



# Ιστορία Φυσικών Επιστημών

Εαρινό εξάμηνο 2014

Φαίδρα Παπανελοπούλου

<http://eclass.uoa.gr/courses/PHS222/>

# Γη, Ουρανοί και Επέκεινα

- Η αριστοτελική κοσμολογία μετέδωσε στον Μεσαίωνα μια πολύ ολοκληρωμένη και ικανοποιητική εικόνα της δομής του κόσμου (παραμένει κυρίαρχη ως τον 16<sup>ο</sup> και 17<sup>ο</sup> αι. μ.Χ.)
  - Ευτακτος, αρμονικός κόσμος (εύκολα κατανοητός)
  - Οι ανταγωνιστικές κοσμολογίες ήταν είτε άγνωστες, είτε γνωστές μέσα από τα πολεμικά κείμενα του Αριστοτέλη, όπου περιγράφονταν με σκοπό να ανασκευαστούν.
  - Με λίγες εξαιρέσεις, η αριστοτελική κοσμολογία ήταν συμβατή με τα χριστιανικά ιερά κείμενα και τη χριστιανική θεολογία.
  - Το πρόβλημα της αιωνιότητας του σύμπαντος αντιμετωπίστηκε με την πεποίθηση ότι δεν είχε διατυπωθεί ποτέ μια γνήσια απόδειξη της αιωνιότητάς του (μπορούσε να απορριφθεί μόνο από λόγους πίστης χωρίς ανάγκη τυπικής απόδειξης).
  - Η Πλατωνική κοσμολογία, αν και διαθέσιμη, δεν ήταν το ίδιο καλά επεξεργασμένη όσο αυτή του Αριστοτέλη.

- Σφαιρικότητα της γης
- Μέγεθος γης
  - ο Αριστοτέλης και ο Πτολεμαίος τη θεωρούν ένα απλό σημείο σε σύγκριση με το τεράστιο μέγεθος του σφαιρικού σύμπαντος.
  - Αριστοτέλης ~400.000 στάδια (~διπλό της πραγματικής τιμής)
  - Ερατοσθένης ~252.000 στάδια
  - Οι υπολογισμοί Μεσαιωνικών λογίων έδιναν σημαντικά μικρότερες εκτιμήσεις, κάτι που φαίνεται να έπαιξε κάποιον ρόλο στο να φανεί το ταξίδι του Κολόμβου εύλογο.

# Ακινήσια Γης;

- Η ακινήσια της γης επανεξετάζεται τον 14<sup>ο</sup> αιώνα.
- Η ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονά της μπορούσε να εξηγήσει τις ανατολές και δύσεις όλων των ουρανίων σωμάτων.
- Ο Αριστοτέλης θεωρούσε ότι το κέντρο του σύμπαντος ήταν η φυσική θέση μιας βαριάς γης που ήταν ανίκανη για ευθύγραμμη ή κυκλική κίνηση με φυσικά μέσα.
- Ο Πτολεμαίος αν και αναγνώριζε ότι μια τέτοιου είδους περιστροφή θα εξηγούσε τις ουράνιες κινήσεις, δεν μπορούσε να εξηγήσει φυσικά φαινόμενα πάνω από την επιφάνεια της γης.
  - Αν περιστρεφόταν η γη προς ανατολές γύρω από τον άξονά της, όλα τα αντικείμενα πάνω από την επιφάνειά της, μαζί και τα σύννεφα, θα φαινόταν να μένουν πίσω.

# Υπέρ ημερήσιας κίνησης

- Ηρακλείδης από τον Πόντο (~388-310π.Χ)
- Αρίσταρχος από τη Σάμο (~ 310-230 π.Χ.)
- Αν και δεν γίνεται δεκτή η υπόθεσή αυτή κατά τον Μεσαιώνα, υποστηρίχθηκε από τον Ζαν Μπουριντάν και τον Νικόλαο Ορέμ, οι οποίοι σχολίασαν το *Περί Ουρανού* του Αριστοτέλη.

# Jean Buridan (~1300-1358)

- Με την ημερήσια περιστροφή της γης εξηγούνται εξίσου καλά τα καθημερινά και περιοδικά αστρονομικά φαινόμενα.
- Παρότι μας φαίνεται ότι η γη είναι ακίνητη και ότι ο ήλιος κινείται, θα μπορούσε να αληθεύει και το αντίστροφο.
- Κάτι τέτοιο εξηγείται μέσω της *σχετικής κίνησης* (μπορεί να μην αντιλαμβανόμαστε την κίνηση της γης):
  - Αν ένας παρατηρητής πάνω σε ένα κινούμενο πλοίο το οποίο προσπερνά ένα ακίνητο πλοίο φανταζόταν τον εαυτό του ακίνητο, θα του φαινόταν ότι το πλοίο που είναι στην πραγματικότητα ακίνητο κινείται.
- Με αυστηρά αστρονομικά κριτήρια ο Buridan θεωρεί ότι και οι 2 υποθέσεις (περιστροφή ήλιου ή γης) μπορούν να σώσουν τα φαινόμενα.
- Έτσι, οι αστρονόμοι δεν μπορούν να λύσουν το πρόβλημα αλλά ασχολούνται με τη διάσωση των ουρανίων φαινομένων και χρησιμοποιούν όποια εναλλακτική τους βολεύει.

# Jean Buridan

- Η επιλογή μίας από τις δύο εναλλακτικές λύσεις θα πρέπει να βασιστεί σε μη αστρονομικά κριτήρια και επιχειρήματα.
- Στο σύμπαν του Αριστοτέλη η ακινησία είναι ευγενέστερη κατάσταση από την κίνηση (Θα ήταν πιο ταιριαστό να είναι ακίνητα τα ουράνια σώματα από ότι η σχετικά μικρή γη).
- Είναι επιθυμητό να σώζονται τα φαινόμενα με τον απλούστερο δυνατό τρόπο.
- Ομως ο Buridan επιλέγει την παραδοσιακή γνώμη γιατί δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί όταν ένα βέλος ρίχνεται κατακόρυφα προς τα πάνω επιστρέφει πάντα στο αρχικό σημείο.

- Αντεπιχείρημα: ο αέρας κινείται μαζί με την περιστρεφόμενη γη και μεταφέρει το βέλος μαζί του.
- Ο Buridan διαφωνεί εξαιτίας της θεωρίας της ενώθησης.
  - Η ποσότητα ενώθησης που εντυπώνεται στο βέλος θα πρέπει να του επιτρέψει να αντισταθεί στην πλάγια κίνηση του αέρα που συνοδεύει τη γη στην περιστροφή της.
  - Αρα το βέλος δεν θα έπεστρεφε στο αρχικό σημείο από το οποίο εκτοξεύτηκε.
  - Εφόσον κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με την εμπειρία, δεν γίνεται αποδεκτό.
  - Ωστόσο δεν είναι τόσο απόλυτος ώστε να συμπεράνει ότι η εμπειρική του έκκληση αποτελούσε μια αναγκαία αλήθεια (βλ. σχολαστική στάση του 14<sup>ου</sup> αι.).
  - Η ακινησία της γης φαίνεται απλά πιο πιθανή.



