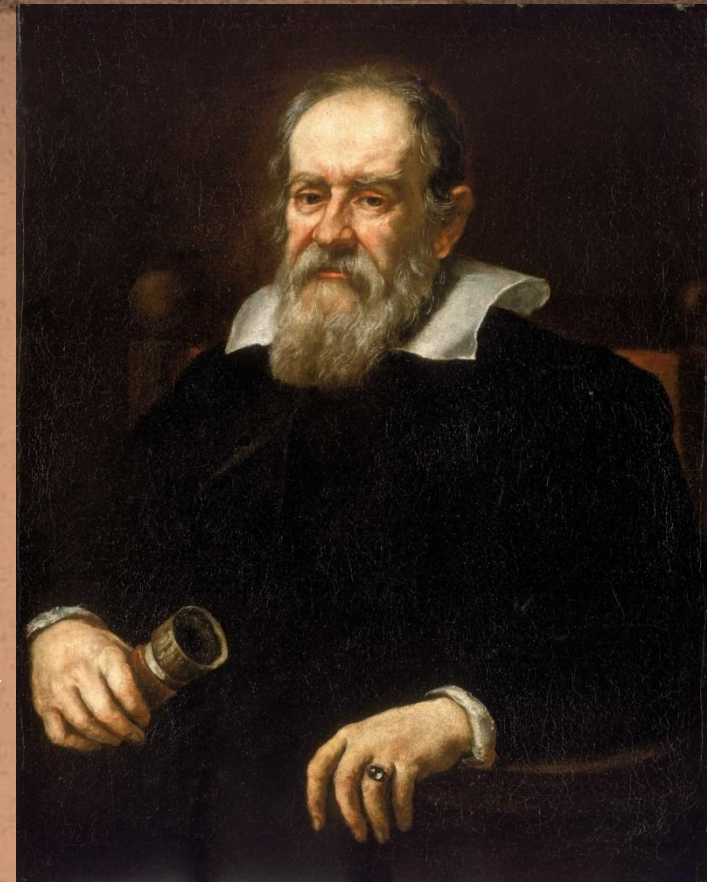


Γαλιλαίος ο θεμελιωτής της Κινηματικής

Χάρης Βάρβογλης
Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Galileo Galilei, 1546 - 1642

- Θεμελιωτής της σύγχρονης Επιστήμης.
- Το πρώτο από τα έξι παιδιά του Vincenzo Galilei, μουσικού, και της Giulia Ammannati.
- Γεννήθηκε στην Πίζα.
- Σε ηλικία 8 ετών η οικογένειά του μετακόμισε στη Φλωρεντία (80 km μακρύτερα...).
- Ο Γαλιλαίος παρακολούθησε σχολικά μαθήματα σε ένα μοναστήρι κοντά στη Φλωρεντία και σκεπτόταν να ακολουθήσει εκκλησιαστική καριέρα, αλλά...

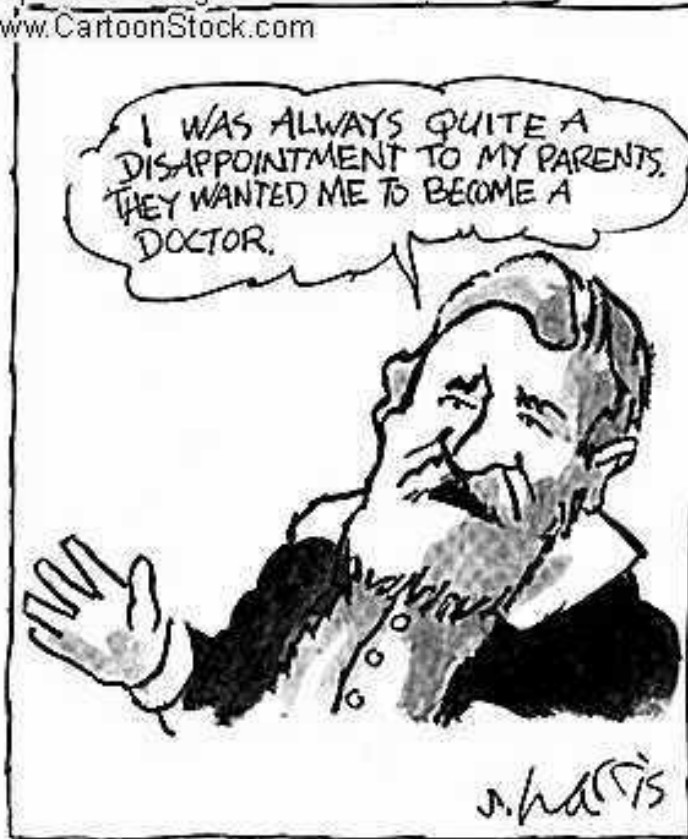


Το σπίτι που γεννήθηκε ο Γαλιλαίος



Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Πίζα, 1589-1592

© Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



- Γράφτηκε στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου της Πίζα.
- Αλλά, τελικά, πήρε πτυχίο Μαθηματικών.
- Ετήσιος μισθός καθηγητή: στην Ιατρική 2.000 σκούδα, στα Μαθηματικά 80 σκούδα!
- Το 1589 διορίστηκε καθηγητής των Μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο της Πίζα.
- Εκεί τέθηκαν τα θεμέλια της μετέπειτα επιστημονικής καριέρας του.

