



ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

## **«ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ-ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟ: ΤΑ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ»**

**ΜΑΘΗΤΕΣ ΟΜΙΛΟΥ:**

- 1. ΑΥΓΕΡΙΝΟΥ ΧΑΪΔΩ**
- 2. ΤΑΛΙΑΔΟΥΡΟΥ ΝΕΦΕΛΗ**
- 3. ΚΑΜΠΙΤΣΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:**

- 1. ΑΜΑΝΑΤΙΔΟΥ ΙΩΑΝΝΑ ΠΕ04.02**
- 2. ΤΡΟΧΟΥΤΣΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΕ04.01**

***Βασιλικό Σχολικό Έτος 2023-2024***



## Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από τους μαθητές σε συνεργασία με τους διδάσκοντες εκπαιδευτικούς και στα πλαίσια του εκπαιδευτικού ομίλου Αστροσωματιδιακής Φυσικής που λειτούργησε του σχολικό έτος 2023-2024 στο Λύκειο Βασιλικού. Αποτελείται από τρία κύρια τμήματα. Στο πρώτο μέρος αναπτύσσεται η φιλοσοφία των αρχαίων Ελλήνων με έμφαση στην φιλοσοφία του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη, η οποία επηρέασε τον πολιτισμό σε Δύση και Ανατολή για περίπου 2000 χρόνια, ενώ αναλύεται το Γεωκεντρικό σύστημα του οποίου κύριος θεωρητικός εκπρόσωπος ήταν ο Κλαύδιος Πτολεμαίος.

Στο δεύτερο μέρος μελετώνται τα χαρακτηριστικά του Ηλιοκεντρικού μοντέλου και γίνεται αναφορά στην Επιστημονική Επανάσταση του 17<sup>ου</sup> αιώνα, η οποία άλλαξε ριζικά τις αντιλήψεις μας για την φύση και τον τρόπο μελέτης των φαινομένων, ενώ καθιέρωσε και τον σύγχρονο τρόπο της επιστημονικής έρευνας. Στο τρίτο μέρος της εργασίας με χρήση του λογισμικού Stellarium και υπολογιστικών φύλλων εργασίας του Excel γίνεται επεξεργασία ενός θεωρητικού μοντέλου για την μελέτη των φάσεων εσωτερικού πλανήτη και συγκεκριμένα της Αφροδίτης, πράγμα το οποίο επαληθεύει το Ηλιοκεντρικό σύστημα, ενώ ταυτόχρονα με μετρήσεις της λαμπρότητας και του φαινόμενου μεγέθους της Αφροδίτης υπολογίζεται η περίοδος περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο. Η εργασία κλείνει με ένα παράρτημα προσομοιώσεων των φάσεων της Αφροδίτης στα δύο συστήματα, με μία προσομοίωση της ανάδρομης κίνησης εξωτερικού πλανήτη και συγκεκριμένα του Άρη, μία προσομοίωση του συστήματος του Πτολεμαίου, ενώ στα πλαίσια της εργασίας κατασκευάστηκε ένα μηχανικό μοντέλο προσομοίωσης της ανάδρομης κίνησης εξωτερικού πλανήτη.

### Λέξεις – Κλειδιά

Γεωκεντρικό σύστημα, Ηλιοκεντρικό σύστημα, Φυσική Φιλοσοφία, έκκεντρος κύκλος, φέρων κύκλος, επίκυκλος, φάση πλανήτη, ανάδρομη κίνηση, περίοδος περιφοράς, λαμπρότητα, φαινόμενο μέγεθος.



ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

## **“GEOCENTRIC-SEOCENTRIC: THE TWO WORLD SYSTEMS”**

### **STUDENTS:**

- 1. AVGERINOU CHAIDO**
- 2. TALIADOUROU NEFELI**
- 3. KAMPITSAS GEORGE**

### **RESPONSIBLE TEACHERS:**

- 3. AMANATIDOU IOANNA ΠΕ04.02**
- 4. TROHOUTSOS PANAGIOTIS ΠΕ04.01**



## Abstract

The present work was carried out by students in collaboration with educators within the framework of the educational group of Astrophysical Physics that operated during the school year 2023-2024 at Vasiliko High School. It consists of three main sections. The first part elaborates on the philosophy of the ancient Greeks with an emphasis on the philosophies of Plato and Aristotle, which influenced civilization in the West and East for about 2000 years, while analyzing the Geocentric system, the main theoretical representative of which was Claudius Ptolemy. The second part examines the characteristics of the Heliocentric model and refers to the Scientific Revolution of the 17th century, which radically changed our perceptions of nature and the method of studying phenomena, while establishing the modern method of scientific research. The third part of the work involves processing a theoretical model for studying the phases of the inner planets, specifically Venus, using the Stellarium software and Excel spreadsheets. This validates the Heliocentric system, while simultaneously calculating the period of orbit around the Sun using measurements of the brightness and apparent size of Venus. The work concludes with an appendix of simulations of the phases of Venus in both systems, with a simulation of the retrograde motion of an outer planet, specifically Mars, and a simulation of the Ptolemaic system. Additionally, within the framework of the work, a mechanical model simulation of the retrograde motion of an outer planet was constructed.



ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

### **Keywords**

Geocentric system, Heliocentric system, Natural Philosophy, eccentric circle, deferent circle, epicycle, planetary phase, retrograde motion, orbital period, brightness, apparent size.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	1
Abstract .....	3
Κατάλογος Σχημάτων, Εικόνων και Πινάκων .....	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2 ΤΟ ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	9
2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ – ΑΝΑΧΡΟΝΙΣΜΟΣ – ΚΑΘΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ .....	9
2.2 ΟΙ ΠΡΩΤΟΙ ΕΛΛΗΝΕΣ ΦΙΛΟΣΟΦΟΙ .....	10
2.3 Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΑΤΩΝΑ .....	11
2.4 Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ.....	13
2.5 Η ΠΡΩΙΜΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ.....	16
2.6 Η ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ – ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΤΑΞΙΣ .....	19
3 Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ – ΤΟ ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	23
3.1 Ο ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΣ ΚΟΣΜΟΣ .....	23
3.2 Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 17 <sup>ου</sup> ΑΙΩΝΑ .....	25
4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ.....	28
4.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ.....	28
4.2 Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ.....	29
4.3 Η ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΙΝΗΣΗ – ΣΥΝΟΔΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΡΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	30
4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ .....	32
4.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ .....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39



## Κατάλογος Σχημάτων, Εικόνων και Πινάκων

- Σχήμα 1: Τα πέντε πλατωνικά στερεά σελ. 12  
Σχήμα 2: Η ουράνια σφαίρα κατά τον Πλάτωνα σελ. 13  
Σχήμα 3: Η πηγή των αντίθετων Αριστοτελικών στοιχείων και ποιοτήτων σελ. 14  
Σχήμα 4: Ο Αριστοτελικός κόσμος σελ. 15  
Σχήμα 5: Το αστρονομικό μοντέλο των δύο σφαιρών σελ. 16  
Σχήμα 6: Οι Αριστοτελικές σφαίρες σελ. 18  
Σχήμα 7: Το πτολεμαϊκό μοντέλο των έκκεντρων κύκλων σελ. 20  
Σχήμα 8: : Το πτολεμαϊκό μοντέλο των φερόντων και επικύκλων σελ. 20  
Σχήμα 9: Η ανάδρομη κίνηση με το μοντέλο φερόντων και επικύκλων σελ. 20  
Σχήμα 10: Το πτολεμαϊκό μοντέλο του εξισωτή σελ. 21  
Σχήμα 11: Το πτολεμαϊκό μοντέλο για τους ανώτερους πλανήτες σελ. 22  
Σχήμα 12: Οι γεωμετρικές κατασκευές του Πτολεμαϊκού συστήματος σελ. 22  
Σχήμα 13: Αριστοτελική κοσμολογία σελ. 24  
Σχήμα 14: Σύγκριση πτολεμαϊκού και κοπερνίκειου συστήματος σελ. 26  
Σχήμα 15: Οι φάσεις της Αφροδίτης στο σύστημα του Πτολεμαίου και του Κοπέρνικου σελ. 27  
Σχήμα 16: Χαρακτηριστικές θέσεις των πλανητών σελ. 28  
Σχήμα 17: Φωτισμός πλανήτη σελ. 29  
Σχήμα 18: Η περιφορά της Αφροδίτης σελ. 30  
Σχήμα 19: Εξήγηση της ανάδρομης κίνησης του Άρη σελ. 31  
Σχήμα 20: Υπολογισμός του έτους στο πλανητικό σύστημα σελ. 32  
Εικόνα 1: Η ανάδρομη κίνηση του Άρη σελ. 17  
Εικόνες 2,3,4,5,6: Οι φάσεις της Αφροδίτης σε διάφορες χρονικές στιγμές σελ. 33,34,35,36,37  
Βίντεο προσομοιώσεων: σελ. 37,38



## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας, η επιστήμη χαίρει μεγάλης εκτίμησης. Είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό διαδεδομένο ότι υπάρχει κάτι το εξαιρετικό σε σχέση με την ίδια την επιστήμη και τις μεθόδους της. Χαρακτηρίζοντας κανείς ως επιστημονικό έναν ισχυρισμό σημαίνει ότι του αποδίδει κάποιον έπαινο ή ότι του αναγνωρίζει μία αξιοπιστία ειδικού τύπου. Υπάρχουν πολλά τεκμήρια από την καθημερινή ζωή που μαρτυρούν την υψηλή υπόληψη που χαίρει η επιστήμη, παρά την απογοήτευση που δημιουργούν καταστάσεις τις οποίες πολλοί εκλαμβάνουν ως συνέπειες της επιστήμης, όπως π.χ. η μόλυνση του περιβάλλοντος. Η επιστημονική γνώση είναι αποδεδειγμένη γνώση. Οι επιστημονικές θεωρίες εξάγονται με αυστηρό τρόπο από τα γεγονότα της εμπειρίας που γίνονται αντιληπτά με την παρατήρηση και το πείραμα. Προσωπικές γνώσεις ή προτιμήσεις καθώς και αναπόδεικτες εικασίες δεν έχουν θέση στην επιστήμη. Η επιστήμη είναι αντικειμενική και η επιστημονική γνώση αξιόπιστη επειδή είναι αντικειμενικά αποδεδειγμένη (Chalmers, 2014).

Τέτοιες διατυπώσεις όπως οι προηγούμενες για την επιστήμη οι οποίες συνοψίζουν την σημερινή αντίληψη που υπάρχει για το τι είναι επιστημονική γνώση διαδόθηκαν κατά την διάρκεια της Επιστημονικής Επανάστασης σαν συνέπεία της. Η Επιστημονική Επανάσταση συνέβη τον 17<sup>ο</sup> αιώνα και υπήρξε έργο μεγάλων πρωτοπόρων επιστημόνων όπως ο Γαλιλαίος και ο Νεύτωνας. Η επιστημονική στάση τους συνίσταται στο γεγονός ότι αν θέλουμε να κατανοήσουμε τη φύση, οφείλουμε να απευθυνόμαστε σε αυτήν και όχι στα γραπτά του Αριστοτέλη. Οι δυνάμεις της προόδου του 17<sup>ου</sup> αιώνα συνειδητοποίησαν ότι οι φυσικοί φιλόσοφοι του μεσαίωνα έκαναν λάθος όταν αντιμετώπιζαν τα έργα της αρχαιότητας και κυρίως του Αριστοτέλη, όπως και την Αγ. Γραφή, ως πηγές επιστημονικής γνώσης (Chalmers, 2014). Μία σύγχρονη αποτίμηση του επιτεύγματος του Γαλιλαίου από τον H.D. Anthony είναι ότι:

«Δεν ήταν τόσο οι παρατηρήσεις και τα πειράματα του Γαλιλαίου αυτό που προκάλεσε την ρήξη με την παράδοση, όσο η ίδια η στάση του απέναντί τους. Τα γεγονότα που βασίζονται στις παρατηρήσεις και τα πειράματα αντιμετωπίζονται από αυτόν ως γεγονότα χωρίς να σχετίζονται με κάποια προϋπάρχουσα ιδέα... Τα γεγονότα της παρατήρησης μπορεί να εναρμονίζονται ή να μην εναρμονίζονται με κάποιο παραδεδεγμένο σχήμα του σύμπαντος. Το βασικό όμως, σύμφωνα με την γνώμη του Γαλιλαίου, είναι το να αποδεχθεί κανείς τα γεγονότα και να οικοδομήσει εκείνη την θεωρία που εναρμονίζεται μαζί τους»<sup>1</sup> (Chalmers, 2014).

Ένα βασικό σημείο είναι η εξάρτηση της παρατήρησης από την θεωρία. Η προσεκτική και απροκατάληπτη παρατήρηση μας δίνει την ασφαλή βάση από την οποία μπορεί να προέλθει, αν όχι αληθής, τουλάχιστον πιθανά αληθής επιστημονική γνώση. Αυτή η αντίληψη σημαίνει δύο παραδοχές που αφορούν την παρατήρηση. 1<sup>ο</sup> η επιστήμη ξεκινά από την παρατήρηση και 2<sup>ο</sup> η παρατήρηση μας δίνει την σωστή βάση από την οποία μπορεί να προέλθει η επιστημονική γνώση. Η όραση βέβαια είναι η αίσθηση που χρησιμοποιείται περισσότερο από όλες στην επιστημονική πρακτική και ο άνθρωπος-παρατηρητής διαθέτει κάποιον τρόπο πρόσβασης, περισσότερο ή λιγότερο άμεσο, σε ορισμένες ιδιότητες του εξωτερικού κόσμου, στον βαθμό που αυτές οι ιδιότητες αποτυπώνονται στον εγκέφαλο μέσω της όρασης. Έτσι θα πρέπει κάποιος να μάθει π.χ. να βλέπει σωστά μέσα από ένα

<sup>1</sup> H.D. Anthony, *Science and Its Background* ( London: Macmillan, 1948), σ.145





## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

τηλεσκόπιο ή μικροσκόπιο. Το σύνολο των φωτεινών και σκοτεινών κηλίδων που παρατηρεί ένας αρχάριος μέσα από αυτά τα όργανα διαφέρει πολύ από τις εικόνες που μπορεί να διακρίνει ένας πεπειραμένος παρατηρητής. Αυτό συνέβη και όταν ο Γαλιλαίος εισήγαγε για πρώτη φορά το τηλεσκόπιο ως όργανο για την διερεύνηση του ουρανού. Οι επιφυλάξεις που διατύπωσαν οι αντίπαλοί του όσον αφορά την αποδοχή των φαινομένων που ο Γαλιλαίος είχε μάθει να βλέπει, όπως οι δορυφόροι του Δία, δεν οφείλονταν αποκλειστικά σε προκατάληψη, αλλά και στις πραγματικές δυσκολίες που συναντά κάποιος όταν μαθαίνει να βλέπει μέσα από ένα τηλεσκόπιο και μάλιστα από το πρωτόγονο τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου (Chalmers, 2014).

Επίσης την εποχή του Κοπέρνικου – πριν να ανακαλυφθεί το τηλεσκόπιο- είχαν γίνει προσεκτικές παρατηρήσεις σε σχέση με το μέγεθος της Αφροδίτης. Με βάση αυτές το συμπέρασμα ότι «το μέγεθος της Αφροδίτης όπως φαίνεται από την Γη, δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή κατά την διάρκεια του έτους», ήταν γενικά αποδεκτό από όλους τους αστρονόμους είτε ήταν οπαδοί του Κοπέρνικου, είτε όχι. Ο Andreas Osiander, σύγχρονος του Κοπέρνικου αναφερόταν στην πρόβλεψη ότι το φαινόμενο μέγεθος της Αφροδίτης θα πρέπει να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους ως «ένα συμπέρασμα που αντιφάσκει με την εμπειρία όλων των εποχών»<sup>2</sup>. Η παρατήρηση γινόταν αποδεκτή αν και ήταν ενοχλητική, δεδομένου ότι η θεωρία τόσο του Κοπέρνικου όσο και αρκετών ανταγωνιστών του προέβλεπε ότι η Αφροδίτη θα έπρεπε να εμφανίζει μία αξιόλογη μεταβολή του μεγέθους της κατά την διάρκεια του έτους. Σήμερα βέβαια το συμπέρασμα αυτό είναι ψευδές, διότι προϋποθέτει την ψευδή θεωρία ότι το μέγεθος μιας μικρής φωτεινής πηγής μπορεί να εκτιμηθεί επακριβώς δια γυμνού οφθαλμού. Η σύγχρονη θεωρία μπορεί να εξηγήσει τον λόγο για τον οποίο οι εκτιμήσεις του μεγέθους μικρών φωτεινών πηγών δια γυμνού οφθαλμού μπορεί να είναι παραπλανητικές και χρειάζονται οι τηλεσκοπικές παρατηρήσεις, που μας δείχνουν ότι το φαινόμενο μέγεθος της Αφροδίτης μεταβάλλεται αξιοσημείωτα κατά την διάρκεια του έτους. Βλέπουμε από τα προηγούμενα την εξάρτηση από την θεωρία και συνεπώς το επισφαλές ενός παρατηρησιακού συμπεράσματος (Chalmers, 2014). Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι η σύνδεση πειράματος- θεωρίας και θεωρίας πειράματος πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά ώστε να οδηγούμαστε σε ασφαλή συμπεράσματα και να προάγεται η επιστημονική γνώση πέρα και πάνω από οποιαδήποτε προκατάληψη ή προσωπικές προτιμήσεις και πεποιθήσεις.