# Nicolas Oresme (~1320-1382)

- Παρουσιάζει μια σειρά εντυπωσιακών λόγων υπέρ της περιστροφής της γης.
  - Σχετική κίνηση (~ Buridan)
  - Μεταφορά του αέρα μαζί με την περιστρεφόμενη γη (αναλογία με κλειστή καμπίνα πλοίου/ δεν παράγεται άνεμος γιατί ο επιβάτης, ο αέρας και η καμπίνα που τους περιβάλλει μεταφέρονται μαζί μέσα στο πλοίο)
  - Δεν θεωρεί ασυμβίβαστη την επιστροφή ενός βέλους που εκτοξεύεται κατακόρυφα στην αρχική του θέση του με την περιστροφή της γης (ανάλυση σε δύο ταυτόχρονες κινήσεις: μια κάθετη και μια οριζόντια ευθύγραμμη στην περίπτωση ενός πλοίου / μια κατακόρυφη και μια οριζόντια κυκλική στην περίπτωση μιας περιστρεφόμενης γης. Ο παρατηρητής και στις δύο περιπτώσεις αντιλαμβάνεται μόνο την κατακόρυφη κίνηση).
- Είναι αδύνατο να εξακριβωθεί από την εμπειρία ότι οι ουρανοί έχουν την ημερήσια κίνηση και η γη όχι.

# Nicolas Oresme

- Πιστεύει ότι το πρόβλημα είναι επιστημονικά απροσδιόριστο και ίδιος κλίνει προς την παραδοσιακή γνώμη (ότι η γη μένει ακίνητη στο κέντρο του σύμπαντος)
- Προσπαθεί να προστατεύσει τη χριστιανική πίστη από αποδείξεις βασισμένες στον Λόγο, την εμπειρία και την επιστήμη.
- Αν αυτές δεν μπορούν να απαντήσουν σε ένα σχετικά απλό επιστημονικό ερώτημα, τότε αυτές δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποδειχθούν θρησκευτικά δόγματα που γίνονται πιστευτά και αποδεκτά μόνο από πίστη.
- Χρησιμοποιεί το Λόγο για να επιφέρει σύγχυση στον Λόγο, και αποτελεί κληρονόμος της σκεπτικιστικής και πιθανοκρατικής παράδοσης που αναδύθηκε από την πάλη μεταξύ φιλοσοφίας και θεολογίας.
- Η αληθινή γνώση μπορεί να αποκτηθεί μόνο από την πίστη.

- Αρκετά από τα επιχειρήματα των Buridan και Oresme εμφανίζονται στη συνηγορία του Κοπέρνικου υπέρ του ηλιοκεντρικού συστήματος, αν και δεν γνωρίζουμε αν ο Κοπέρνικος γνώριζε τις πραγματείες αυτές και άντλησε τα επιχειρήματά του από μεσαιωνικές πηγές.
- Ο Buridan απέδιδε κάποιες κινήσεις στη γη, οι οποίες οφείλονταν στο ότι το κέντρο βάρους της μετατοπιζόταν συνεχώς.
  - Επειδή η γη δεν ήταν μια ομοιογενής σφαίρα, οι μικρές κινήσεις της ήταν αποτέλεσμα μιας ατέρμονης προσπάθειας να φέρει το κέντρο βάρους της σε σύμπτωση με το γεωμετρικό κέντρο του σύμπαντος.

# Υπερσελήνια περιοχή

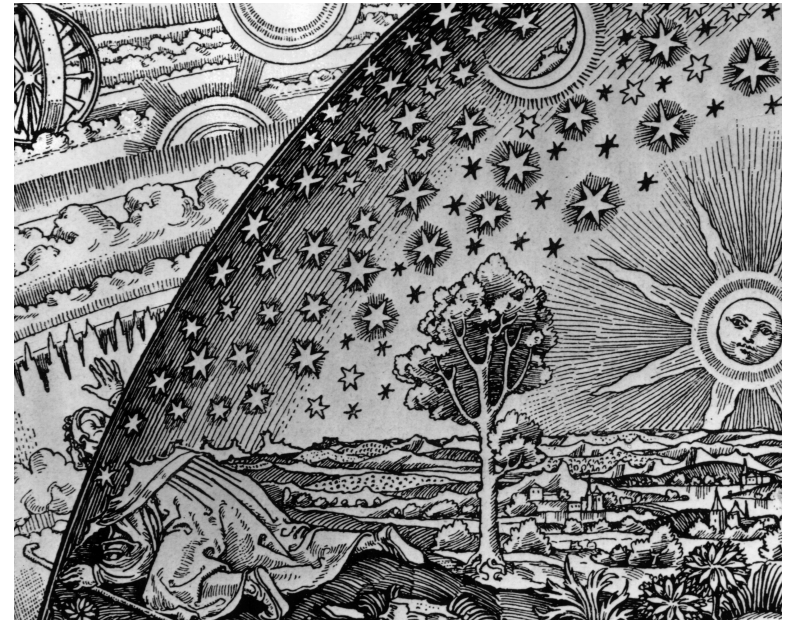
- Οι Μεσαιωνικοί σχολιαστές υιοθετούν μια απλουστευμένη εκδοχή της κοσμολογίας του Αριστοτέλη.
- Αντί των 55 ομόκεντρων σφαιρών, χρησιμοποιούν 8 (ή 9 με την προσθήκη μιας έμπυρης σφαίρας), η κίνηση των οποίων διατηρείται μέσω της αγάπης τους προς τον Θεό.
- Από αστρονομική άποψη το σύστημα αυτό ήταν ανίκανο να εξηγήσει ακόμα και τις εμφανείς μεταβολές στις πλανητικές αποστάσεις.
- Για τα τεχνικά προβλήματα της πλανητικής κίνησης χρησιμοποιείται η πολύ ανεπτυγμένη μαθηματική αστρονομία του Πτολεμαίου ή έργα που προέρχονται από αυτήν.
- Κατά τον Μεσαίωνα λίγοι κατείχαν πραγματικά τις πολυπλοκότητες της πτολεμαϊκής αστρονομίας, και οι σχολαστικές συζητήσεις ασχολούνταν κυρίως με το αν οι επίκυκλοι και έγκεντροι είχαν φυσική υπόσταση ή όχι.

