



# Ιστορία Φυσικών Επιστημών

Εαρινό εξάμηνο 2014

Φαίδρα Παπανελοπούλου

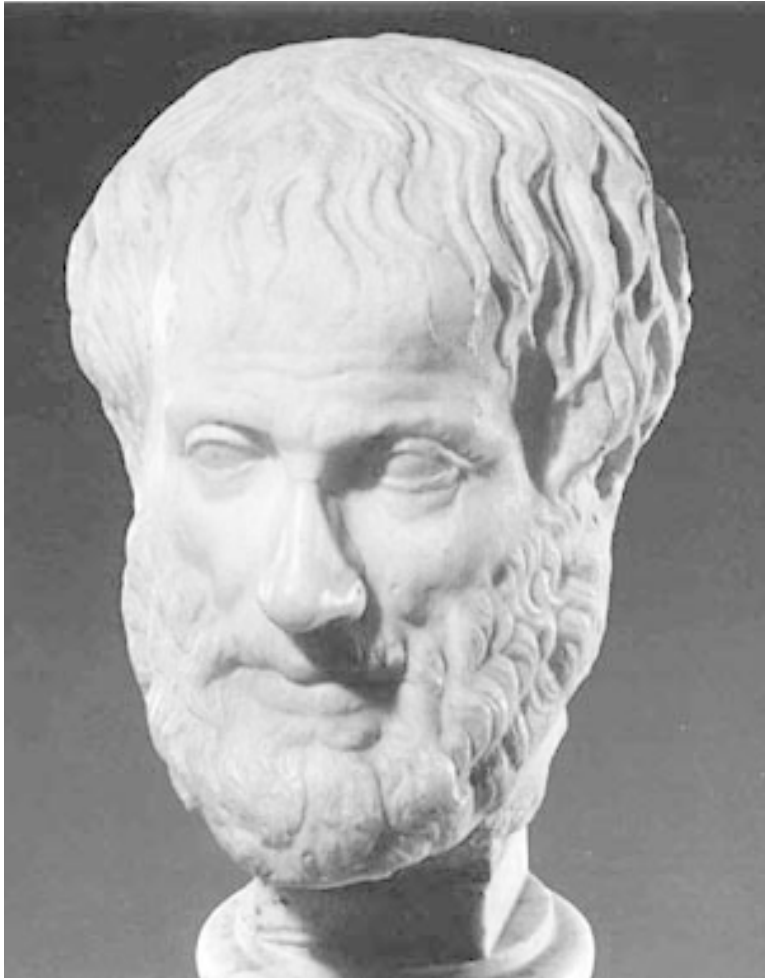
<http://eclass.uoa.gr/courses/PHS222/>



# Αρχαιότητα

- Αριστοτελική κοσμολογία και θεωρία της κίνησης
- Πρώιμη ελληνική αστρονομία
- Ελληνιστική αστρονομία

# Αριστοτέλης (384π.Χ.- 322π.Χ.)



- Περισσότερες από 150 πραγματείες (30 σωζόμενα έργα σε μορφή σημειώσεων διαλέξεων, ημιτελείς πραγματείες)
- Φυσικές πραγματείες
  - *Φυσικά*
  - *Περί Ουρανού*
  - *Περί γενέσεως και φθοράς*
  - *Μετεωρολογικά*

# Μεταφυσική και γνωσιολογία

- Σε αντίθεση με τον Πλάτωνα, που υποστήριζε ότι η πραγματικότητα στην τέλεια πληρότητά της είναι κτήμα των αιώνιων ιδεών, ο Αριστοτέλης θεωρούσε ότι τα αντικείμενα πρέπει να έχουν αυτόνομη ύπαρξη.
- Διακρίνει μεταξύ ιδιοτήτων και υποκειμένων τους (οι ιδιότητες δεν υπάρχουν ανεξάρτητα): **μορφή** (οι ιδιότητες που κάνουν το αντικείμενο αυτό που είναι) και **ύλη** (το υπόστρωμα της μορφής).
- Η μορφή δεν ξεχωρίζεται πραγματικά από την ύλη-παρουσιάζονται σε εμάς ως ενοποιημένο όλον.
- Η πρωταρχική πραγματικότητα συνίσταται από συγκεκριμένα ατομικά όντα → γνωσιολογικές συνέπειες:
  - Αναζήτηση της γνώσης από τον κόσμο των ατομικών πραγμάτων, της φύσης και της μεταβολής (κόσμος των αισθήσεων)

# Μεταφυσική και γνωσιολογία

- Η διαδικασία απόκτησης γνώσης ξεκινάει από την αισθητηριακή εμπειρία.
- Από την επαναλαμβανόμενη αισθητηριακή εμπειρία προκύπτει η μνήμη.
- Από τη μνήμη, μέσω μιας διαδικασίας «ενορατικής» σύλληψης, ο έμπειρος ερευνητής μπορεί να διακρίνει τα καθολικά χαρακτηριστικά των πραγμάτων.
- Η γνώση είναι εμπειρική, αλλά ό,τι μαθαίνουμε μέσω της «επαγωγικής» διαδικασίας δεν αποκτά το καθεστώς αληθινής γνώσης, αν δεν αποκτήσει λογικά παραγωγική μορφή.