Σε αυτήν τη εργασία ασχοληθήκαμε αρχικά με βιβλιογραφική έρευνα σε σχέση με την αντίληψη του αρχαίου και του μεσαιωνικού κόσμου για το σύμπαν, την Επιστημονική Επανάσταση του 17<sup>ου</sup> αιώνα με επίκεντρο την περίπτωση του Γαλιλαίου και την αμφισβήτηση του Γεωκεντρικού συστήματος, και τη Φυσική Φιλοσοφία του Αριστοτέλη. Κατόπιν με χρήση των Τ.Π.Ε και με μετρήσεις και παρατηρήσεις της λαμπρότητας της Αφροδίτης έγινε η επαλήθευση του Ηλιοκεντρικού συστήματος μετρώντας την περίοδο περιφοράς της γύρω από τον ήλιο, εξήγηση της ανάδρομης κίνησης του Άρη και τέλος πραγματοποιήθηκε μία μηχανική κατασκευή που εξηγεί αυτή την κίνηση τόσο του Άρη όσο και άλλων εξωτερικών πλανητών.

Η διδασκαλία της Φυσικής με βάση την Ιστορία και την Φιλοσοφία της μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί την βάση μια ανθρωπιστικής, αντιαυταρχικής και δημοκρατικής εκπαίδευσης, αφού η Ιστορία της Φυσικής και της επιστήμης γενικότερα, είναι τμήμα της Ιστορίας του ανθρώπινου πολιτισμού. Η ίδια η επιστήμη στα σύγχρονα προγράμματα παρουσιάζεται ως ένας ιδιαίτερος πολιτισμικός χώρος και μία ιδιαίτερη μορφή κουλτούρας. Η διδασκαλία της Φυσικής με βάση τη Φιλοσοφία και την Ιστορία θα πρέπει να συνδυάζεται με τη μάθηση για το τι είναι η Φυσική και πως εξελίχθηκε ως επιστήμη. Αναδεικνύεται το ανθρώπινο πρόσωπο της επιστήμης, της πιθανότητας ότι η επιστήμη μπορεί να σφάλει (ανάδειξη και διδακτική εκμετάλλευση του «λάθους»). Η δυτική επιστήμη είναι ένα

<sup>2</sup> E. Rosen, *Three Copernical Treatises* ( New York: Dover, 1959), σ. 25



γνωστικό σύστημα για τον κόσμο που αναπτύχθηκε σε συγκεκριμένα πολιτισμικά πλαίσια και η καθιέρωσή της και η αποδοχή της από την κοινωνία είναι αποτέλεσμα του γνωσιακού της περιεχομένου και των τεχνολογικών επιτυχιών της. Δηλαδή η ιστορική προσέγγιση υιοθετείται με στόχο να αναδειχθεί το μεγαλείο των επιστημονικών κατακτήσεων καθώς επίσης να αναδειχθεί και η κριτική στάση απέναντι στον επιστημονισμό και τον τεχνοκρατισμό. Ο Ernst Mach θεμελιωτής της διδακτικής των Φυσικών επιστημών υποστήριξε ότι «για να κατανοήσουμε μία έννοια είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε την ιστορική της εξέλιξη»<sup>3</sup>. Επίσης αν μελετηθούν παράλληλα με τις βασικές έννοιες και θεωρίες της Φυσικής και η ευρύτερη κοινωνική Ιστορία θα κατανοηθεί το πλαίσιο στο οποίο γράφτηκαν τα επιστημονικά κείμενα και το γιατί κάποιες θεωρίες υπερίσχυαν κάποιων άλλων. Τέτοια προσέγγιση προσφέρει την δυνατότητα να αξιολογείται και να ενδυναμώνεται η κριτική ικανότητα (Σκορδούλης, 2003).

## 2 ΤΟ ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### 2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ – ΑΝΑΧΡΟΝΙΣΜΟΣ – ΚΑΘΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Η ιστορία της Φυσικής, της Αστρονομίας και άλλων Φυσικών επιστημών ερευνά τις προσπάθειες να κατανοηθεί η μη έμβια φύση, η συμπεριφορά των φυσικών αντικειμένων και ουσιών κάτω από διαφορετικές συνθήκες και τις αλλαγές που υφίστανται, αναλύει τις μεθόδους και τους θεσμούς που δημιουργούν οι άνθρωποι για να μεταδώσουν ότι κατανόησαν και τον τρόπο με τον οποίο τα κατανόησαν. Ο στόχος δεν είναι να μάθουμε ποια λάθη πρέπει να αποφεύγουμε στο μέλλον, ούτε να ασχοληθούμε με το κατά πόσο ήταν αληθινές οι διάφορες προτάσεις που είχαν κατά καιρούς εκφραστεί σχετικά με την φύση. Μπορούμε να δεχθούμε ότι η φύση υπάρχει ως μία αντικειμενική πραγματικότητα πέρα από εμάς και υπάρχουν διαδικασίες που πιστοποιούν την σχετική αλήθεια των διάφορων προτάσεων και θεωριών. Για παράδειγμα η θεωρία πως η Γη και οι υπόλοιποι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, σε ελλειπτικές τροχιές είναι αληθινή και αυτή η αλήθεια είναι ανεξάρτητη από πολιτισμικές προϋποθέσεις, κοινωνικές συνιστώσες και ιδεολογικές τοποθετήσεις. Το ενδιαφέρον ερώτημα είναι το πώς και γιατί μία θεωρία όπως ο Ηλιοκεντρισμός – που με τα σημερινά κριτήρια είναι σωστή- έκανε περίπου 150 χρόνια να καθιερωθεί στην Ευρώπη και μία θεωρία όπως αυτή του Πτολεμαίου, ο Γεωκεντρισμός -που με τα σημερινά μας κριτήρια ήταν λάθος- κυριάρχησε για περίπου 1500 χρόνια και συνέχιζε να ασκεί γοητεία και επιρροή ακόμη και 100 χρόνια μετά την πρόταση του Ηλιοκεντρισμού από τον Κοπέρνικο (Γαβρόγλου, 2003).

Όταν γίνεται μία κρίση για το παρελθόν με βάση τις γνώσεις που έχουμε στο μεταξύ αποκτήσει τα νέα κριτήρια και τις νέες αξίες που στο μεταξύ έχουμε υιοθετήσει πρόκειται περί **αναχρονισμού**. Προϋπόθεση για να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε το παρελθόν δεν θα πρέπει να είναι η αποδέσμευσή μας από αυτά

<sup>3</sup> Ernst Mach, (1883), Science of Mechanics, Open Court Publishing, σελ. 316



## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

που στο μεταξύ έχουμε μάθει. Είναι αδύνατο να πείσουμε τους εαυτούς μας ότι δεν γνωρίζουμε περί του Ηλιοκεντρισμού σαν προϋπόθεση για να μελετήσουμε την ιστορία της Κοσμολογίας έως τον 15<sup>ο</sup> αιώνα όταν ακόμη επικρατούσε η Γεωκεντρική θεωρία. Το πραγματικό ερώτημα είναι το πώς γνωρίζοντας το παρόν και τις αλήθειές του θα κατανοήσουμε το παρελθόν. Δηλαδή το πώς θα κατανοήσουμε τις διαμάχες, τις θεσμικές ρυθμίσεις, τις απαγορεύσεις, τις επιβραβεύσεις, την επικράτηση μιας συγκεκριμένης θεωρίας, την αποσιώπηση μιας άλλης, πώς θα κατανοήσουμε όλα αυτά ως διεργασίας και ζυμώσεις ανάμεσα σε άτομα τα οποία είχαν διαφορετικά κριτήρια αλήθειας και ήθελαν την επικράτηση μια θεωρίας που θεωρούσαν ως αληθή. Έχει μεγάλη σημασία επομένως να έχουμε σαν οδηγό τα γεγονότα και τα τεκμήρια του παρελθόντος και όχι να κάνουμε συμπληρώσεις ανάλογα με αυτά που μας φαίνονται λογικά και χρησιμοποιώντας επιχειρήματα σε σχέση με το πώς θα μπορούσαν ή θα έπρεπε να είχαν εξελιχθεί τα πράγματα (Γαβρόγλου, 2003).

Οι επιστήμη προβάλλεται ως διαπολιτισμική και διεθνική, δηλαδή προβάλλεται ως ένα καθολικός λόγος. Στην πραγματικότητα η ιστορία αναδεικνύει όχι μόνο την **καθολικότητα της επιστήμης** αλλά και την **τοπικότητά της**. Έτσι έχουν ενδιαφέρον ερωτήματα όπως για παράδειγμα, γιατί τα μαθηματικά είχαν την συγκεκριμένη ώθηση στην Γαλλία του 18<sup>ου</sup> αιώνα; Γιατί οι πειραματικές διαδικασίες πήραν τέτοια μεγάλη έκταση στην Ολλανδία του 18<sup>ου</sup> αιώνα; Είναι λίγες οι περιπτώσεις που μία θεωρία διατυπωμένη σε ένα σχολικό βιβλίο φυσικής έχει την ίδια μορφή με αυτήν που είχε όταν πρωτοδιατυπώθηκε και αυτό είναι λογικό γιατί στόχος του βιβλίου είναι να παρουσιάσει τις θεωρίες με έναν τέτοιο τρόπο ώστε να γίνουν κατανοητές οι έννοιες και να μπορούν να διδαχθούν οι τεχνικές. Η διατύπωση μιας θεωρίας σε ένα βιβλίο είναι η διαδικασία ανάδειξης του *αρχέτυπου λόγου* της θεωρίας απογυμνωμένου από κάθε τοπικό και συχνά ιστορικό στοιχείο, που θεωρείται εμπόδιο στην ανάδειξη της καθολικότητας του επιστημονικού λόγου. Έτσι αυτό που παρουσιάζεται στα βιβλία είναι κάτι που η συγκεκριμένη μορφή παρουσιάσής του δεν έχει ιστορική αναφορά. Είναι κάτι που δεν μπορεί να έχει ιστορία, αφού για να παίξει τον εκπαιδευτικό του ρόλο πρέπει να απογυμνωθεί από την ιστορία, όχι γενικά και αόριστα, αλλά από την ιστορική τοπικότητα. Βέβαια στα βιβλία θα πρέπει να υπάρχουν και ορισμένα πληροφοριακά σημειώματα από την ιστορία της επιστήμης. Τα διάφορα βιβλία αφηγούνται τις λεπτομέρειες των σωστών θεωριών και σχεδόν ποτέ δεν ασχολούνται με τις λεπτομέρειες των λάθους θεωριών, με αποτέλεσμα να προκύπτει μια συγκεκριμένη ιστοριογραφική πρόταση. Η ιστορία της φυσικής γίνεται η ιστορία των σωστών θεωριών των μεγάλων φυσικών και η πρόοδος προβάλλεται ως το αποτέλεσμα της συσσώρευσης των αληθειών που η κάθε θεωρία αναδεικνύει (Γαβρόγλου, 2003).

## 2.2 ΟΙ ΠΡΩΤΟΙ ΕΛΛΗΝΕΣ ΦΙΛΟΣΟΦΟΙ

Η ελληνική φιλοσοφία εμφανίστηκε στις αρχές του 6 αιώνα π.Χ. Το γεγονός αυτό δεν σημαίνει την αντικατάσταση της μυθολογίας του Όμηρου και του Ησίοδου από την φιλοσοφία. Πρόκειται για την εμφάνιση νέων, φιλοσοφικών, τρόπων σκέψης παράλληλα με την μυθολογία και πολλές φορές σε στενή σχέση μαζί της. Ο Θαλής, ο Πυθαγόρας και ο Ηράκλειτος αν και ζούσαν σε ένα πολιτισμό διαποτισμένο από την μυθολογία εγκαινίασαν ένα νέο είδος πνευματικής αναζήτησης. Οι στοχαστές του 6<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. ξεκίνησαν μία σοβαρή κριτική έρευνα της φύσης του κόσμου στον οποίο ζούσαν, μία έρευνα που συνεχίζεται και σήμερα. Έθεσαν ερωτήματα σχετικά με τα συστατικά του, την σύνθεσή του και την λειτουργία του, ενώ διερεύνησαν αν είναι

φτιαγμένος από ένα πράγμα ή πολλά. Διερωτήθηκαν σχετικά με το σχήμα του κόσμου, την θέση του και την καταγωγή του και θέλησαν να κατανοήσουν τη διαδικασία της μεταβολής, της γέννησης και του μετασχηματισμού των πραγμάτων, ενώ ταυτόχρονα αναζήτησαν καθολικές εξηγήσεις (Lindberg, 1997).

Οι πρώτοι φιλόσοφοι δεν έθεσαν απλά ένα νέο σύνολο ερωτήσεων, αλλά αναζήτησαν επίσης νέα είδη απαντήσεων, ενώ χρησιμοποιήθηκαν στην σκέψη τους για πρώτη φορά οι κανόνες της επιχειρηματολογίας και της απόδειξης. Η προσωποποίηση της φύσης έχασε σταδιακά την σημασία της στην σκέψη τους και οι Θεοί εξαφανίστηκαν από τις εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων που επεξεργάστηκαν. Οι εξηγήσεις που δίνουν είναι εντελώς φυσιοκρατικές και δεν αντανakλούν τις προσωπικές ιδιοτροπίες ή τις αυθαίρετες προτιμήσεις των Θεών. Ο κόσμος των φιλοσόφων είναι δηλαδή ένας εύτακτος και προβλέψιμος κόσμος. Ο ελληνικός όρος που χρησιμοποιήθηκε για να δηλώσει αυτόν τον εύτακτο κόσμο ήταν ακριβώς ο όρος «Κόσμος» από τον οποίο προέρχονται λέξεις όπως «κοσμολογία» ή «κοσμικός» οι οποίες συναντώνται σε πολλές άλλες γλώσσες. Η διάκριση μεταξύ του φυσικού και του υπερφυσικού άρχισε να αναδύεται και τα αίτια αναζητούνται πλέον στην φύση των πραγμάτων. Οι φιλόσοφοι που εισήγαγαν αυτούς τους νέους τρόπους σκέψης ονομάστηκαν από τον Αριστοτέλη *φυσικοί* ή *φυσιολόγοι*, ακριβώς λόγω του ενδιαφέροντός τους για την φύση (Lindberg, 1997). Ο Θαλής θεωρούσε το νερό ως την πλέον θεμελιώδη αρχή, ο Αναξίμανδρος πίστευε ότι θεμελιώδης αρχή είναι το *άπειρο* μια τεράστια ανεξάντλητη μάζα που εκτείνεται απεριόριστα προς κάθε κατεύθυνση και από το οποίο αναδύθηκε το σπέρμα από το οποίο προέρχεται ο κόσμος. Ο Αναξίμανδρος υποστήριξε ότι η υποκείμενη αρχή είναι ο αέρας ο οποίος με πύκνωση και αραιώση παράγει την ποικιλία των ουσιών του κόσμου. Ο Λεύκιππος ο Μιλήσιος και ο Δημόκριτος ο Αβδηρίτης, υιοθέτησαν τον υλισμό και τον επέκτειναν υποστηρίζοντας ότι ο κόσμος αποτελείται από μία άπειρη μικροσκοπικών ατόμων, τα οποία κινούνται τυχαία σε ένα άπειρο κενό και παρουσιάζουν άπειρα σχήματα που από τις κινήσεις τους και τις συγκρούσεις τους δημιουργείται ο κόσμος. Αυτή η μηχανιστική εικόνα του κόσμου καταπολεμήθηκε από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη και αυτούς που τους ακολούθησαν. Επέστρεψε όμως δυναμικά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα κατά την Επιστημονική Επανάσταση. Ο Εμπεδοκλής από τον Ακράγαντα αναγνώρισε τέσσερα στοιχεία ή «ριζώματα» όλων των υλικών πραγμάτων, την *φωτιά*, τον *αέρα*, τη *γη* και το *ύδωρ* από τα οποία δημιουργείται ο κόσμος. Αλλά τα υλικά συστατικά από μόνα τους δεν μπορούν να εξηγήσουν την κίνηση και την αλλαγή, γι' αυτό τον λόγο ο Εμπεδοκλής εισήγαγε δύο επιπλέον μη υλικές αρχές τη φιλότητα και το νείκος οι οποίες παρακινούν τα τέσσερα ριζώματα να συναθροίζονται και να χωρίζονται (Lindberg, 1997).