# Υπερσελήνια περιοχή

- Ο Αβερρόης παραδεχόταν ότι η χρήση των έκκεντρων και των επίκυκλων ήταν κατάλληλη για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη των πλανητικών θέσεων, αλλά αντιτασσόταν στη γνώμη ότι οι κύκλοι αυτοί είχαν φυσική υπόσταση.
- Κάτι τέτοιο θα σήμαινε την εγκατάλειψη της αριστοτελικής φυσικής και κοσμολογίας γιατί θα παραβίαζε την θεμελιώδη αρχή ότι το γεωμετρικό κέντρο του σύμπαντος είναι το μόνο κέντρο των ουράνιων κινήσεων.
- Η θέση του Αβερρόη υιοθετήθηκε από όλους σχεδόν τους σχολαστικούς που υποστήριζαν την πιθανή φυσική αλήθεια της απλοποιημένης εκδοχής των οκτώ σφαιρών, ενώ παράλληλα δέχονταν ότι η πτολεμαϊκή αστρονομία ήταν ουσιώδης για να σωθούν τα φαινόμενα.

# Υπερσελήνια περιοχή

- Ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα ύπαρξης πέρα από την εξώτατη ουράνια σφαίρα.
- Αριστοτέλης: τίποτα απολύτως δεν υπήρχε πέρα από τους ουρανούς
- Μεσαιωνικοί: τι πραγματικά βρισκόταν πέρα από τον κόσμο;
  - Άλλοι κόσμοι;
  - Κενός χώρος;



# Δυνατότητα ύπαρξης άλλων κόσμων

- Μέχρι το 1277, οι χριστιανοί συγγραφείς δεν είχαν ασχοληθεί με τη δυνατότητα ύπαρξης άλλων κόσμων.
- Μετά το 1277 η εξέταση του ερωτήματος αυτού έγινε κοινός τόπος.
- Ο Θεός μπορεί να έχει δημιουργήσει ή να δημιουργήσει στο μέλλον κόσμους άλλους από τον δικό μας.
- Τρεις εκδοχές πολλαπλών κόσμων:
  - Διαδοχή μοναδικών κόσμων
  - Ταυτόχρονη πολλαπλότητα (οι συνυπάρχοντες κόσμοι εμπεριέχονται ο ένας μέσα στον άλλον)
  - Χωριστοί κόσμοι -ο ένας εντελώς έξω από τον άλλο- οι οποίοι διαχωρίζονται από κενό

# Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τη μεσαιωνική επιστήμη

- Οχι τετριμμένη επεξεργασία των σκέψεων και γνώμων του Αριστοτέλη, αλλά κριτική με θεολογικά αλλά και επιστημονικά επιχειρήματα.
- Νέες θεωρίες εξαιτίας:
  - Μη ικανοποιητικών αριστοτελικών απαντήσεων (πχ. ενώθηση, νόμοι κίνησης)
  - Παρουσίαση εξίσου αληθοφανών εναλλακτικών λύσεων (περιστροφή γης, πολλαπλότητα κόσμων)
  - Η και...θεωρίες ανεξάρτητα από την αριστοτελική φυσική (π.χ. ένταση και μείωση των μορφών, θεώρημα μέσης ταχύτητας)
- Μέχρι τον 16<sup>ο</sup> και 17<sup>ο</sup> αιώνα οι εκκινήσεις αυτές δεν κατάφεραν να γεννήσουν αυθεντικές προσπάθειες αναδόμησης ή αντικατάστασης του αριστοτελικού κοσμοειδώλου.



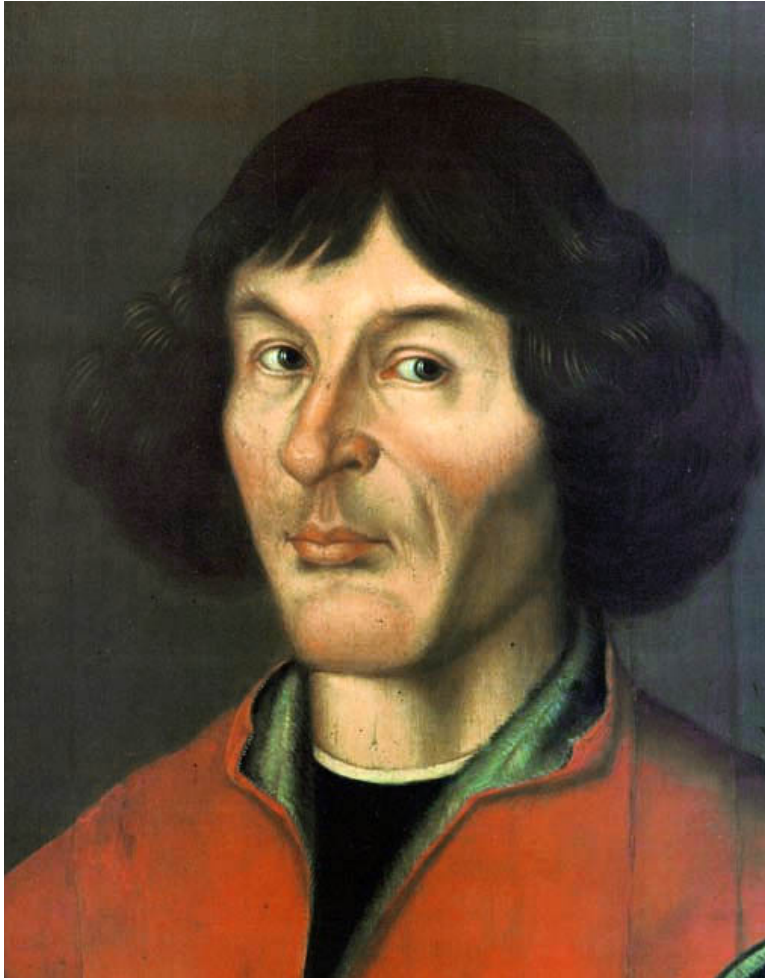
# Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τη μεσαιωνική επιστήμη

- Η εξαιρετική ανθεκτικότητα του αριστοτελικού συστήματος ενισχύθηκε και από το γεγονός ότι πολλές νέες έννοιες είχαν διατυπωθεί σε υποθετική μορφή και οι συνέπειές τους δεν εφαρμόστηκαν με σοβαρό τρόπο στη φύση.
- Μετά το 1277 δεν ήταν ευρέως αποδεκτό ότι ήταν δυνατό να αποκτηθεί βεβαιότητα σχετικά με τις αιτίες και τους νόμους της φύσης.
- Εγκαταλείπουν την ελπίδα να αποκτήσουν αληθινή γνώση του φυσικού κόσμου.
- Είναι θέμα επιλογής της πιο πιθανής εναλλακτικής λύσης.
- Διοχετεύουν την ενέργειά τους σε υποθετικές συζητήσεις.
- Η αλλαγή προς την καταστροφή της αριστοτελικής επιστήμης έγινε όταν εκείνοι που πρότειναν αντι-αριστοτελικές θεωρίες, κινήθηκαν επίσης και για να ανακαλύψουν τη φυσική πραγματικότητα.