# Φύση και Μεταβολή

- Η μεταβολή είναι πραγματική.
- Διάκριση μορφής και ύλης. Ένα αντικείμενο αλλάζει όταν η μορφή του μεταβάλλεται ενώ η ύλη του παραμένει σταθερή.
- Κάθε μεταβολή μορφής λαμβάνει χώρα μεταξύ ενός ζεύγους αντιθέτων (η μεταβολή έχει καθορισμένο τέλος).
- Μετάβαση από τη δύναμη στην ενέργεια (δυνάμει και ενεργεία είναι)
- Ποια η αιτία της μεταβολής;  
(σύνδεση φύσης και αιτιότητας)
  - Ο κόσμος είναι εύτακτος και τα πράγματα σε αυτόν συμπεριφέρονται με προβλέψιμο τρόπο (κάθε αντικείμενο έχει τη «φύση» του)

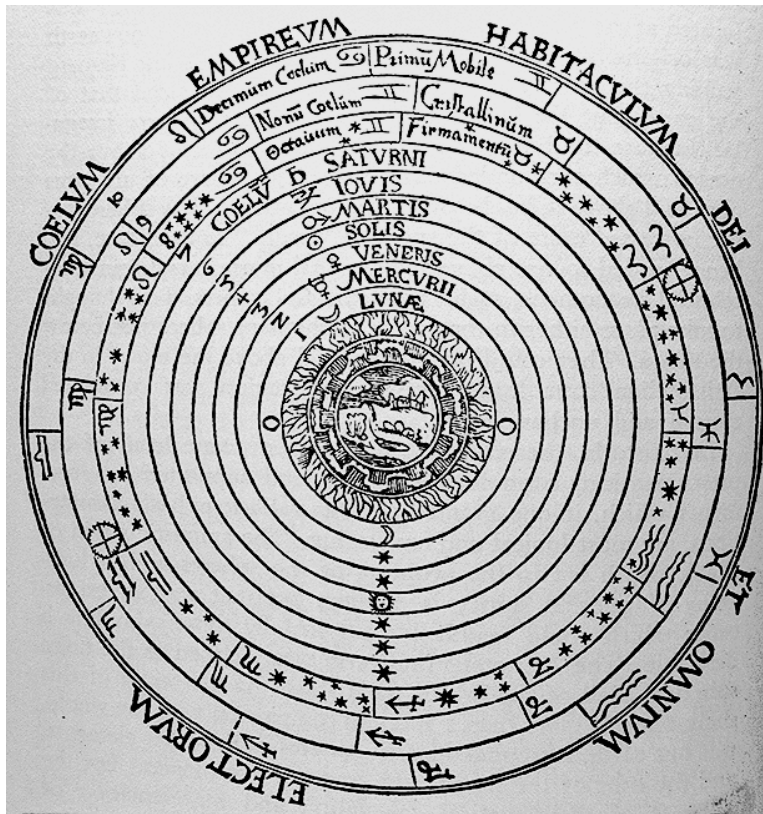
# Φύση και Μεταβολή

## Αριστοτελικά αίτια

- Το **ειδικό** (σχετίζεται με τη μορφή)
- Το **υλικό** (σχετίζεται με την ύλη)
- Το **ποιητικό** (υπεύθυνο για τη μεταβολή) [ταυτίζεται με τη σημερινή έννοια της αιτιότητας]
- Το **τελικό** (εκφράζει το σκοπό της μεταβολής)



# Κοσμολογία



- Αιώνιο
- Σφαίρα χωρισμένη σε 2 περιοχές με ενδιάμεσο στοιχείο τη Σελήνη.
- Γήινη (ή υποσελήνια) περιοχή: ύπαρξη γένεσης, φθοράς και μεταβολών: 4 στοιχεία (γη, αέρας, φωτιά, νερό)
- Ουράνια (ή υπερσελήνια) περιοχή: αιώνιοι και αμετάβλητοι κύκλοι: Αιθέρας.
- Ανυπαρξία κενού



