombra effettivamente osservata. Oltre a ciò, osservando le zone MC e ND, fortemente illuminate, si vede il formarsi e il separarsi di alcuni tratti, o frange di luce colorata, tali che ognuna di esse al centro presenta una luce molto pura e chiara e ai bordi è orlata di blu verso l'ombra MN e sfuma al rosso dalla parte opposta. Queste bande brillanti apparentemente dipendono dalle dimensioni AB del foro, poichè non si osservano se esso è molto grande, tuttavia non sono causate da esso né dalla grandezza del diametro solare.

Si può ancora osservare per le bande colorate che si estendono da M a C (e lo stesso si può dire per quelle da N a D) che la prima è più larga della seconda e la seconda è più larga della terza (non è mai accaduto che se ne osservassero più di tre).

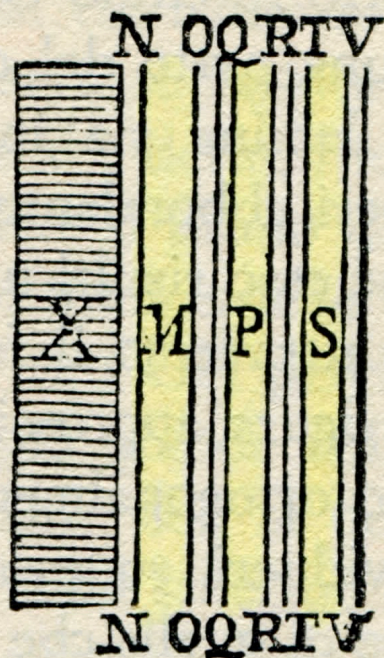


cessarijs pro solutione triangulorum in figura exhibitorum, ut nos re ipsa non semel experti sumus. Nimirum (ut hoc breuiter innuamus) datis in triangulo AFE tribus lateribus colligitur Trigonometricè angulus A, cum quo in triangulo AGL præter latus AG, vel AL cum obseruato angulo G, deprehenditur GL. Deinde in triangulo AFB, quod sumi potest pro isoscele, datis tribus lateribus cognoscitur angulus F, eiq; conuerticalis, & æqualis angulus IFG: cum quo in triangulo IGF vnâ cum distantia FI, & obseruato angulo I, obtinetur recta IG, addenda inuenta GL, ut tandem fiat basis quaesita IL, quanta scilicet deberet esse, si lineis rectis administraretur tota luminis diffusio in cono lucido, interrupto per interpositum opacum EF. Porro quia triangula hæc valde acuta sunt, erunt quidem necessariae tabulæ ad magnum Radium extensæ, eo-

recipiuntur in tabella candida, immò & quò magis hæc obliquatur radiationi Solari. Quod ratio ipsa postulat, quia pinguntur à radijs, qui sunt parsconi lucidi, & magis magisq; ab inuicem disiunguntur, quò longius procedunt.

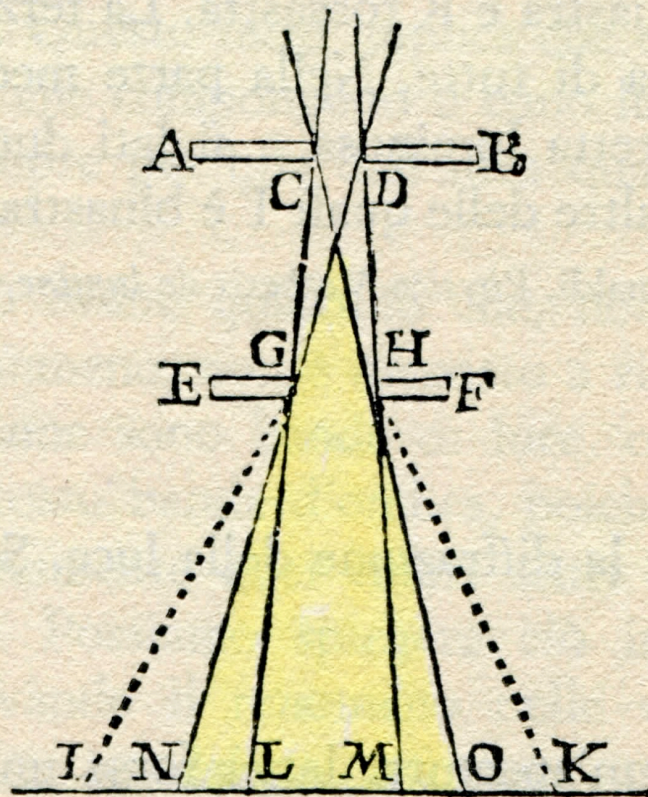
II Erit verò fortasse, qui ob defectum aduertentiæ in hac obseruatione, nolit agnoscere prædictas series esse series luminis, ut nos diximus; sed contendat eas dicendas potiùs series vmbrarum, quia non satis aduertat colores illos subobscuros, quos diximus apparere in lateribus lucidarum serierum. Quod ut clariùs explicemus, in sequenti figura prope vmbram X ab opaco, ut supra, proiectam, ac terminatam in tabella, seu folio chartæ munda, represententur tres illæ series lucidæ, singule ex tribus velut fasciis constantes. Prima & latior series sit NMO, in cuius medio sit M, fascia

In his pars
media magis
ap
m
en
is
en



Esse diminuiscono in intensità di luce e di colore nello stesso ordine in cui si allontanano dall'ombra. In più, le singole bande sono più larghe e ulteriormente spostate quanto più lo schermo bianco su cui sono intercettate è lontano dall'ostacolo opaco che proietta l'ombra e quanto più esso è posto obliquamente rispetto alla radiazione solare. Questo fatto implica che esse sono prodotte dai raggi che compongono il cono luminoso e che si separano sempre più una dall'altra quanto più si allontanano.

Forse ci può essere qualcuno che, non avendo mai osservato il fenomeno, non è disposto a riconoscere che le bande in esame sono bande di luce, come abbiamo detto, ma piuttosto bande d'ombra, poiché egli non ha osservato attentamente quei colori scuri che orlano le bande di luce. Possiamo spiegare ciò in figura (cfr. fig. 37); osservando il fenomeno nelle vicinanze dell'ombra X, proiettata dal corpo opaco su uno schermo o su un foglio di carta bianca, si osservano tre frange luminose, ciascuna composta da tre strisce. La prima banda più larga è NMO nel mezzo della quale M è la striscia più lunga e brillante, incolore e orlata da due strisce più strette colorate, N bluastra e O rossastra. La seconda frangia QPR è più stretta della prima, in P è incolore e ai bordi mostra due strisce colorate ma non brillanti, Q bluastra e R rossastra. La terza frangia TSV è la più stretta di tutte. Nella parte mediana presenta una striscia stretta luminosa e ai lati due strisce meno colorate delle altre delle quali T è bluastra e V rossastra.



Secondo esperimento

Si pratici un'apertura, larga forse un dito, nell'imposta di una finestra in una stanza buia, e in quest'apertura si ponga una sottile lamina opaca AB che presenti un forellino molto piccolo CD, attraverso il quale possa filtrare luce solare in modo da formare un cono luminoso (cfr. fig. 38). A grande distanza dalla lamina AB si ponga un'altra lamina EF perpendicolare al cono. In essa si pratici un altro forellino GH, attraverso il quale sia fatta passare una parte del cono interrotto dalla lamina EF. Questa lamina sia inserita in modo che la base del cono superi abbondantemente le dimensioni del foro GH, cosicché esso risulti tutto illuminato. Allora la luce che entra attraverso il foro GH formerà ancora un cono o una figura approssimativamente conica. Se esso è intercettato ortogonalmente da una superficie bianca liscia si individuerà su essa una base illuminata IK molto maggiore di quella che i raggi formerebbero nel caso di propagazione rettilinea attraverso i fori, e questo prendendo in considerazione non solo i raggi CGL e DHM, ma anche DGN e CHO. Questo si verifica ogni volta che si esegue l'esperimento, osservando la superficie effettiva della base luminosa IK e dedu-

ramen hoc totum illustretur, seu lumine compleatur. Rursus ergo hoc ipsum luminis, quod ingreditur secundum foramen GH, formabitur, seu procedet formatum in conum, vel quasi conum, qui sectus orthogonaliter, ac terminatus ab aliquo plano mundo, & candido, exhibebit in illo suam basem lucidam IK notabiliter maiorem, quam ferant radij per utrumque foramen recta transmissi, & non solum transeuntes per extrema foraminum ad easdem partes spectantia, ut sunt radij CGL, & DHM; sed etiam ad partes contrarias, ut sunt radij DGN, & CHO.

Id vero constitit manifestè repetito saepius experimento, observando nimirum quantitas de facto esset basis IK apparens, & deduc-

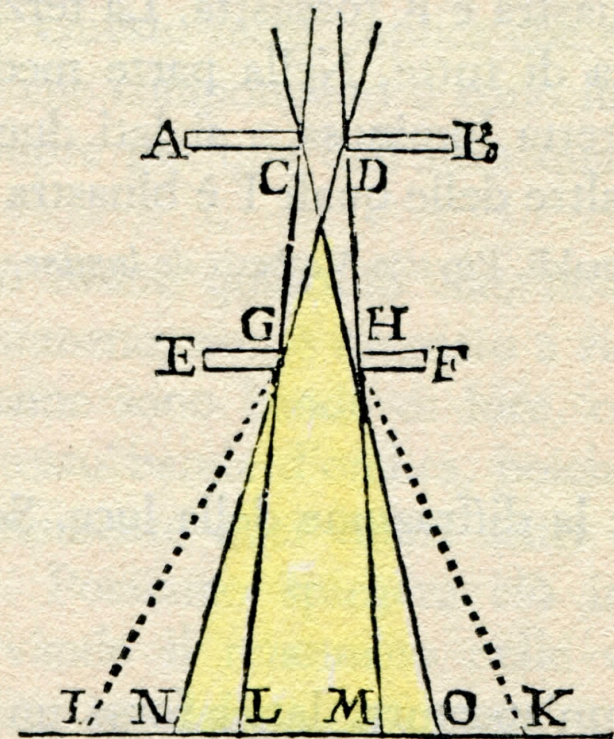
quodammodo id
certò d'pre-
hendatur

deducendo per calculum quanta debuisset esse basis NO, à radijs directis, & inter duo foramina decussatis terminata. Calculi autem ratio evidens æquæ, ac facilis fuit. Diuisa namq; Romani pedis antiqui (quo vti consueuimus) vncia in particulas æquales 300. & in illis cognita, tū foraminis vtriusq; diametro GH, & CD, tū distantia vtriusq; DG (quæ ad sensum æquatur distantia CG) & GN, quæ item ad sensum æquatur distantia GL; facile fuit cognoscere in triangulo CDG angulum CGD, adeoq; & illi conuerticalem NGL, & consequenter etiam NL in triangulo GLN, in quo dantur latera, & angulus G ab ijs comprehensus. Deniq; recta LO statim acquisita fuit, faciendū vt CG ad GH, ita CL compositam ex duabus datis, ad LO per 4. 6. Euclidis. Igitur iunctis in vnam NL, & LO, paruit tota NO, quæ inquirebatur, & semper inuenta est valde minor, quàm obseruata IK.