Ισόχρονες ταλαντώσεις του εκκρεμούς



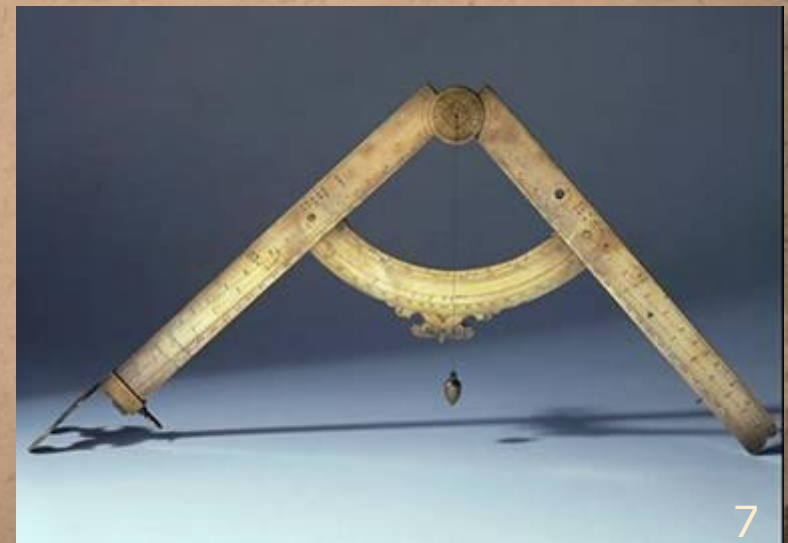
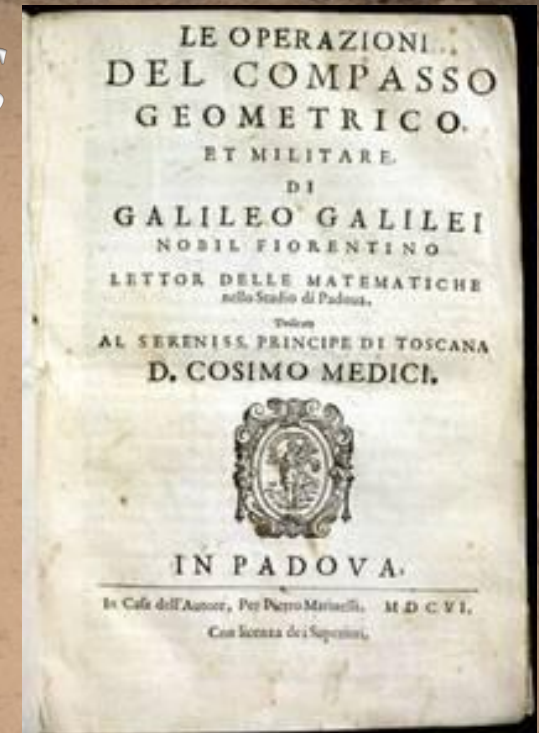
- Οι ταλαντώσεις του πολυέλαιου στον καθεδρικό ναό της Πίζα του έδωσαν την ιδέα ότι:
- *Οι ταλαντώσεις ενός εκκρεμούς (σήμερα γνωρίζουμε μόνο οι μικρού πλάτους) είναι ισόχρονες.*
- Ο Huygens βασίστηκε σ' αυτήν τη ιδέα και κατασκεύασε το πρώτο ρολόι με εκκρεμές.

Τα χρόνια της Padova, 1592-1610

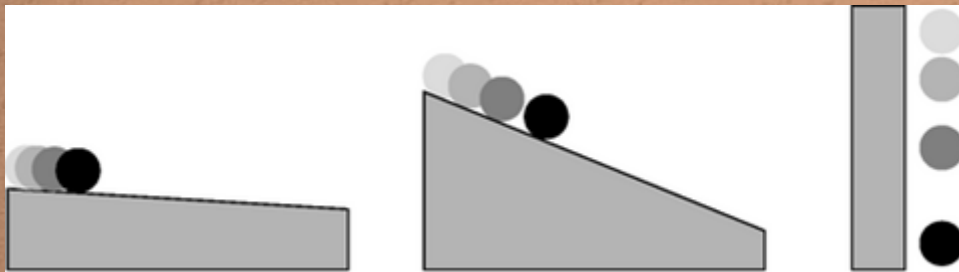
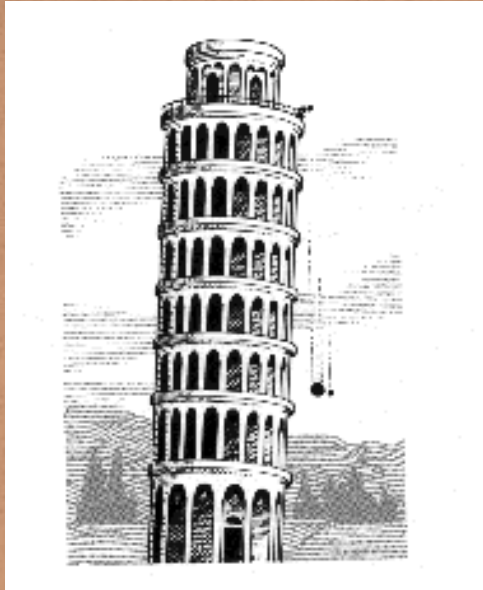
- Καθηγητής των Μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο της Padova, της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης της Ενετικής Δημοκρατίας.
- Κατασκευή επιστημονικών οργάνων (γεωμετρικός και στρατιωτικός κανόνας).
- Πειράματα με κεκλιμένα επίπεδα.

Γεωμετρικός και στρατιωτικός κανόνας, 1597

- Αναλογικός υπολογιστής για την επίλυση αριθμητικών και γεωμετρικών προβλημάτων (π.χ. τετραγωνικές και κυβικές ρίζες!)
- Τοπογραφικές εργασίες
- Προσέξτε πώς αυτοπεριγράφεται:
*Nobile Fiorentino,
Lettore delle
Mathematiche*



Πειράματα κινηματικής



- Παρά την παράδοση, ο Γαλιλαίος δεν έκανε ποτέ το πείραμα της ρίψης σωμάτων διάφορων μαζών από τον Πύργο της Πίζας.
- Αντ' αυτού, έκανε πειράματα με κεκλιμένα επίπεδα, όπου η μέτρηση χρονικών διαστημάτων ήταν ευκολότερη.
- Ο ίδιος έλεγε ότι μετρούσε τον χρόνο με τους σφυγμούς του, αλλά είναι πιθανότερο ότι το έκανε τραγουδώντας, όπως είχε μάθει από τον πατέρα του!

Ανακατασκευή του πειραματικού οργάνου του Γαλιλαίου



Από το Deutsches Museum

Το πείραμα του Γαλιλαίου



- Οι αποστάσεις είναι ανάλογες των τετραγώνων του χρόνου,

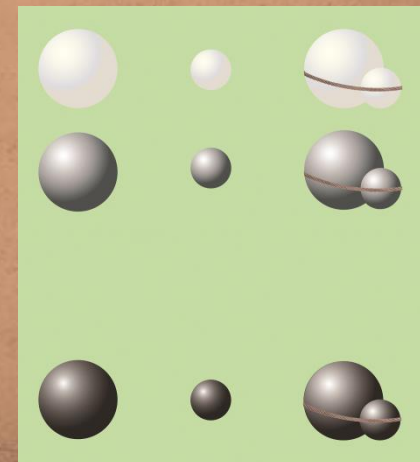
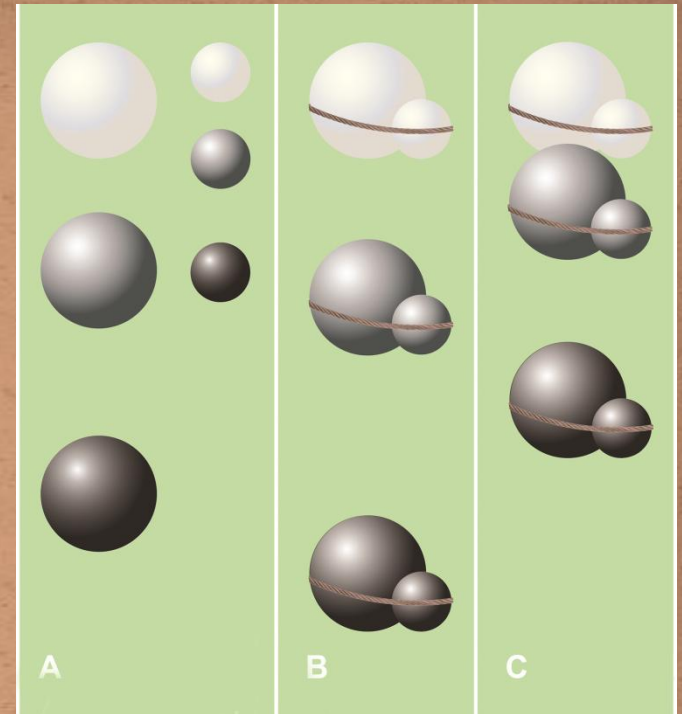
$$S = \frac{1}{2}at^2 \sim t^2$$

- Η κλίση του επιπέδου είναι μικρή, για να είναι ευκολότερη η μέτρηση του χρόνου.