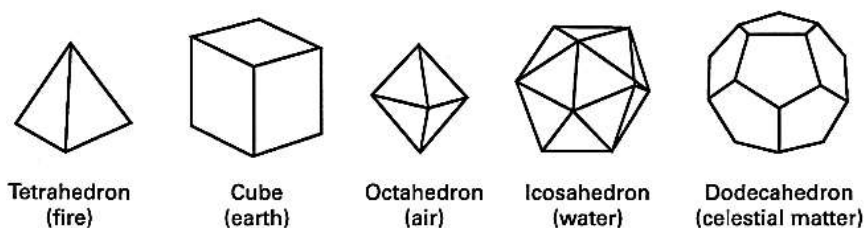
## 2.3 Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΑΤΩΝΑ

Οι θέσεις του Πλάτωνα στους προσωκρατικούς φιλοσόφους όπως τις συναντάμε στην *Πολιτεία*, τον *Φαίδωνα* και άλλους διαλόγους εκπροσωπούν ένα μικρό μέρος της συνολικής φιλοσοφίας του. Ο Πλάτωνας έγραψε επίσης έναν διάλογο, τον *Τίμαιο*, ο οποίος δείχνει το ενδιαφέρον του για το φυσικό κόσμο. Εκεί διατυπώνει τις απόψεις του για την Αστρονομία, την Κοσμολογία, το φως και τα χρώματα, τα στοιχεία και την ανθρώπινη φυσιολογία. Το έργο αυτό πρόσφερε τον μεσαίωνα έως τον 12<sup>ο</sup> αιώνα την

## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

μόνη συνεκτική φιλοσοφία. Ένα από τα έντονα χαρακτηριστικά του έργου είναι η σφοδρή αντίθεση του Πλάτωνα σε κάποιες όψεις της προσωκρατικής σκέψης. Οι φυσικοί αφαίρεσαν από τον κόσμο κάθε έννοια θεότητας και ταυτόχρονα του αφαίρεσαν κάθε σχέδιο και σκοπό. Η τάξη λοιπόν είναι ενδογενής και όχι εξωγενής, δεν επιβάλλεται από κάποιον εξωτερικό παράγοντα, αλλά αναδύεται εκ των έσω. Ο Πλάτωνας θεωρούσε αυτές τις απόψεις όχι μόνο ανόητες αλλά και επικίνδυνες. Δεν είχε βέβαια καμία πρόθεση να αποκαταστήσει τους Θεούς του Ολύμπου, οι οποίοι παρενέβαιναν στην καθημερινή λειτουργία του σύμπαντος, αλλά θεωρούσε ότι η τάξη και η ορθολογικότητα του κόσμου θα μπορούσε να εξηγηθεί μόνο ως το αποτέλεσμα της επιβολής ενός έξωθεν νου (Lindberg, 1997; Losee, 2010).

Ο Πλάτωνας περιέγραψε τον κόσμο ως το χειροτέχνημα ενός θείου τεχνίτη, του Δημιουργού. Ο δημιουργός δεν είναι μόνο ένας έλλογος τεχνίτης, αλλά και ένας μαθηματικός, αφού κατασκευάζει στην βάση γεωμετρικών αρχών. Παραλαμβάνει από τον Εμπεδοκλή τα τέσσερα ριζώματα και υπό την επιρροή των πυθαγορείων τα ανήγαγε σε κάτι πιο θεμελιώδες, σε τρίγωνα. Τα τρίγωνα αφού είναι δισδιάστατα σχήματα είναι άυλα, αλλά με κατάλληλους συνδυασμούς μπορούν να γίνουν τρισδιάστατα σωματίδια, όπου κάθε διαφορετικό τριγωνικό σχήμα αντιστοιχεί σε διαφορετικό στοιχείο όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Ήταν γνωστό στην εποχή του ότι υπάρχουν μόνο πέντε κανονικά γεωμετρικά στερεά, το τετράεδρο που το συσχέτισε με την φωτιά, το οκτάεδρο που το συσχέτισε με τον αέρα, το εικοσάεδρο που το συσχέτισε με το νερό, τον κύβο που το συσχέτισε με τη γη. Στο δωδεκάεδρο που μοιάζει περισσότερο με σφαίρα, το συσχέτισε με τον κόσμο ως ολότητα<sup>4</sup> (Losee, 2010).



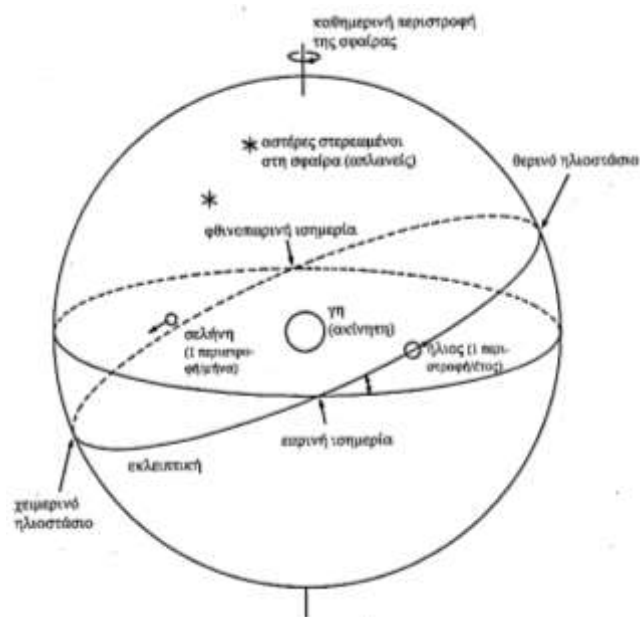
**Σχήμα 1: Τα πέντε πλατωνικά στερεά. Πηγή (Losee, 2010)**

<sup>4</sup> Vlastos, Plato's Universe, κεφ. 3.



Ο Πλάτωνας επέδειξε εξαιρετική γνώση της Κοσμολογίας και της Αστρονομίας. Πρότεινε ότι η Γη είναι σφαιρική και περιβάλλεται από το σφαιρικό κάλυμμα των ουρανών, και καθόρισε διάφορους κύκλους στην ουράνια σφαίρα οι οποίοι αντιστοιχούν στις τροχιές του Ήλιου της Σελήνης και των άλλων πλανητών. Κατανόησε ότι ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από την ουράνια σφαίρα μια φορά τον χρόνο, ακολουθώντας έναν κύκλο ( την εκλειπτική ), ο οποίος παρουσιάζει κλίση σχετικά με τον ουράνιο ισημερινό, γνώριζε ότι η Σελήνη εκτελεί μια μηνιαία περιστροφή ακολουθώντας περίπου την ίδια τροχιά και ότι ο Ερμής, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος κάνουν το ίδιο, ο καθένας με το δικό του ρυθμό και με περιστασιακές οπισθοδρομήσεις, ενώ ο Ερμής και η Αφροδίτη ποτέ δεν απομακρύνονται πολύ από τον ήλιο ( σχήμα 2 ). Επίσης γνώριζε ότι η συνολική κίνηση των πλανητικών σωμάτων είναι ελικοειδής και τέλος το σπουδαιότερο από όλα είναι ότι είχε καταλάβει ότι οι ανωμαλίες των πλανητικών κινήσεων μπορούν να εξηγηθούν με την σύνθεση ομοιόμορφων κυκλικών τροχιών (Lindberg, 1997; Losee, 2010). Ούτε βέβαια απουσιάζει η θεότητα. Αντιθέτως είναι ακριβώς η σταθερότητα των Θεών η οποία εγγυάται την κανονικότητα της φύσης. Ο Ήλιος , η Σελήνη και οι άλλοι πλανήτες πρέπει να κινούνται με κάποιο συνδυασμό ομοιόμορφων κυκλικών κινήσεων, γιατί οι κινήσεις αυτού του είδους είναι οι τελειότερες και πλέον εύλογες και κατά συνέπεια αποτελούν το μόνο είδος κίνησης που θα μπορούσε να αποδοθεί σε κάποιο θεϊκό όν. Ο Πλάτωνας αποκατέστησε τους Θεούς για να εξηγήσει τα χαρακτηριστικά του κόσμου, τα οποία κατά τους Φυσικούς Φιλοσόφους, απαιτούσαν την εξορία των Θεών (Lindberg, 1997).

**Σχήμα 2: Η ουράνια σφαίρα κατά τον Πλάτωνα. Πηγή (Lindberg, 1997)**



## 2.4 Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ

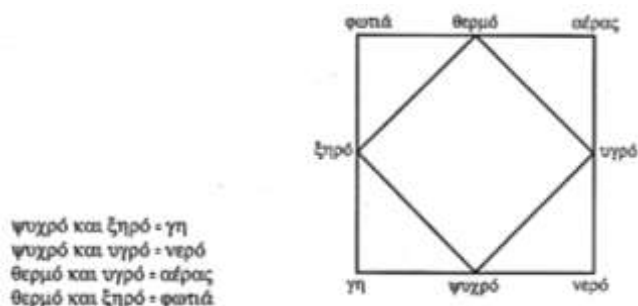
Ο Αριστοτέλης δεν επινόησε απλά μεθόδους και αρχές για τη διερεύνηση και κατανόηση του κόσμου, όπως είναι η μορφή, η ύλη, η φύση , η δύναμη, η ενέργεια και τα τέσσερα ριζώματα. Παράλληλα διατύπωσε λεπτομερείς θεωρίες, οι οποίες άσκησαν ευρύτατη επίδραση, για ένα τεράστιο φάσμα φυσικών φαινομένων, από τους ουρανούς μέχρι την Γη και τους κατοίκους της (Losee, 2010). Ο Αριστοτέλης αρνήθηκε τη δυνατότητα αρχής του σύμπαντος, εμμένοντας στην άποψη ότι το σύμπαν πρέπει να είναι αιώνιο. Αυτή η θέση του Αριστοτέλη αποδείχθηκε προβληματική για τους σχολιαστές του μεσαίωνα.

Ο Αριστοτέλης θεωρούσε αυτό το αιώνιο σύμπαν ως μία τεράστια σφαίρα χωρισμένη σε μία ανώτερη και μία κατώτερη περιοχή από το σφαιρικό κέλυφος στο

οποίο είναι τοποθετημένη η Σελήνη. Πάνω από την Σελήνη είναι η ουράνια περιοχή ενώ η ίδια η Σελήνη ως χωρικά ενδιάμεση έχει επίσης ενδιάμεση φύση. Η γήινη ή υποσελήνια περιοχή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη γένεσης, φθοράς και μεταβολών κάθε είδους, ενώ η ουράνια περιοχή είναι περιοχή αιώνια αμετάβλητων κύκλων. Αυτή η διάκριση του Αριστοτέλη έχει τη καταγωγή της στο έργο του *Περί Ουρανού* όπου επισημαίνει ότι «σε όλο τον περασμένο χρόνο, σύμφωνα με τις παραδεδομένες μαρτυρίες, καμία μεταβολή δεν φαίνεται να έχει συμβεί ούτε στο σύνολο του εξώτερου ουρανού ούτε σε κάποιο από τα γνωστά μέρη του»<sup>5</sup>. Αν στους ουρανούς παρατηρούμε αιώνια αμετάβλητες κυκλικές κινήσεις, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι ουρανοί δεν αποτελούνται από τα στοιχεία που συναντάμε στην Γη, η φύση των οποίων όπως δείχνει η παρατήρηση είναι να κινούνται προς τα πάνω, ή προς τα κάτω με ευθύγραμμες μεταβατικές κινήσεις. Οι ουρανοί θα πρέπει να αποτελούνται από ένα αναλλοίωτο πέμπτο στοιχείο, τον αιθέρα (ο οποίος ως Πέμπτη ουσία, ονομάστηκε στην συνέχεια πεμπτουσία). Η ουράνια περιοχή είναι πλήρης αιθέρα, δεν υπάρχει κενός χώρος και η φύση της ουράνιας περιοχής είναι ανώτερη και σχεδόν Θεία (Lindberg, 1997; Losee, 2010; Westfall, 1995).

Ο Αριστοτέλης, όπως και οι προηγούμενοι αναζήτησε τα θεμελιώδη στοιχεία στα οποία ανάγεται η πολυμορφία των ουσιών, αποδέχθηκε τα τέσσερα στοιχεία του Εμπεδοκλή, αλλά δεν υιοθέτησε τα κανονικά στερεά του Πλάτωνα. Αντί για αυτά επέλεξε ως έσχατα δομικά υλικά ορισμένες *αισθητές ιδιότητες* ή *ποιότητες*. Δύο τέτοια ζεύγη έχουν αποφασιστική σημασία, το *θερμό* με το *ψυχρό* και το *υγρό* με το *ξηρό*. Αυτές οι ιδιότητες συνδυάζονται σε τέσσερα ζεύγη και από κάθε τέτοιο ζεύγος προκύπτει ένα από τα στοιχεία, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.

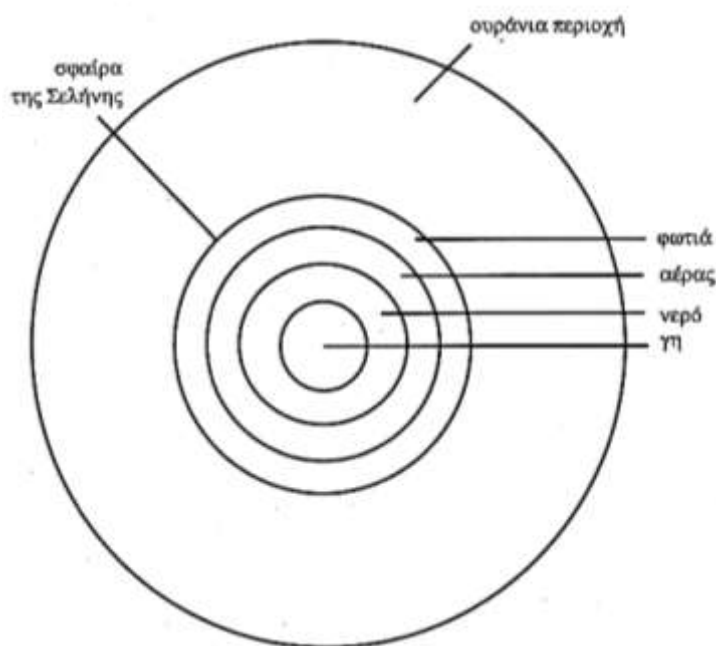
**Σχήμα 3: Πίνακας των αντίθετων αριστοτελικών στοιχείων και ποιοτήτων. Πηγή (Lindberg, 1997)**



Σε σχέση με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται οι αντίθετες ιδιότητες, τίποτα δεν απαγορεύει την αντικατάσταση μια από τις τέσσερις ιδιότητες από την αντίθετη ιδιότητά της, ως αποτέλεσμα εξωτερικής επίδρασης. Έτσι για παράδειγμα καθώς το νερό θερμαίνεται το ψυχρό του νερού μεταβάλλεται σε θερμό και το νερό μεταβάλλεται σε αέρα. Οι διάφορες ουσίες που αποτελούν τον κόσμο τον γεμίζουν πλήρως χωρίς να αφήνουν καθόλου κενό χώρο. Κάθε στοιχείο εκτός από θερμό ή ψυχρό και υγρό ή ξηρό είναι επίσης *βαρύ* ή *ελαφρύ*. Η Γη και το νερό είναι βαριά, με τη Γη βαρύτερη από το νερό. Ο αέρας και η φωτιά είναι ελαφρά, με τη φωτιά ελαφρύτερη από τον αέρα (Γαβρόγλου, 2003). Όταν ο Αριστοτέλης απέδωσε σε δύο από τα στοιχεία ελαφρύτητα δεν εννοούσε όπως εμείς ότι είναι λιγότερο βαριά, αλλά ότι είναι ελαφρά με την απόλυτη έννοια, δηλαδή η ελαφρύτητα δεν είναι εξασθενημένη βαρύτητα, αλλά ιδιότητα αντίθετης της βαρύτητας. Επειδή η Γη και το νερό είναι βαριά, η φύση τους

<sup>5</sup> *Περί ουρανού*, 1.4.270b13-16 (The Complete Works of Aristotle, εκδ. Jonathan Barnes, 1:451)

είναι να κατεβαίνουν προς το κέντρο του σύμπαντος και επειδή ο αέρας και η φωτιά είναι ελαφρά, η φύση τους είναι να ανεβαίνουν προς την περιφέρεια. Αν δεν υπήρχαν εμπόδια, η Γη και το νερό θα κατέβαιναν προς το κέντρο αλλά λόγω της μεγαλύτερης βαρύτητάς της η Γη θα συγκεντρώνονταν στο κέντρο με το νερό σε ένα ομόκεντρο σφαιρικό κέλυφος γύρω της. Ο αέρας και η φωτιά ανεβαίνουν, αλλά η φωτιά λόγω της μεγαλύτερης ελαφρύτητας της καταλαμβάνει την εξώτατη περιοχή και ο αέρας σχηματίζει ομόκεντρη σφαίρα στο εσωτερικό της. Στην ιδανική περίπτωση που δεν υπάρχουν ανάμεικτα σώματα και δεν υπάρχει κάτι που να εμποδίζει τα τέσσερα στοιχεία να εκπληρώσουν τη φύση τους, τα στοιχεία σχηματίζουν ένα σύνολο ομόκεντρων σφαιρών. Η ιδανική διευθέτηση καθορίζει το φυσικό τόπο κάθε στοιχείου. Ο φυσικός τόπος της Γης είναι στο κέντρο του σύμπαντος, της φωτιάς αμέσως κάτω από την σφαίρα της Σελήνης (Lindberg, 1997; Grant, 2008)(σχήμα 4).



Σχήμα 4: Ο Αριστοτελικός κόσμος. Πηγή (Lindberg, 1997)

Η κίνηση στην ουράνια σφαίρα είναι φαινόμενο εντελώς διαφορετικού είδους από αυτήν στην επίγεια περιοχή. Οι ουρανοί αποτελούνται από την *πέμπτη ουσία*, μία αναλλοίωτη ουσία που, η οποία καθώς δεν έχει αντίθετο στοιχείο, δεν επιδέχεται καμία ποιοτική αλλαγή. Θα άρμοζε σε μια τέτοια περιοχή να ήταν τελείως ακίνητη, αλλά αυτό διαψεύδεται από την παρατήρηση του ουρανού. Ο Αριστοτέλης απέδωσε συνεπώς στα ουράνια σώματα το τελειότερο είδος κίνησης, την συνεχή ομαλή κυκλική κίνηση. Στην εποχή του είχε γίνει ήδη αντιληπτό ότι οι απλανείς αστέρες κινούνται απολύτως ομαλά, σαν να είναι στερεωμένοι σε μία ομαλά περιστρεφόμενη σφαίρα, με περίοδο περιστροφής περίπου μία μέρα. Υπήρχαν όμως και επτά αστέρες, οι «πλανώμενοι αστέρες» ή πλανήτες, οι οποίοι εκτελούσαν μια περισσότερο περίπλοκη κίνηση. Αυτοί ήταν, ο Ήλιος, η Σελήνη, ο Ερμής, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος (Γαβρόγλου, 2003).