26 Vt experimentum rectè succedat, requiritur lumen Solis validum, quia vtdictum est, foramina debent esse arcta, præsertim primum CD, ac præterea debet planum candidum, in quo excipitur basis IK, distare multum à foramine GH, alioquin ea, vel nihil, vel parum excedit basim NO per calculum deductam. Nos adhibuimus plerumq; CD quatuor, vel quinque particularum, qualium vnica Pedis Romani antiqui est 300. & GH talium partium 25. aut 30. Distantias verò DG, & GN talium pedum saltem 12. & obseruatio in æstate, ac serenissimo caelo facta circa meridiem evidens semper fuit, tanto excessu obseruatæ basis IK supra deductam NO, vt frustra sit formidare de periculo deceptionis, vel de subtilitate inutili spera, dum in figura præcedenti triangula CGD, & NGL assumpta fuere tanquam isoscelia.

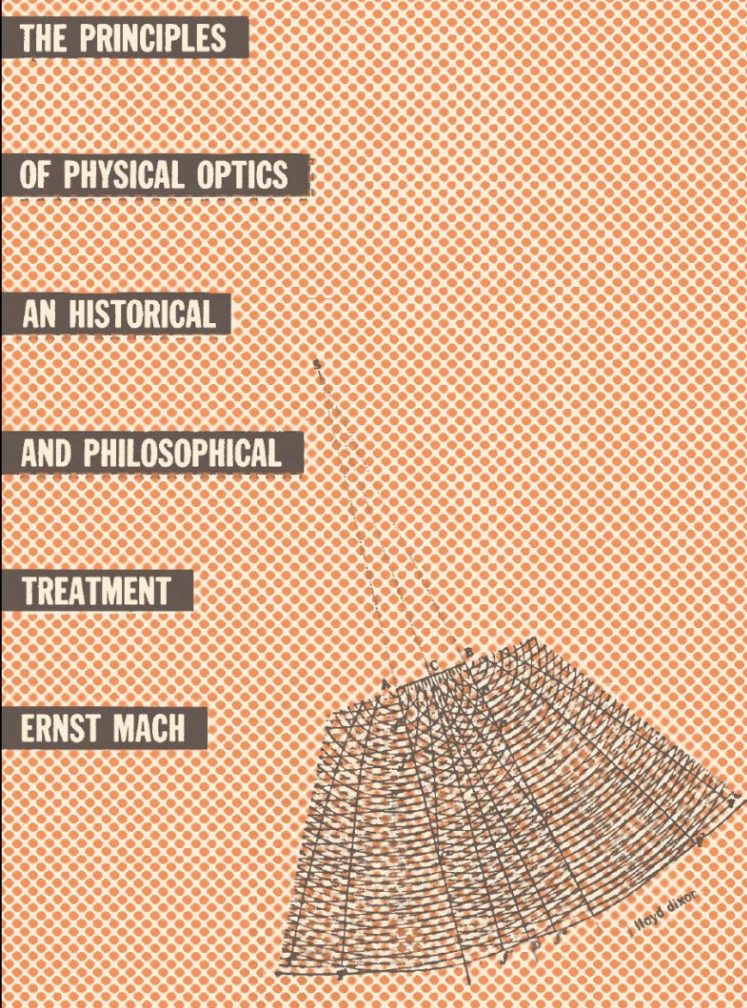
Denique omittendum non est lucidam basim IK in sui medio apparere perfusam toto lumine, & in extremo ambitu eius lumen colorari colore partim rubeo, partim ac potissimum caruleo.

cendo per mezzo del calcolo quale sarebbe dovuta essere la base NO, delimitata dai raggi propagatisi direttamente e incrociatisi tra i due fori. [...] Perché il fenomeno si possa osservare la luce del sole deve essere intensa, poichè come si è detto, i fori devono essere piccolissimi, in particolare il primo CD, e quindi la superficie bianca su cui si intercetta la base IK, deve essere a gran distanza dal foro GH perché altrimenti essa risulta nulla o poco più grande della base NO derivata dal calcolo. [...] Infine non si deve tralasciare che la base IK intercettata sullo schermo bianco risulta soffusa al centro di luce bianca e orlata ad ogni estremità in parte di rosso, in parte di blu.



Expositio pro
hoc Experimento.

Ex mensura
adhibita.



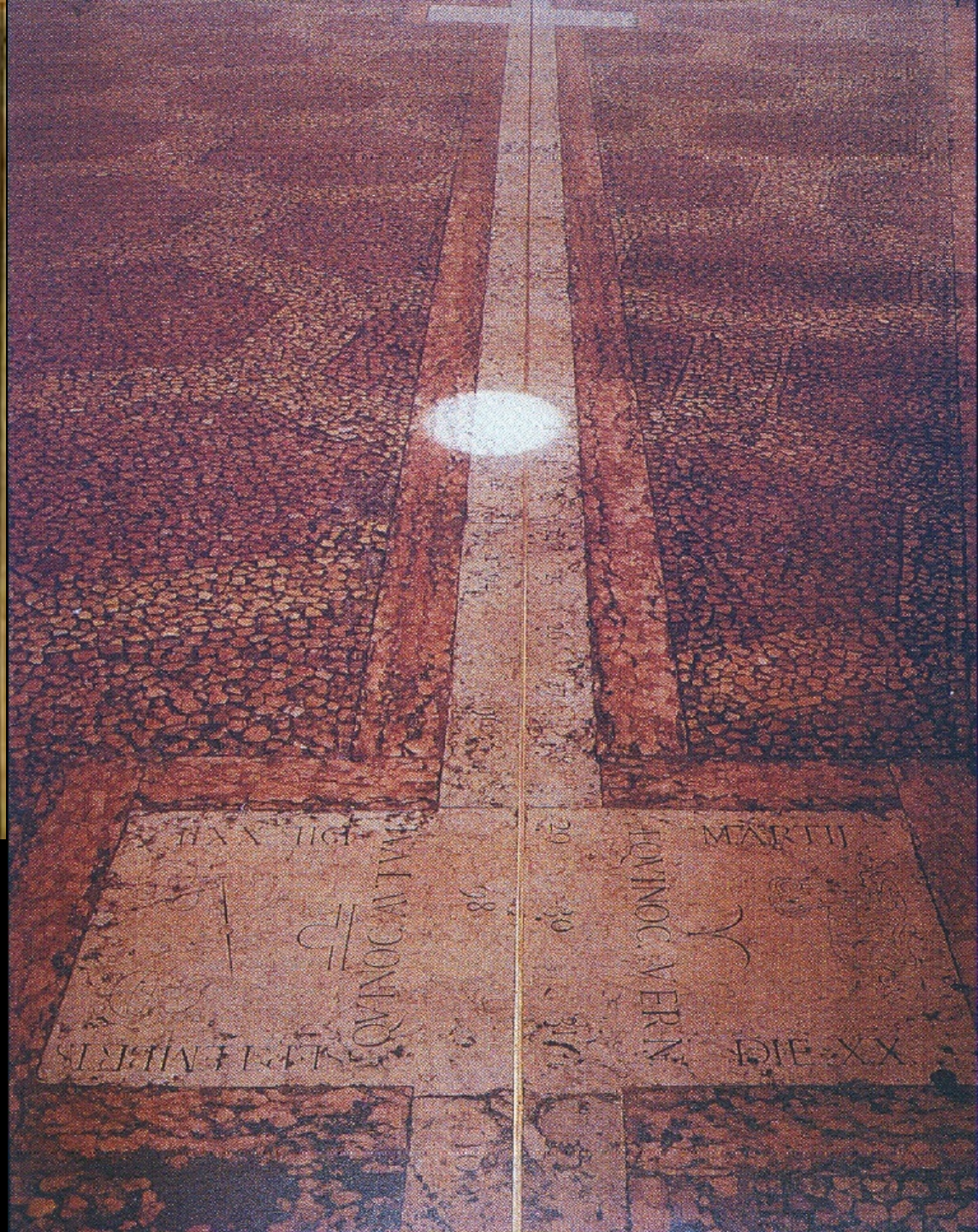
CHAPTER VIII

PERIODICITY

THE periodic nature of light was first suspected from the work of Grimaldi * (1613-1663). He was the first to make careful experiments with prisms, and to render a much clearer interpretation of the observations possible by working in the dark and admitting the light through small apertures. His real work, however, was the discovery of diffraction phenomena, which he observed with accuracy, and whose essential details he recorded with such fidelity that the subject could no longer remain in obscurity.



Francesco Maria Grimaldi
(1618 - 1663)



L A
MERIDIANA
DEL TEMPIO
DI S. PETRONIO

Tirata, e preparata per le Osservazioni Astronomiche
l'Anno 1655.

Rivista, e restaurata l'Anno 1695.