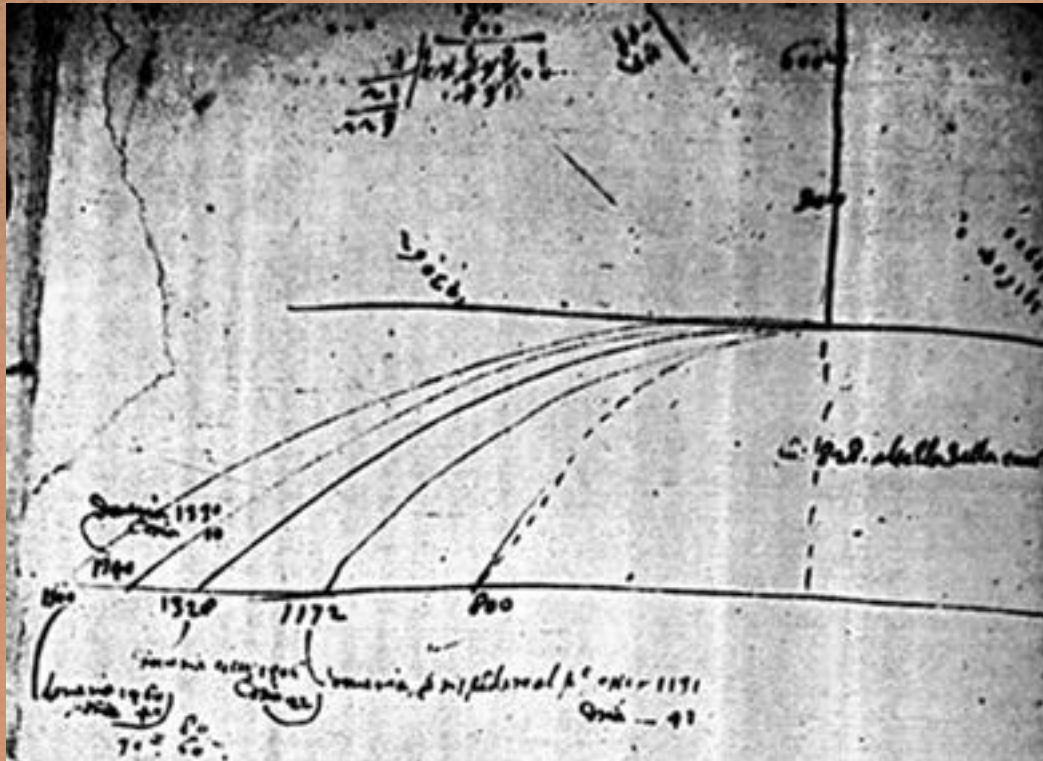
Από το Deutsches Museum

Αριστοτελική και Γαλιλαϊκή άποψη της πτώσης

- Σύμφωνα με την Αριστοτελική θεωρία (επάνω), τα βαρύτερα σώματα πέφτουν ταχύτερα (σχ. 1).
- Αλλά αυτό οδηγεί σε αντίφαση (όπως προαναφέρθηκε): Αν δέσουμε μαζί ένα βαρύ και ένα ελαφρό αντικείμενο, τα δύο μαζί θα πέφτουν ταχύτερα (σχ. 2) ή βραδύτερα (σχ. 3) από το βαρύτερο;
- Ο Γαλιλαίος κατέργησε την αντίφαση, δείχνοντας **πειραματικά** ότι όλα τα σώματα πέφτουν **με την ίδια επιτάχυνση** (κάτω).



Ανεξαρτησία των κινήσεων: οι οριζόντιες βολές οδηγούν σε παραβολικές τροχιές



(Από τις σημειώσεις του Γαλιλαίου)

Η συμβολή του Γαλιλαίου στη Φυσική

- Γεωμετρικές μέθοδοι για την επίλυση προβλημάτων Ολοκληρωτικού Λογισμού:

$S = vt, S = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow$ επιφάνεια ορθογωνίων τριγώνων

- Βιβλία: *Μηχανική* (1600), *Διάλογοι και μαθηματικές αποδείξεις* σχετικές με δύο νέες επιστήμες (1638)
- Συστήματα συντεταγμένων (αναπτύχθηκαν οριστικά λίγο αργότερα από τον Καρτέσιο - Descartes)
- Γαλιλαϊκοί μετασχηματισμοί (θα επανέλθουμε)
 $x' = x - v_0 t, v' = v - v_0$