Ποια είναι όμως η αιτία της κίνησης στον ουρανό; Οι ουράνιες σφαίρες αποτελούνται από αιθέρα και η κίνησή τους αφού είναι αιώνια θα πρέπει να είναι φυσική και όχι εξαναγκασμένη. Η αιτία της αιώνιας αυτής κίνησης θα πρέπει να είναι η ίδια ακίνητη, αφού αν δεν υποθέσουμε ένα ακίνητο κινούν, θα βρεθούμε παγιδευμένοι σε μία άπειρη



ακολουθία. Ένα κινούμενο κινούν θα έχει αποκτήσει την κίνησή του από ένα άλλο κινούμενο κινούν κ.ο.κ. Ο Αριστοτέλης ονόμασε το ακίνητο κινούν των πλανητικών σφαιρών «*Πρώτο Κινούν*» και πρόκειται για ένα έμψυχο Θεό που αντιστοιχεί στο ύψιστο αγαθό, είναι απολύτως ενεργός και ολοκληρωτικά αφοσιωμένος στην νοητική επισκόπηση του εαυτού του, δεν καταλαμβάνει τόπο, είναι ξεχωριστός από τις σφαίρες που κινεί (Grant, 2008). Το Πρώτο Κινούν είναι το αντικείμενο της επιθυμίας των ουράνιων σφαιρών, οι οποίες προσπαθούν να μιμηθούν την αναλλοίωτη τελειότητά του εκτελώντας αιώνιες ομαλές κυκλικές κινήσεις. (Lindberg, 1997; Westfall, 1995)

## 2.5 Η ΠΡΩΙΜΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Η αποφασιστική καμπή της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας, συνέβη κατά την διάρκεια του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. με τον Πλάτωνα και τον Εύδοξο τον Κνίδιο. Στο έργο τους διακρίνουμε κυρίως την μετατόπιση του ενδιαφέροντος από την αστρική στην πλανητική αστρονομία και την δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου, του μοντέλου των «δύο σφαιρών» για την αναπαράσταση των αστρικών και πλανητικών δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα 5.

### Σχήμα 5:

**Το αστρονομικό μοντέλο των δύο ομόκεντρων σφαιρών. Πηγή (Lindberg, 1997)**



Το μοντέλο των δύο σφαιρών που επεξεργάστηκαν ο Πλάτωνας και ο Εύδοξος αναπαριστάνει τον ουρανό και τη Γη ως ζευγάρι ομόκεντρων σφαιρών. Οι αστέρες είναι στερεωμένοι στην ουράνια σφαίρα, ενώ ο Ήλιος, η Σελήνη και οι υπόλοιποι

πέντε πλανήτες κινούνται πάνω στην επιφάνειά της. Η καθημερινή περιστροφή της ουράνιας σφαίρας εξηγεί την παρατηρούμενη καθημερινή ανατολή και δύση όλων των ουράνιων σωμάτων (Duhem, 2007). Αντίστοιχοι κύκλοι διαιρούν τις δύο σφαίρες σε ζώνες και καθορίζουν τις κινήσεις των πλανητών. Η γήινη σφαίρα είναι στερεωμένη στο κέντρο, ενώ η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται κάθε μέρα γύρω από ένα κάθετο άξονα. Ο ισημερινός της Γης προβάλλεται στην ουράνια σφαίρα και ορίζει τον ουράνιο ισημερινό. Ο κύκλος στον οποίο κινούνται ο Ήλιος, η Σελήνη και οι πλανήτες καθώς διασχίζουν την ουράνια σφαίρα έχει κλίση περίπου  $23^0$  σε σχέση με τον ισημερινό και είναι η εκλειπτική (Lindberg, 1997; Duhem, 2007).

Οι κινήσεις των πλανητών, του Ήλιου και της Σελήνης είχαν ήδη παρατηρηθεί προσεκτικά. Στο μοντέλο του Πλάτωνα και του Εύδοξου η περιστροφή του Ήλιου έχει ετήσια περίοδο, της Σελήνης περίπου ένα μήνα ενώ και τα δύο σώματα κινούνται από την ανατολή προς την δύση με σχεδόν ομοιόμορφη ταχύτητα. Οι άλλοι πλανήτες ακολουθούν την εκλειπτική παρεκκλίνοντας λίγες μοίρες κινούμενοι με την ίδια κατεύθυνση, αλλά παρουσιάζοντας σημαντική ποικιλία στην κίνησή τους. Για παράδειγμα ο Άρης συμπληρώνει την περιφορά του σε 22 μήνες. Περίπου κάθε 26 μήνες επιβραδύνεται,

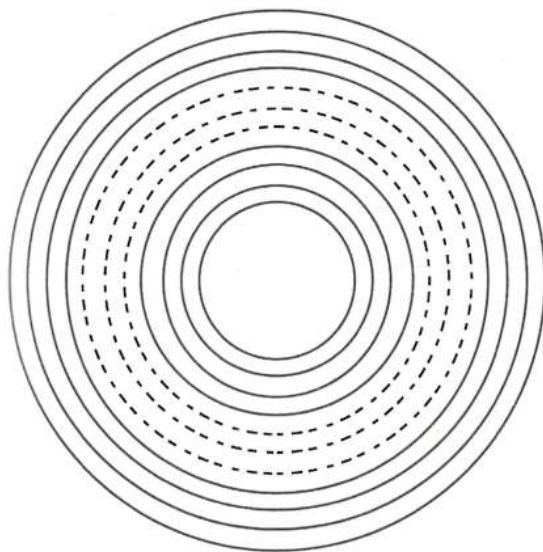
## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

σταματά και αντιστρέφει την κατεύθυνση της κίνησής του, σταματά ξανά και κατόπιν επαναλαμβάνει την κίνησή του προς την ανατολή. Αυτή η κίνηση λέγεται «*παλινδρόμηση*» ή «*ανάδρομη*» και παρατηρείται σε όλους τους πλανήτες εκτός από τον Ήλιο και την Σελήνη. Στην παρακάτω εικόνα 1 φαίνεται η ανάδρομη κίνηση του Άρη.



**Εικόνα 1: Η ανάδρομη κίνηση του Άρη. Πηγή (UNL Astronomy, 2024)**

Το σύστημα των ομόκεντρων σφαιρών το επεξεργάστηκε ο Αριστοτέλης. Υιοθέτησε το μοντέλο του Εύδοξου αλλά με την εξής σημαντική διαφορά. Ενώ ο Εύδοξος θεωρούσε τις ομόκεντρες σφαίρες ως απλές γεωμετρικές κατασκευές, ο Αριστοτέλης απέδωσε στο σύστημα φυσική υπόσταση και συνεπώς αναγκάστηκε να σκεφτεί το πρόβλημα της μετάδοσης της κίνησης από την μία σφαίρα στην άλλη. Αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα των συνδέσμων μεταξύ των σφαιρών, συνειδητοποίησε ότι αν και οι επτά πλανήτες, ο καθένας με το δικό του σύστημα σφαιρών, είναι εγκιβωτισμένοι ομόκεντρα, εσωτερική σφαίρα ενός πλανήτη π.χ του Κρόνου, θα μεταδίδει την πολύπλοκη κίνησή της στην εξωτερική σφαίρα του πλανήτη που βρίσκεται ακριβώς από κάτω στην σειρά δηλ. του Δία. Αν υπολογιστεί και η επίδραση της κίνησης των σφαιρών του ίδιου του Δία τότε η πολυπλοκότητα είναι πολύ μεγάλη. Ο Αριστοτέλης αντιμετώπισε το πρόβλημα βάζοντας ένα σύνολο αντισταθμιστικών σφαιρών μεταξύ της εσωτερικής σφαίρας του Κρόνου και της εξωτερικής σφαίρας του Δία, καθώς και ένα ανάλογο σύνολο αντισταθμιστικών σφαιρών μεταξύ των ακραίων σφαιρών που ανήκουν σε κάθε ζεύγος γειτονικών πλανητών (Lindberg, 1997). Αυτές οι αντισταθμιστικές σφαίρες, που το πλήθος τους είναι πάντα κατά ένα λιγότερο από τις κανονικές πλανητικές σφαίρες που βρίσκονται ακριβώς από πάνω τους έχουν σαν σκοπό να αντισταθμίζουν όλες τις άλλες κινήσεις και να μεταδίδουν μόνο την ημερήσια περιστροφή στην εξωτερική σφαίρα κάθε πλανήτη ( σχήμα 6 ).



**Σχήμα 6: Οι αριστοτελικές σφαίρες. Οι κύριες σφαίρες του Κρόνου και του Δία ( τέσσερις για τον καθένα ) παριστάνονται με συνεχείς γραμμές. Μεταξύ αυτών των γραμμών βρίσκονται τρεις αντισταθμιστικές σφαίρες ( διακεκομμένες γραμμές ) οι οποίες μεταδίδουν την κίνηση των τεσσάρων σφαιρών του Κρόνου, ώστε να μεταδοθεί μόνο η απλή καθημερινή περιστροφή στην εξωτερική σφαίρα του Δία. Πηγή. (Lindberg, 1997)**

Στην διάρκεια της ζωής του Αριστοτέλη και του αιώνα που ακολούθησε, προέκυψαν αρκετές κοσμολογικές εξελίξεις που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Μία από αυτές ήταν η άποψη του Ηρακλείδη του Ποντικού, μέλους της Ακαδημίας του Πλάτωνα ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της μια φορά κάθε 24 ώρες. Αυτός ο ισχυρισμός που έγινε πολύ γνωστός, αλλά σπάνια αποδεκτός, εξηγεί την καθημερινή ανατολή και δύση όλων των ουρανίων σωμάτων. Στον Ηρακλείδη αποδόθηκε και ο ισχυρισμός ότι οι τροχιές του Άρη και της Αφροδίτης είναι ηλιοκεντρικές. (Lindberg, 1997; Duhem, 2007).

Μία ή το πολύ δύο γενιές μετά τον Ηρακλείδη ο Αρίσταρχος ο Σάμιος πρότεινε ένα ηλιοκεντρικό σύστημα, στο οποίο ο Ήλιος παραμένει σταθερός στο κέντρο του κόσμου, ενώ η Γη κινείται σε κυκλική τροχιά γύρω από τον Ήλιο ως πλανήτης. Θεωρείται πολλές φορές ότι απέδωσε και στους άλλους πλανήτες ηλιοκεντρικές τροχιές, αν και οι ιστορικές μαρτυρίες δεν καλύπτουν αυτό το σημείο (Lindberg, 1997). Μάλλον η ιδέα του Αρίσταρχου προέρχεται από την πυθαγόρεια φιλοσοφία που είχε μετακινήσει τη Γη από το κέντρο του σύμπαντος και την είχε βάλει σε κίνηση γύρω από την «κεντρική φωτιά»<sup>6</sup>.

Ο Αρίσταρχος συνήθως τιμάται ως πρόδρομος του Κοπέρνικου και οι αστρονόμοι που τον διαδέχθηκαν δέχονται αυστηρή κριτική για την αδυναμία τους να υιοθετήσουν την πρότασή του (Grant, 2008). Όμως πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι αυτή δεν είναι μία σωστή κρίση σε σχέση με όσα έγιναν τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. αν κρίνουμε την υπόθεση του Αρίσταρχου με τα δεδομένα της εποχής μας. Συνεπώς το πραγματικό ερώτημα δεν είναι αν εμείς έχουμε επαρκείς λόγους για τον ηλιοκεντρισμό, αλλά αν αυτοί τότε είχαν τέτοιους λόγους, και η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι ότι φυσικά και δεν είχαν. Η θεώρηση της Γης ως κινούμενου πλανήτη ερχόταν σε αντίθεση με το κύρος της παράδοσης, τον κοινό νου, τις θρησκευτικές πεποιθήσεις και βέβαια την αριστοτελική Φυσική (Lindberg, 1997).

<sup>6</sup> Heath, Aristarchus of Samos, μέρος 2

## 2.6 Η ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ – ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΤΑΞΙΣ

Η πλανητική αστρονομία φαίνεται ότι αποτέλεσε αντικείμενο ιδιαίτερα έντονης μελέτης κατά την διάρκεια της ελληνιστικής περιόδου, αλλά γνωρίζουμε λίγες λεπτομέρειες γιατί ο Κλαύδιος Πτολεμαίος προς το τέλος της περιόδου αυτής συνόψισε τα επιτεύγματα των προηγούμενων με τόσο μεγάλη επιτυχία που τα έργα τους σταμάτησαν να κυκλοφορούν και εξαφανίστηκαν. Γνωρίζουμε, επειδή το λέει ο Πτολεμαίος ότι ο Απολλώνιος από την Πέργη επεξεργάστηκε ένα νέο μαθηματικό μοντέλο για την κίνηση των πλανητών τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. και επίσης είναι σαφές από σχόλια του ίδιου του Πτολεμαίου και άλλες αποσπασματικές πηγές ότι ο Ίππαρχος ήταν ένας από τους μεγαλύτερους αστρονόμους της αρχαιότητας. Ο Ίππαρχος ασχολήθηκε κυρίως με την παρατηρησιακή αστρονομία, σχεδιάζοντας ένα καλύτερο αστρικό χάρτη, ανακαλύπτοντας την μετάπτωση των ισημεριών, κατασκευάζοντας την διόπτρα (νέο όργανο παρατήρησης) και ασκώντας κριτική στην υπάρχουσα πλανητική θεωρία (Lindberg, 1997).

Ο Κλαύδιος Πτολεμαίος άκμασε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου μεταξύ του 127 και 150μ.Χ. Αστρονόμος, γεωγράφος και μαθηματικός, συστηματοποίησε με τις μελέτες του και τα συγγράμματά του την ελληνικά αστρονομία. Το έργο του επηρέασε την επιστημονική σκέψη έως τον 17<sup>ο</sup> αιώνα. Για την ζωή του δεν ξέρουμε πολλά, φαίνεται όμως ότι είχε κάποια σχέση με το Μουσείο και τη Βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας και ταξίδεψε αρκετά. (Γαβρόγλου, 2003).

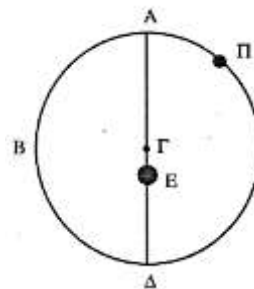
Τα πορίσματα των αστρονομικών μελετών του Πτολεμαίου περιέχονται στο μεγάλο έργο του, *Μαθηματική Σύνταξις* το οποίο τελικά έγινε γνωστό με τον τίτλο *Ο μέγας αστρονόμος*. Αργότερα το έργο αναφερόταν ως *Μεγίστη* ή *Μεγάλη Σύνταξις*. Τον 9<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. οι Άραβες αστρονόμοι αναφέρονταν στο βιβλίο αυτό με παράλειψη του ουσιαστικού *Σύνταξις*, ως *Μεγίστη*. Στον όρο αυτό προσκολλήθηκε ως πρόθεμα το αραβικό άρθρο «*αλ*» και με αυτό τον τρόπο το έργο έγινε γνωστό ως *Αλμαγέστη*, όπως αποκαλείται μέχρι και σήμερα. Στην *Αλμαγέστη* το σημαντικότερο έργο του Πτολεμαίου στην αστρονομία, αναπτύσσεται η **γεωκεντρική θεωρία** και γίνεται δυνατή η εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων (Westfall, 1995; Γαβρόγλου, 2003).

Η *Αλμαγέστη* αποτελείται από 13 βιβλία, καθένα από τα οποία πραγματεύεται ορισμένα θέματα σχετικά με τους αστέρες και τα σώματα του ηλιακού συστήματος. Τα πτολεμαϊκά μοντέλα έχουν τον ίδιο σκοπό με αυτά του Εύδοξου- την ανακάλυψη κάποιου συνδυασμού ομαλών κυκλικών κινήσεων που θα μπορούσαν να εξηγήσουν τις παρατηρούμενες θέσεις (φαινόμενες μεταβολές ταχύτητας και κατεύθυνσης) των πλανητών. Όμως ο Πτολεμαίος χρησιμοποίησε εντελώς διαφορετικές τεχνικές, με βασικότερο όλων ότι αντί για σφαίρες χρησιμοποίησε κύκλους. Ας εξετάσουμε το γεωκεντρικό μοντέλο του Πτολεμαίου λίγο πιο αναλυτικά.