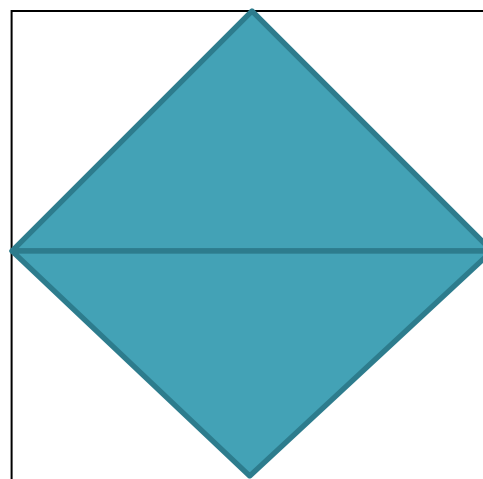
# Στοιχεία & Ιδιότητες

ελαφρότητα

Θερμό

φωτιά

Ξηρό



αέρας

γη

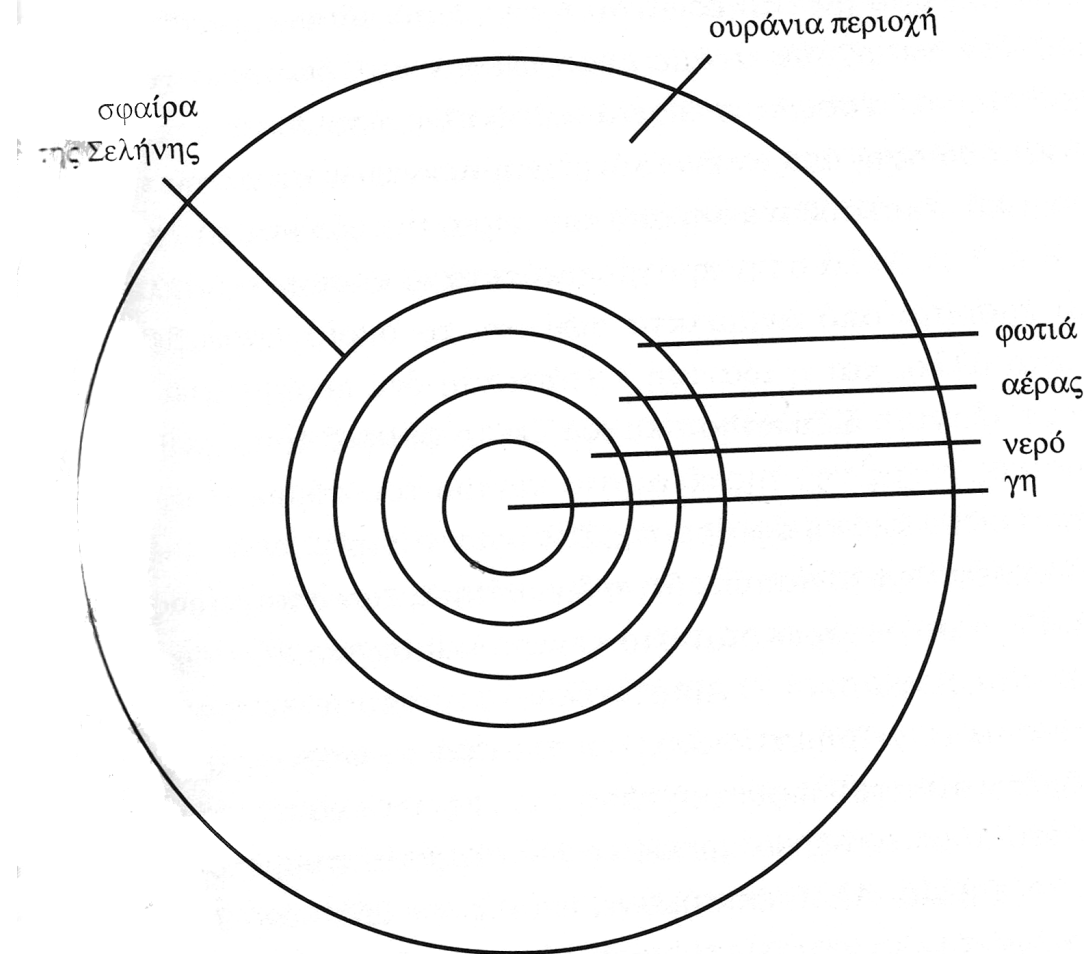
Υγρό

νερό

Ψυχρό

βαρύτητα

# Ο κόσμος του Αριστοτέλη



# Επίγεια κίνηση

- Η κίνηση δεν είναι ποτέ αυθόρμητη: δεν υπάρχει κίνηση χωρίς κινούν.
- Διάκριση δύο τύπων κίνησης: «φυσική» και «εξαναγκασμένη ή βίαια»
  - Στη φυσική κίνηση το κινούν είναι η φύση του σώματος (η τάση του να κινηθεί προς το φυσικό του τόπο- όταν το σώμα φτάσει στον φυσικό του τόπο η κίνηση σταματά).
  - Στη βίαια κίνηση το κινούν είναι μια εξωτερική κίνηση, η οποία υποχρεώνει το σώμα να παραβεί τη φυσική του τάση. Η κίνηση σταματά όταν η εξωτερική δύναμη σταματήσει να ενεργεί.

# «Εξαναγκασμένη» κίνηση



- Γιατί ένα βέλος/βλήμα, το οποίο εκτοξεύεται οριζόντια και άρα εκτελεί εξαναγκασμένη κίνηση, δεν σταματά αμέσως μόλις χάσει την επαφή του με αυτό που το εκτόξευσε;
- Το περιβάλλον μέσο (πχ. Ο αέρας) αναλαμβάνει το ρόλο του κινούντος.

# Επίγεια κίνηση

- Η δύναμη δεν είναι ο μόνος καθοριστικός παράγοντας της κίνησης.
- Σε όλες τις κινήσεις υπάρχει επίσης αντίσταση.
- Η ταχύτητα της κίνησης θα πρέπει να εξαρτάται από αυτούς τους δύο παράγοντες- την κινητήρια δύναμη και την αντίσταση.
  - *Ποια η σχέση μεταξύ δύναμης, αντίστασης και ταχύτητας;*
- Όταν πέφτουν δύο σώματα διαφορετικού βάρους, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να καλυφθεί μια δεδομένη απόσταση είναι αντιστρόφως ανάλογα των βαρών.
- Αν σώματα ίδιου βάρους κινούνται σε μέσα με διαφορετικές πυκνότητες, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να διανυθεί μια δεδομένη απόσταση είναι ανάλογα με τις πυκνότητες των αντιστοιχων μέσων.

# Επίγεια κίνηση

- Η ταχύτητα είναι ανάλογη της κινητήριας δύναμης και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης. Στην περίπτωση της φυσικής πτώσης ενός σώματος με βάρος, η κινητήρια δύναμη είναι το βάρος του σώματος.
- Σε περίπτωση που η αντίσταση είναι ίση με την κινητήρια δύναμη δεν υπάρχει καθόλου κίνηση.
- Η έλλειψη αντίστασης (κενός χώρος) θα επέτρεπε στο σώμα να κινηθεί με άπειρη ταχύτητα- έννοια που δεν έχει νόημα.
- Η ταχύτητα δεν είναι ποσοτικό μέτρο της κίνησης, αλλά περιγράφει την κίνηση με όρους αποστάσεων και χρόνων.

# Σχόλια της αριστοτελικής θεωρίας περί κίνησης

**Ιωάννης Φιλόπονος** (6<sup>ος</sup> αι. μ.Χ.)

- Εκκλησιαστικός συγγραφέας και φιλόσοφος, νεοπλατωνιστής αν και επηρεάστηκε από τον Αριστοτέλη.
- Σχολιαστής των *Φυσικών*, *Μετεωρολογικών*, *Περί γενέσεως και φθοράς*, *Περί ψυχής*...
- Αρνείται τη θεωρία της κίνησης του Αριστοτέλη και την αδυνατότητα ύπαρξης κενού.