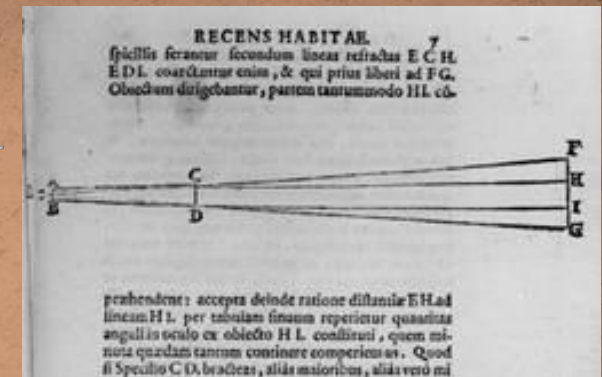
Τηλεσκόπια του Γαλιλαίου

Στη βάση διακρίνεται ένας φακός που ράγισε κατά τη λείανση



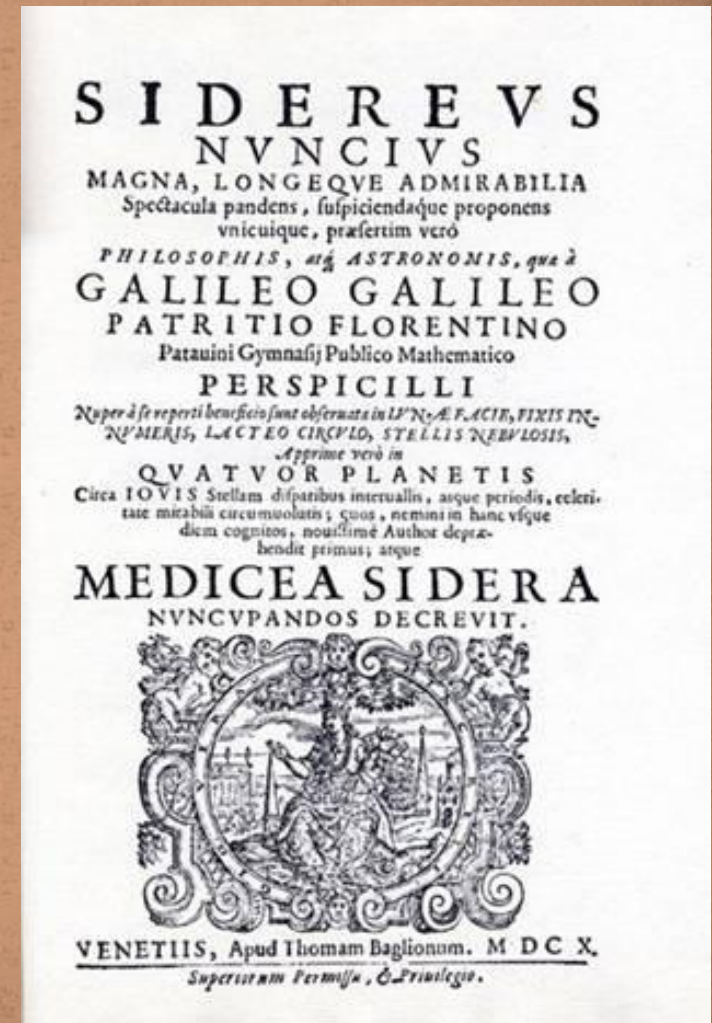
Γαλιλαίος και τηλεσκόπια

- Ο Γαλιλαίος παρουσίασε το πρώτο του τηλεσκόπιο στον Δόγη της Βενετίας στις 25 Αυγούστου, 1609.
- Δημοσίευσε τη θεωρία κατασκευής τηλεσκοπίων στο βιβλίο του *Sidereus Nuncius* (Αστρικός Αγγελιοφόρος), που εκδόθηκε το 1610.

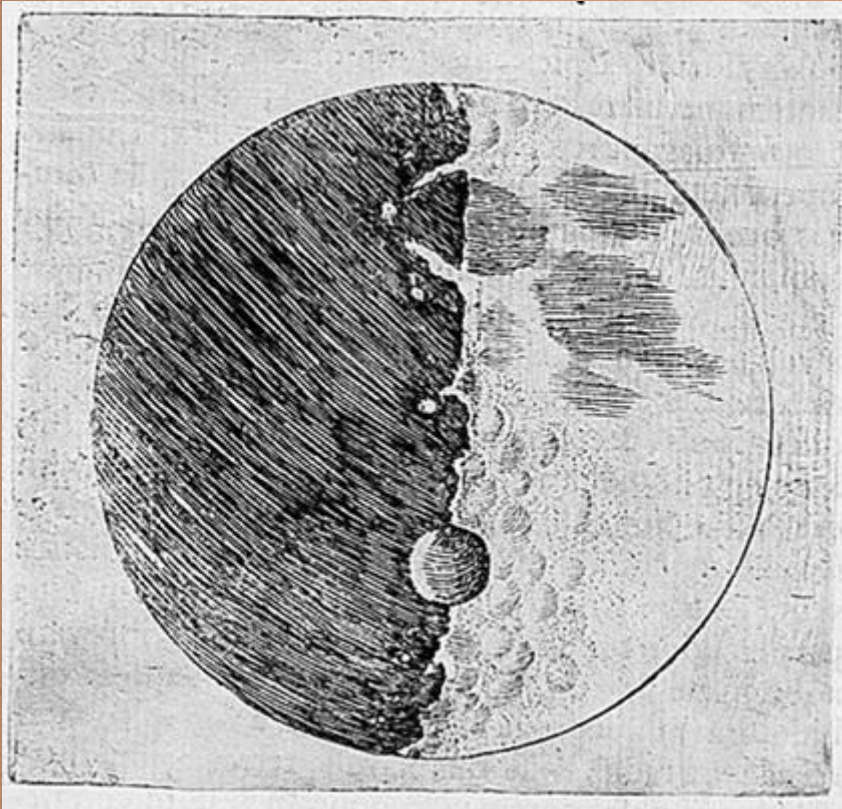


Sidereus Nuncius, 1610

- Η πρώτη σελίδα του βιβλίου, που εκδόθηκε στη Βενετία.
- Παρατηρήστε την αλλαγή στον αυτοπροσδιορισμό του:
Patritio Florentino, Patavini (από την Padova) Gymnasii Publico Mathematico.

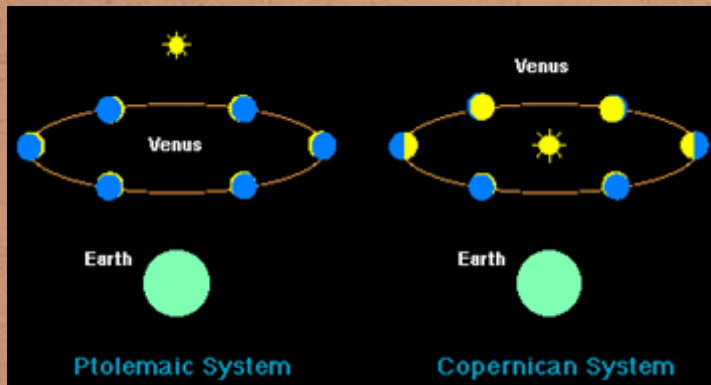
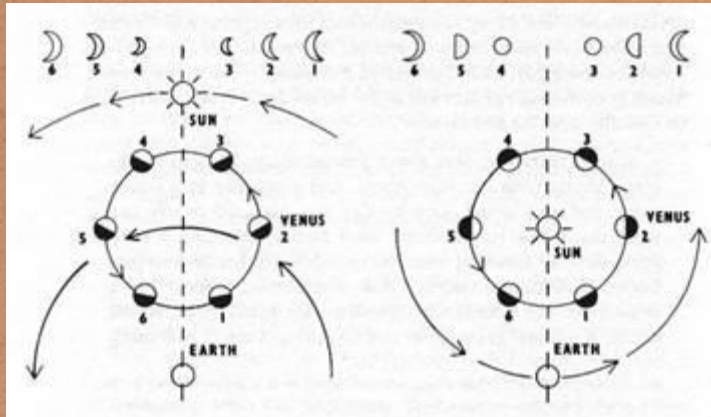


Παρατηρήσεις με τηλεσκόπιο: επιφάνεια της Σελήνης



- Τα βουνά και οι κρατήρες στην επιφάνεια της Σελήνης υποδηλώνουν ότι αυτή είναι ένα ουράνιο σώμα, σαν τη Γη, και όχι μια «τέλεια σφαίρα», όπως πίστευαν οι Αριστοτελικοί φιλόσοφοι.