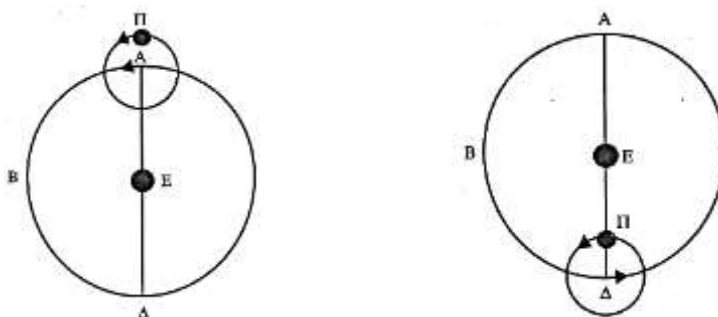
Αρχικά να δούμε πως η ομαλή κυκλική κίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή των φαινομένων ανώμαλων κινήσεων. Έστω ότι ο κύκλος ΑΒΔ (σχ. 7) είναι η τροχιά ενός πλανήτη και υποθέτουμε ότι ο πλανήτης Π κινείται ομαλά πάνω στον κύκλο. Εάν η κίνηση του Π είναι ομαλή, ο πλανήτης διατρέχει ίσες γωνίες σε ίσους χρόνους γύρω από το κέντρο Γ. Εάν το κέντρο της ομαλής κίνησης Γ ταυτίζεται με το σημείο παρατήρησης, δηλ. αν η Γη βρίσκεται στο Γ τότε η κίνηση του Π δεν είναι απλά ομαλή, αλλά θα φαίνεται και ομαλή. Αν όμως, το κέντρο της ομαλής κίνησης και το κέντρο παρατήρησης δεν ταυτίζονται, δηλ. αν η Γη βρίσκεται π.χ. στο σημείο Ε τότε η κίνηση του πλανήτη δεν θα φαίνεται ομαλή, καθώς φαινομενικά θα επιβραδύνεται όσο πλησιάζει το Α

και θα επιταχύνεται όσο πλησιάζει το Δ. αυτό είναι το μοντέλο των έκκεντρων κύκλων (Lindberg, 1997; Γαβρόγλου, 2003; Westfall, 1995).

**Σχήμα 7: Το πτολεμαϊκό μοντέλο των έκκεντρων κύκλων. Πηγή (Γαβρόγλου, 2003)**

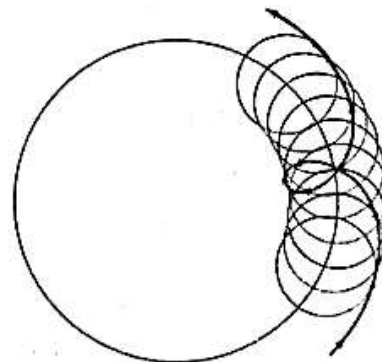


Το μοντέλο των έκκεντρων επαρκεί για απλές περιπτώσεις όπως αυτή της κίνησης του Ήλιου γύρω από την εκλειπτική. Για πιο περισσότερες περίπλοκες περιπτώσεις, ο Πτολεμαίος αναγκάστηκε να εισάγει το μοντέλο των φερόντων κύκλων και επικύκλων (σχήματα 8, 9).



**Σχήμα 8: Το πτολεμαϊκό μοντέλο φερόντων και επικύκλων. Πηγή (Γαβρόγλου, 2003)**

**Σχήμα 9: Η ανάδρομη φορά ενός πλανήτη όπως εξηγείται με το μοντέλο φερόντων και επικύκλων. Καθώς ο επίκυκλος κινείται με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού πάνω στον φέροντα, ο πλανήτης κινείται με την ίδια φορά πάνω στον επίκυκλο. Η τελική τροχιά του πλανήτη παριστάνεται από την έντονη γραμμή. Πηγή (Lindberg, 1997)**



Έστω ο φέρον κύκλος ΑΒΔ στον οποίο προσαρτούμε έναν μικρότερο επίκυκλο με κέντρο πάνω στην περιφέρεια του φέροντα. Ο πλανήτης Π κινείται ομαλά πάνω στον επίκυκλο, ενώ το κέντρο του επίκυκλου κινείται ομαλά πάνω στον φέροντα. Ο παρατηρητής Ε βλέπει την σύνθεση των δύο ομαλών κυκλικών κινήσεων. Όταν ο πλανήτης Π βρίσκεται στο εξωτερικό του επικύκλου η φαινόμενη κίνηση όπως φαίνεται από την Γη θα είναι το άθροισμα της κίνησης πάνω στον επίκυκλο και της κίνησης του επίκυκλου πάνω γύρω από τον φέροντα κύκλο και ο πλανήτης θα έχει σε αυτό το σημείο τη μέγιστη φαινόμενη ταχύτητα. Όταν ο Π βρίσκεται στο εσωτερικό του επίκυκλου, η κίνησή του πάνω στον επίκυκλο και η κίνηση του επίκυκλου πάνω στον φέροντα είναι αντίθετες (όπως φαίνονται από τη Γη) και η φαινόμενη ταχύτητα του πλανήτη προκύπτει από τη διαφορά τους. Αν τώρα η ταχύτητα του Π είναι η μεγαλύτερη από τις δύο, ο πλανήτης θα

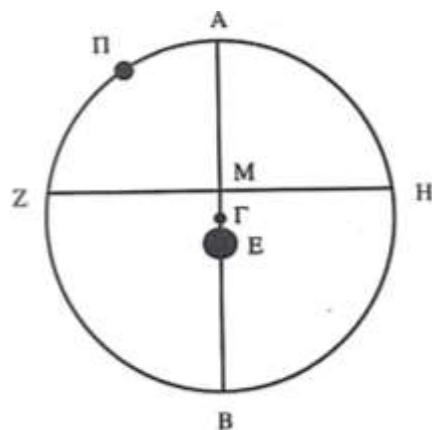


αντιστρέφει φαινομενικά την τροχιά του και θα κάνει ανάδρομη κίνηση για λίγο (σχ.9), (Lindberg, 1997; Westfall, 1995; Γαβρόγλου, 2003).

Και τα δύο μοντέλα που βασίζονταν στην ομαλή κυκλική κίνηση, των έκκεντρων και των επικύκλων, ήταν εξαιρετικά ισχυρά, όμως είχαν τα όριά τους και η αδυναμία τους να αναλύσουν κάποιες πλανητικές κινήσεις οδήγησε στην δημιουργία ακόμη μοντέλου, το οποίο είναι γνωστό ως μοντέλο των εξισωτών.

Θεωρούμε τον έκκεντρο AZB (σχ. 10) με κέντρο το Γ και έστω ότι η Γη βρίσκεται στο Ε.

**Σχήμα 10: Το πτολεμαϊκό μοντέλο του εξισωτή. Πηγή (Lindberg, 1997)**

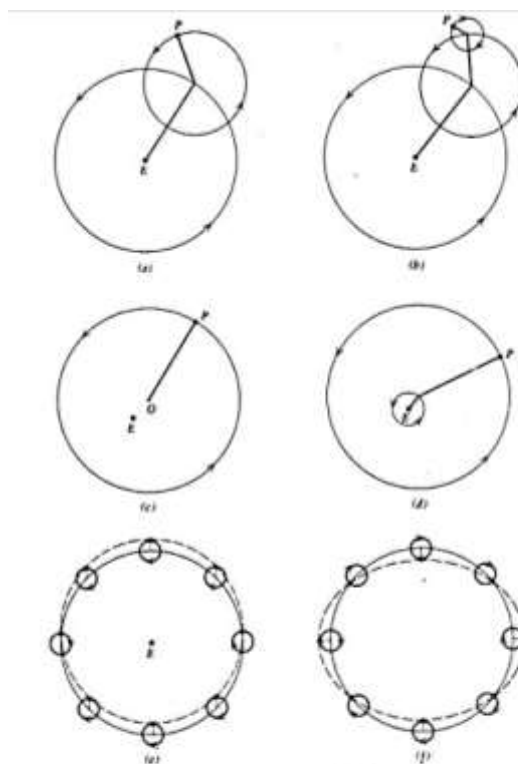
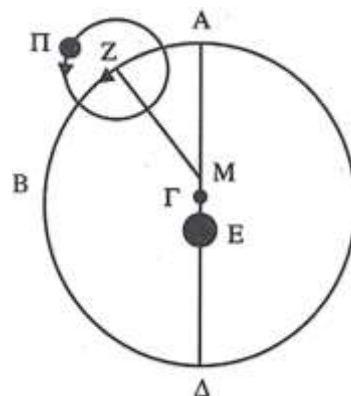


Καθώς ο πλανήτης περιστρέφεται. Ο Πτολεμαίος αντί να επιμείνει ότι ο πλανήτης πρέπει να καλύπτει ίσες γωνίες σε ίσους χρόνους όπως μετρούνται από το κέντρο, θεώρησε ότι μπορεί να κινείται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει ίσες γωνίες σε ίσους χρόνους όπως μετριοούνται από το σημείο του εξισωτή, το οποίο είναι ένα μη κεντρικό σημείο που βρίσκεται στο Μ και είναι τέτοιο ώστε το τμήμα ΜΓ να ισούται με το ΓΕ. Καθώς ο πλανήτης κινείται επάνω στο τόξο ΑΖ διατρέχει την ορθή γωνία ΑΜΖ, σε κάποιο χρόνο για παράδειγμα σε δύο χρόνια. Τότε τα επόμενα δύο χρόνια, ο πλανήτης πρέπει να καλύψει την επόμενη ορθή γωνία ΖΜΒ και πρέπει να διατρέξει το αντίστοιχο τόξο ΖΒ. Τα ακόμη δύο χρόνια ο πλανήτης θα κινηθεί από το Β στο Η κ.ο.κ. Αν συγκριθούν τα τόξα που διανύει, είναι φανερό ότι ο πλανήτης παρουσιάζει μεγαλύτερη γραμμική ταχύτητα στο τόξο ΖΒ από ότι στο τόξο ΑΖ. Επομένως ο πλανήτης βαθμιαία επιταχύνεται καθώς κινείται το Α στο Β και κατόπιν επιβραδύνεται καθώς κινείται από το Β στο Α. Η παρατήρηση αυτής της μεταβαλλόμενης κίνησης από το Ε στην άλλη πλευρά του κέντρου, από τον εξισωτή Μ, θα μεγεθύνει την φαινόμενη μεταβλητότητά της. Με το μοντέλο αυτό ο Πτολεμαίος διατήρησε την ομαλότητα της κυκλικής κίνησης, όχι όμως γύρω από το κέντρο και εγκατέλειψε την ομαλότητα της κίνησης πάνω στην περιφέρεια (Westfall, 1995).

Τα τρία μοντέλα -έκκεντρων, επικύκλων και εξισωτών- αποτελούν αποτελεσματικούς τρόπους χρησιμοποίησης της ομαλής κυκλικής κίνησης για την ανάλυση της φαινόμενης αταξίας των ουρανίων σωμάτων. Θα μπορούσε κάποιος ακόμη και να θέσει το κέντρο του έκκεντρου κύκλου σε κίνηση πάνω σε ένα μικρό κύκλο γύρω από τη Γη, κάτι που αναγκάστηκε να κάνει ο Πτολεμαίος για να τελειοποιήσει το μοντέλο κίνησης της Σελήνης. Το τυπικό μοντέλο ενός πλανήτη που εφαρμόζεται στον Άρη το Δία και τον Κρόνο φαίνεται στο σχ. 11, όπου έχουμε ένα έκκεντρο φέροντα κύκλο ΑΒΔ με κέντρο το Γ, η Γη βρίσκεται στο Ε και ο εξισωτής στο Μ. Ο πλανήτης περιστρέφεται ομοιόμορφα πάνω στον επίκυκλο και το κέντρο του επίκυκλου κινείται ομοιόμορφα γύρω από τον εξισωτή Μ. Τέτοια μοντέλα, επεξεργασμένα με τις κατάλληλες μεταβλητές για όλους τους υπόλοιπους πλανήτες, αποδείχθηκαν εξαιρετικά επιτυχή και αυτός ο βαθμός επιτυχίας είναι που βρίσκεται πίσω από την μακροζωία αυτών των μοντέλων και έκανε δύσκολη την αντικατάστασή τους. Στο γεωκεντρικό σύστημα υπήρχαν επτά γνωστοί πλανήτες Σελήνη, Ερμής, Αφροδίτη, Ήλιος, Άρης, Δίας και Κρόνος, τοποθετημένοι, κατά γενική αποδοχή σε αυτή την σειρά. Στο σχήμα 12 φαίνονται συνολικά οι γεωμετρικές κατασκευές που είχε

επινοήσει η Αστρονομία του Πτολεμαίου. (Grant, 2008; Lindberg, 1997; Westfall, 1995; Γαβρόγλου, 2003) .

**Σχήμα 11:** Το πτολεμαϊκό μοντέλο για τους ανώτερους πλανήτες. Το ευθύγραμμο τμήμα  $MZ$  καλύπτει ίσες γωνίες σε ίσους χρόνους γύρω από τον εξισωτή  $M$ . Πηγή. (Lindberg, 1997)



**Σχήμα 12:**  
Πηγή. (Westfall, 1995)

Οι γεωμετρικές κατασκευές που είχε επινοήσει η αστρονομία του Πτολεμαίου. (α) Μείζων επίκυκλος σε φέροντα κύκλο. (β) Επίκυκλος σε μείζονα επίκυκλο. (γ) Έκκεντρος κύκλος. (δ) Έκκεντρος σε φέροντα κύκλο. (ε) Πορεία που προκύπτει από ελάσσονα επίκυκλο με περίοδο ίδια με του φέροντα κύκλου. (στ) Πορεία που προκύπτει από ελάσσονα επίκυκλο με περίοδο διπλάσια του φέροντα κύκλου.

### 3 Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ – ΤΟ ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

#### 3.1 Ο ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΣ ΚΟΣΜΟΣ

Η κοσμολογία κατά τον μεσαίωνα, όπως και τόσοι άλλοι κλάδοι μεταμορφώθηκε κατά την διάρκεια του μεσαίωνα με τη μαζική μετάφραση ελληνικών και αραβικών πηγών κατά την διάρκεια του 12<sup>ου</sup> και του 13<sup>ου</sup> αιώνα. Ειδικότερα η αριστοτελική παράδοση κατέλαβε κεντρική θέση κατά την διάρκεια του 13<sup>ου</sup> και εκτόπισε σιγά-σιγά την πλατωνική και πρώιμη μεσαιωνική σύλληψή του κόσμου. Ο Αριστοτέλης διαίρεσε την κοσμική σφαίρα σε δύο διακριτές περιοχές, οι οποίες αποτελούνται από διαφορετικά υλικά και λειτουργούν με διαφορετικές αρχές. Κάτω από την Σελήνη βρίσκεται η επίγεια περιοχή, η οποία αποτελείται από τα τέσσερα στοιχεία και αυτή είναι η σκηνή της γέννησης και της φθοράς, και των μεταβατικών ευθύγραμμων κινήσεων. Πάνω από τη Σελήνη βρίσκονται οι ουράνιες σφαίρες, στις οποίες είναι προσαρτημένοι οι απλανείς αστέρες, ο Ήλιος και οι υπόλοιποι πλανήτες. Η ουράνια περιοχή αποτελείται από αιθέρα, χαρακτηρίζεται από αμετάβλητη τελειότητα και ομαλές κυκλικές κινήσεις (Crombie, 1992; Grant, 2008; Lindberg, 1997). Η καθολική συμφωνία τόσο μεγάλης έκτασης δεν προέκυψε επειδή ένοιωθαν οι λόγοι υποχρεωμένοι να υποκύψουν στην αυθεντία του Αριστοτέλη, αλλά επειδή η κοσμολογική θεωρία του πρόσφερε μία πειστική και ικανοποιητική εικόνα του κόσμου όπως τον αντιλαμβάνονταν (Grant, 2008). Παρόλα αυτά κάποια συγκεκριμένα στοιχεία της αριστοτελικής κοσμολογίας έγιναν αντικείμενο κριτικής και συζητήσεων και η συμβολή των μεσαιωνικών λογίων προέκυψαν από την προσπάθειά τους να την εναρμονίσουν με τις απόψεις άλλων αυθεντιών και με την διδασκαλία της Αγ. Γραφής.

Όλοι συμφωνούσαν ότι δεν υπάρχουν υλικές ουσίες έξω από τον κόσμο. Αν ο κόσμος περιέχει όλη την υλική ουσία που δημιούργησε ο Θεός, το συμπέρασμα είναι αναπόφευκτο. Ο Αριστοτέλης είχε αρνηθεί την ύπαρξη κενού χώρου έξω από τον κόσμο και αυτό αποτελούσε ένα πρόβλημα. Αυτό το σημείο τροποποιήθηκε με την δήλωση ότι ο Θεός έχει τη δύναμη να φτιάξει πολλαπλούς κόσμους και ότι είναι ικανός να προσδώσει ευθύγραμμη κίνηση στον εξώτατο ουρανό. Χριστιανικές σκοπιμότητες κυριαρχούσαν σε αυτή την τροποποίηση της αριστοτελικής κοσμολογίας, η οποία έπαιξε εμφανή ρόλο στις κοσμολογικές υποθέσεις μέχρι και το τέλος του 17<sup>ου</sup> αιώνα (Grant, 2008; Lindberg, 1997).