DI GIO: DOMENICO CASSINI

Astronomo Primario dello Studio di Bologna
Matematico Pontificio

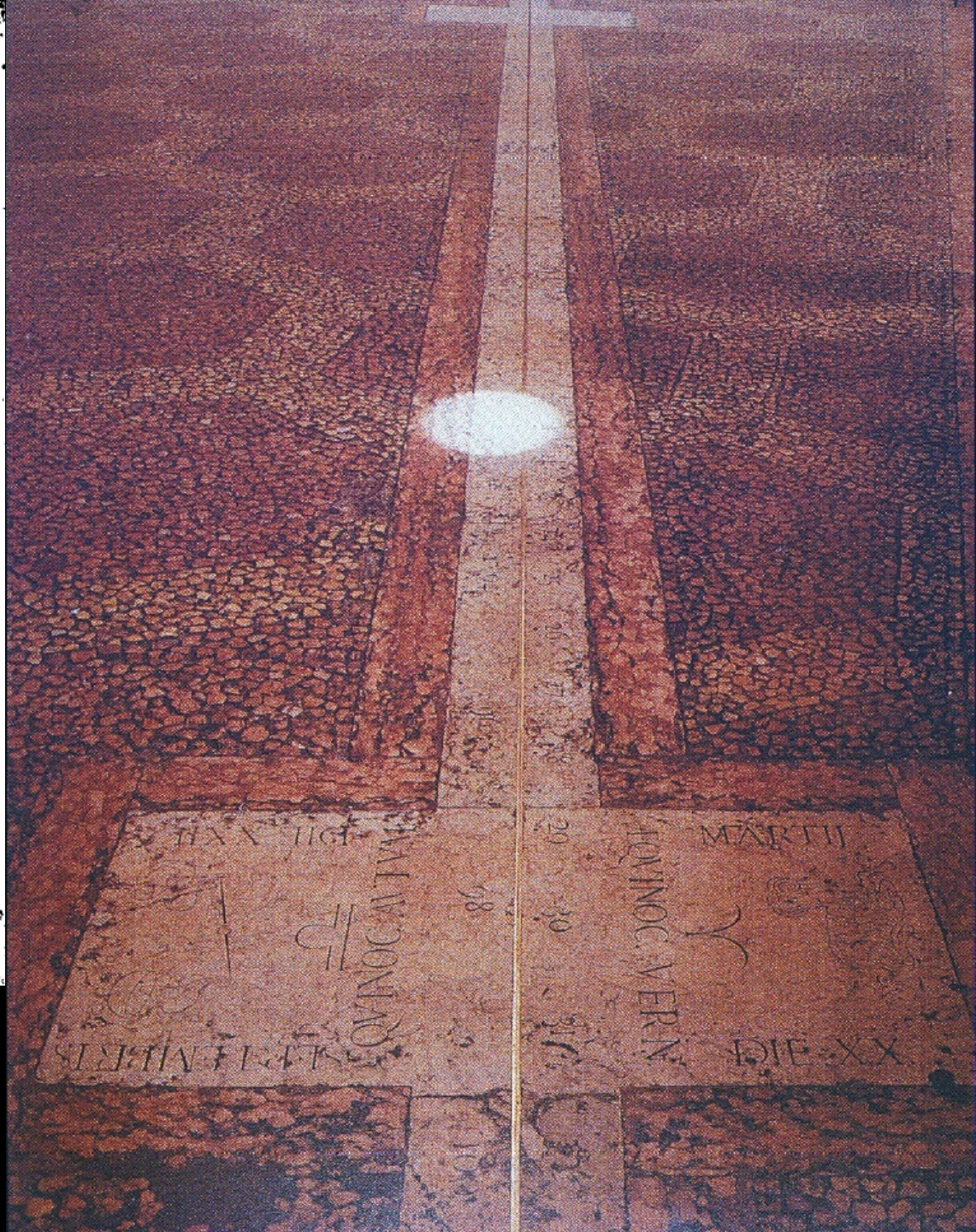
e
dell'Accademia Reggia delle Scienze.



IN BOLOGNA, M. DC. XCV.

Per l'Erede di Vittorio Benacci.

Con licenza de' Superiori.



L A
MERIDIANA
DEL TEMPIO
DI S. PETRONIO

Tirata, e preparata per le Osservazioni Astronomiche
l'Anno 1655.

Rinista, e restaurata l'Anno 1695.

DI GIO: DOMENICO CASSINI

Astronomo Primario dello Studio di Bologna
Matematico Pontificio

e
dell'Accademia Reggia delle Scienze.



IN BOLOGNA, M. DC. XCV.

Per l'Erede di Vittorio Benacci.

Con licenza de' Superiori.

Giovanni Cassini (1625-1712)

Cassini ha studiato presso il collegio dei Gesuiti a Genova e quindi nell'abbazia di San Fruttuoso.

Nel 1650, divenne professore di Astronomia presso l'Universita' di Bologna.

Oltre che astronomo, Cassini fu anche esperto di Idraulica e ingegnere. Fu successivamente impiegato dal Papa come soprintendente alle fortificazioni e come magistrato del Po.

Nel 1669, il Senato di Bologna gli concesse l'approvazione per un viaggio a Parigi su invito di Luigi XIV, pensando ad un breve viaggio; ma Cassini non rientrò più in Italia.

Divenne Direttore dell'Osservatorio di Parigi nel 1671 e l'anno successivo divenne Cittadino Francese.

John L. Heilbron

Astronomie et églises



Astronomie et églises

Au XVII^e siècle, les quatre plus prestigieux observatoires solaires du monde occidental étaient... des églises ! John L. Heilbron, historien des sciences de renom, nous propose de découvrir ces curieux monuments à vocation astronomique, qui servaient entre autres choses à établir le calendrier.

Rome, Bologne, Florence, Marseille ou Paris (à Saint-Sulpice) furent en effet équipées de méridiennes, principalement pour déterminer le jour de Pâques. On mesurait à cet effet le temps que mettait le Soleil de midi pour revenir illuminer un même point sur la ligne.

Avec la bénédiction et l'argent du clergé, Giandomenico Cassini et son fils Jacques, Pierre Gassendi et bien d'autres, calculèrent (longtemps), puis firent percer le toit des églises et niveler leur sol avec une minutie extrême, avant de tracer ces fameuses lignes de laiton. Paradoxalement, la précision des données récoltées contribua à valider la théorie héliocentrique, qui avait failli mener Galilée au bûcher en 1632 comme Giordano Bruno trente ans plus tôt.

Une enquête inédite, qui témoigne, parallèlement aux persécutions que menait l'Inquisition, du soutien apporté par l'Église catholique romaine à l'astronomie pendant plus de six siècles.

John L. Heilbron a obtenu la prestigieuse médaille *George Sarton* d'histoire des sciences en 1993. Peu après sa sortie en 1999, *Astronomie et églises* fut cité comme « notable book of the year » par le *New York Times*, et récompensé par le prix *Pfizer* en 2001.