- Αμφισβητεί το ρόλο και τη λειτουργία που αποδίδει ο Αριστοτέλης στο εξωτερικό μέσο. [το εξωτ. μέσο δεν είναι αναγκαίο ούτε αποτελεί δρώσα δύναμη της τοπικής κίνησης]
- Υποδεικνύει την ύπαρξη μιας ασώματης, εντυπωμένης δύναμης. [η εντυπωμένη δύναμη σταδιακά διαχέεται στο περιβάλλον και εξασθενεί— είναι η κινητήρια δύναμη, ενώ το σώμα αποτελεί την αντίσταση]
- Αρνείται τον ισχυρισμό ότι ο χρόνος πτώσης είναι αντιστρόφως ανάλογος του βάρους του σώματος [το σώμα λειτουργεί ως αντίσταση]
- Αρνείται την αδυνατότητα ύπαρξης κενού [η κίνηση στο κενό μπορεί να είναι πεπερασμένη και μη στιγμιαία]

# Ουράνια κίνηση

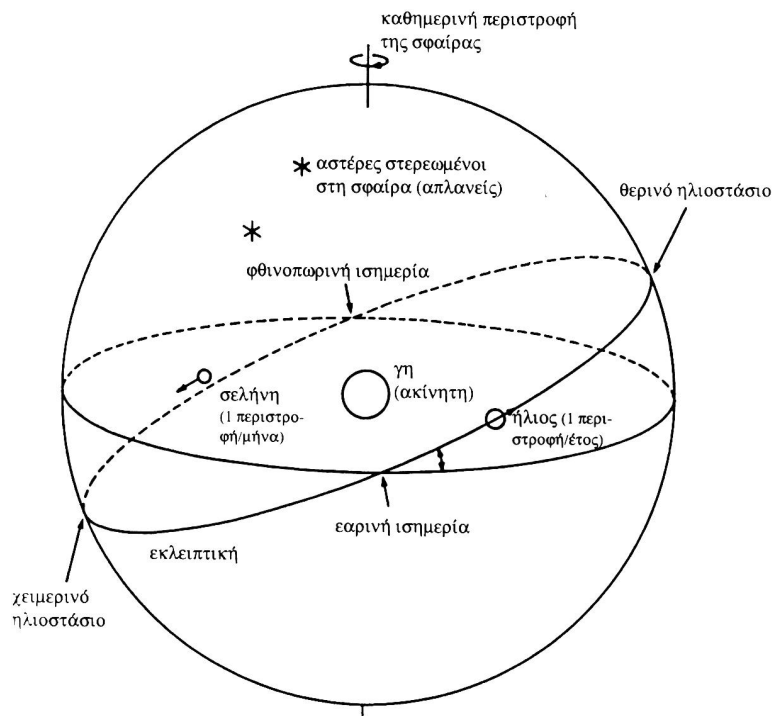
- Οι ουρανοί αποτελούνται από την πέμπτη ουσία, μια αναλλοίωτη ουσία η οποία, καθώς δεν έχει αντίθετο στοιχείο δεν επιδέχεται ποιοτική αλλαγή.
- Τα ουράνια σώματα κινούνται με το τελειότερο είδος κίνησης- τη συνεχή ομαλή κυκλική κίνηση, η οποία εξηγεί και τους παρατηρούμενους ουράνιους κύκλους.
- Το αίτιο της αιώνιας αυτής κίνησης θα πρέπει να είναι το ίδιο ακίνητο (ένα ακίνητο κινούν) για να μην βρεθούμε παγιδευμένοι σε μια άπειρη ακολουθία.
- «Πρώτο Κινούν»: έμψυχος θεός, απολύτως ενεργός, που δεν καταλαμβάνει τόπο και είναι ξεχωριστός από τις σφαίρες τις οποίες κινεί.
- Προκαλεί την κίνηση ως τελικό αίτιο (αποτελεί το αντικείμενο επιθυμίας των ουράνιων σφαιρών)



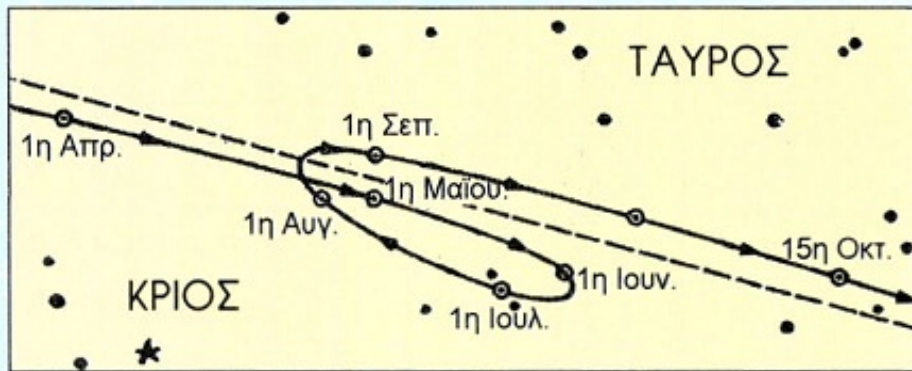
# Η πρώιμη ελληνική αστρονομία

- Η παρατήρηση και χαρτογράφηση των αστέρων, το ημερολόγιο και οι κινήσεις του Ήλιου και της Σελήνης (προϋπόθεση για την κατασκευή ενός ικανοποιητικού ημερολογίου)
- Αποφασιστική καμπή της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας: 4<sup>ος</sup> αι.: Πλάτωνας (427-348π.Χ) και Εύδοξος ο Κνίδιος (~390-337π.Χ.):
  - Μετατόπιση του ενδιαφέροντος από την αστρική στην πλανητική αστρονομία
  - Δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου (δύο σφαιρών) για την αναπαράσταση των αστρικών και πλανητικών φαινομένων.
  - Επεξεργασία κριτηρίων στα οποία θα πρέπει να υπακούουν θεωρίες που στοχεύουν στην εξήγηση πλανητικών παρατηρησιακών δεδομένων.