Καθώς μπαίνουμε στον κόσμο, συναντάμε αμέσως τις ουράνιες σφαίρες. Επειδή υπήρχαν όπως έχουμε αναφέρει υπήρχαν επτά γνωστοί πλανήτες, υπήρχαν και επτά σφαίρες μία για κάθε έναν, και επιπλέον πάνω από τις πλανητικές σφαίρες σύμφωνα με τον Αριστοτέλη βρίσκεται η σφαίρα των απλανών (πρώτο κινούν), η οποία αποτελεί το εξωτερικό όριο του κόσμου. Καθώς οι μεσαιωνικοί άρχιζαν να εξετάζουν αυτή την εξώτατη σφαίρα προέκυψαν διάφορα προβλήματα και ένα από αυτά αφορούσε τον καθορισμό του τόπου της. Ο τόπος κάθε πράγματος σύμφωνα με τον Αριστοτέλη καθορίζεται από τα σώματα ή το σώμα που το περιβάλλει. Αν όμως η σφαίρα των απλανών είναι η ίδια το εξώτατο σώμα, τότε δεν υπάρχει τίποτα στο εξωτερικό της που να την περιβάλλει. Αυτό ήταν πολύ παράδοξο για να γίνει αποδεκτό και προτάθηκαν διάφορες λύσεις. Ένα άλλο πρόβλημα για την εξώτατη σφαίρα ήταν η αφήγηση της στο βιβλίο της Γένεσης για την δημιουργία όπου γίνεται διάκριση του «Ουρανού» που δημιουργήθηκε την πρώτη ημέρα και του «στερεώματος» που δημιουργήθηκε την δεύτερη μέρα, τα οποία πρέπει να είναι



διαφορετικά. Επίσης η Αγ. Γραφή αναφέρει ότι το στερέωμα διαχωρίζει το «*ὕδωρ υποκάτω*» και το «*ὕδωρ επάνω*» του στερεώματος. Προφανώς το «*ὕδωρ υποκάτω*» θα μπορούσε να ταυτιστεί με τα ύδατα στην επίγεια περιοχή, αλλά όμως το «*ὕδωρ επάνω*»

αντιστοιχεί προφανώς σε μία ακόμη σφαίρα. Αυτή η συζήτηση οδήγησε κάποιους χριστιανούς σχολιαστές να υποθέσουν ότι υπάρχουν άλλες τρεις σφαίρες εκτός των επτά πλανητικών. Η εξώτατη, το αόρατο και ακίνητο (*έμπυρον*) που είναι η κατοικία των αγγέλων. Ακολουθεί ο υδάτινος ή κρυστάλλινος ουρανός και κατόπιν το στερέωμα που έχει τους απλανείς αστέρες. Συνεπώς ο συνολικός αριθμός των σφαιρών σύμφωνα με αυτές τις υποθέσεις ήταν δέκα (Crombie, 1992; Grant, 2008; Lindberg, 1997). Με το πέρασμα του χρόνου και οι τρεις εξωτερικές σφαίρες αποκτήσαν κοσμολογικές και αστρονομικές λειτουργίες, ενώ ορισμένοι λόγιοι, προσπαθώντας να εξηγήσουν κάποιες επιπλέον αστρικές κινήσεις, οδηγήθηκαν στην υπόθεση μιας ενδέκατης σφαίρας ( σχ. 13).

**Σχήμα 13: Απλοποιημένη αριστοτελική κοσμολογία κατά τον μεσαίωνα. Πηγή (Grant, 2008)**



Η αλληλεπίδραση μεταξύ της κοσμολογίας και της θεολογίας σε αυτές τις συζητήσεις είναι αξιοσημείωτη. Τελικά σπουδαίοι φιλόσοφοι όπως ο Oresme οι οποίοι αρχικά θεώρησαν ότι τα χωρία της Αγ. Γραφής πρέπει να ερμηνεύονται ως παραχώρηση του Θείου λόγου και όχι κυριολεκτικά αναγκάστηκαν να αποδεχθούν την παραδοσιακή άποψη ότι η Γη είναι ακίνητη υποστηρίζοντάς την με ένα χωρίο από το βιβλίο των ψαλμών «*και γαρ εστερέωσε την Οικουμένην, ήτις ου σαλευθήσεται*». Η αριστοτελική κοσμολογία προσαρμόστηκε στις απαιτήσεις της ερμηνείας της Αγ. Γραφής, ενώ ταυτόχρονα η Βιβλική έκθεση απορρόφησε τα βασικά στοιχεία της αριστοτελικής κοσμολογίας (Crombie, 1992; Duhem, 2007; Grant, 2008; Lindberg, 1997).

### 3.2 Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 17<sup>ου</sup> ΑΙΩΝΑ

Στην κοσμολογία πολύ περισσότερο από ότι στη Φυσική, ο Αριστοτέλης μετέδωσε στο Μεσαίωνα μια πολύ ολοκληρωμένη και γενικά ικανοποιητική εικόνα της δομής του κόσμου. Παρόλο κατά καιρούς η μία ή η άλλη πλευρά της αριστοτελικής φιλοσοφίας υφίσταντο σοβαρή επίθεση με βάση αστρονομικά, φυσικά ή θεολογικά επιχειρήματα, παρέμεινε απολύτως κυρίαρχη μέχρι την ανατροπή της τον 16<sup>ο</sup> και 17<sup>ο</sup> αιώνα. Παρουσίαζε ένα καλά τακτοποιημένο και αρμονικό κόσμο που ήταν εύκολα κατανοητός στους περισσότερο μορφωμένους και του οποίου τα γενικά χαρακτηριστικά μπορούσαν να αποδοθούν με ζωηρό και παραστατικό τρόπο σε όλους τους άλλους. Η εύκολη κυριαρχία της διευκολύνθηκε ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι στην διάρκεια του Μεσαίωνα ανταγωνιστικές κοσμολογίες από την αρχαιότητα είτε ήταν άγνωστες, όπως το ηλιοκεντρικό σύστημα του Αρίσταρχου, είτε γνωστές κυρίως από έργα του Αριστοτέλη, όπου περιγράφονταν με σκοπό να ανασκευαστούν, όπως έγινε με την ατομική θεωρία του Δημόκριτου. Και πραγματικά τουλάχιστον όσον αφορά την ατομική θεωρία, ήταν διπλά καταδικασμένη λόγω της παραδοσιακής σύνδεσής του με το αθεϊσμό (Grant, 2008).

Παρόλο που η κεντρική θέση της Γης στην παραδοσιακή κοσμολογία δεν αμφισβητήθηκε σοβαρά μέχρι να προτείνει ο Κοπέρνικος το ηλιοκεντρικό του σύστημα τον 16<sup>ο</sup> αιώνα, υποτιθέμενη καθολική ακινησία της επανεξετάστηκε με λεπτομέρεια τον 14<sup>ο</sup> αιώνα. Από τα είδη της κίνησης που μπορούσαν να αποδοθούν στη Γη το πιο σημαντικό αφορούσε μια ενδεχόμενη ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονά της ώστε να εξηγηθούν οι ανατολές και δύσεις όλων των ουρανίων σωμάτων. Η αυθεντία του Αριστοτέλη και του Πτολεμαίου εγγυόταν και σχεδόν καθαγίαζε την παράδοση μιας ακίνητης Γης στο κέντρο του σύμπαντος, ενώ τα καθημερινά ουράνια φαινόμενα εξηγούνταν από την καθημερινή κίνηση όλων των ουρανίων σφαιρών. Το κέντρο του σύμπαντος ήταν η φυσική θέση μια βαριάς Γης που ήταν ανίκανη για ευθύγραμμη ή κυκλική κίνηση με φυσικά μέσα. Ο Πτολεμαίος στην «*Αλμαγέστη*» του την πληρέστερη και με μεγαλύτερη επιρροή αστρονομική πραγματεία πριν από την εμφάνιση του έργου του Κοπέρνικου «*Περί των περιφορών των ουρανίων σφαιρών*» το 1543, παρουσίαζε μία εντυπωσιακή σειρά επιχειρημάτων εναντίον της περιστροφής της Γης στηριζόμενος κυρίως στην ανθρώπινη εμπειρία και την κοινή λογική. Παρόλο που αναγνώριζε ότι μία περιστροφή γύρω από άξονα μπορούσε να σώσει ή να εξηγήσει ουράνιες κινήσεις, δεν μπορούσε να εξηγήσει κατά την κρίση του φυσικά φαινόμενα παρατηρήσιμα άμεσα πάνω στην επιφάνεια της Γης, όπως π.χ. την κίνηση των σύννεφων (Duhem, 2007; Grant, 2008).

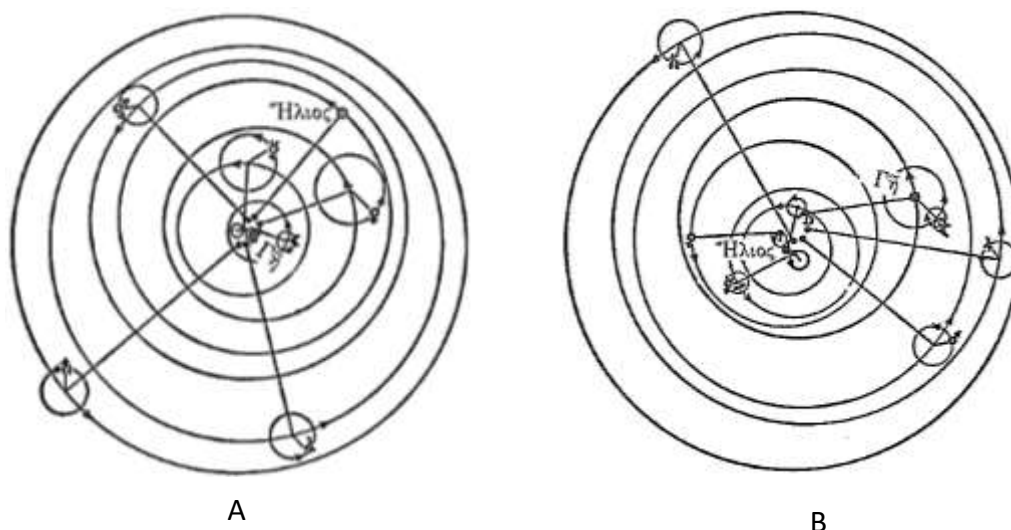
Η περίοδος της Επιστημονικής Επανάστασης είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την ανάδειξη και κατανόηση ενός συνόλου προβλημάτων. Σε αυτή την περίοδο έζησαν ο Κοπέρνικος, ο Γαλιλαίος, ο Descartes, ο Kepler και ο Νεύτωνας, τα θεωρητικά έργα και οι πράξεις των οποίων συνέβαλλαν αποφασιστικά στην αλλαγή του τρόπου που με τον οποίο θα προσεγγίζουμε την φύση, θα κατανοούμε τον κόσμο γύρω μας και θα έχουμε τρόπους να ελέγχουμε την εγκυρότητα της νέας γνώσης που αποκτούμε. (Γαβρόγλου, 2003).

Η μελέτη της υπερσελήνιας περιοχής ήταν αρκετά πολύπλοκη και ο αριθμός των ουρανίων σφαιρών προκειμένου να εξηγηθούν τα φαινόμενα είχαν ήδη φτάσει στις 55 (Grant, 2008). Μολονότι το πτολεμαϊκό σύστημα είχε εισαχθεί στη χριστιανοσύνη της Δύσης από τον 13<sup>ο</sup> αιώνα με μεταφράσεις, ήταν αισθητή η ανάγκη να βρεθεί ένα αστρονομικό σύστημα που από τη μια θα «έσωζε τα φαινόμενα» και από την άλλη θα περιέγραφε με όσο το δυνατόν πιο απλό τρόπο τις πραγματικές τροχιές των ουρανίων σωμάτων μέσα στο χώρο. Ο Νικόλαος Κοπέρνικος (1473-1543) έμελλε να επεξεργαστεί ένα σύστημα που μπορούσε να αντικαταστήσει το σύστημα του Πτολεμαίου και να αναπαριστάνει την φυσική πραγματικότητα, ενώ ταυτόχρονα θα ήταν απλούστερο και να σώζει και επιπλέον συμπληρωματικά φαινόμενα όπως είναι η διάμετρος της Σελήνης, που

σύμφωνα με το σύστημα του Πτολεμαίου πρέπει να υφίσταται μηνιαία μεταβολή που έφτανε μέχρι και το 100%. Άντλησε το υλικό του κυρίως από την Επιτομή στην Αλμαγέστη του Peurbach και του Regiomontanus που τυπώθηκε το 1496, και από την λατινική μετάφραση της Αλμαγέστης του Gerardo da Gremova που τυπώθηκε το 1515 στην Βενετία,

ενώ γνώριζε τη θεωρία του Ηρακλείδη. Ο Κοπέρνικος όχι μόνο έδωσε στη Γη μία ημερήσια περιστροφή, αλλά θεώρησε ότι όλο το πλανητικό σύστημα, και η Γη μαζί, περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο που βρίσκεται στο κέντρο του και είναι ακίνητος (Crombie, 1992).

Η επανάσταση του Κοπέρνικου έγκειται στο ότι απέδωσε την ημερήσια κίνηση των ουρανίων σωμάτων στην περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της και την ετήσια κίνησή τους στην περιφορά της γύρω από τον Ήλιο, καθώς και στο ότι μελέτησε λεπτομερώς με την παλιά μέθοδο των έκκεντρων και επικύκλων, τις αστρονομικές συνέπειες αυτών των νέων αιτημάτων (σχήμα 14). Ο Κοπέρνικος ίσως είχε παρατηρήσει ορισμένες ιδιομορφίες που υπήρχαν στα μαθηματικά του γεωκεντρικού συστήματος. Για παράδειγμα οι σταθερές των επικύκλων και των φερόντων κύκλων αντιστρέφονται μεταξύ των κατώτερων πλανητών (Ερμής, Αφροδίτη) και των ανωτέρων και στους υπολογισμούς για καθέναν από τους πέντε πλανήτες εμφανίζεται η περίοδος περιφοράς του Ήλιου. Είδε ότι υπήρχαν διαφωνίες ανάμεσα στους μαθηματικούς και ότι ο καθένας χρησιμοποιούσε διαφορετική μέθοδο όπως ομόκεντρες σφαίρες, έκκεντρες σφαίρες, επικύκλους. Συμπέρανε λοιπόν ότι έπρεπε να υπάρχει κάποιο λάθος (Crombie, 1992).



**Σχήμα 14: Σύγκριση του πτολεμαϊκού (Α) με το κοπερνίκειο (Β) σύστημα. Πηγή (Crombie, 1992)**

Λέει ο ίδιος «όταν σκέφτηκα την αβεβαιότητα με την οποία τα παραδοσιακά μαθηματικά διατάσσουν την κίνηση των σφαιρών του ουρανού, ανακάλυψα με απογοήτευση ότι οι φιλόσοφοι, οι οποίοι έχουν τόσο έξοχα διερευνήσει άλλες λεπτομέρειες του ουρανού, δεν έδωσαν πιο έγκυρες εξηγήσεις για το μηχανισμό του σύμπαντος, που θεμελιώθηκε για μας από τον καλύτερο και τον πιο τακτικό Τεχνίτη από όλους. Γι' αυτό τον λόγο κάθισα και ξαναδιάβασα τα βιβλία όλων των φιλοσόφων που μπορούσα να προμηθευτώ και διερεύνησα αν κανείς τους είχε υποθέσει ότι η κίνηση των σφαιρών του ουρανού είναι διαφορετική από αυτές που υιοθέτησαν οι ακαδημαϊκοί μαθηματικοί ». Έτσι ο Κοπέρνικος συνάντησε τις ελληνικές θεωρίες για την διπλή κίνηση της Γης γύρω από τον άξονά της και γύρω από τον Ήλιο, τις ανέπτυξε ακολουθώντας το παράδειγμα προκατόχων του που δεν είχαν ενδοιασμούς να φανταστούν οποιουδήποτε κύκλους τους χρειαζόνταν για να «σώσουν τα

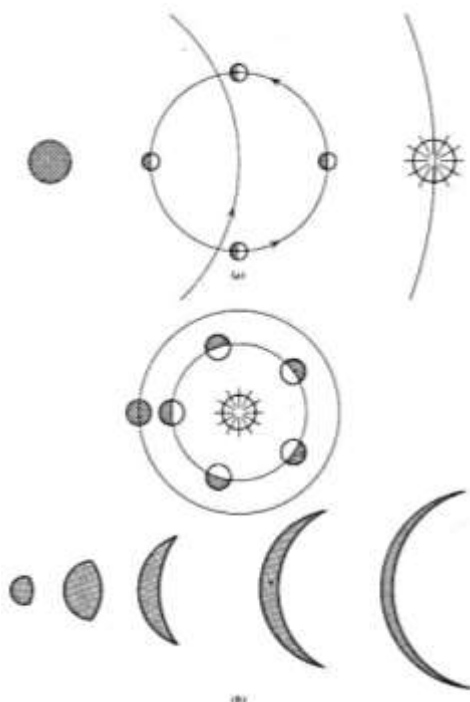
## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

φαινόμενα» (Crombie, 1992). Ο Κοπέρνικος ήταν πεπεισμένος ότι η υπόθεση της κίνησης της Γης όχι μόνο εξηγούσε τα ουράνια φαινόμενα, αλλά και αποκάλυπτε μία απλούστερη και συνεπώς αρμονικότερη καθολική τάξη των πραγμάτων. Οι παρατηρούμενες ημερήσιες και ετήσιες κινήσεις των ουρανίων σωμάτων ήταν απλά φαινόμενα που προέκυπταν από τις αληθινές κινήσεις της Γης (Grant, 2008).

Ο Johannes Kepler γεννήθηκε πρόωρα στις 27 Δεκεμβρίου 1571. Είχε ευγενική καταγωγή ενώ αργότερα η οικογένεια του αντιμετώπισε πολύ σοβαρά οικονομικά προβλήματα. Οι ιδιαίτερα υψηλοί βαθμοί του τού επιτρέπουν να σπουδάσει, ενώ ένας από τους δασκάλους του είναι ο Michael Maestlin, θερμός υποστηρικτής του Κοπέρνικου. Ο Kepler στρέφεται προς την αστρονομία και μυείται σε νεαρή ηλικία στο ηλιοκεντρικό σύστημα, γεγονός που σημαδεύει την υπόλοιπη σταδιοδρομία του. Το 1611 δημοσιεύει το έργο του *Dioptrice* (Διοπτρικά) ενώ την ίδια χρονιά με τα Διοπτρικά, στη συγγραφή του οποίου οδηγείται και μετά το τηλεσκόπιο που του στέλνει ο Γαλιλαίος, κατασκευάζει και το πρώτο τηλεσκόπιό του. Τον Οκτώβριο του 1604, καθώς παρατηρεί μία σπάνια σύνοδο των πλανητών Άρη, Δία και Κρόνου, αντιλαμβάνεται την εμφάνιση ενός υπερκαινοφανούς αστέρα, ο οποίος παραμένει ορατός επί 17 μήνες. Το φαινόμενο αυτό τον κάνει να αναθεωρήσει την πανάρχαια αντίληψη ότι οι απλανείς αστέρες δεν υπόκεινται σε μεταβολές με την πάροδο του χρόνου. Το σημαντικότερο έργο όμως του Kepler κατά την περίοδο αυτή δημοσιεύεται το 1609 με τον τίτλο *Astronomia Nova* (Νέα Αστρονομία), όπου περιέχονται οι δύο πρώτοι νόμοι του σχετικά με την κίνηση των πλανητών (Γαβρόγλου, 2003).