*“The Sun in the Church:
Cathedrals as Solar
Observatories”*

J.L. Heilbron

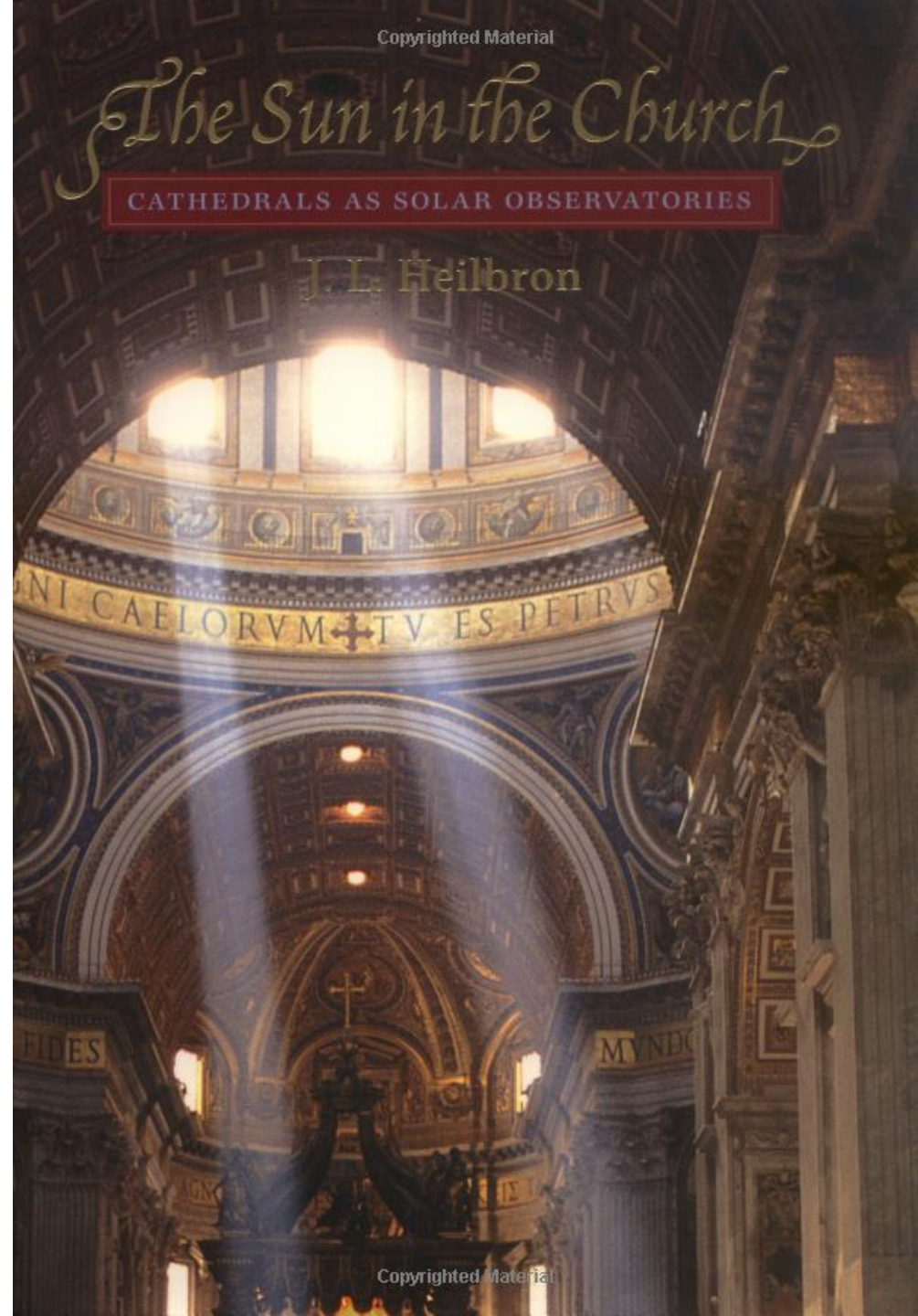


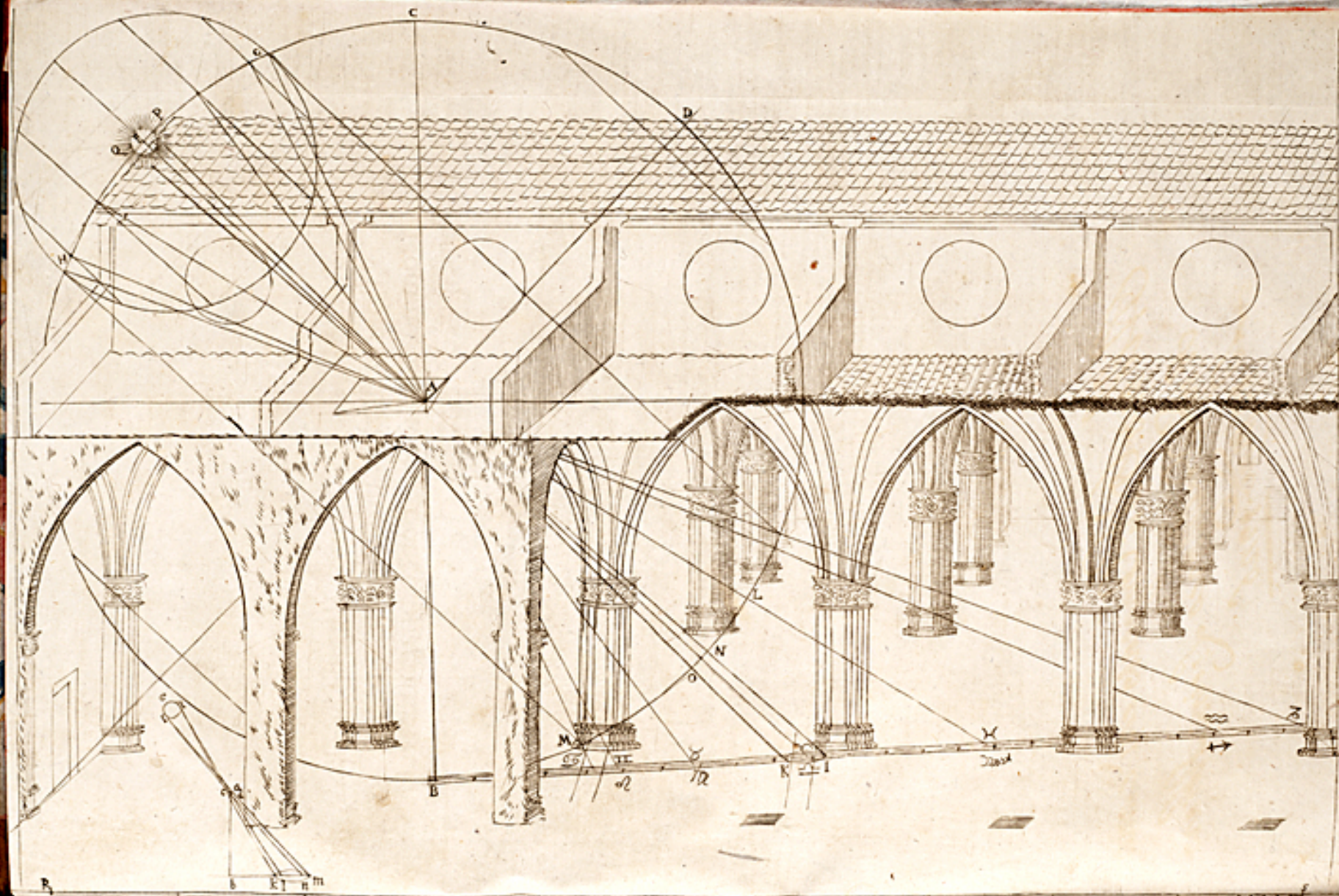
J. L. Heilbron,

*Professor of History and the Vice
Chancellor at the University of
California at Berkeley.*

*Senior Research Fellow at
Worcester College, Oxford.*

*He was awarded the George Sarton
Medal by the History of Science
Society in 1993 for his contributions
to the field.*





OBSERVATIONES
MERIDIANÆ SOLIS

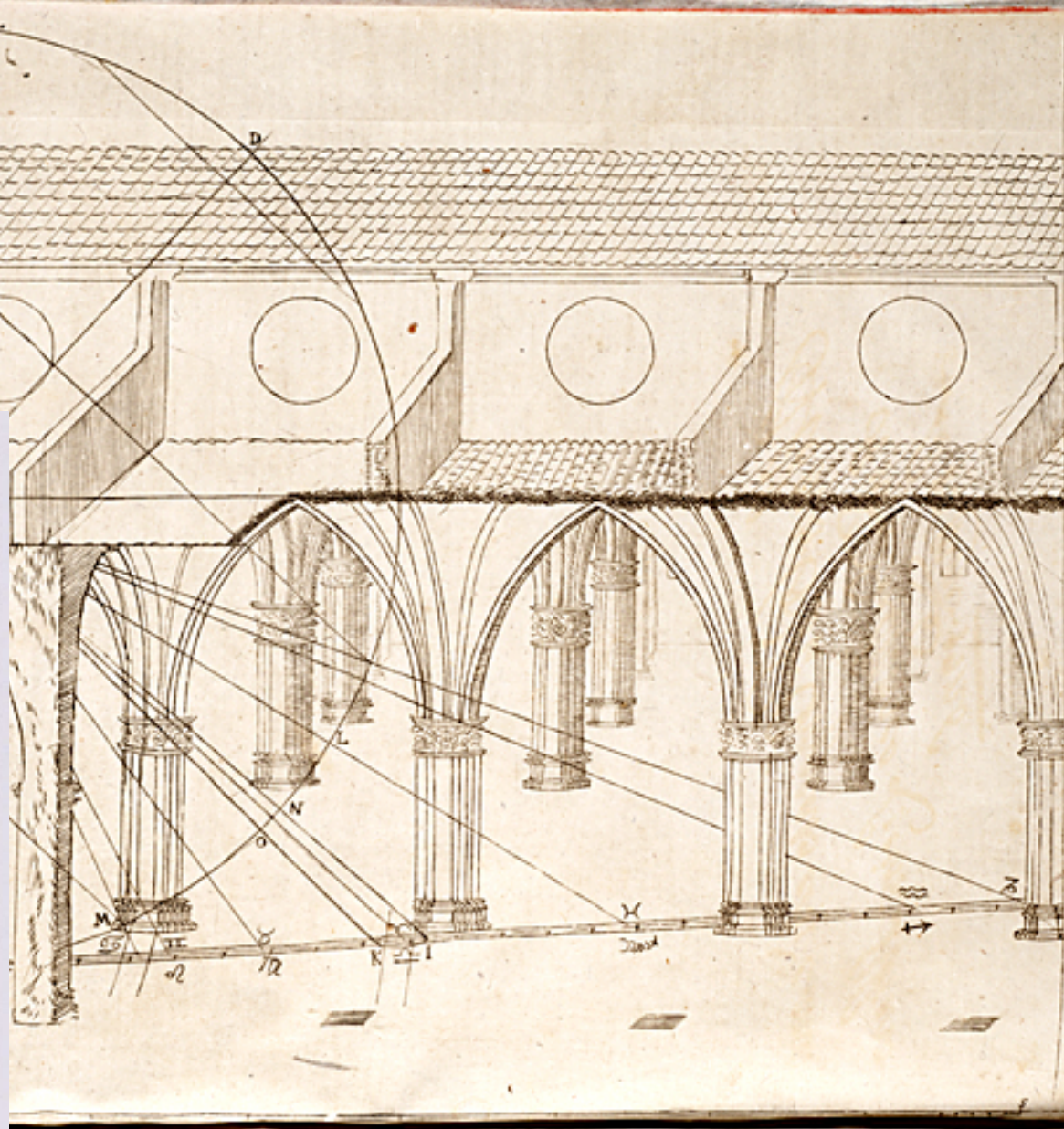
Habita ad gnomonem Bononiensem
IN ADE DIVI PETRONII

EX ANNO MDCLV
IN ANNUM MDCCXXV.



Qui hinc observationibus ad inveniendos Solares calculos uti voluerit
consuletur quæ de constructione sunt, ut correctionibus identidem
illis adhibendis capite XXI docemur.

De longitudine vero Bononiæ ad Divi Petronii ea pertinet
quæ capite XVI, de obliquitate eclipticæ quæ capite
XV tradidimus.





LINEA MERIDIANA
CONSTRUCTA ANNO MDCLVI
AMPLIORI FORMA RENOVATA
ANNO MDCCCLXXVI

PERPETUUM
HORA ET
ITALIA
CI

SOLSTITIVM HYBERNVN
DECEMBRIS DIE XXI.