Ένας νέος ουρανός

# Ο Κοπέρνικος και ο στάσιμος ήλιος



- Νικόλαος Κοπέρνικος (1473-1543)
- Πανεπιστήμιο της Κρακοβίας (συλλέγει αστρονομικά και μαθηματικά κείμενα)
- 1496-1503: Πανεπιστήμια Μπολόνιας, Πάδοβας και Φεράρας [Σπουδές Κανονικού Δικαίου. Επαφή με εξέχοντες αστρονόμους. Ιατρική. εκμάθηση ελληνικών]
- 1506: επιστροφή στην Πολωνία, συμμετέχει στη διακυβέρνηση του κρατιδίου της Ερμολάνδης και συμμετέχει στη λήψη ιατρικών και οικονομικών αποφάσεων
- 1514: πρόσκληση για συμμετοχή στις διαβουλεύσεις για την αναμόρφωση του ημερολογίου στη Ρώμη

# Ο Κοπέρνικος και ο στάσιμος ήλιος

- Μεταρρύθμιση της αστρονομίας (ελάχιστες παρατηρήσεις-μαθηματικό έργο)
- Αντλεί τα στοιχεία του από τον Πτολεμαίο
- Επηρεάζεται από τον αστρονόμο Novara (πλατωνιστής) και επιθυμεί να συλλάβει τη δομή του σύμπαντος μέσα από απλές μαθηματικές σχέσεις.
- Η ιδέα του για ένα ηλιοστατικό σύστημα συναντάται το 1512 στο χειρόγραφο **Commentariolus**, στο οποίο παρουσιάζει 7 αξιώματα για την οικοδόμηση μιας νεάς αστρονομίας.
  1. Δεν υπάρχει ένα κέντρο για όλες τις ουράνιες τροχιές αλλά 2 (η γη για τη σελήνη, ο ήλιος για όλους τους πλανήτες)
  2. Το κέντρο της γης δεν ταυτίζεται με το κέντρο του σύμπαντος αλλά μόνο με το κέντρο της βαρύτητας και της τροχιάς της Σελήνης
  3. Όλες οι σφαίρες περιφέρονται γύρω από τον Ηλιο που είναι κοντά στο κέντρο του σύμπαντος.
  4. Η απόσταση μεταξύ γης και ήλιου είναι ανεπαίσθητη σε σχέση με το ύψος του στερεώματος.
  5. Οποιαδήποτε κίνηση στο στερέωμα οφείλεται στην κίνηση της γης (ημερήσια κίνηση)
  6. Ο,τι φαίνονται ως κινήσεις του Ηλιου αποτελούν κινήσεις της γης (ετήσια κίνηση)
  7. Η ανάδρομη κίνηση των πλανητών οφείλεται στην κίνηση της γης



# Περί των περιστροφών των ουρανίων σφαιρών

- 1539: ο George Joachim Rheticus πηγαίνει στον Κοπέρνικο για να μελετήσει το χειρόγραφο
- 1540: ο Rheticus δημοσιεύει το έργο του *Πρώτη αφήγηση για τα βιβλία των περιφορών* όπου παρουσιάζει τη θεωρία του Κοπέρνικου.
- **1543**: δημοσίευση του έργου του Κοπέρνικου *Περί των περιστροφών των ουρανίων σφαιρών* (ο ίδιος πεθαίνει μετά τη δημοσίευση του βιβλίου του)
  - Το έργο θεωρείται «επαναστατικό» διότι εξηγεί την κίνηση των ουρανίων σωμάτων με την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της και γύρω από τον ήλιο, και διότι μελέτησε με τη μέθοδο των επικύκλων και εκκέντρων τις αστρονομικές συνέπειες αυτών των αιτημάτων.
  - Μπορεί να θεωρηθεί όμως και ως ένας από τους τελευταίους εκπρόσωπους της Πτολεμαϊκής παράδοσης
    - Χρησιμοποιεί τα δεδομένα της Πτολεμαϊκής αστρονομίας (27 μόνο παρατηρήσεις φαίνεται να έχει κάνει ο ίδιος)
    - Το σύμπαν του είναι τέλεια σφαιρικό και πεπερασμένο. Η κίνηση παραμένει αυστηρά κυκλική.
    - Το σύστημα δεν είναι ιδιαίτερα απλό- επανεισάγει επίκυκλους και έκκεντρους αν και καταργεί τον εξισωτή.

NICOLAI CO  
PERNICI TORINENSIS  
DE REVOLVTIONIBVS ORBI-  
um coelestium, Libri VII.

.Habet in hoc opere iam recens nato, & ædito,  
studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum,  
quàm erraticarum, cum ex ueteribus, tum etiam  
ex recentibus obseruationibus restitutos: & no-  
uis insuper ac admirabilibus hypothefibus or-  
natos. Habet etiam Tabulas expeditissimas, ex  
quibus eisdem ad quoduis tempus quàm facillè  
me calculare poteris. Igitur eme, lege, fructe.

Αγαμέμνον Βίβλις πρώτη.

Norimbergæ apud Ioh. Petreium,  
Anno M. D. XLIII.

- Πρόλογος του Ανδρέα Οσιάντερ
- Γράμμα του Νικολάου Σένμπερκ
- Προς την αυτού αγιότητα, τον Πάπα Παύλο ΙΙΙ. Πρόλογος του Νικόλαου Κοπέρνικου στο Βιβλίο Περί των Περιστροφών.
- **Βιβλίο Ι:** γενική περιγραφή της ηλιοκεντρικής θεωρίας και σύνοψη της κοσμολογίας.
- **Βιβλίο ΙΙ:** αρχές σφαιρικής αστρονομίας και κατάλογος αστέρων
- **Βιβλίο ΙΙΙ:** περιγραφή των φαινομενικών κινήσεων του ήλιου και συναφών φαινομένων
- **Βιβλίο ΙV:** περιγραφή της Σελήνης και της τροχιάς της
- **Βιβλίο V & VI:** περιγραφή του νέου συστήματος, και εξήγηση υπολογισμών των θέσεων των ουρανίων σωμάτων με βάση του «ηλιοκεντρικό» μοντέλο

# Φυσικές και γεωμετρικές συνέπειες του Κοπερνίκειου συστήματος

- Η ημερήσια & ετήσια περιστροφή της γης έχει να αντιμετωπίσει τα αριστοτελικά και πτολεμαϊκά φυσικά αντεπιχειρήματα.
  - Θα πρέπει να ερμηνεύσει την αριστοτελική φυσική με τρόπο που δεν δέχονταν οι περισσότεροι σύγχρονοί του. Πχ. ο Κοπέρνικος υποστηρίζει όπως και ο Ορέμ ότι ο αέρας συμμετέχει στην κίνηση της γης εξαιτίας της κοινής τους φύσης και ίσως της τριβής.
- Μαθηματικά πλεονεκτήματα του Κοπερνίκειου συστήματος
  - Απλούστερο από θεωρητική άποψη γιατί δίνει μια ενιαία εξήγηση σε πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά της κίνησης των πλανητών που παρέμεναν ασύνδετα στο Πτολεμαϊκό σύστημα. Είχε περιορίσει των αριθμό των κύκλων σε 34.
- Η τελική αποδοχή του συστήματος του φαίνεται να βασίζεται σε μεταφυσικές πεποιθήσεις:
  - Απλότητα (ποιοτική, όχι ποσοτική)
  - Την ιδιαίτερη θέση του ήλιου