Καθώς ανέτελλε ο 17<sup>ος</sup> αιώνας είχαν περάσει ήδη 50 χρόνια από τότε που ο Κοπέρνικος είχε ξεκινήσει την επανάστασή του στην αστρονομία. Δεν είχε όμως ακόμη διαφανεί αν το έργο του θα προκαλούσε όντως επανάσταση και το 1600 εκείνοι που θα γίνονταν οι πρωτεργάτες της επιβολής της βρίσκονταν μόλις στο ξεκίνημα του επιστημονικού τους έργου. Τόσο ο Johannes Kepler όσο και ο Γαλιλαίος (Galileo Galilei 1564-1642) αναγνώριζαν τον Κοπέρνικο ως δάσκαλό τους και αφιέρωσαν και οι δύο την σταδιοδρομία τους στην εδραίωση της επανάστασης που εκείνος είχε ξεκινήσει στον τομέα της θεωρίας της αστρονομίας. Το τηλεσκόπιο ο Γαλιλαίος το είχε στρέψει στον ουρανό ήδη από το 1609. Αρκετά από αυτά που είχε παρατηρήσει μαρτυρούσαν υπέρ του ηλιοκεντρικού συστήματος. Οι κρατήρες στην Σελήνη και οι κηλίδες στον Ήλιο φαίνονταν να διαψεύδουν την τελειότητα και το αμετάβλητο του ουρανού. Οι δορυφόροι του Δία αποτελούσαν άλλη μία περίπτωση. Μία από τις σημαντικότερες όμως παρατηρήσεις που μαρτυρούσαν υπέρ του ηλιοκεντρικού συστήματος ήταν οι φάσεις της Αφροδίτης. Στο γεωκεντρικό σύστημα η Αφροδίτη βρίσκεται πάντα λίγο-πολύ ανάμεσα στον Ήλιο και την Γη και πρέπει να φαίνεται πάντα δρεπανοειδής. Στο ηλιοκεντρικό σύστημα κινείται πίσω από τον Ήλιο και μπορεί να φαίνεται σχεδόν ολόκληρη, ενώ παρουσιάζει φάσεις όπως η Σελήνη. Αυτό το τελευταίο γεγονός το αποκάλυψε ο Γαλιλαίος στέφοντας το τηλεσκόπιό του και παρατηρώντας τις φάσεις της Αφροδίτης ( σχήμα 15) (Westfall, 1995).

**Σχήμα 15: Οι φάσεις της Αφροδίτης στο σύστημα του Πτολεμαίου και στο σύστημα του Κοπέρνικου. Στο σύστημα του Πτολεμαίου η Αφροδίτη φαίνεται λίγο-πολύ πάντοτε δρεπανοειδής. Στο σύστημα του Κοπέρνικου μπορεί να φαίνεται σχεδόν ολόκληρη καθώς διέρχεται πίσω από τον Ήλιο και το μέγεθός της παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Πηγή (Westfall, 1995)**



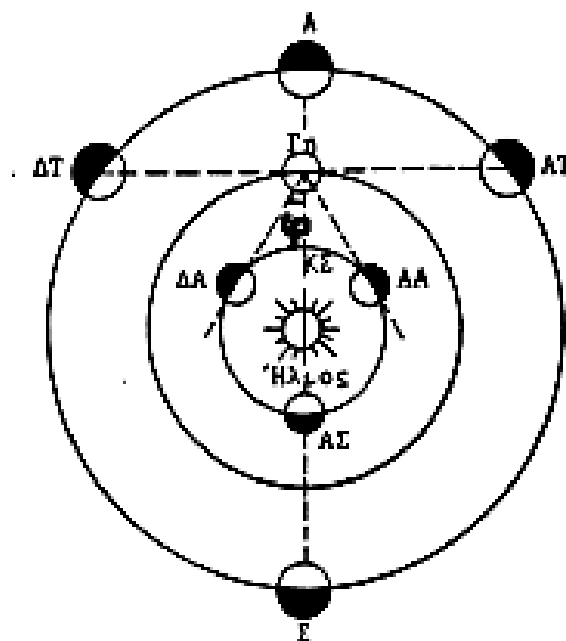


## 4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ

### 4.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Οι πλανήτες ανάλογα με την απόστασή τους από τον Ήλιο διακρίνονται σε **εσωτερικούς** και **εξωτερικούς**. Εσωτερικοί πλανήτες είναι αυτοί που η απόστασή τους από τον Ήλιο είναι μικρότερη από της Γης (Ερμής και Αφροδίτη), ενώ εξωτερικοί είναι αυτοί που η απόστασή τους από τον Ήλιο είναι μεγαλύτερη από αυτή που έχει η Γη (Άρης, Δίας, Κρόνος, Ουρανός και Ποσειδώνας). Για να καθοριστεί η θέση ενός πλανήτη σε σχέση με τον Ήλιο χρησιμοποιείται η έννοια της **αποχής** που είναι η γωνία που σχηματίζει ο πλανήτης με την διεύθυνση Ήλιου-Γης και μπορεί να είναι δυτική ή ανατολική ανάλογα με το αν είναι δυτικά ή ανατολικά του Ήλιου για ένα παρατηρητή στη Γη. Αυτή η γωνία,  $\phi$  όπως είναι φυσικό μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της περιφοράς του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο. Για ένα εξωτερικό πλανήτη λέμε ότι βρίσκεται σε συζυγία ή σύνοδο όταν  $\phi=0^\circ$ , σε αντίθεση όταν  $\phi=180^\circ$  και σε τετραγωνισμό όταν  $\phi=90^\circ$ . Στην περίπτωση που ο πλανήτης είναι εσωτερικός τότε είναι σε ανώτερη σύνοδο όταν  $\phi=0^\circ$ , και βρίσκεται απέναντι από τον Ήλιο, σε κατώτερη σύνοδο όταν  $\phi=180^\circ$  και βρίσκεται μεταξύ Ήλιου και Γης και τέλος σε μέγιστη ανατολική ή δυτική αποχή όταν  $\phi = \phi_{max}$  και βρίσκεται ανατολικά ή δυτικά του Ήλιου όπως φαίνεται στο σχήμα 16 (Μπάνος, 1993).

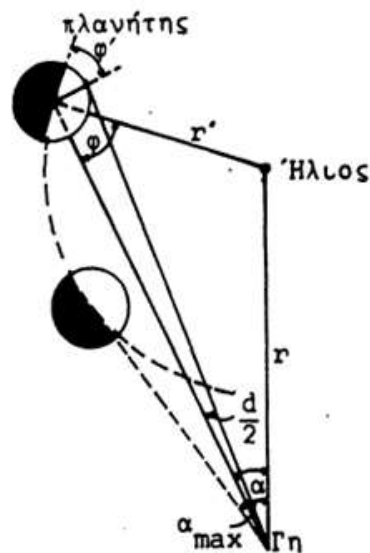
Σχήμα 16: Α=Αντίθεση, Σ=Συζυγία, ΑΤ=Ανατολικός τετραγωνισμός, ΔΤ=Δυτικός τετραγωνισμός, ΑΣ=Ανώτερη σύνοδος, ΚΣ=Κατώτερη σύνοδος, ΑΑ=Ανατολική αποχή, ΔΑ=Δυτική αποχή. Πηγή (Μπάνος, 1993)



Κατά την περιφορά ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο μεταβάλλεται συνεχώς το φωτιζόμενο από τον Ήλιο τμήμα του με αποτέλεσμα ο πλανήτης να παρουσιάζει διάφορες φάσεις. Το ποσοστό του φωτισμού της επιφάνειάς του για έναν παρατηρητή στη Γη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, με κυριότερο την θέση του, ενώ οι φάσεις των εσωτερικών πλανητών διαφέρουν πολύ από αυτές των εξωτερικών. Οι εξωτερικοί πλανήτες δεν μπορούν να παρατηρηθούν σε φάση μηνίσκου, ενώ οι εσωτερικοί μπορούν. Παρατηρούνται πάντα σε φάση μεταξύ πρώτου τετάρτου και πλήρους φάσης ενώ νέα φάση (σκοτεινό ημισφαίριο) δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί. Όπως γνωρίζουμε από τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Kepler, όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας πλανήτης από τον Ήλιο, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητά του, με συνέπεια όταν η Γη και ένας πλανήτης κινούνται προς την ίδια πλευρά του Ήλιου και προσπερνά ο ένας τον άλλο, ο πλανήτης να φαίνεται να κινείται ξανά στην ίδια διαδρομή από ανατολικά προς τα δυτικά για λίγο (ανάδρομη κίνηση) για ένα παρατηρητή που βλέπει προς το βόρειο πόλο και μετά συνεχίζει κανονικά την αρχική του κίνηση από δυτικά προς τα ανατολικά (ορθή κίνηση). Για ένα παρατηρητή στη Γη αυτή η φαινόμενη κίνηση αντιστρέφεται δύο φορές και όταν οι τροχιές Γης και πλανήτη είναι συνεπίπεδες, η τροχιά του πλανήτη σχηματίζει βρόχο (θηλιά). Η ερμηνεία της φαινόμενης αυτής κίνησης ήταν ένα πρόβλημα του γεωκεντρικού μοντέλου του Πτολεμαίου και λύθηκε τελικά από το ηλιοκεντρικό σύστημα (Χριστοπούλου & Γούδης, 2011).

Αν συμβολίσουμε με  $r$  την απόσταση Ήλιου-Γης, και με  $r'$  την απόσταση Ήλιου-πλανήτη και με  $\varphi$  την γωνιώδη απόσταση Ήλιου- Γης, όπως μετρίεται από τον πλανήτη, με  $a$  την αποχή του πλανήτη και με  $d$  την διάμετρό του, τότε θα έχουμε, (σχήμα 17) ( $\Phi$ =φωτιζόμενο μέρος του πλανήτη)  $\Phi = \frac{d}{2} + \frac{d}{2} \cos \varphi = d \cos^2(\frac{\varphi}{2})$  με  $\sin \varphi = r/r' \sin a$  και το μη φωτιζόμενο θα είναι  $\Sigma = d - \Phi = d \sin^2(\frac{\varphi}{2})$  (Μπάνος, 1993).

**Σχήμα 17: Φωτισμός πλανήτη. Πηγή (Μπάνος, 1993)**



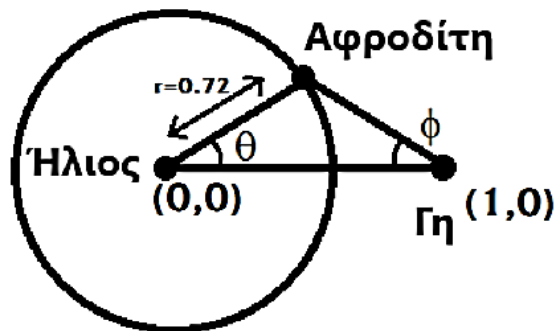
## 4.2 Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ

Η Αφροδίτη αλλάζει τη φωτεινότητα πολύ γρήγορα καθώς πλησιάζει σε κατώτερη σύνοδο (διέρχεται μεταξύ Γης και Ήλιου). Είναι αόρατη στη σύνοδο, αλλά στο πιο φωτεινό σημείο της μόλις 36 μέρες αργότερα. Στην συνέχεια εξασθενεί σταδιακά κατά την διάρκεια σχεδόν ενός έτους. Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι που επηρεάζουν το πόσο φωτεινή εμφανίζεται στον βραδινό ουρανό ή πρωινό ουρανό. Ο ένας είναι η απόστασή της από την Γη. Όπως κάθε άλλη πηγή φωτός, η ένταση της ακτινοβολίας πέφτει με το τετράγωνο της

απόστασης, ενώ ο άλλος λόγος είναι η φάση στην οποία βρίσκεται. Όπως η Σελήνη η Αφροδίτη έχει φάσεις και είναι « πλήρης » όταν βρίσκεται στο αντίθετο του Ήλιου από την Γη και « νέα » όταν περνά ανάμεσα στην Γη και τον Ήλιο. Αυτοί οι δύο παράγοντες ανταγωνίζονται ο ένας τον άλλο. Η Αφροδίτη είναι γεμάτη όταν βρίσκεται πιο μακριά και νέα όταν είναι πιο κοντά. Ποιος παράγοντας θα κερδίσει;

Ξεκινάμε με την υπόθεση ότι η Αφροδίτη βρίσκεται πάντα στην ίδια απόσταση από τον Ήλιο. Η Αφροδίτη βρίσκεται κατά μέσο όρο σε απόσταση 0,72AU ή 108 εκατομμύρια Km. 1 AU ( μία **αστρονομική μονάδα** )είναι ίση με 49.597.870.700m ,σχεδόν 150 εκατομμύρια Km. Παλαιότερα, η Αστρονομική μονάδα οριζόταν ως η μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο. Σύμφωνα με τον ορισμό της διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης, η αστρονομική μονάδα ισούται με 149.597.870.700 μέτρα ακριβώς. Η αλλαγή στον ορισμό οφείλεται στο γεγονός ότι ο παλιός ορισμός βασιζόταν στην Νευτώνεια Φυσική και δεν καλυπτόταν από τη Γενική Σχετικότητα. Στο μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε θα βάλουμε τον Ήλιο στην αρχή (0,0), την Γη στο (1,0) και την Αφροδίτη θα την μετακινήσουμε γύρω από ένα κύκλο με ακτίνα 0,72 (Σχ. 18) Η γωνία  $\theta$  είναι αυτή που μου δείχνει πόσο μακριά είναι η Αφροδίτη γύρω από την κυκλική τροχιά της και η γωνία  $\phi$  που μου δείχνει πόσο μακριά φαίνεται η Αφροδίτη από τον Ήλιο, όπως την βλέπουμε από την Γη (Bower, 2024).

Σχήμα 18: Η περιφορά της Αφροδίτης.  
Πηγή (Bower, 2024)



Το βασικό μοντέλο είναι ότι:

$$\text{Μέγεθος} = \frac{\text{Λαμπρότητα}}{(\text{Απόσταση})^2} \quad (1)$$

Η απόσταση όπως φαίνεται από το σχήμα και με χρήση του πυθαγορείου θεωρήματος είναι,

$$d^2 = (1 - 0,72 \cos \theta)^2 + (0,72 \sin \theta)^2 \quad (2)$$

Στο σχήμα 4 όταν  $\theta=180^\circ$ , η Αφροδίτη είναι πλήρως φωτισμένη, όταν  $\theta=0^\circ$  είναι εντελώς σκοτεινή. Η διαφορά  $\pi-\theta$  και  $\phi$ , περιγράφει πόσο μεγάλο μέρος της επιφάνειάς της θα φαίνεται ότι φωτίζεται από την Γη. Η σχέση μεταξύ των γωνιών  $\phi$  και  $\theta$  είναι:

$$\tan \phi = \frac{0,72 \sin \theta}{1 - 0,72 \cos \theta} \quad (3)$$

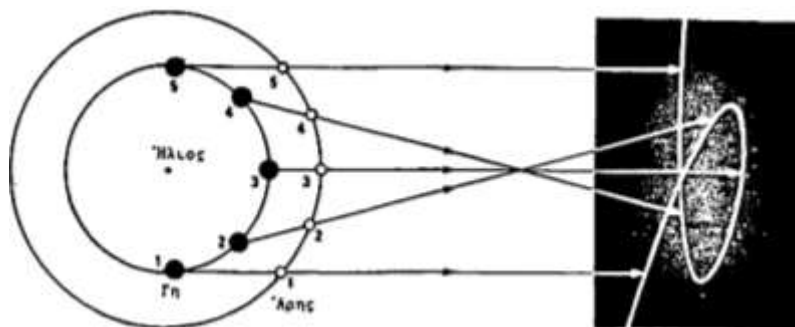
Από τις σχέσεις (1),(2) και (3) με βάση τα προηγούμενα θα είναι:

$$\text{Μέγεθος} = \frac{\frac{1}{2} \left( \cos \left| \pi - \theta - \tan^{-1} \frac{0,72 \sin \theta}{1 - 0,72 \cos \theta} \right| + 1 \right)}{(1 - 0,72 \cos \theta)^2 + (0,72 \sin \theta)^2} \quad (4)$$

### 4.3 Η ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΙΝΗΣΗ – ΣΥΝΟΔΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΡΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Όπως γνωρίζουμε από τον 2 νόμο του Kepler, όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας πλανήτης από τον Ήλιο, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται κι άρα όταν η Γη κι ένας πλανήτης κινούνται προς την ίδια πλευρά του Ήλιου και προσπερνά ο ένας τον άλλο, ο πλανήτης φαίνεται να κινείται ξανά στην ίδια διαδρομή από ανατολικά

προς τα δυτικά για λίγο (ανάδρομη κίνηση) και μετά συνεχίζει την αρχική του πορεία από δυτικά προς τα ανατολικά (ορθή κίνηση). Για έναν παρατηρητή στην κινούμενη Γη αυτή η φαινόμενη κίνηση του πλανήτη αναστρέφεται δύο φορές. Όταν οι τροχιές της Γης και του πλανήτη είναι συνεπίπεδες, η κίνηση του πλανήτη σχηματίζει ένα βρόχο (Σχήμα 19). Η ερμηνεία της φαινόμενης αυτής κίνησης ήταν το πρόβλημα του Πτολεμαϊκού γεωκεντρικού συστήματος και δόθηκε τελικά από το ηλιοκεντρικό σύστημα (Χριστοπούλου & Γούδης, 2011).