Φάσεις της Αφροδίτης



- Οι παρατηρήσεις έδειχναν, πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι η Αφροδίτη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο (αριστερά: η πτολεμαϊκή θεωρία των επικύκλων, δεξιά: η ηλιοκεντρική θεωρία του Κοπέρνικου).
- Ο Ηρακλείδης ο Ποντικός (380-310 π.Χ.) είχε προτείνει την «ενδιάμεση» θεωρία ότι Ερμής και Αφροδίτη περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, αλλά οι υπόλοιποι πλανήτες (και ο Ήλιος) περιφέρονται γύρω από τη Γη.

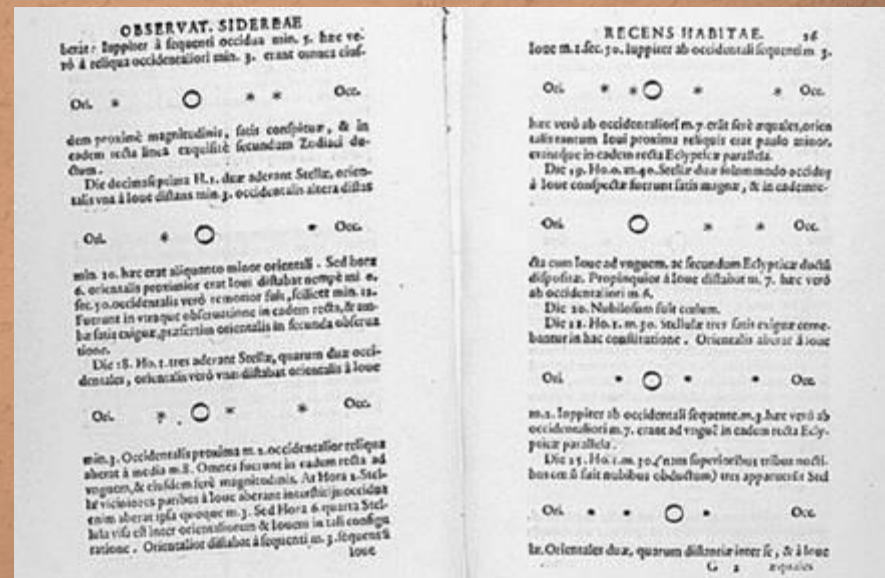
Αξιοσημείωτο: Ο Κοπέρνικος γνώριζε την ηλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου του Σάμιου (310-230 BC)

sub stellaru fixaru sphaera haud quaq̃ mutari: sed cum mo-
dica sit differentia: nō nisi cum tpe grandisior patefacta est:
a ptolemaeo qd̃ ad nos usq̃ partim prope xxi: quibus illa
iam anticeperat. Quā ob causam crediderūt aliq̃ stellaru quoz
fixarum sphaera moveri: quibus idcirco nona sphaera superior
placuit: quae dū nō sufficeret, nūc recentiores decima supaddū-
medum tamē fuisse assenti: quē speramus ex motu terrae nos
consecuturos. Quo tamē principio et hypothese utemur i
demonstrationibus aliorū. Et si futu- ~~rum~~ Solis ~~longinquitas~~
~~immobilitate quoz terra demonstrari posse: in ceteris vero~~
~~praesentibus minus congruit. Excusabile est huius similitudine quae~~
~~causis philolaum mobilitate terrae sensisse: quod etia nonnulli~~
Aristarchum samium fōmāt in eadē fuisse sententia. non illa
ratione moti: quā allegat reprobataq̃ Aristoteles. Sed cum
talia sint: quae nisi acri ingenio et diligentia distinnā cō-
phendi nō possent: latuisse tunc plerumq̃ philosophos: et fu-
isse admodum paucos: qui eo tpe sydenotoma motu calluerūt
ratione: a platone nō tueretur. At si philolaos vel cuius
pythagorico intellecta fuerūt: verisimile tamē est ad po-
steros nō profudisse. Exat em̃ pythagoraez obpruata
nō tradere hūc lris: nec pariter omnibus arcana pbic
Sed amicorum dūtaxat et propinquoz fidei committere
ac per manus tradere. Cuius rei monumentum extat

Το **διαγραμμένο** κείμενο,
που υπήρχε στο
χειρόγραφο του βιβλίου
του
De Revolutionibus,
δεν περιλήφθηκε στην
έντυπη μορφή.

Οι δορυφόροι του Δία

- Το χειρόγραφο του Γαλιλαίου (επάνω) και σελίδες από το βιβλίο του *Sidereus Nuncius* (κάτω).
- Η συστηματική καταγραφή των παρατηρήσεων του Γαλιλαίου δείχνει ότι τα «αστεράκια» είναι, στην πραγματικότητα, δορυφόροι του Δία.
- Άρα το σύστημα του Δία είναι μια μικρογραφία του Ηλιακού Συστήματος.



Οι δορυφόροι του Δία στη ναυσιπλοΐα

- Ο Γαλιλαίος πρότεινε τη χρήση της θέσης των δορυφόρων του Δία για τη μέτρηση του «απόλυτου χρόνου» και, επομένως, για τον υπολογισμό του γεωγραφικού μήκους.
- Η μέθοδος όμως δεν ήταν πρακτική, λόγω της δυσκολίας παρατήρησης από πλοία.
- Το πρόβλημα λύθηκε με την εφεύρεση του **ναυτικού χρονόμετρου** από τον John Harrison (στροφικό εκκρεμές και μηχανισμός διαφυγής «ακρίδας»).

Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας, 1610-1642

- Πρόσκληση από τον Μεγάλο Δούκα της Τοσκάνης, Cosimo II των Μεδίκων
- Μεγάλο μισθός, ελευθερία στην έρευνα και τη διδασκαλία.
- Επιστροφή στην «πατρίδα» του.
- Αλλά και επιστροφή στην περιοχή επικυριαρχίας του Πάπα.

Πρώτο ταξίδι στη Ρώμη: θρίαμβος!

- 1611: Ο Γαλιλαίος επισκέπτεται τη Ρώμη.
- Το έργο του αναγνωρίζεται και γίνεται μέλος της πρώτης επιστημονικής εταιρείας, *Accademia dei Lincei*.
- Διοργανώνει αστρονομικές παρατηρήσεις με το τηλεσκόπιο του για τους Ιησουίτες μοναχούς στη Ρώμη.
- Αντίδραση: Γιατί να κοιτάζουμε από αυτό το ατελές όργανο, αφού γνωρίζουμε την αλήθεια από τον Αριστοτέλη και τη Βίβλο; (*Cesare Cremonini*, καθηγητής στην Πάντοβα, *Giulio Libri*, Φλωρεντίνος φιλόσοφος).