## Βιβλίο 1, κεφ. 10

«...Και ισχυρίζομαι ότι είναι απλούστερο να κάνεις αυτή την παραδοχή, παρά να ζαλίζεις το μυαλό σου με ένα σχεδόν άπειρο πλήθος κύκλων, όπως είναι υποχρεωμένοι να κάνουν όσοι κρατάνε με το ζόρι τη γη στο κέντρο του κόσμου. Η σοφία της φύσης είναι τόση που δεν παράγει τίποτε περιττό ή άχρηστο, αλλά συχνά παράγει πολλά αποτελέσματα από ένα αίτιο. Αν όλα αυτά είναι δύσκολα και σχεδόν ακατανόητα ή συγκρούονται με τις αντιλήψεις πολλών ανθρώπων, ας παρακαλέσουμε το Θεό να τα κάνει καθαρότερα από τον ήλιο, γι αυτούς τουλάχιστον που κάτι γνωρίζουν από μαθηματικά»

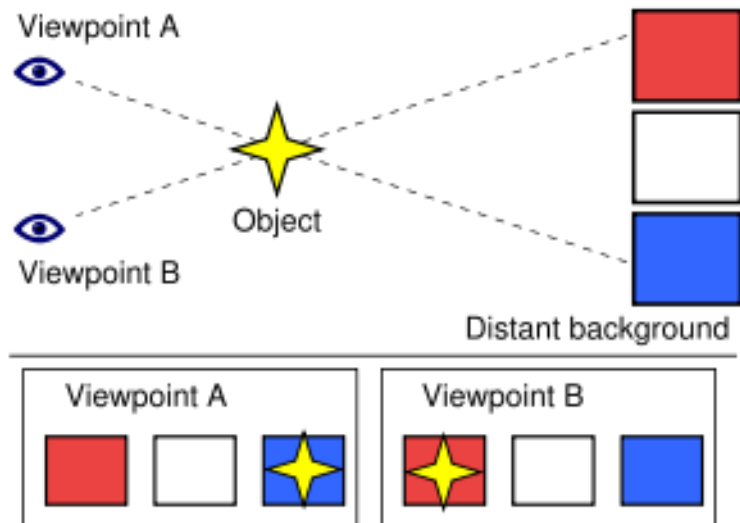
## Ενδιαφέρον για το έργο του Κοπέρνικου:

- Οι «Αλφόνσειοι πίνακες» θεωρούνται απαρχαιωμένοι και δεν αντιστοιχούν με τις παρατηρούμενες θέσεις των ουράνιων σωμάτων. Οι πρακτικοί αστρονόμοι στρέφονται προς τους «Πρωσικούς πίνακες» που είχαν υπολογιστεί με βάση το σύστημα του Κοπέρνικου (άσχετα αν πίστευαν ή όχι στην περιστροφή της γης).
- Μερικοί (πχ. Benedetti, Bruno, Petrus Ramus...) είδαν το σύστημα του Κοπέρνικου σαν όπλο για να χτυπήσουν τον Αριστοτέλη.
- Άλλοι όπως ο Τύχω Μπράχε, ο Κέπλερ και ο Γαλιλαίος κατανόησαν την αληθινή σημασία του Κοπερνίκειου συστήματος και επιχείρησαν να ενοποιήσουν τις παρατηρήσεις, τις γεωμετρικές περιγραφές και τη φυσική θεωρία.

- Παρά τη δημοσίευση του έργου του Κοπέρνικου το 1543, το «ηλιοκεντρικό» του σύστημα αντικατέστησε το γεωκεντρικό μόνο κατά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα.
  - Παραμένει η αντίληψη σύμφωνα με τη οποία δεν είναι δυνατό να αποκτηθεί βεβαιότητα σχετικά με τις αιτίες και τους νόμους της φύσης, και η αρχή του «σώζειν τα φαινόμενα».
  - Η Μεταρρύθμιση και η Αντιμεταρρύθμιση συνέβαλαν στην περαιτέρω εδραίωση του αριστοτελισμού ενώ στράφηκαν κατά του Κοπέρνικου.
  - Μόλις τον 17ο αιώνα οι φυσικές συνέπειες που προέκυπταν από την ημερήσια και ετήσια κίνηση της γης κατέστρεψαν τη φυσική του Αριστοτέλη

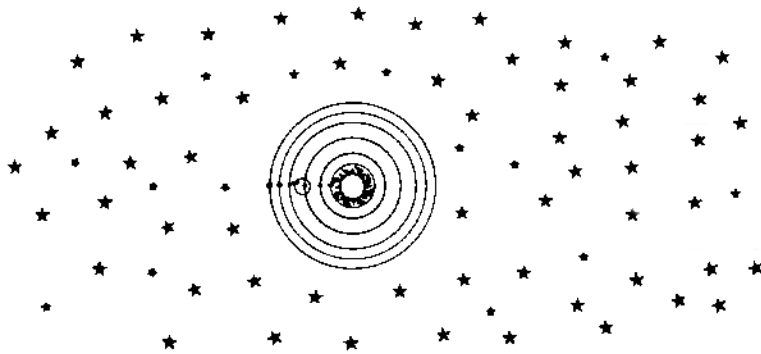
- Ο Κοπέρνικος υιοθετεί μια διαφορετική στάση απέναντι στην επιστήμη και στη φύση: θεωρεί ότι το σύστημά του περιγράφει αληθινές κινήσεις.
- Οι «υποθέσεις» που χρησιμοποιεί δεν αποτελούν απλές συμβάσεις. [βλ. πρόλογο : «Μόνον αν είναι αληθείς οι υποθέσεις μπορούν πραγματικά να σωθούν τα φαινόμενα»]
- Υποτάσει τη φυσική στην αστρονομία (η αλήθεια του συστήματός του βασίζεται σε αστρονομικά επιχειρήματα).
- Το πρόβλημα προσαρμογής της φυσικής στο νέο σύστημα αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα εφόσον μιλάμε πλέον για αληθινές κινήσεις.
- Η στάση αυτή ακολουθείται από τους Γαλιλαίο, Κέπλερ, Ντεκαρτ και Νεύτωνα.

# Αστρική παράλλαξη και το μέγεθος του Σύμπαντος



- Εκτός από τη φυσική πλευρά του προβλήματος της κινούμενης γης, το σύστημα του Κοπέρνικου προβλημάτιζε τους αστρονόμους λόγω του προβλήματος της αστρικής παράλλαξης.
- Ο παρατηρητής θα έπρεπε να διαπιστώνει μια μετρήσιμη μετατόπιση (παράλλαξη) στη φαινομενική θέση οποιουδήποτε συγκεκριμένου αστέρα.