# Η πρώτη ελληνική αστρονομία



- Μοντέλο δύο ομόκεντρων σφαιρών (Γη και ουρανός)
- Τα άστρα είναι στερεωμένα στην ουράνια σφαίρα
- Ο Ήλιος, η Σελήνη και οι υπόλοιποι 5 πλανήτες κινούνται πάνω στην επιφάνειά της, ακολουθώντας την εκλειπτική.
- Όλοι οι πλανήτες εκτός από τον Ήλιο και τη Σελήνη, εκτελούν παλινδρομική κίνηση.



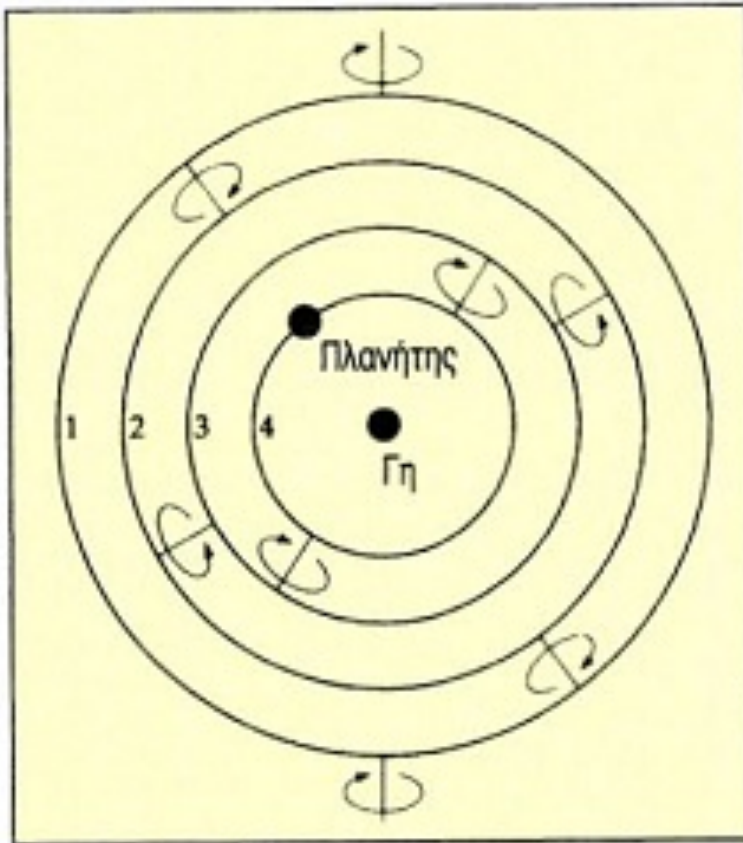
Αναπαράσταση της φαινόμενης τροχιάς του πλανήτη Αρη εν μέσω των αστερισμών του Κριού και του Ταύρου.

Η κίνηση των πλανητών παρουσιάζει κάποιες φαινομενικές ανωμαλίες (στάσεις, αναδρομήσεις και ορθοδρομήσεις).

# Η πρώιμη ελληνική αστρονομία

- Μοντέλο δύο σφαιρών:
  - Όλες οι κινήσεις λαμβάνουν χώρα πάνω στην επιφάνεια της ουράνιας σφαίρας, ενώ η ίδια η σφαίρα περιστρέφεται κάθε μέρα γύρω από τη Γη.
  - Η κίνηση που προκύπτει είναι ένας συνδυασμός της ανώμαλης κίνησης των πλανητών πάνω στην εκλειπτική και της ομαλής περιστροφής της ουράνιας σφαίρας.
  - Γεωμετρικός τρόπος σύλληψης και περιγραφής των πλανητικών φαινομένων.
- Η ιδιόμορφη και μεταβλητή κίνηση κάθε πλανήτη θα πρέπει να αναχθεί σε κάποιο συνδυασμό ομαλών κινήσεων (τάξη στην αταξία)

# Η πρώτη ελληνική αστρονομία



- Ανάγκη προσδιορισμού του συνδυασμού ομαλών κυκλικών κινήσεων στις οποίες αναλύεται η φαινόμενη ανομοιόμορφη κίνηση κάθε πλανήτη.
- Εύδοξος:
  - Αποδίδει σε κάθε πλανήτη ένα σύστημα εγκιβωτισμένων, ομόκεντρων σφαιρών και σε κάθε σφαίρα μια συνιστώσα της σύνθετης πλανητικής κίνησης.

# Η πρώτη ελληνική αστρονομία

- Απέδιδε ο Εύδοξος φυσική πραγματικότητα στο μοντέλο του; (Ήταν οι σφαίρες φυσικά αντικείμενα;)
  - Η προσπάθεια ήταν να κατασκευαστεί ένα αμιγώς μαθηματικό μοντέλο, χωρίς αξιώσεις περιγραφής της φυσικής πραγματικότητας.
- Ήταν το μοντέλο επιτυχημένο;
  - Δεν γνωρίζουμε τις γεωμετρικές λεπτομέρειες του συστήματός του- μάλλον δεν είχε σχεδιαστεί με σκοπό την επίτευξη ποσοτικών προβλέψεων, αλλά την ποιοτική συμφωνία μεταξύ θεωρίας και παρατηρήσεων.