250

248

246

II





SOLSTITIVM HYBERNVN
DECEMBRIS DIE XXI

250

248

246

II

SOLSTITIVM HYBERNVN
DECEMBRIS DIE XXI

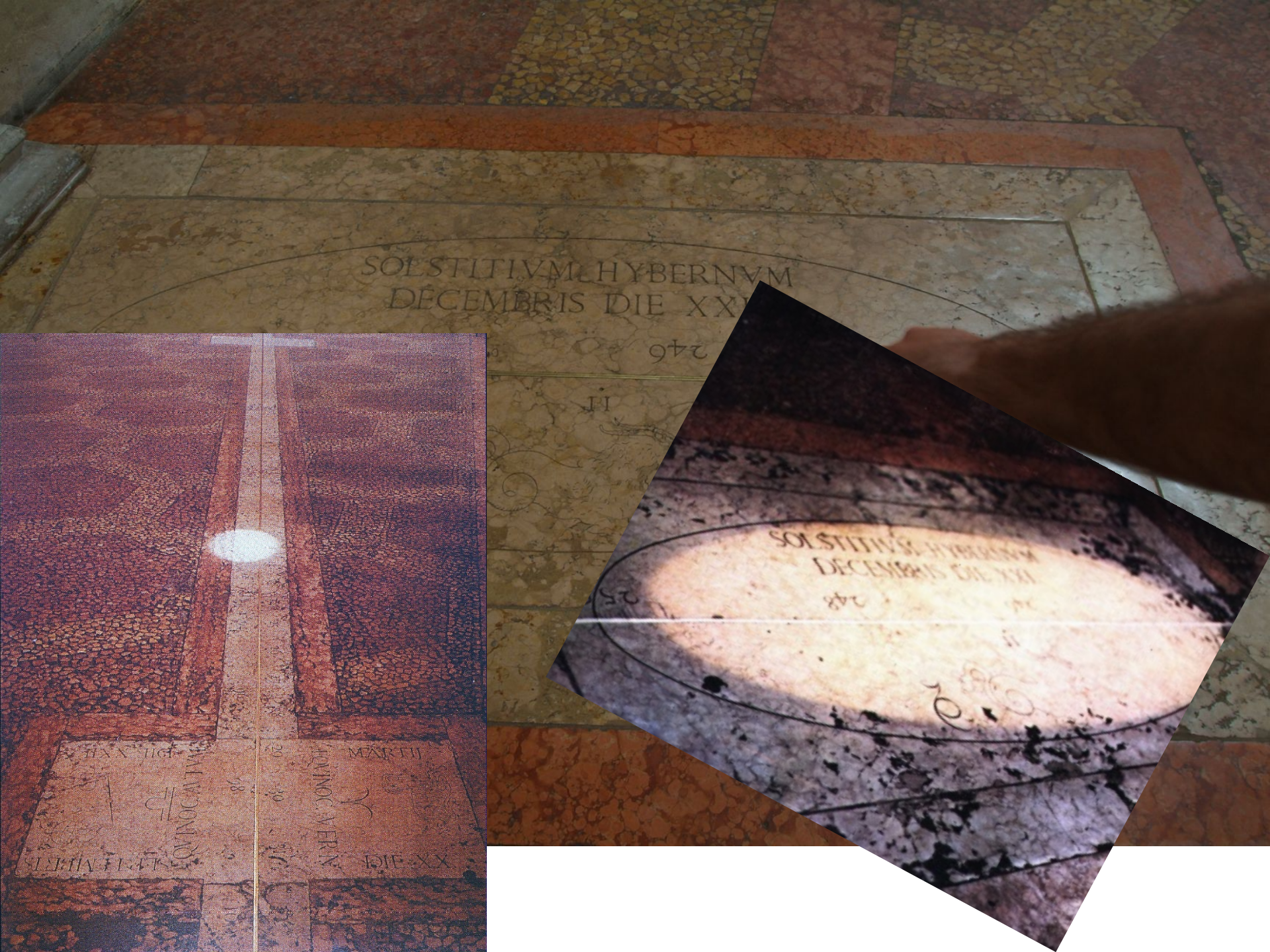
250

248

246

II

250



SOLSTITIVM HYBERNVN
DECEMBRIS DIE XXI

246

II

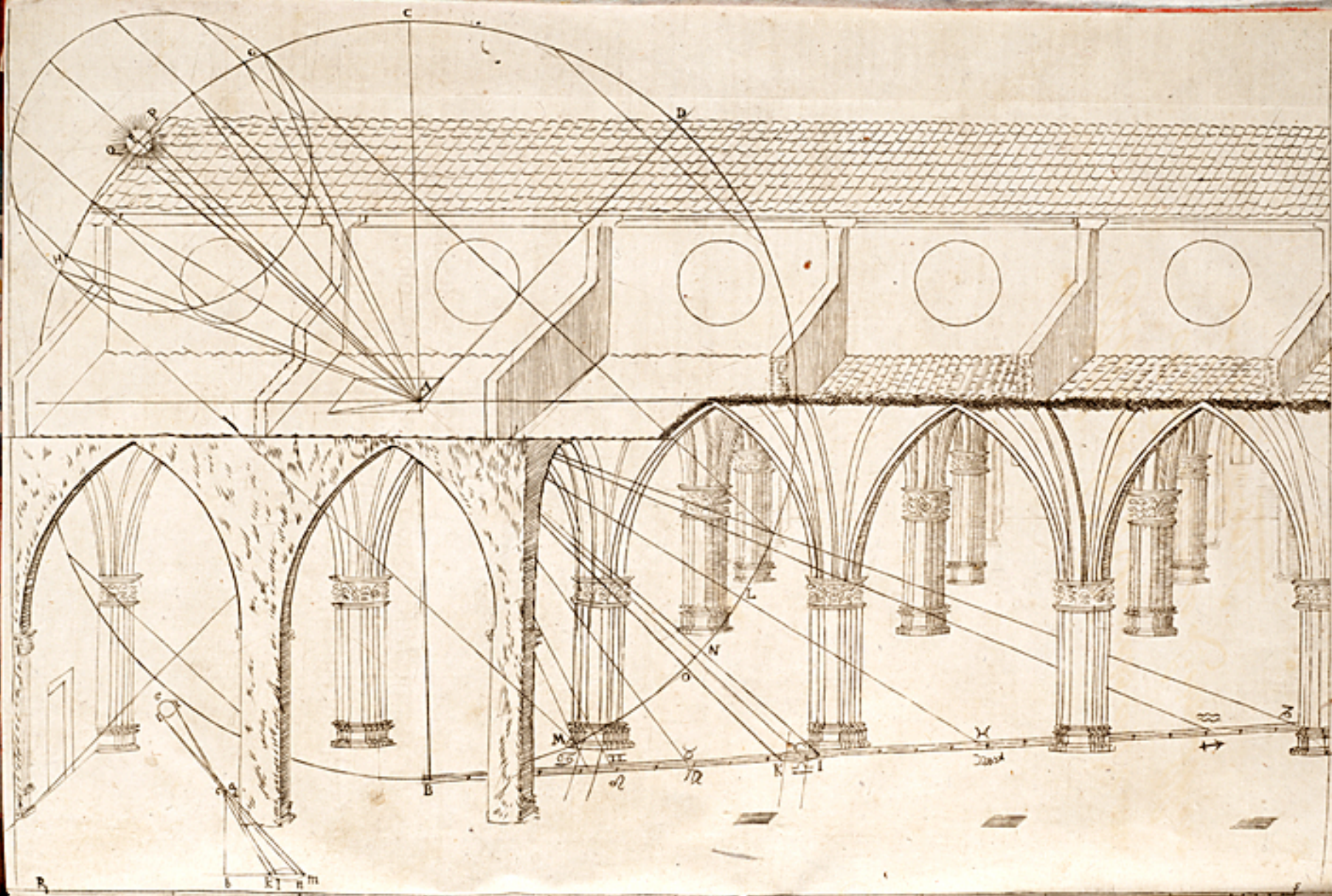
SOLSTITIVM HYBERNVN
DECEMBRIS DIE XXI

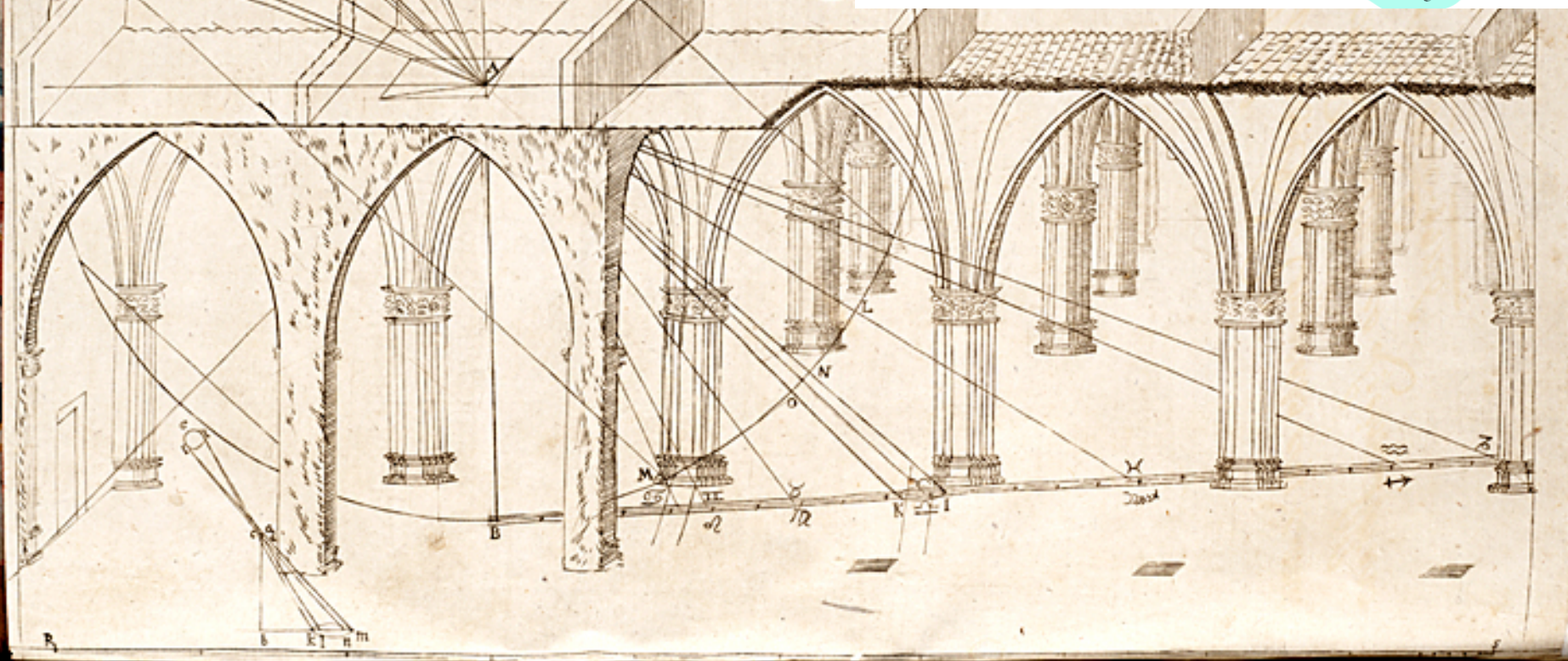
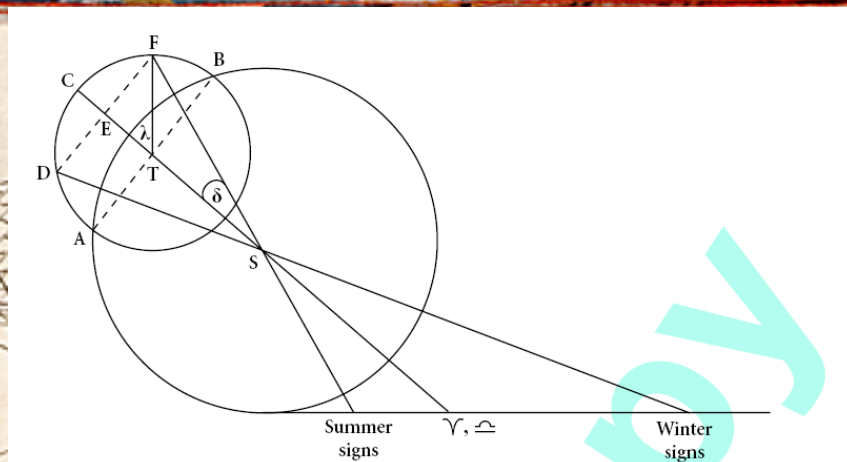
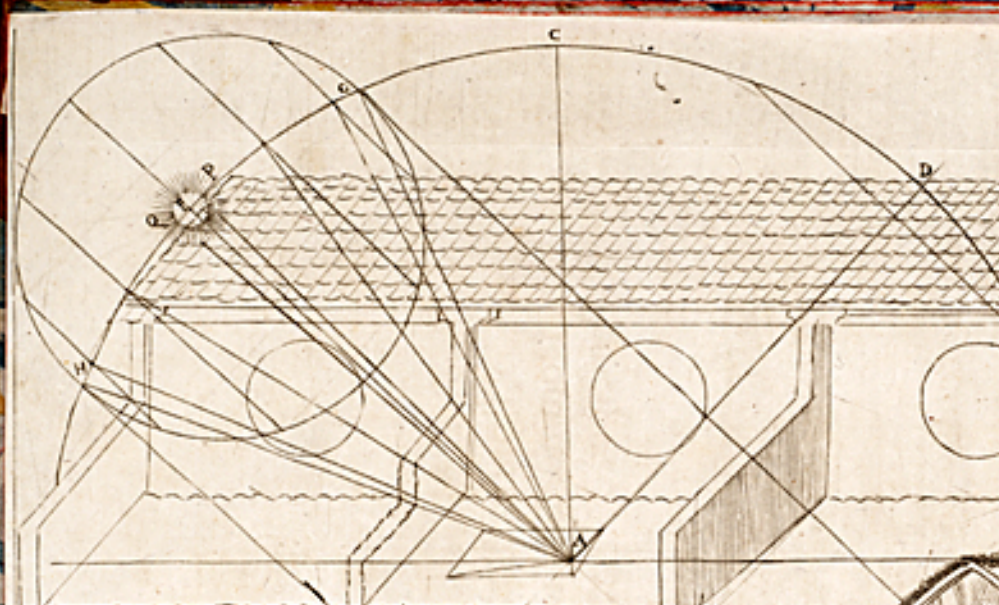
248