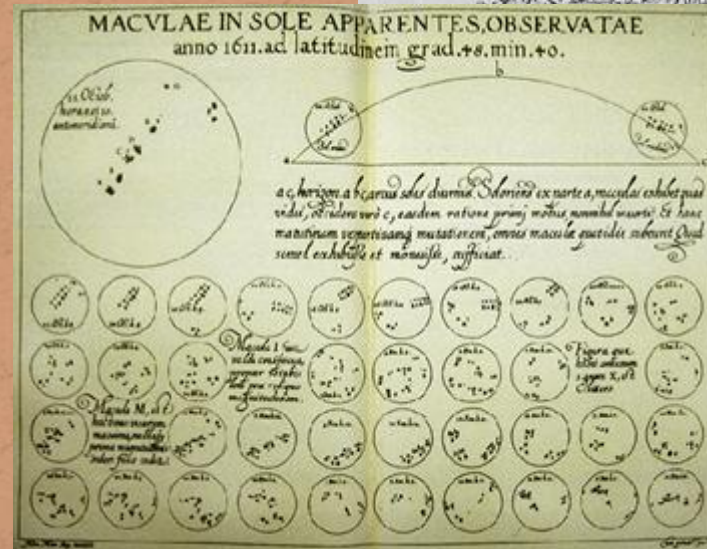


Τα επιχειρήματα των αντιπάλων του

- Ο θεός είναι τέλειος και όλα τα δημιουργήματα του Θεού είναι τέλεια. Ο άνθρωπος είναι ατελής και, επομένως, οι εφευρέσεις του είναι ατελείς. Γιατί θα πρέπει να χρησιμοποιούμε μια ατελή εφεύρεση, όπως το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου, για να δούμε την τέλεια δημιουργία του Θεού; Αυτό δεν θα αμαύρωνε τη δημιουργία του Θεού;
- Πού βρίσκεται η εικόνα που βλέπουμε από το τηλεσκόπιο; Στον πραγματικό κόσμο ή μέσα στο τηλεσκόπιο;

Ηλιακές κηλίδες, 1613

- Η επιφάνεια του Ήλιου έχει κηλίδες, οι οποίες αλλάζουν θέση καθώς ο Ήλιος περιστρέφεται.
- Επομένως, όχι μόνο ο Ήλιος δεν είναι «τέλειος», όπως υποστήριζαν οι αριστοτελικοί φιλόσοφοι, αλλά περιστρέφεται επίσης γύρω από άξονα.



Δεύτερο ταξίδι στη Ρώμη, 1616

- Πρώτη προειδοποίηση να μην διδάσκει το ηλιοκεντρικό σύστημα.
- Για να «αντιμετωπίσει» το βιβλίο του Kepler *Astronomia Nova* και μερικές από τις δημοσιεύσεις του Γαλιλαίου...

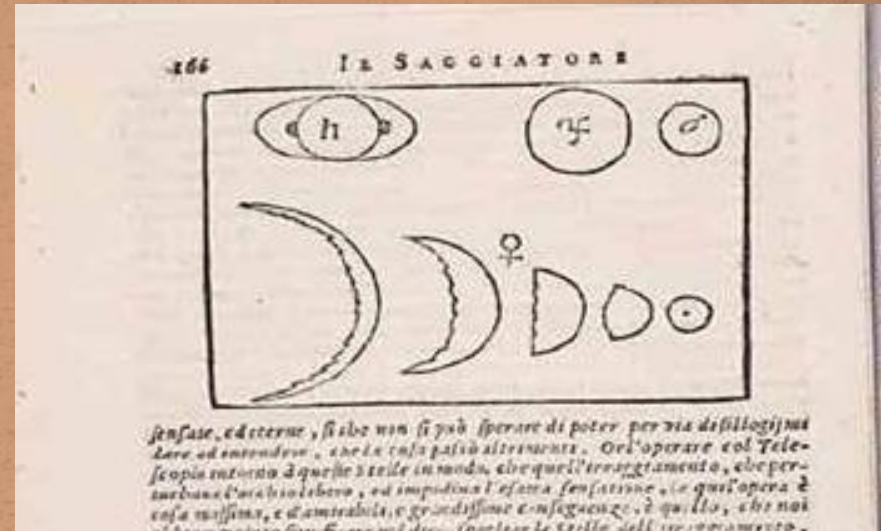
Η εκκλησία πρόσθεσε τα βιβλία του Κοπέρνικου, του Κέπλερ και *μερικές* από τις «επιστολές» του Γαλιλαίου στο *Index Librorum Prohibitorum* (Κατάλογος απαγορευμένων βιβλίων, 1559-1948).

- Αποσύρθηκαν μόλις το 1835!

Διαμάχη με τους Ιησουίτες

- Διαφωνία του Γαλιλαίου με τον Ιησουίτη μοναχό *Orazzio Grassi* για την τροχιά των τριών κομητών του 1618. Ο Grassi στην αρχή υπολόγισε ότι οι τροχιές περνούσαν έξω από τη Σελήνη, αλλά άλλαξε γνώμη, αφού αυτό δεν συμφωνούσε με την Αριστοτελική άποψη (μετεωρολογικά φαινόμενα). Ο Γαλιλαίος παρενέβη στη διαμάχη με αμφίβολα επιχειρήματα.
- Κλιμάκωση στην ανταλλαγή επιχειρημάτων και από τις δύο πλευρές (βιβλία και φυλλάδια δημοσιευμένα με ψευδώνυμα ή γραμμένα από τους οπαδούς τους).
- Αποκορύφωμα της διαμάχης η δημοσίευση από τον Γαλιλαίο του βιβλίου *Il Saggiatore* (η λυδία λίθος, ένα είδος πέτρας για την εκτίμηση της περιεκτικότητας των κραμάτων σε χρυσό), γραμμένο στα Ιταλικά (και όχι στα Λατινικά), στο οποίο ο Γαλιλαίος παρουσιάζει μαζεμένα όλα τα επιχειρήματά του υπέρ της ηλιοκεντρικής θεωρίας και γελοιοποιεί τον Grassi και τους άλλους αντιπάλους του.