# Η πρώτη ελληνική αστρονομία

- Ο Κάλλιπος βελτιώνει το σύστημα του Εύδοξου προσθέτοντας επιπλέον σφαίρες.
- Ο Αριστοτέλης επεξεργάζεται περαιτέρω το μοντέλο του Ευδόξου, με τις τροποποιήσεις του Κάλλιπου, με τη διαφορά ότι αποδίδει φυσική πραγματικότητα στο σύστημα.
- Το σύστημα μετατρέπεται από καθαρά γεωμετρική κατασκευή σε μηχανική.
- Αναγκάζεται να σκεφτεί σοβαρά το πρόβλημα μετάδοσης της κίνησης από τη μια σφαίρα στην άλλη, και προσθέτει τις λεγόμενες αντισταθμιστικές σφαίρες προκειμένου οι κινήσεις των σφαιρών που αντιστοιχούν σε έναν πλανήτη να μην επηρεάζουν τις κινήσεις άλλων πλανητών.
- Το σύστημα του Αριστοτέλη είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και αποτελείται από 55 σφαίρες, συν τη σφαίρα των απλανών αστερών.
- Κληροδοτεί το ερώτημα περί της ισορροπίας μεταξύ μαθηματικού και φυσικού στην αστρονομία. Είναι η αστρονομία μαθηματική τέχνη, ή θα πρέπει να ασχοληθεί με την πραγματική δομή της φύσης;

# Κοσμολογικές εξελίξεις

- Ηρακλείδης ο Ποντικός (~390-339π.Χ): η ημερήσια περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της μπορεί να εξηγήσει την καθημερινή ανατολή και δύση όλων των ουρανίων σωμάτων.
- Αρίσταρχος ο Σάμιος (~310-230 π.Χ): ηλιοκεντρικό σύστημα (ο Ήλιος στο κέντρο του σύμπαντος, και η Γη περιστρέφεται γύρω από αυτόν/ επιρροή από πυθαγόρεια κοσμολογία, η οποία είχε θέσει σε κίνηση τη Γη γύρω από την «κεντρική φωτιά»)
- Υπολογισμός διαφόρων κοσμολογικών σταθερών (Αρίσταρχος συγκρίνει την απόσταση μεταξύ Γης και Σελήνης με την απόσταση Γης και Ήλιου/ ο Ίππαρχος υπολόγισε απόλυτες τιμές των αποστάσεων Ήλιου και Σελήνης/ Ο Ερατοσθένης υπολόγισε την περιφέρεια της Γης)



# Η ελληνιστική πλανητική αστρονομία



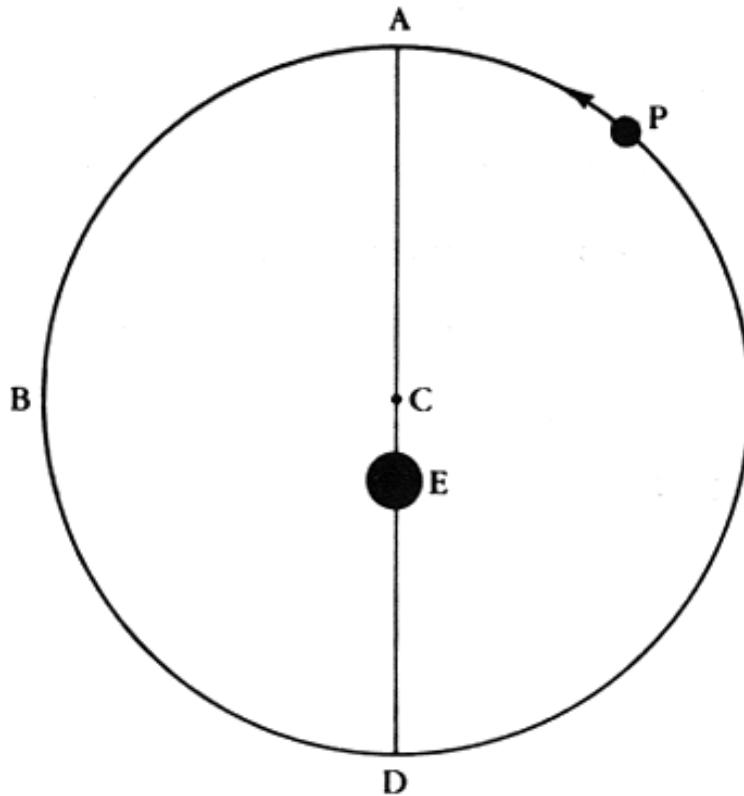
## Κλαύδιος Πτολεμαίος (~2 μ.Χ.)

- Συνόψισε τα επιτεύγματα των προκατόχων του.
- Ξεκινάει από υποθέσεις που έχουν αληθοφάνεια (ο ουρανός είναι σφαιρικός και περιστρέφεται, η γη βρίσκεται στο κέντρο και είναι ακίνητη, τα ουράνια σώματα κινούνται κυκλικά).
- Βασίζεται στην εμπειρία (άμεση παρατήρηση). Πχ. απορρίπτει την κίνηση της γης γύρω από το ήλιο (Αρίσταρχος) γιατί αν και θα διευκόλυνε τον υπολογισμό των κινήσεων, είναι αντίθετη προς τα άμεσα φαινόμενα.