25

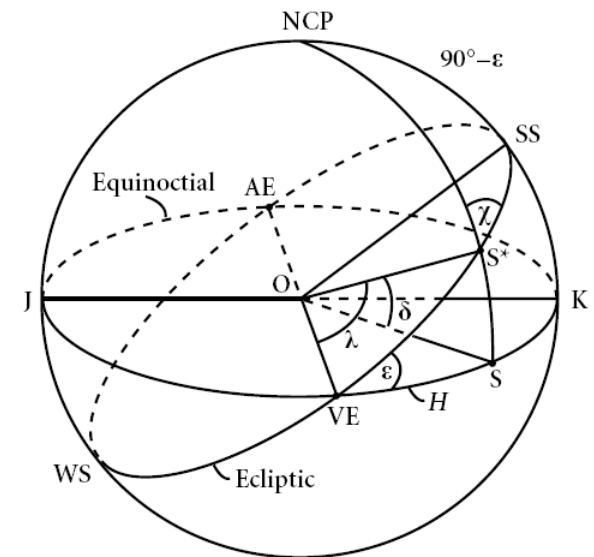
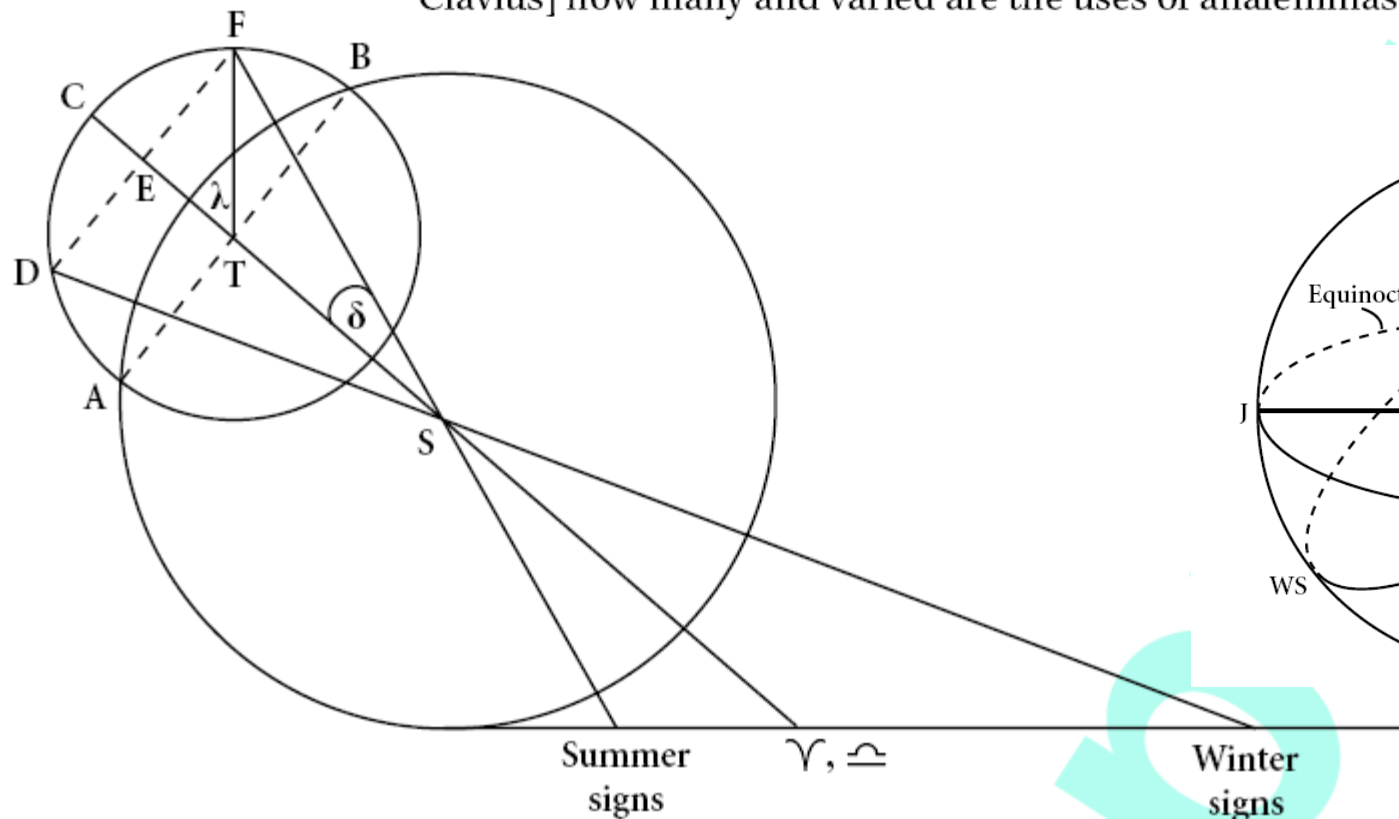
246

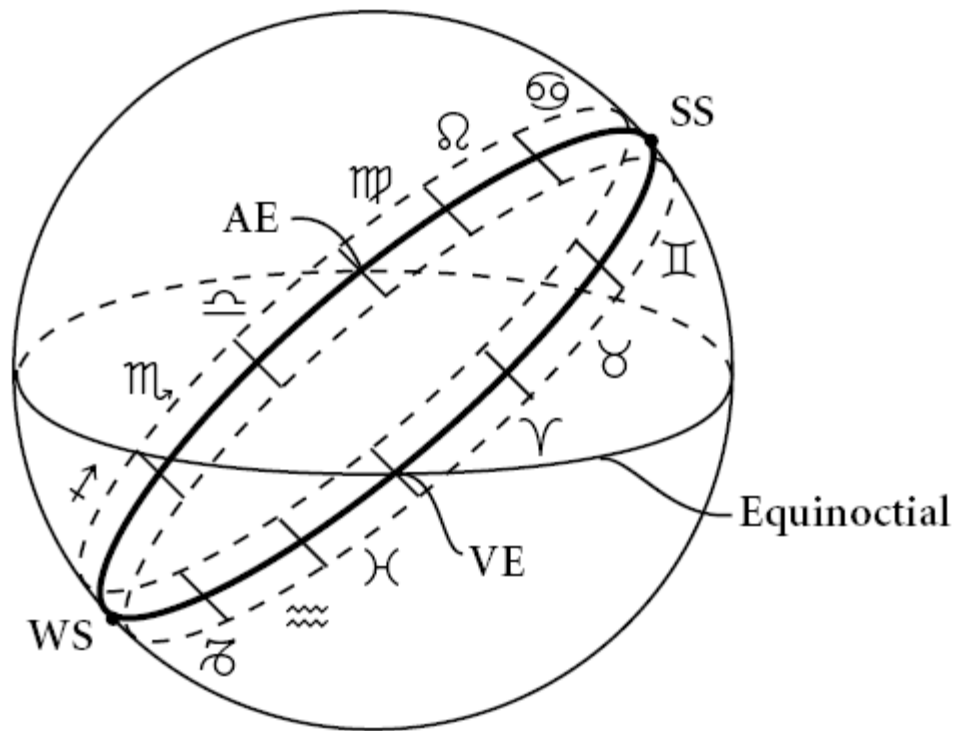
IN X. DIE
EQUINOCTIVM
MARTII
EQUINOCTIVM
DECEMBRIS
DIE XXI



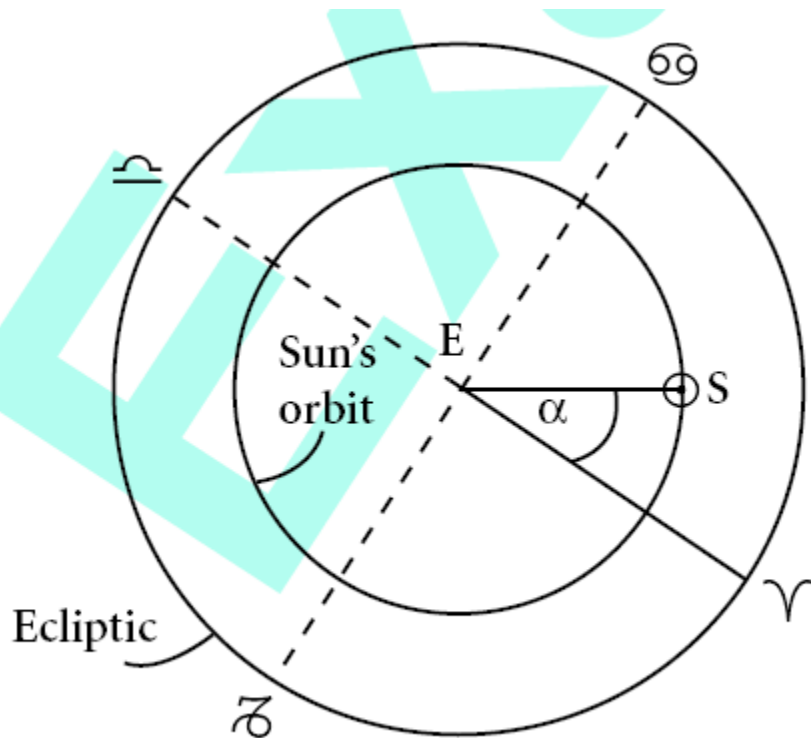


The larger circle centered on S cuts the smaller centered on T so that the chord AB of the one is a diameter of the other. Let F be any point on the small circle and CTS the noon ray at an equinox. Write λ for $\angle CTF$, δ for $\angle CSF$, and r, R for the radii of the smaller and larger circles, respectively. Then, if DF is a chord parallel to AB, $EF = R \sin \delta = r \sin \lambda$, or $\sin \delta = (r/R) \sin \lambda$. Now if you make $r/R = \sin \epsilon$ and take δ to be the sun's declination, $\sin \lambda = \sin \delta / \sin \epsilon$, from which it appears that λ is nothing other than the ecliptic longitude. For in the spherical triangle S*S·VE in Figure 8.4, $\sin \lambda / \sin 90^\circ = \sin \delta / \sin \epsilon$. The positions of the plaques are found by increasing λ by increments of 30° , the length of a zodiacal sign. The trick is old; Vitruvius used it in his account of sundials. And impressive. "It is incredible [says Clavius] how many and varied are the uses of analemmas in astronomy."³