# Αστρική παράλλαξη και το μέγεθος του Σύμπαντος



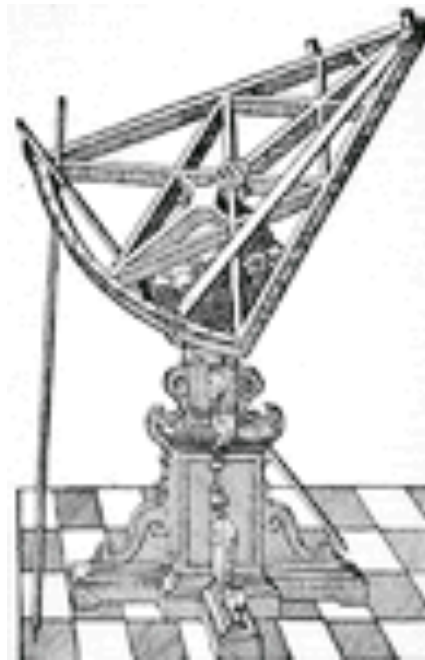
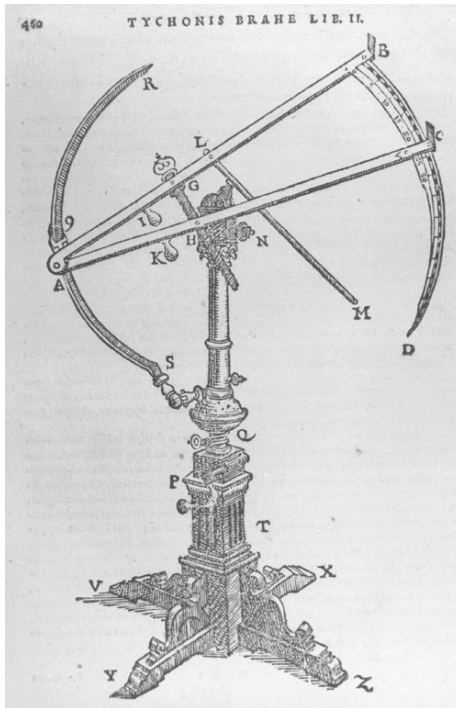
- Είτε η γη θα έπρεπε να ηρεμεί, είτε το σύμπαν θα έπρεπε να είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ό,τι θεωρούσαν μέχρι τότε.
- Ο Giordanno Bruno (1548-1600) ήταν από τους πρώτους φιλόσοφους που είχαν υποστηρίξει την ύπαρξη ενός άπειρου σύμπαντος.

# Τύχο Μπράχε (1546-1601)



- Δανός γιος ευγενούς. Μόρφωση σε πανεπιστήμια της Βόρειας Ευρώπης
- Το 1572 παρατηρεί ένα **νέο** άστρο.
- Η εμφάνισή του σηματοδοτεί σαφώς μια μεταβολή στους ουρανούς. [θα μπορούσε να υποτεθεί ότι βρίσκεται στην υποσελήνια περιοχή, αλλά δεν παρατηρήθηκε παράλλαξη]
- 1577-1596: παρατηρεί διάφορους κομήτες (χωρίς παράλλαξη & πρόβλημα με κρυστάλλινες σφαίρες).

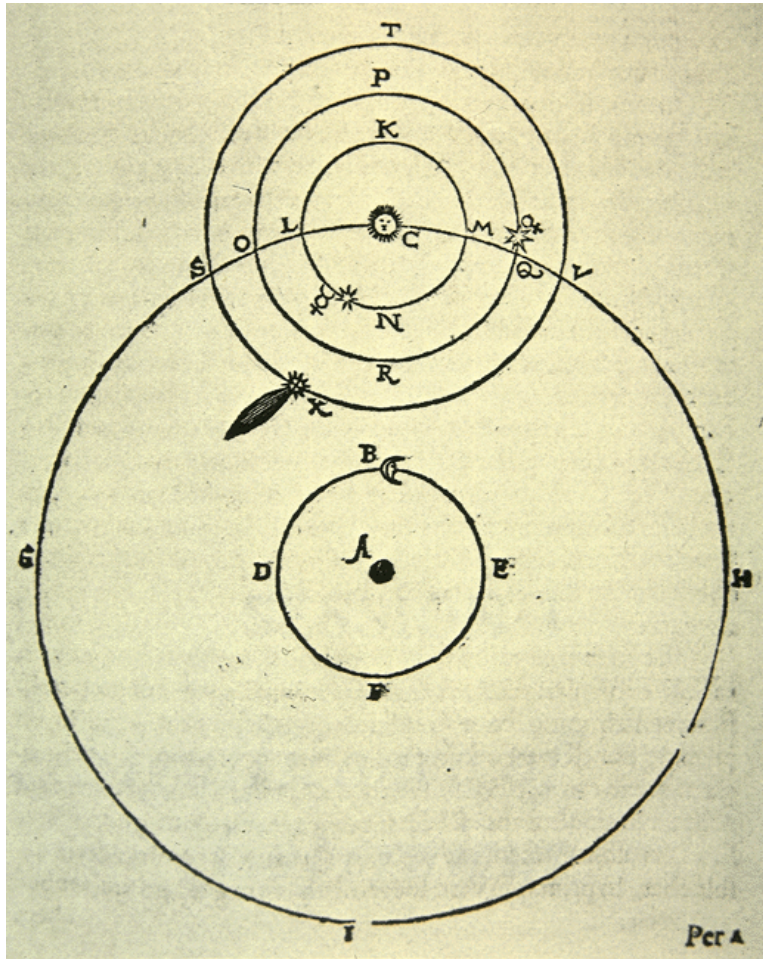
# Τύχο Μπράχε (1546-1601)



- Συστηματικές παρατηρήσεις
- Ακριβείς αστρικοί πίνακες
- Νέα παρατηρησιακά όργανα στο αστεροσκοπείο Uraniborg στο Χβέεν.