# Η ελληνιστική πλανητική αστρονομία

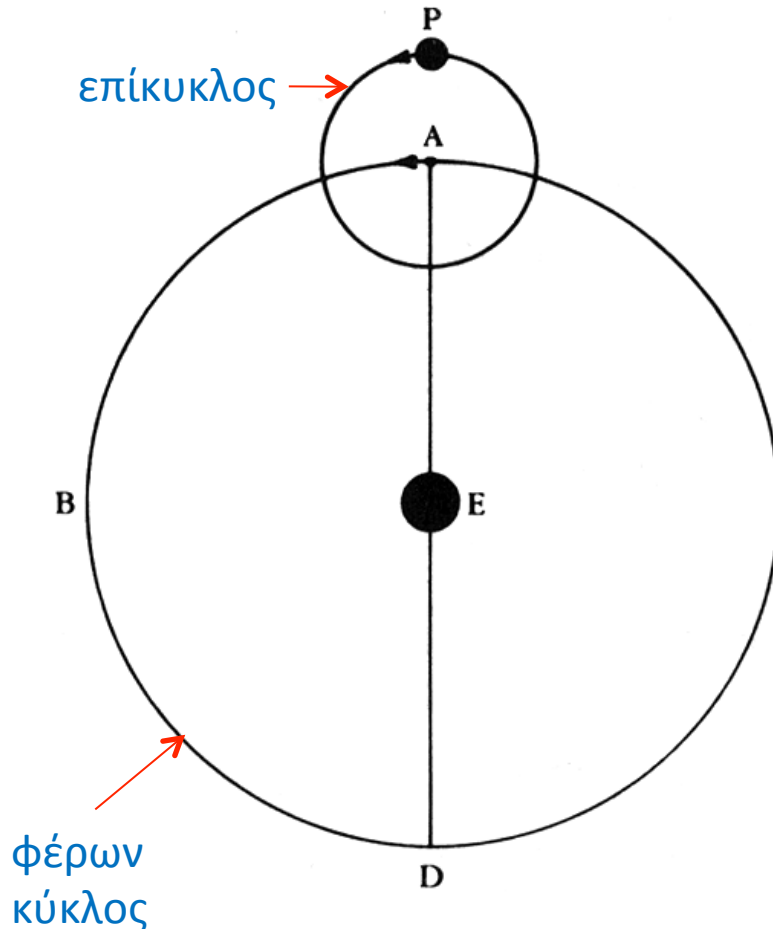
- Αντανακλά τη μαθηματική εκλέπτυνση των ελληνιστικών μαθηματικών.
- Ο Πτολεμαίος εισάγει στην πλανητική αστρονομία μαθηματικά εργαλεία.
- Τα μοντέλα του έχουν ως σκοπό την ανακάλυψη κάποιου συνδυασμού ομαλών κινήσεων που θα μπορούσε να εξηγήσει τις παρατηρούμενες θέσεις (τις φαινόμενες μεταβολές ταχύτητας και κατεύθυνσης) των πλανητών.
- Οι τεχνικές του είναι πολύ διαφορετικές από αυτές του Ευδόξου (αντί για σφαίρες, χρησιμοποιεί κύκλους).

# Το πτολεμαϊκό μοντέλο έκκεντρων κύκλων



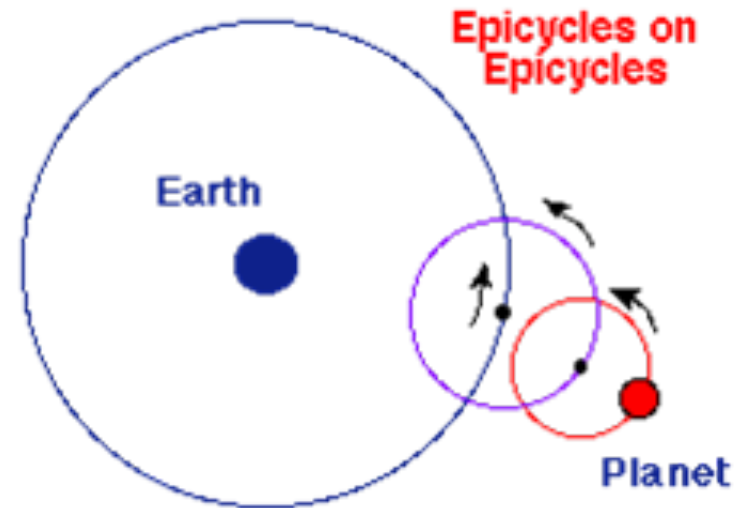
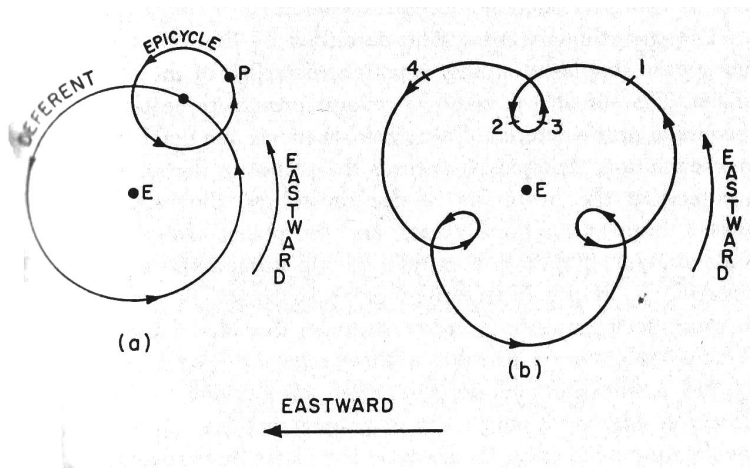
- Το κέντρο της ομαλής περιστροφής του πλανήτη (P) δεν ταυτίζεται με το σημείο παρατήρησης, τη Γη (E).
- Η κίνηση του P είναι ομαλή, αλλά δεν φαίνεται ομαλή από τη Γη (φαίνεται να επιβραδύνει όσο πλησιάζει το A & να επιταχύνει όσο πλησιάζει το D).