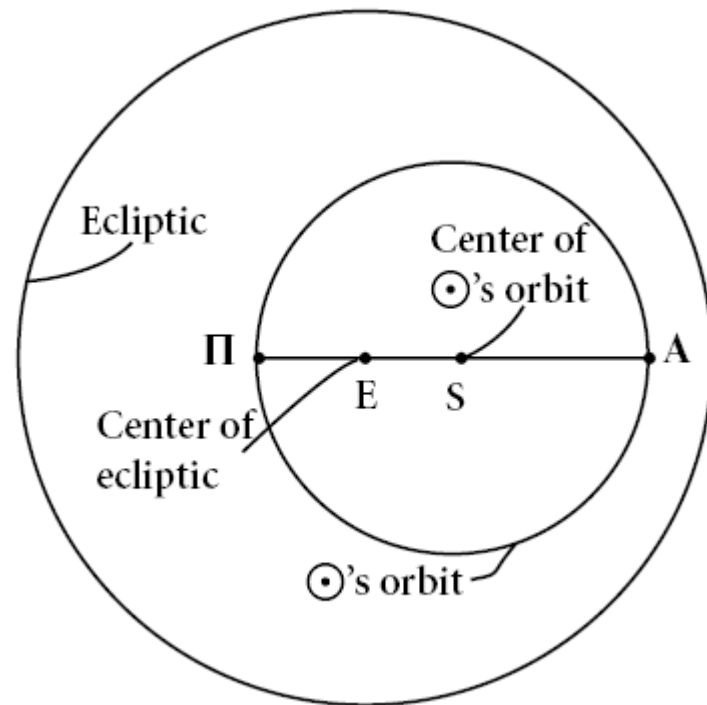




♈	Aries, the ram	♎	Libra, the balance
♉	Taurus, the bull	♏	Scorpio, the scorpion
♊	Gemini, the twins	♐	Sagittarius, the archer
♋	Cancer, the crab	♑	Capricornus, the goat
♌	Leo, the lion	♒	Aquarius, the water bearer
♍	Virgo, the maiden	♓	Pisces, the fish

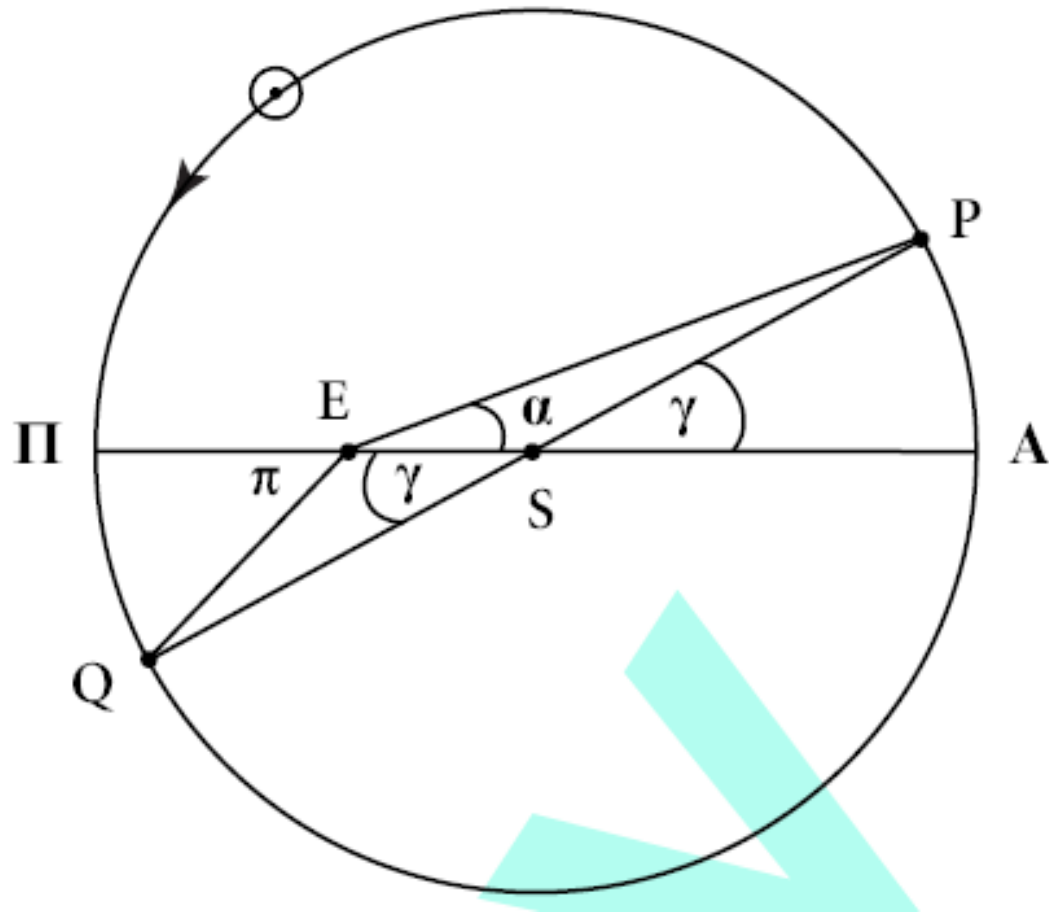


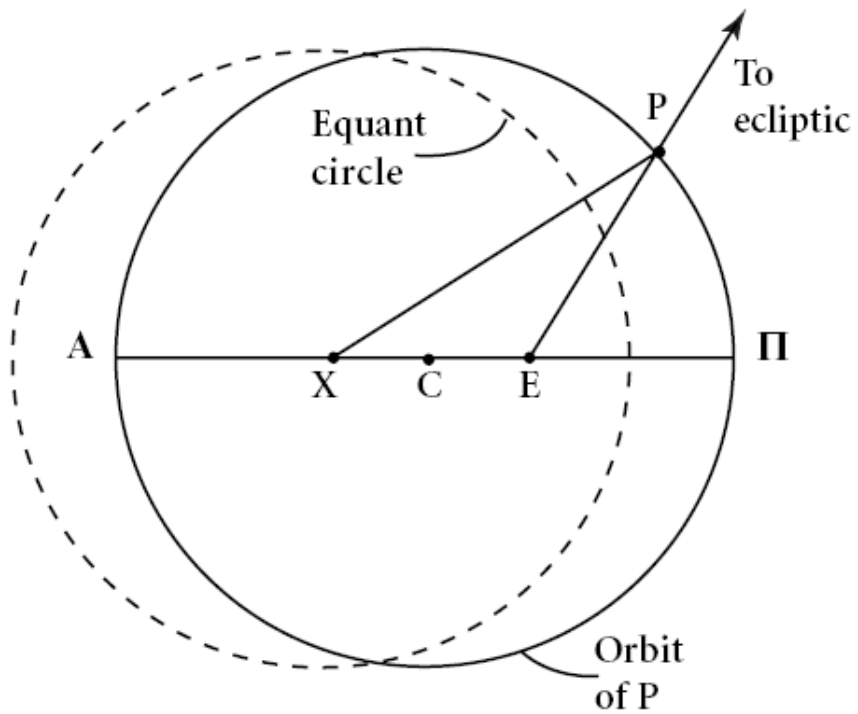
*Orbita annuale del sole
concentrica con l'eclittica*