**Σχήμα 19: Εξήγηση της ανάδρομης κίνησης του Άρη. Πηγή (Μπάνος, 1993)**

Για την μελέτη της κίνησης ενός πλανήτη απαιτείται ο προσδιορισμός της Αστρικής περιόδου του  $P$ , της περιόδου δηλαδή περιφοράς του γύρω από τον Ήλιο, που είναι ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών διαβάσεων του από το ίδιο σημείο του ουρανού. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται εύκολα με παρατηρήσεις η Συνοδική περίοδος του  $S$ , ο χρόνος δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών συνόδων του. Εάν η αστρική περίοδος της Γης είναι  $E$  και η Γη κινείται με ρυθμό ημέρα στην τροχιά της ενώ ο ρυθμός περιφοράς ενός εξωτερικού πλανήτη όπως φαίνεται από τον Ήλιο είναι  $360/P$ . Όπως φαίνεται από το σχήμα 20 όταν η Γη συμπληρώσει μία τροχιά κινούμενη από τη θέση 1 στη θέση 2, έχει  $S - E$  ημέρες για να έρθει σε ξανά σε αντίθεση με έναν εξωτερικό πλανήτη (θέση 3). Σε αυτό το διάστημα ο πλανήτης έχει κινηθεί από τη θέση 1 στη θέση 3 κι άρα η Γη πρέπει να διαγράψει γωνία  $\varphi_{\Gamma} = \frac{S-E}{E} 360^\circ$  στον ίδιο χρόνο που πλανήτης διαγράφει γωνία  $\varphi_{\Pi} = \frac{S}{P} 360^\circ$ . Οι δύο αυτές γωνίες πρέπει να είναι ίσες μεταξύ τους οπότε,

$$\frac{S-E}{E} 360^\circ = \frac{S}{P} 360^\circ \Rightarrow \frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P} \quad (5)$$

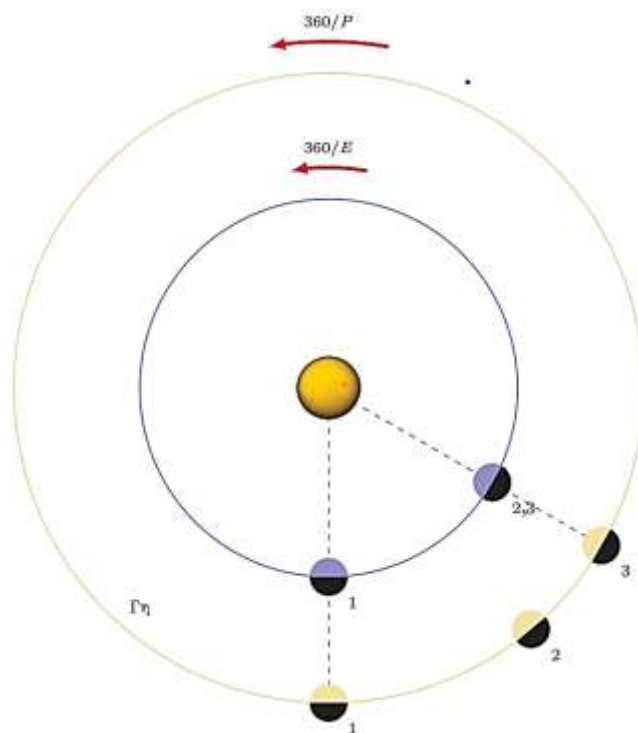
Επειδή για έναν εσωτερικό πλανήτη η Γη είναι εξωτερικός, η παραπάνω σχέση απλά θα εναλλάσσει τα  $E$  και  $P$ . Τελικά θα έχουμε ότι,

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} \pm \frac{1}{S} \quad (6)$$

όπου στην σχέση (6) το αρνητικό πρόσημο λαμβάνεται για τους εξωτερικούς πλανήτες (Μπάνος, 1993; Χριστοπούλου & Γούδης, 2011).



**Σχήμα 20: Υπολογισμός του έτους των πλανητών στο ηλιακό σύστημα. Πηγή (Χριστοπούλου & Γούδης, 2011)**



#### 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΗΣ ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ

Αρχικά μελετήσαμε με βάση το θεωρητικό μοντέλο μας της παραγράφου 4.2 την μεταβολή της φωτεινότητας της Αφροδίτης χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο του Excel, όπως φαίνεται παρακάτω. Η γωνία  $\theta$  μεταβάλλεται κάθε φορά κατά  $0,01 \text{ rad}$  ενώ όπως φαίνεται υπολογίζεται η γωνία  $\phi$  σε  $\text{rad}$  από την σχέση 3. Υπολογίζοντας τον αριθμητή της σχέσης 4 βρίσκουμε την λαμπρότητα της Αφροδίτης και από την σχέση 4 υπολογίζεται το φαινόμενο μέγεθος. Επίσης υπολογίζεται όπως φαίνεται η μέγιστη τιμή της γωνίας  $\phi$  και το μέγιστο φαινόμενο μέγεθος του πλανήτη, ενώ παρέχονται και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Για την υλοποίηση των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε η τιμή της συνοδικής περιόδου όπως παρέχεται από το λογισμικό Stellarium (Zotti & Wolf, 2023) η οποία είναι 583,92 ημέρες.

Με χρήση του λογισμικού Stellarium το οποίο είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που δείχνει έναν ρεαλιστικό τρισδιάστατο ουρανό σε πραγματικό χρόνο ενώ ταυτόχρονα έχει την δυνατότητα μεταφοράς στον χρόνο, επιλογής τοποθεσίας, παγώματος του χρόνου, και παρατήρησης με πολλούς διαφορετικούς τύπους τηλεσκοπίων μετρήσαμε την λαμπρότητα της Αφροδίτης κατά την διάρκεια της περιφοράς της. Είδαμε καθαρά την ύπαρξη των φάσεων της και την σημαντική μεταβολή της λαμπρότητάς της (Zotti & Wolf, 2023). Οι υπολογισμοί για το θεωρητικό μας μοντέλο καθώς και οι μετρήσεις μας φαίνονται στο παρακάτω φύλλο excel [Φάσεις Αφροδίτης - Μέτρηση περιόδου.xlsx](#).

Όπως παρατηρούμε, από το θεωρητικό μας μοντέλο, το μέγιστο του  $\phi$ , δηλ. η μέγιστη ανατολική ή δυτική αποχή δεν απέχει ποτέ περισσότερο από  $0,803797646 \text{ rad}$ , ή  $46^{\circ}4'39''$  μακριά από τον Ήλιο και ότι αυτό συμβαίνει 71,55 μέρες μετά την αποχή. Επίσης το μέγιστο φαινόμενο μέγεθος είναι κατ' απόλυτη τιμή 1,408974112. Από τις μετρήσεις μας προκύπτει ότι η συνοδική περίοδος της Αφροδίτης είναι  $S=589$  ημέρες περίπου, οπότε από την σχέση (6) προκύπτει, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αστρική περίοδος  $P$  της Γης είναι 365 μέρες πως η αστρική περίοδος της Αφροδίτης είναι 225,351 ημέρες. Αν λάβουμε υπόψη την αληθή τιμή της αστρικής περιόδου της όπως δίνεται από το λογισμικό Stellarium που είναι  $P'=224,7$  μέρες τότε προκύπτει ένα σφάλμα στις μετρήσεις μας περίπου 0,29%. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι μετρήσεις μας είναι αρκετά ικανοποιητικές, ενώ η

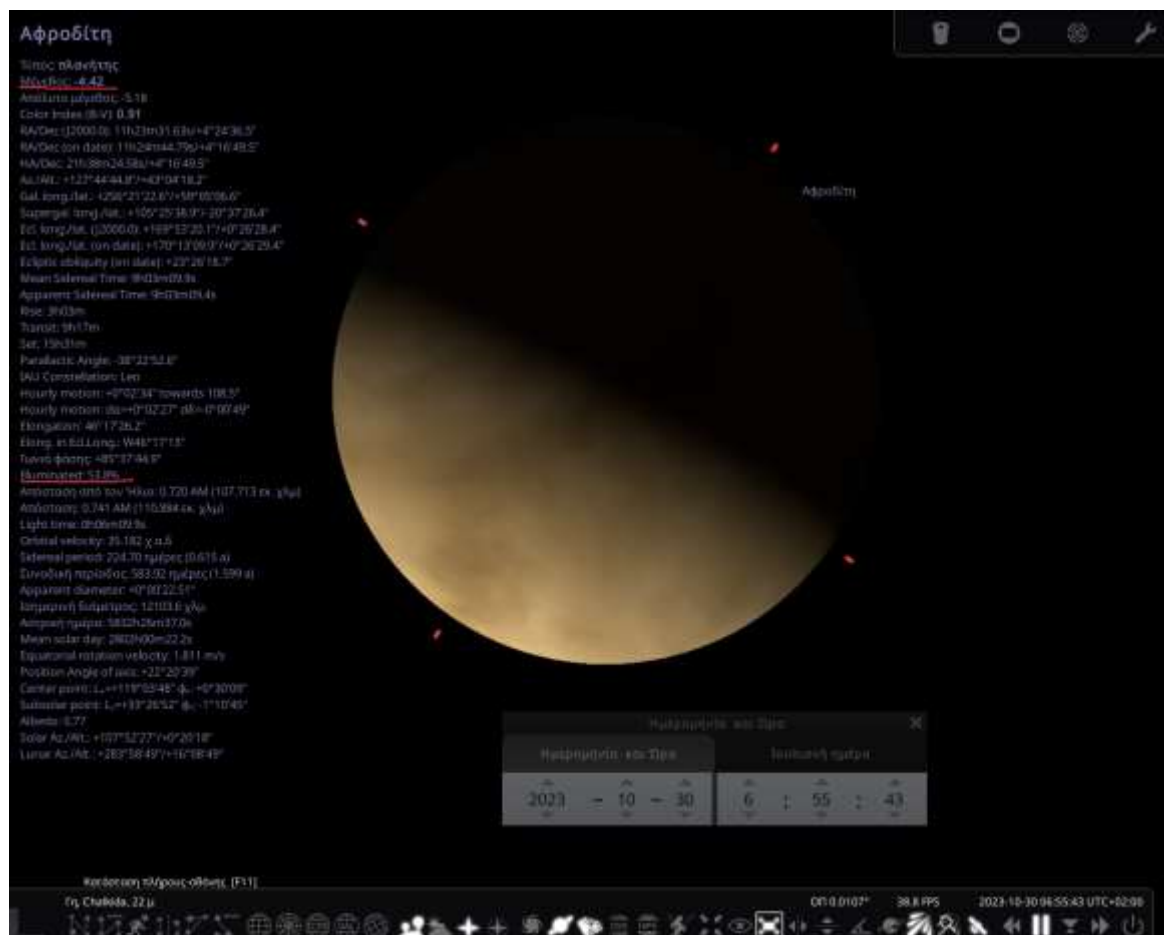
## ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»

σύμπτωση του θεωρητικού μας μοντέλου με τις μετρήσεις μας είναι επίσης αρκετά ικανοποιητική.

Παρακάτω βλέπουμε κάποια χαρακτηριστικά στιγμιότυπα παρατήρησης της Αφροδίτης, ενώ ως τοποθεσία έχουμε επιλέξει την πόλη της Χαλκίδας.



Εικόνα 2: Φάση της Αφροδίτης 31-08-2024. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)



Εικόνα 3: Φάση της Αφροδίτης 30-10-2023. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

# ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»



Εικόνα 4: Φάση της Αφροδίτης 29-12-2023. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

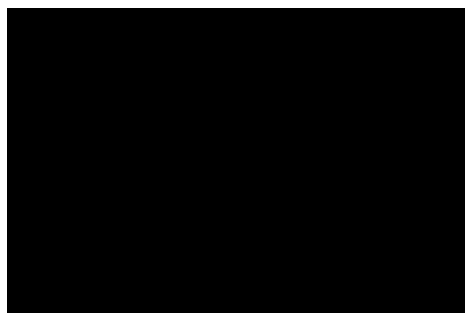


Εικόνα 5: Η φάση της Αφροδίτης 18-03-2024. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)



Εικόνα 6: Η φάση της Αφροδίτης 06-06-2024. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

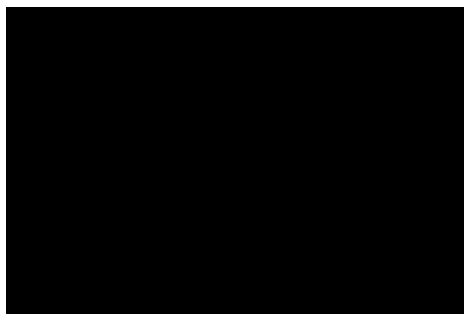
## 4.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ



Βίντεο προσομοίωσης φάσεων της Αφροδίτης στο σύστημα του Πτολεμαίου.  
<https://youtu.be/fnmjpekXNQ?si=Pqzx7ruZ88zlgQta>

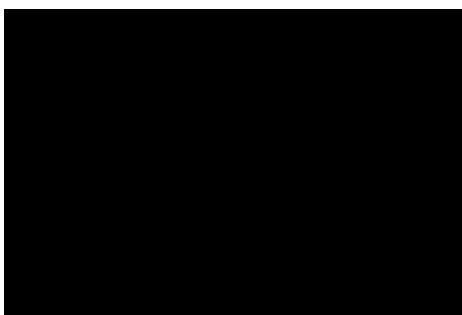


ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, «Γεωκεντρικό – Ηλιοκεντρικό: Τα δύο συστήματα του κόσμου»



**Βίντεο προσομοίωσης φάσεων της Αφροδίτης στο Γεωκεντρικό σύστημα**  
[https://youtu.be/TaxuuuGo4Y?si=1kp2QVnX\\_MeCzHJ3](https://youtu.be/TaxuuuGo4Y?si=1kp2QVnX_MeCzHJ3)

Προσομοίωση του Γεωκεντρικού μοντέλου του Πτολεμαίου  
<https://www.foothill.fhda.edu/astronomy/astrosims/ptolemaic-system/index.html>



Βίντεο προσομοίωσης της ανάδρομης κίνησης του Άρη  
<https://youtu.be/1nVSzzYCAYk?si=0j8slH8epL3zM25c>



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bower, G. (2024, Φεβρουάριος 28). *Excelsior Statistics and Optimization*. Ανάκτηση από <https://excelsiorstatistics.com/about/bio/>
- Chalmers, A. (2014). *What is this thing Science?* (2η Έκδοση εκδ.). (Γ. Φουρτούνης, Μεταφρ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Crombie, A. (1992). *Από τον Αυγουστίνο στον Γαλιλαίο* (9602500697 εκδ., Τόμ. Β΄ ). (Ι. Μαριλένα, Μεταφρ.) Αθήνα: Μορφωτικό ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.
- Duhem, p. (2007). *Σώζειν τα φαινόμενα*. (Δ. Διαλέτης, Μεταφρ.) Αθ: Νεφέλη.
- Grant, E. (2008). *Οι Φυσικές Επιστήμες Τον Μεσαίωνα* (4η Έκδοση εκδ.). (Ζ. Σαρίκας, Μεταφρ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Lindberg, D. C. (1997). *Οι Απαρχές Της Δυτικής Επιστήμης* (1η Έκδοση εκδ.). (Η. Μαρκολέφας, Μεταφρ.) Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Losee, J. (2010). *A Historical Introduction to the Philosophy of Science* (4η Έκδοση εκδ.). New York: Oxford University Press.
- UNL Astronomy. (2024, Μάρτιος 3). Ανάκτηση από [www.youtube.com/@AUastronomy](http://www.youtube.com/@AUastronomy): <https://www.youtube.com/watch?v=1nVSzzYCAyk>
- Westfall, R. S. (1995). *Η Συγκρότηση Της Σύγχρονης Επιστήμης* (2η Έκδοση εκδ.). (Κ. Ζήση, Μεταφρ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Zotti, G., & Wolf, A. (2023, Σεπτέμβριος 25). <https://stellarium.org/>. Ανάκτηση Φεβρουάριος 28, 2024, από Stellarium: <https://stellarium.org/>
- Γαβρόγλου, Κ. (2003). *Ιστορία Της Φυσικής Και Της Χημείας* (Τόμ. Α΄). Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Μπάνος, Γ. (1993). *Γενική Αστρονομία* (3η Έκδοση εκδ.). (Γ. Τσόλης, Επιμ.) Ιωάννινα: Γραφικές Τέχνες.
- Σκορδούλης, Κ. Δ. (2003). Η Συμβολή Της Ιστορίας Και Της Φιλοσοφίας Της Φυσικής Στη Των Φυσικών Επιστημών. *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου* (σ. 559). Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης.
- Χριστοπούλου, Π.-Ε., & Γούδης, Χ. (2011). *Εισαγωγή Στην Αστρονομία Και Αστροφυσική*. Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.