# Τύχο Μπράχε (1546-1601)



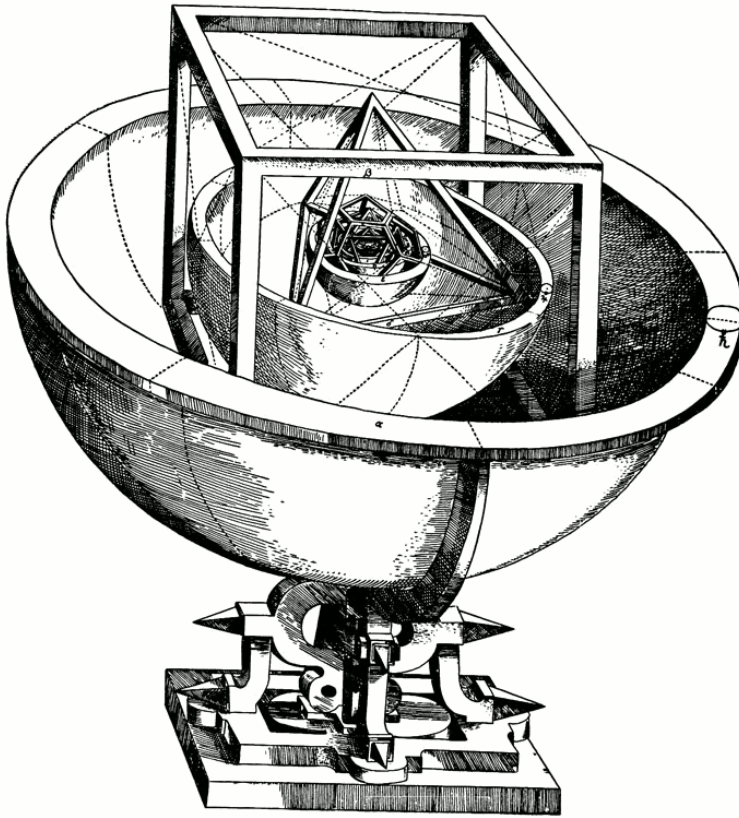
- Δεν αποδέχεται το κοπερνίκειο σύστημα λόγω της απουσίας αστρικής παράλλαξης & μεγέθους του σύμπαντος
- Συμβιβαστική λύση:  
Η γη είναι στάσιμη με τη σελήνη ως δορυφόρο της. Ο ήλιος κινείται γύρω από τη γη, και οι υπόλοιποι πλανήτες γύρω από τον ήλιο.

# Γιοχάνες Κέπλερ (1571-1630)

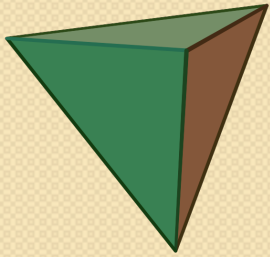


- Από οικογένεια λουθηρανών. Σπουδές στο προτεσταντικό παν/μιο της Τυβίγγης για να γίνει κληρικός.
- Μαθητής του Μιχαέλ Μαίστλιν που διδάσκει αστρονομία (Πτολεμαϊκό και Κοπερνίκειο σύστημα)
- 1594: καθηγητής μαθηματικών στο προτεσταντικό σεμινάριο του Γκρατς (μεταξύ των υποχρεώσεών του είναι και η σύνταξη ημερολογίων)
- 1595: συγγράφει το Κοσμογραφικό Μυστήριο (1596)

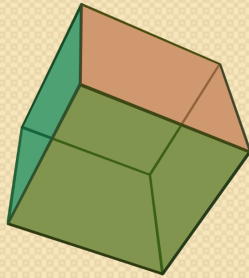
# *Mysterium cosmographicum* (1596)



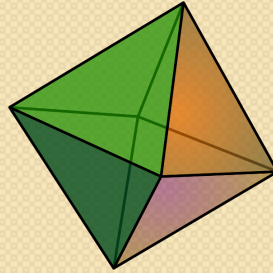
- Οπαδός του Κοπέρνικου. Επιθυμεί να υπερασπιστεί το Κοπερνίκειο σύστημα διευρενώντας τους φυσικούς και μεταφυσικούς λόγους της υπεροχής του και όχι μόνο τους μαθηματικούς.
- Σκοπός του είναι να αποδείξει ότι «ο Θεός έστρεψε την προσοχή του σε εκείνα τα 5 κανονικά σώματα τα οποία απόλαυαν εξαιρετικής φήμης από τον καιρό του Πυθαγόρα και του Πλάτωνα» [Αναζητάει μια παγκόσμια μαθηματική τάξη]



Τετράεδρο



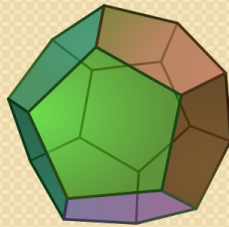
εξάεδρο



οκτάεδρο



δωδεκάεδρο



εικοσάεδρο

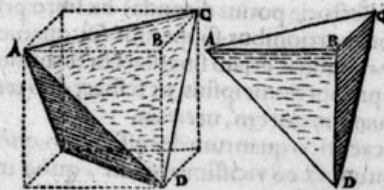
- Ο Κέπλερ σημειώνει ότι οι σφαίρες στις οποίες ανήκουν οι τροχιές των πλανητών μπορούν να περιέχουν τα στερεά του Πλάτωνα.
- Ο κύβος εγγράφεται στην τροχιά του Κρόνου, το τετράεδρο στον Δία, το δωδεκάεδρο στο Αρη, το εικοσάεδρο στην Αφροδίτη, και το οκτάεδρο στον Ερμή...

### 5 Πλατωνικά στερεά

Όλες οι έδρες των πολυέδρων αυτών είναι κανονικά πολύγωνα, όλες οι ακμές είναι μεταξύ τους ίσες και όλες οι γωνίες τους είναι αντίστοιχα μεταξύ τους ίσες.

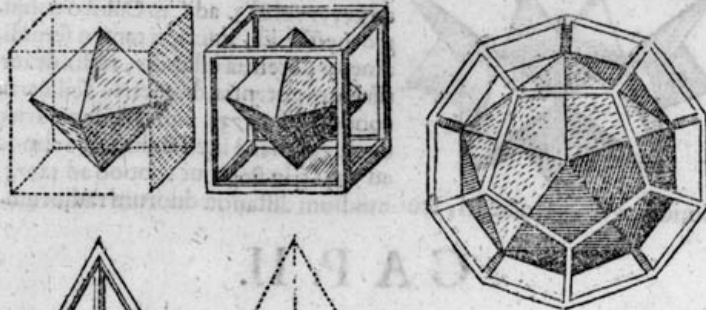
# HARMONICIS LIB. V. 181

ædris irregularibus, quibus tegitur Cubus intus. Huic succedit Icofaë-



ædron 4. ob similitudinem, ultima secundariarum, angulo folido plurilineari utentium. Incitum est Octoædron 5. Cubi simile, & prima figura secundariarum, cui ideo primus locus interiorum debetur, quippe inscriptili: uti cubo circumscriptili primus exteriorum.

Sunt autem notabilia duo veluti conjugia harum figurarum, ex



diversis combinata classibus: Mares, Cubus & Dodecaædron ex primarijs; foeminae, Octoædron & Icofaedron ex secundarijs; qui-

- Το κοσμογραφικό μυστήριο δεν αναζητά μόνο τους νόμους της δομής του κόσμου, αλλά και τα αίτια της κίνησης των πλανητών και της ταχύτητάς τους.
- Θεωρεί ότι υπάρχει μια κινητήριος δύναμη (anima motrix) η οποία εδράζει στον ήλιο και προκαλεί την περιστροφή των πλανητών γύρω από αυτόν (εξασθενεί ανάλογα με την απόσταση).
- Ο ήλιος είναι η έδρα της ζωής, της κίνησης και της παγκόσμιας ψυχής.