*Versione più realistica con
orbita eccentrica*

Velocità apparente del sole all' apogeo e al perigeo

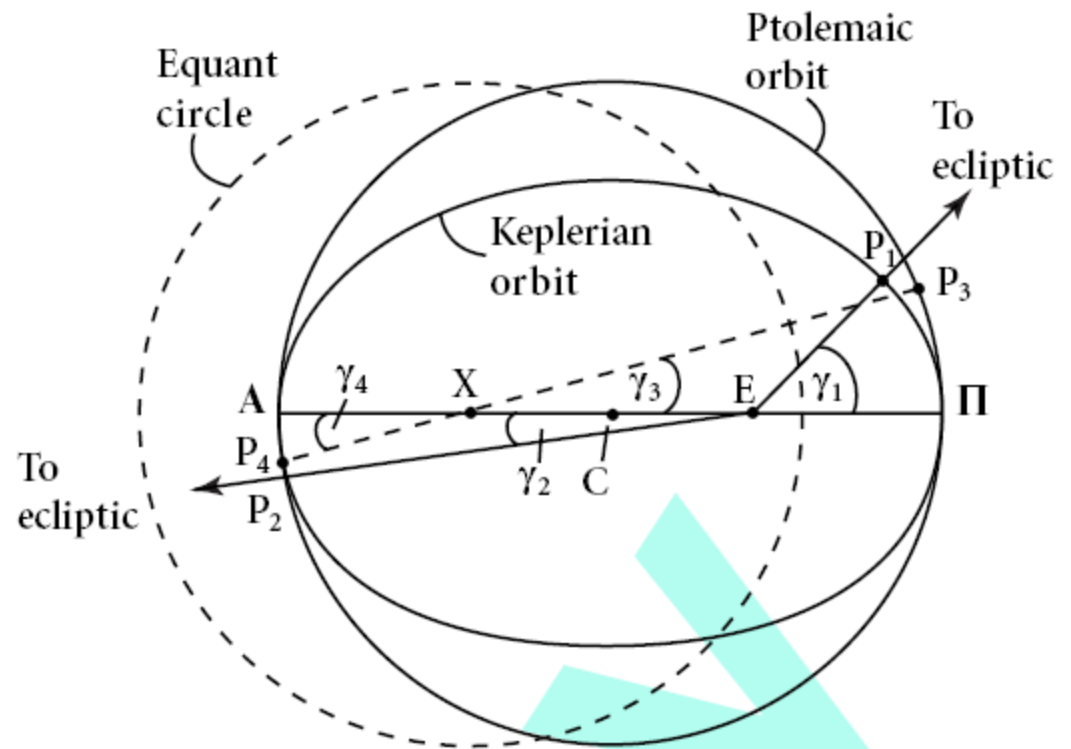


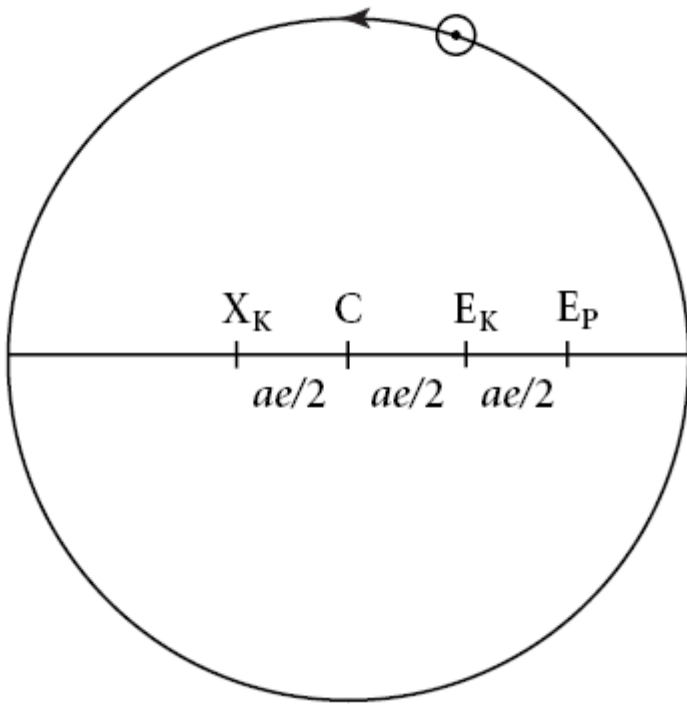


*Tolomeo:
eccentrico con equante,
eccentricità dimezzata*

$$XC = CE = ae/2$$

*Confronto con l'ellissi di
Keplero*





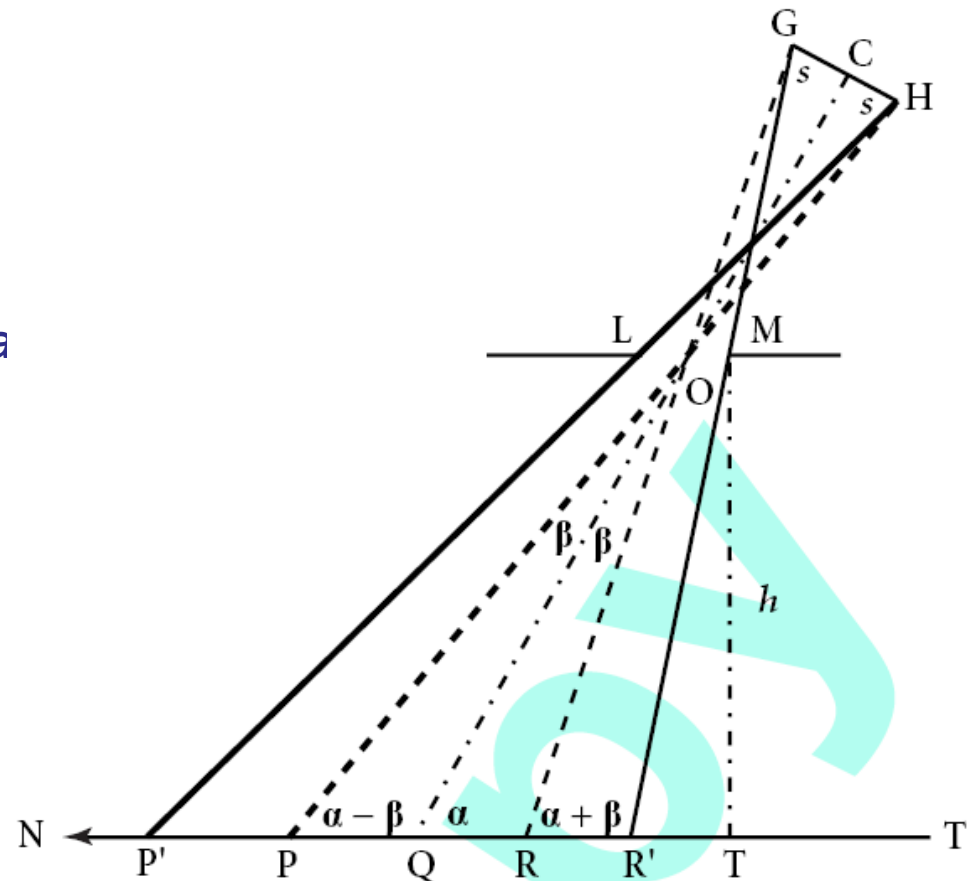
Differenza tra le distanze all'apogeo e al perigeo

$$a(1 + e) - a(1 - e) = 2ae$$

Secondo la teoria eccentrica o prospettica

$$a(1 + e/2) - a(1 - e/2) = ae$$

Secondo la teoria dell'equante con eccentricita' dimezzata



Differenza tra i diametri angolari delle immagini del sole sul pavimento di San Petronio all'apogeo e al perigeo

Secondo la teoria eccentrica o prospettica:

$$2(\beta_{\Pi} - \beta_A) \text{ is } (2s/a)[(1 - e)^{-1} - (1 + e)^{-1}] \approx 4se/a$$

*Secondo la teoria dell'equante con eccentricita' dimezzata (Keplero):
la meta'*

$2s/a = \sigma = 30'$ *Angolo medio sotteso dal sole visto dalla terra*

Kepler, $e = 0.036$ 

$$2(\beta_{\Pi} - \beta_A) = e\sigma = 1'$$

Keplero

$$2e\sigma = 2'$$

Tolomeo



Quindi i Gesuiti confermarono la bisezione dell'eccentricità, la pietra angolare della versione kepleriana della teoria di Copernico, e distrussero la fisica aristotelica nei cieli con osservazioni eseguite nella Chiesa di San Petronio, nel cuore dello Stato della Chiesa.

La grande controversia sorta sul fatto che il sole obbedisse o meno ad un equante, “la domanda di tale importanza che senza avere una risposta sarebbe stato impossibile procedere oltre con profitto in astronomia”, era stata posta ad Apollo stesso mediante l'eliometro di San Petronio.

Non appena Apollo fornisce la risposta, ecco come Cassini informa i Senatori della fabbrica della chiesa nell'autunno del 1655

*La meridiana del tempio di S. Petronio
tirata, e preparata...*
*Cassini, Jean-Dominique (1625-1712),
1695*

L A
M E R I D I A N A
D E L T E M P I O
DI S. PETRONIO

*Tirata, e preparata per le Osservazioni Astronomiche
l'Anno 1655.*

Rivista, e restaurata l'Anno 1695.

DI GIO: DOMENICO CASSINI

Astronomo Primario dello Studio di Bologna
Matematico Pontificio

e
dell'Accademia Reggia delle Scienze.



IN BOLOGNA, M DC XCV.

Per l'Erede di Vittorio Benacci.

Con licenza de' Superiori.

ILLVSTRISSIMIS,
ET SAPIENTISSIMIS SENATORIBVS
AVGVSTISSIMÆ
D: PETRONII
FABRICAE PRAEFECTIS.

MARCHIONI INNOCENTIO FACHENETO PRAESIDI.

Comiti Augustino Herculano.
Marchioni Camillo Paleoto.
D. Ciro Marefcoto.
Co: Fulvio Bentiuolo.
D. Mario Cafali.

Io. Dominicus Casinus Almi Bononiensis
Archigymnasij Astronomus.



Vicimus, Mæcenates Illustrissimi. Solis
Equos hætenus effrænes vestris armis
subactos vobis expeditionis meæ aucto-
ribus in triumphum deduco. His licet
haud dubio tramite Solis orbitam cir-
cumire, altiùsque alias Cæli vias hæ-
tenus dubias securè perlustrare. Ini-
uimus cum Sole fædus; Ille vobis ad sui, aliorumq; Pla-
netarum, quos regit, penetralia liberiore, quam ulli an-

tea

tea mortalium aditum dabit. Vos illi vicissim in perpe-
tuum noua lumina ex insigni Helio metro, quod in au-
gustissimo D. Petronij Templo vestra auctoritate consti-
tutum est, transmittetis. Has ille cum munere vestro fæ-
deris condiciones recepit. His stabit. Huius me cautorem
sponsoremq; in eodem D. Petronij Templo constituo.

**Novum lumen astronomicum
ex novo heliometro**



Noi abbiamo vinto, illustri Mecenate. **Io vi porto
in trionfo i cavalli del sole**, ora domati per la
prima volta....Ora siamo alleati col Sole. Voi
verrete ammessi piu' liberamente ai suoi segreti
di quanto ogni altro mortale sia stato finora, ed
anche ai segreti degli altri pianeti che lui regola.
In cambio voi trasmettete per sempre una nuova
luce dal grande eliometro che avete permesso di
costruire nel Santissimo Tempio di San Petronio.

NOVVM LVMEN ASTRONOMICVM

EX NOVO HELIOMETRO.



- 1 X observationibus ad maximum D. Petronij Heliometrum factis facile discernitur utrum hypotheses motus Solis à Principibus Astronomis Ptolemæo, Alphonso, Copernico, Tychone, Longomontano, Lansdbergio, & quibusdam alijs tum antiquis, tum recentioribus receptæ: an vero Kepleri potius, & Bullialdi vero sint proximiores.
- 2 Error autem ab altera partium in Solis hypothesis huius Heliometri beneficio depræhensus, eius naturæ est, ut non modo in apparentem Solis motum annum refundatur, sed etiam in aliorum planetarum apparentes motus. Imo vero in aliquibus planetis multò maior inde confurgit error, quam in Sole ipso, licet in sola illius Theoria fundetur.
- 3 Quamobrem licet in observatione motus Solis instrumentis communiter adhiberi solitis vix possit depræhendi: in opportunis tamen aliorum planetarum observationibus ingeniosè collatis valde sensibilibiter elucescit.
- 4 Solis Theoria qualis ex observatione Heliometri nostri se prodit aliorum planetarum Theorijs vniformis est; quamobrem ex ijs, quæ omnium consensu planetis alijs communia sunt, poterat rationabiliter determinari.
- 5 Hæc vero Theoriæ forma cum alijs planetis commun-

munis licet passim ab omnibus auctoribus planetis aliquot tribuatur; vel ipsorum auctorum confessione hætenus illegitimè, & ageometricè tractata est, imo vero geometricam manum non admittere post omnia frustra tentata Astronomi Principes renuntiarunt.

- 6 Nos tamen primi Geometrica methodo huic formæ contra omnium spem applicata Astronomiam nostram, Deo auspice coronabimus.



4 La teoria del sole quale si è a noi rivelata mediante l'osservazione del nostro eliometro si uniforma alla teoria degli altri pianeti;

(che è sostanzialmente quella di Keplero)