Il Saggiatore (λυδία λίθος) - 1623

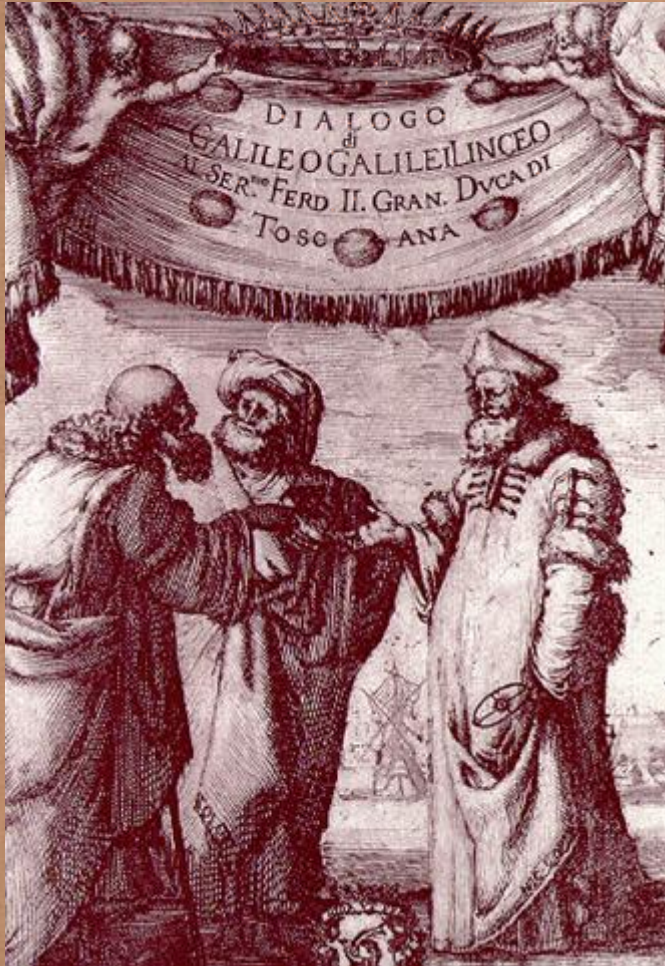


Αυτοπροσδιορισμός:
Academico Lincei
Nobile Fiorentino
Filosofo e Matematico Primario
Del Serenissimo Gran Duca
di Toscana

Τρίτο ταξίδι στη Ρώμη, 1624

- Συζήτηση με τον Πάπα Urbanus VIII (καρδινάλιο Maffeo Barberini , γεννημένο στη Φλωρεντία και φίλο του Γαλιλαίου από τότε).
- Παπική «συμβουλή» να αναφέρεται στο ηλιοκεντρικό σύστημα μόνο σαν μια «μαθηματική υπόθεση».
- Με αυτή την υπόσχεση παίρνει το «τυπωθήτω» (imprimatur) για το επόμενο βιβλίο του.

Dialogo, 1632



DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.

Dooue ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

IN FIORENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

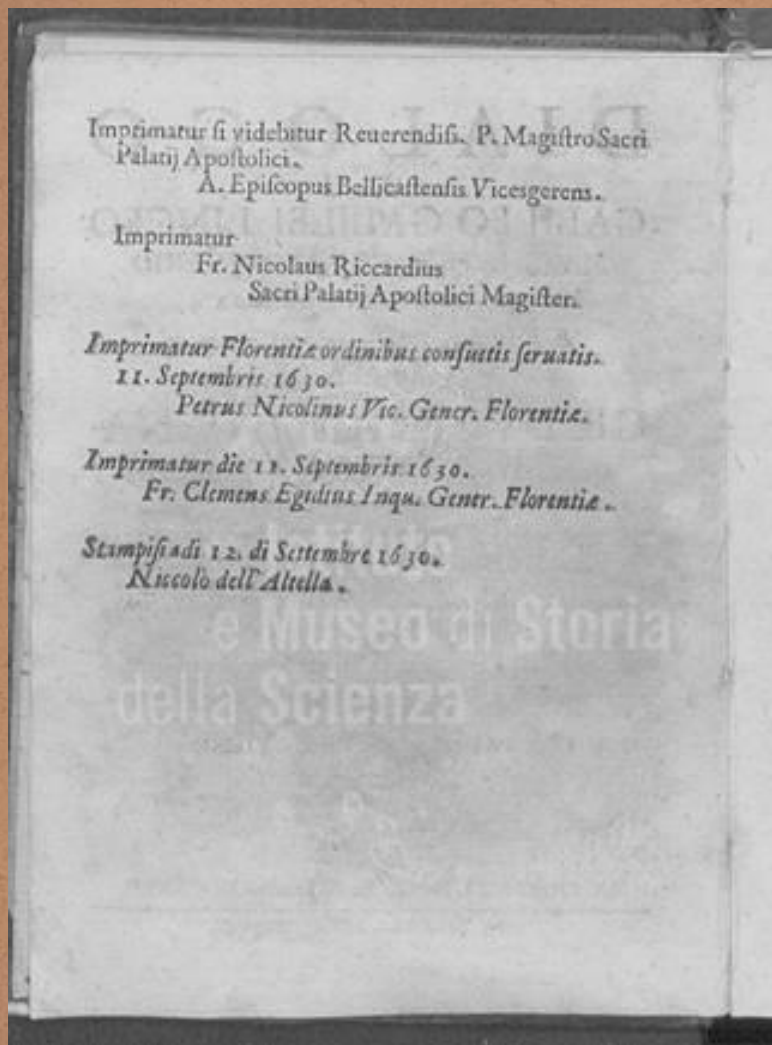
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Αυτοπροσδιορισμός

- Matematico Sopraordinario (Extraordinaire)
- dello Studio di Pisa
- e Filosofo e Matematico
- Del Serenissimo Gran Duca di Toscana
- (δεν ήταν πια “Accademico Linceo”...)

Διάλογος μεταξύ των δύο συστημάτων του κόσμου (Πτολεμαϊκό και Κοπερνίκειο)

- Salviati («ηλιοκεντρικός»), από το όνομα του Filippo Salviati, φίλου του Γαλιλαίου.
- Sagredo («ουδέτερος»), από το όνομα του Giovanfrancesco Sagredo, φίλου του Γαλιλαίου.
- Simplicio («αριστοτελικός»), από το όνομα του Έλληνα αριστοτελικού φιλόσοφου του 6^{ου} μ.Χ. αιώνα, αλλά και λογοπαίγνιο (=αγαθός).



- Εσώφυλλο της πρώτης έκδοσης του *Dialogo*

- Ο Γαλιλαίος είχε πάρει το **τυπωθήτω** από την Ιερά Εξέταση της Φλωρεντίας.

- Αλλά ο Πάπας είχε αντίθετη γνώμη...