# Το πτολεμαϊκό μοντέλο φερόντων και επικύκλων κύκλων

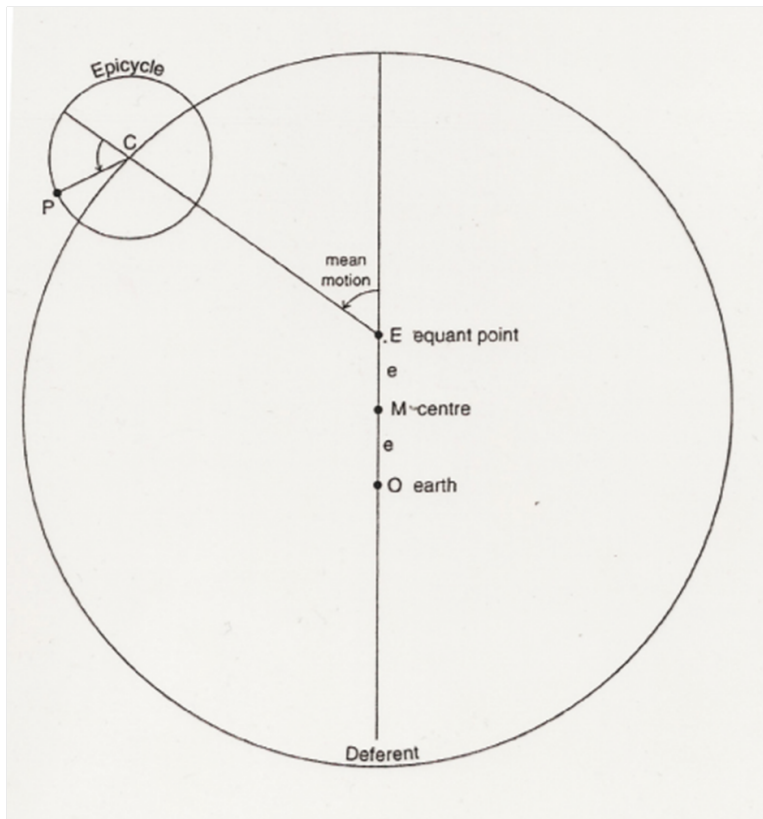


- Ο πλανήτης διαγράφει κύκλο γύρω από ένα κέντρο, που και εκείνο διαγράφει κύκλο του οποίου το κέντρο είναι σταθερό ως προς τη γη (αλλά όχι κατ' ανάγκην πάνω σε αυτή)
- Δεν υπάρχει όριο στον αριθμό κύκλων που μπορεί να δεχτεί κανείς για να «σώσει τα φαινόμενα».

# Το πτολεμαϊκό μοντέλο φερόντων και επικύκλων κύκλων



# Το πτολεμαϊκό κοντέλο του εξισωτή




- Ο Πτολεμαίος απομακρύνεται από τον Πλάτωνα στο ότι δέχεται ότι η γραμμική ταχύτητα του κέντρου του επικύκλου γύρω από τον φέροντα μπορεί να μην είναι ομαλή.
- Για να διαφυλάξει την ορθοδοξία, κάνει ομαλή τη γωνιακή ταχύτητα γύρω από ένα σημείο, τον «εξισωτή», ο οποίος βρίσκεται μέσα στον φέροντα κύκλο, όχι όμως αναγκαστικά στο κέντρο του.

- Τα τρία μοντέλα -έκκεντρων, επικύκλων και εξισωτών- αποτελούν αποτελεσματικούς τρόπους χρησιμοποίησης της ομαλής κυκλικής κίνησης για την ανάλυση της φαινομένης αταξίας των ουρανίων σωμάτων.
- Η πλήρης ισχύς αυτών των μοντέλων προκύπτει από τον συνδυασμό τους.
- Αποδείχθηκαν εξαιρετικά επιτυχή για την πρόβλεψη των παρατηρούμενων πλανητικών θέσεων.
- **Αποτελεί το έργο του Πτολεμαίου απλή μαθηματική άσκηση;**
  - Το έργο του τιτλοφορείται *Μεγίστη Μαθηματική Σύνταξις*
  - Στον πρόλογό του ισχυρίζεται ότι κάθε θεωρία σχετικά με τη θεία αιτιότητα της ουράνιας κίνησης ή την υλική φύση των πραγμάτων οδηγεί μόνο σε εικασίες.
  - Αν ο σκοπός είναι η βεβαιότητα τότε η μαθηματική μέθοδος είναι μονόδρομος.
  - Τα αστρονομικά μοντέλα πρέπει να επιλέγονται στη βάση της μαθηματικής τους απλότητας.

- Ο Πτολεμαίος διατύπωσε και φυσικά επιχειρήματα για να υποστηρίξει ότι την άποψη ότι η Γη είναι σταθερή και βρίσκεται στο κέντρο του σύμπαντος.
- Διατύπωσε ισχυρισμούς για τη φύση του ουρανού (η ουράνια ύλη, σε αντίθεση με την γήινη, δεν εμποδίζει την κίνηση).
- Στο *Υποθέσεις των Πλανωμένων* προσπάθησε να επεξεργαστεί μια υλική μορφή των μαθηματικών μοντέλων του.
- Η μαθηματική του ανάλυση δεν απέκλειε και την ύπαρξη φυσικών ενδιαφερόντων, αλλά λειτούργησε μέσα στα πλαίσια της παραδοσιακής φυσικής φιλοσοφίας.
- Ωστόσο το βάρος του αστρονομικού έργου του Πτολεμαίου πέφτει στη μαθηματική ανάλυση.



- 
- Ο Αριστοτέλης και ο Πτολεμαίος έγιναν σύμβολα των δύο πόλων της αστρονομικής δραστηριότητας:
    - Ο Αριστοτέλης ενδιαφέρθηκε για ερωτήματα που αφορούν τη φυσική δομή.
    - Ο Πτολεμαίος υπήρξε ένας επιτυχημένος κατασκευαστής μαθηματικών μοντέλων (μέλος της παράδοσης του «σώζειν τα φαινόμενα»)