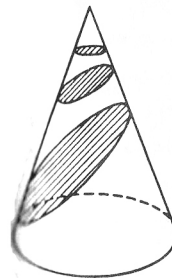
- Ο Κέπλερ στέλνει το *Mysterium Cosmographicum* στους:
  - **Τύχο Μπράχε** [δείχνει συμπάθεια προς τις μυστικιστικές θέσεις του Κέπλερ, αν και τονίζει ότι η αρμονία και οι αναλογίες του σύμπαντος πρέπει να αναζητούνται a posteriori. Προσφέρει στον Κέπλερ τη θέση του βοηθού/ Αυλή Ροδόλφου Β' στην Πράγα.]
  - **Γαλιλαίο** [συγχαίρει τον Κέπλερ για την υποστήριξη του Κοπερνίκειου συστήματος, αλλά δεν ασχολείται με τον μυστικισμό]
- Από το 1600 ο Κέπλερ αφοσιώνεται στη μελέτη της τροχιάς του Αρη για την κατάρτιση νέω πινάκων.
- 1601: θάνατος του Τύχο Μπράχε. Ο Κέπλερ «κληρονομεί» τη θέση του ως αυτοκρατορικός μαθηματικός και αποκτά πρόσβαση στις σημειώσεις και τα γραπτά του.

# Astronomia Nova (1609)

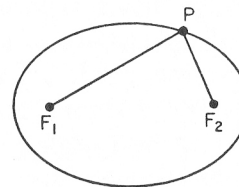


- Αδυνατεί να καταλήξει σε έναν απλό μαθηματικό κανόνα όσον αφορά στη τροχιά του Αρη.
- Απαριθμεί και αναλύει 70 απόπειρες που πραγματοποίησε μέχρι να εναρμονίσει τα παρατηρησιακά δεδομένα του Μπράχε με την κίνηση του Αρη (έχει απόκλιση 8-9 λεπτών του τόξου, διαφορά που εκείνη την εποχή ήταν απολύτως αποδεκτή). Απορρίπτει όλες τις λύσεις.
- Εξετάζει την τροχιά της γης και συμπεραίνει ότι: Η επιβατική ακτίνα που συνδέει τον ήλιο με κάποιον πλανήτη σαρώνει ίσα εμβαδά σε ίσους χρόνους.

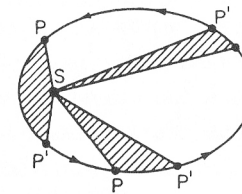
- Οι πλανήτες κινούνται **πραγματικά** και όχι μόνο φαινομενικά με μη ομοιόμορφη κίνηση.
- Η φυσική αιτία της μεταβολής της ταχύτητας θα αναζητηθεί στον ήλιο. Ο Κεπλερ επηρεάζεται από τις μελέτες του Γκίλμπερτ στον μαγνήτη.
- Οι ιδιαίτερες κινήσεις των πλανητών είναι έλξεις ανάλογες με «την ελκτική δύναμη που διαθέτει ο μαγνήτης» [επιχειρεί την ενοποίηση της ουράνιας με τη γήινη φυσική]
- Υποστηρίζει ότι η τροχιά του πλανήτη **δεν** είναι ένας τέλειος κύκλος, αλλά ωσειδής.
- Μετά από μια μελέτη πιθανών καμπύλων, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις. Η **έλλειψη** βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με τα δεδομένα των παρατηρήσεων και το νόμο των εμβαδών.
- Η εγκατάλειψη του δόγματος της κυκλικότητας οδήγησε στην απλούστευση του συστήματος (εγκαταλείπονται οι έκκεντροι και επίκυκλοι).



(a)



(b)



(c)



- Το *Astronomia Nova* είναι ένα έργο γραμμένο σε δύσκολη και αυτηρή μαθηματική γλώσσα.
- 1612: ο Ροδόλδος ο Β΄ παραιτείται και ο Κέπλερ αφήνει την Πράγα για εργάζεται για διάφορους μαικήνες
- Σχεδιάζει ένα έργο σύνοψη & εγχειρίδιο της νέας αστρονομίας το οποίο εκδίδεται σε διάφορους τόμους από το 1617-1621 (παρουσία νέων αστρονομικών ανακαλύψεων στο πλαίσιο ενός πυθαγορισμού-νεοπλατωνισμού).
- 1619: εκδίδει το *Harmonices mundi libri quinque*.

# Harmonices Mundi (1619)

Ioannis Keppleri  
**HARMONICES  
MUNDI**

LIBRI V. QVORVM

Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportio-  
nes Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.  
Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGURATA, De Fi-  
gurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:  
Tertius propriè HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum or-  
tu ex Figuris; deque Natura & Differentiis rerum ad cantum per-  
tinentium, contra Veteres:  
Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ASTROLOGICVS, De Har-  
moniarum mentali Effentia earumque generibus: in Mundo; præfer-  
tim de Harmonia radiorum, ex corporibus celestibus in Terram de-  
scendentibus, eiusque effectu in Natura seu Anima sublimari &  
Humana:  
Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissi-  
mis moruum celestium, ortuque Eccentricitatum ex proportioni-  
bus Harmonicis.  
Appendix habet comparationem huius Operis cum Harmonices Cl.  
Ptolemæi libro II. I. cumque Robertide Fluctibus, dicti Flud. Medici  
Oxonienfis speculationibus Harmonicis; open de Macrocosmo &  
Microcosmo inferentis.



Cura S. C. M<sup>o</sup>. Privilegio ad annos XV.

Lincii Austria,

Sumptibus GODOFREDI TAMPACHII Bibl. Francof.  
Excudebat IOANNES PLANCVS.

ANNO M. DC. XIX.

- Αναζήτηση των παγκόσμιων αρμονιών για τη φύση.
- Μελέτη 5 κανονικών στερεών και των αρμονικών τους λόγων.
- Εξέταση των μουσικών αρμονιών στο σύμπαν.
- Μελέτη 4 φωνών που εξέπεμπαν οι πλανήτες.
- Τα τετράγωνα των χρόνων περιφοράς οποιωνδήποτε 2 πλανητών γύρω από τον ήλιο είναι ανάλογα προς τους κύβους των μέσων αποστάσεών τους από τον ήλιο. [έχει ανακαλυφθεί ένας νόμος ο οποίος δεν περιορίζεται στη ρύθμιση της κίνησης των πλανητών στις επιμέρους τροχιές τους, αλλά προσδιορίζει μια σχέση μεταξύ των ταχυτήτων όλων των πλανητών οι οποίοι κινούνται σε διαφορετικές τροχιές]