Η δίκη

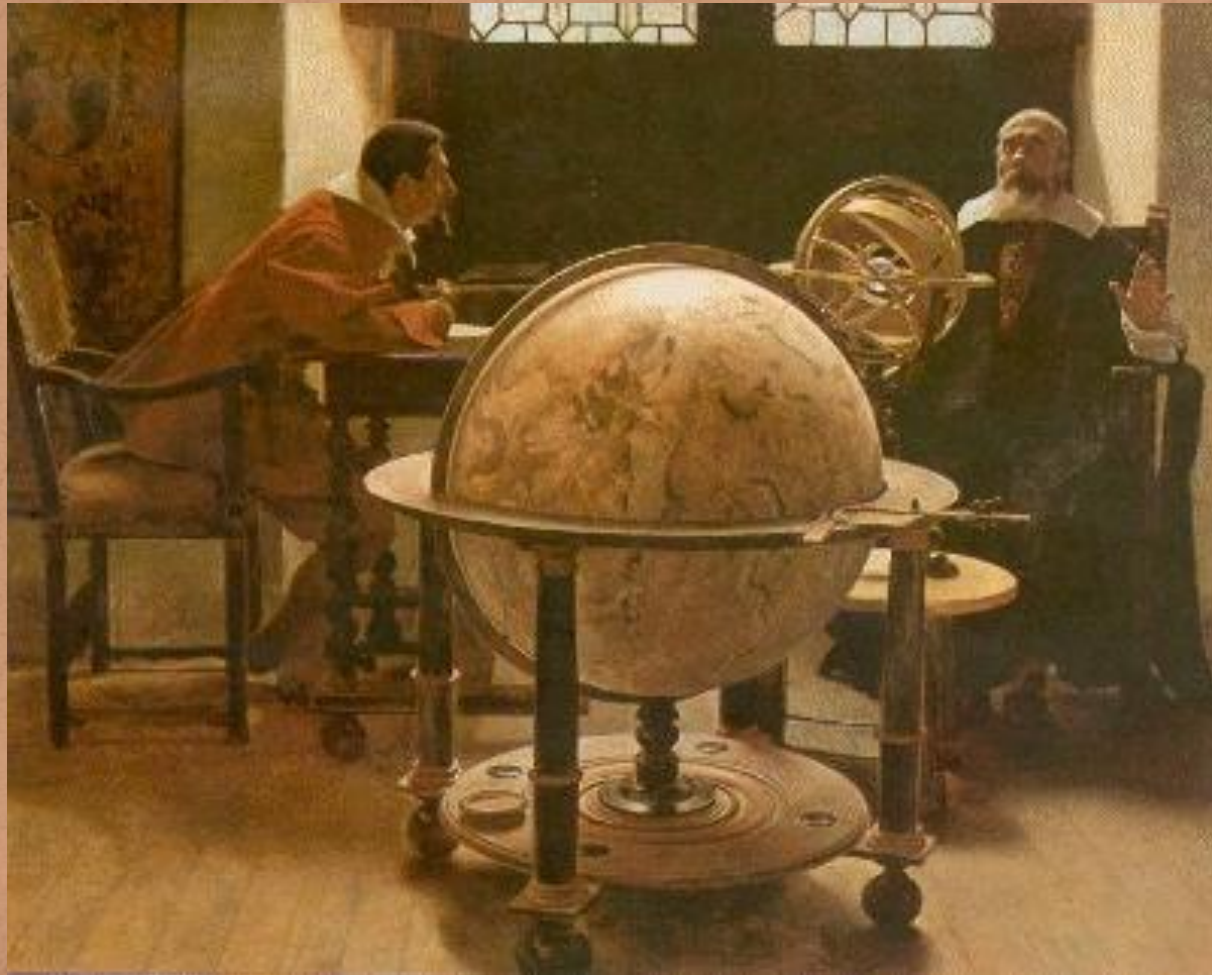
- Ο Γαλιλαίος κατηγορείται από τους Ιησουίτες για αιρετική διδασκαλία (σας θυμίζει τον Σωκράτη;)
- Η έγκριση έκδοσης του τελευταίου βιβλίου του ανακαλείται.
- Δικάζεται το 1633 από την Ιερά Εξέταση και του δείχνουν τα σύνεργα των βασανισμών.
- Υποχρεώνεται να απαρνηθεί τις ιδέες του σε ένα μοναστήρι της Ρώμης στις 22 Ιουνίου 1633
- Καταδικάστηκε σε κατ' οίκον περιορισμό (διαδοχικά σε Ρώμη, Σιένα, Αρτσέτρι.



Η τελετή της αποκήρυξης έγινε στη *Santa Maria sopra Minerva*, μια εκκλησία που υπάρχει ακόμη, κοντά στο μοναστήρι της δίκης.



Στα τελευταία χρόνια του είχε μαθητές
(Viviani, Torricelli), αλλά είχε τυφλωθεί...



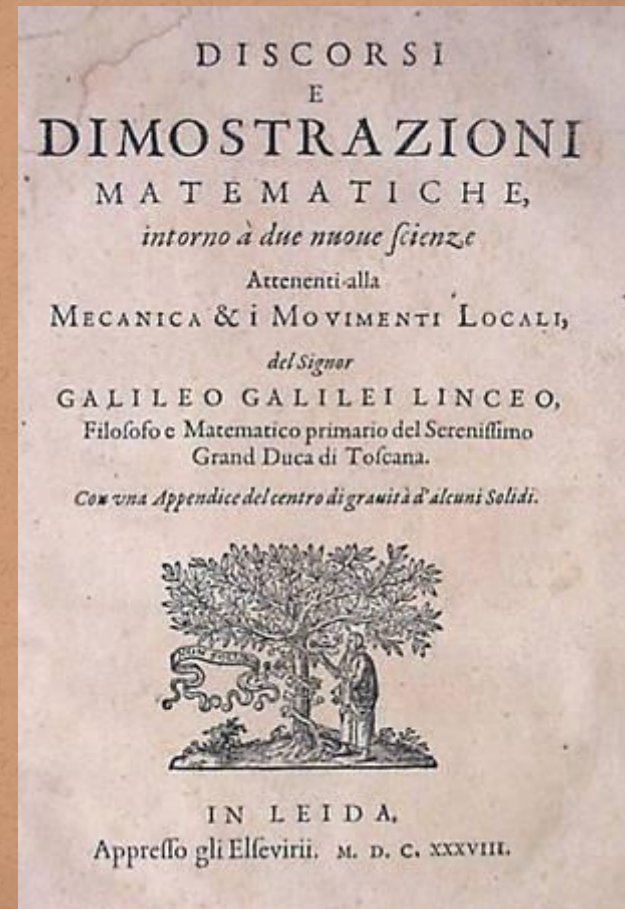
Οι τελευταίες εφευρέσεις του: θερμόμετρο-βαρόμετρο



- Θερμόμετρο βασισμένο στη θερμική διαστολή των αερίων .
- Βασική στόχος: η μέτρηση της θερμοκρασίας των αρρώστων.
- Ανακριβές, λόγω της μεταβλητότητας της ατμοσφαιρικής πίεσης.
- Ο Torricelli αφαίρεσε εντελώς τον αέρα και το μετέτρεψε στο γνωστό βαρόμετρο!

Το τελευταίο βιβλίο του: *Δύο νέες επιστήμες*, 1638

- Κίνηση με σταθερή επιτάχυνση
- Γαλιλαϊκοί μετασχηματισμοί
- Ανεξαρτησία των κινήσεων
- Γεωμετρικές αποδείξεις
- Αρχή της αδράνειας (αναφορά στον Ιωάννη Φιλόπονο μόνο στο *De motu antiquiora*, Pisa, ~1590)



Αποκάλυψε ένα Σύμπαν πολύ μεγαλύτερο
από το Αριστοτελικό



E pur si muove... (και όμως κινείται...)



Υπάρχει, όμως, και άλλη εκδοχή...

