

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στην
ΙΣΤΟΡΙΑ και ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ των ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ και της ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ (ΙΦΕΤ) με
την συνεργασία του ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ, ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ (Μ.Ι.Θ.Ε.) του ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ και του ΤΟΜΕΑ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ και
ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ και ΔΙΚΑΙΟΥ της Σχολής ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ και ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ του ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΜΙΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΤΟΥ ΚΕΠΛΕΡ ΜΕ
ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΤΟΥ
BRUCE STEPHENSON “*Kepler's Physical Astronomy*” (1987)**

Ειρήνη Σπύρου

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**Ειρήνη Σπύρου(Α.Μ:023/13)****ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:****Μιχάλης Ασημακόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ****ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:****Θεόδωρος Αραμπατζής καθηγητής ΕΚΠΑ****Μανώλης Πατηνιώτης αναπληρωτής καθηγητής ΕΚΠΑ**

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α	ΣΕΛ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5-9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Η συνοχή της γης - Η Βαρύτητα.....	10-13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Προκαταρκτικά	14-22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Η Αρχαία κληρονομιά.....	23-38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
Η θεωρία της γης ή ηλιακή θεωρία.....	39-53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Η φαινόμενη ταλάντωση του πλανήτη.....	54-63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Η μελέτη της τροχιάς του Άρη.....	64-86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Η φυσική σύνθεση.....	87-93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
Αντιδράσεις στο έργο του Κέπλερ.....	94-96
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	
Η Ανάπτυξη της σύγχρονης επιστήμης.....	97-102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία είναι μια απόπειρα παρουσίασης της Νέας Αστρονομίας του Κέπλερ, ενός έργου εξαιρετικά περίπλοκου, η οποία βασίζεται στα εργαλεία¹ του Bruce Stephenson, για τα οποία δεν θα γίνεται καμιά ειδική αναφορά στο εξής. Ο Stephenson με την εκ του σύνεγγυς και με σαφήνεια ανάλυση των κειμένων των μεγάλων αστρονομικών έργων του Κέπλερ, ιδίως του *Astronomia nova* του 1609, φωτίζει κρίσιμες πτυχές της πνευματικής ανάπτυξης του Κέπλερ, ιδιαίτερα του τρόπους ταξινόμησης του και την εξαγωγή των συμπερασμάτων του. Το *Kepler's Physical Astronomy* είναι ένας απολογισμός της αναδιατύπωσης της αστρονομίας του Κέπλερ ως φυσικής επιστήμης, και της επιτυχούς χρήσης του όρου Φυσική ως οδηγού στις αστρονομικές του ανακαλύψεις. Δίνεται επιπλέον για πρώτη φορά μια εξήγηση της προσπάθειας του Κέπλερ να χρησιμοποιήσει τις ανακαλύψεις του Tycho Brahe προκειμένου να ενοποιήσει και να επιβεβαιώσει το σύνολο των δικών φυσικών θεωριών.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει και να εξηγήσει την ανάπτυξη της πλανητικής θεωρίας του Κέπλερ, καθώς και τις φυσικές υποθέσεις που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της θεωρίας αυτής. Επιπλέον στόχος είναι να ταιριάσουμε τη συζήτηση σχετικά με τη φυσική της *Astronomia nova*, με τα επιχειρήματα σε επίπεδο ρητορικής του σχεδιασμού του βιβλίου από τον ίδιο τον Κέπλερ. Μια επιπλέον βοήθεια και καθοδήγηση σε αυτή την προσπάθεια είναι το βιβλίο² του William Donahue το οποίο αποτελεί μια αγγλική μετάφραση της *Νέας Αστρονομίας* πιστή στο ύφος με το αρχικό και επιπλέον μια αξιόπιστη και ευανάγνωστη απόδοση ενός δύσκολου κείμενου. Η εισαγωγή και το γλωσσάριο καθώς και οι υποσημειώσεις του βιβλίου αυτού είναι ένα επιπλέον βοήθημα που εξηγεί τα σκοτεινά σημεία του κειμένου, δίνοντας επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις μεθόδους και την σημειογραφία του Κέπλερ.

¹ Stephenson. B., *Kepler's Physical Astronomy*, 1987 by Springer-Verlag New York Inc.

² Donahue. W., *Johannes Kepler New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αστρονομία είναι η πρώτη φυσική επιστήμη, η οποία μέσα σε περίπου δύο χιλιάδες χρόνια, αναπτύχθηκε και έλαβε τη μορφή μιας ακριβούς μαθηματικής θεωρίας. Η Αρχαία αστρονομία, δηλαδή η ελληνική αστρονομία και η κληρονομιά της στην αραβική και Λατινική Δύση, χρησιμοποίησε γεωμετρικά μοντέλα και αριθμητικές παραμέτρους, που προέρχονταν από την επίπονη μελέτη της τριγωνομετρίας, προκειμένου να κάνει προβλέψεις για τις κινήσεις του ήλιου, της σελήνης και των πλανητών. Αυτή η επιστήμη κορυφώθηκε με το έργο του Κέπλερ (1571-1630), του αυτοκρατορικού μαθηματικού στην Πράγα, ο οποίος ανακάλυψε τρεις σημαντικούς νόμους, που είναι γνωστοί ως νόμοι Κέπλερ και αφορούν στην κίνηση των πλανητών. Ο Κέπλερ έλυσε ουσιαστικά τα προβλήματα της αρχαίας αστρονομίας διότι δεν ήταν μόνο τα μοντέλα του πολύ πιο ακριβή από ό, τι των προκατόχων του, αλλά ήταν θεωρητικά τόσο καινοτόμα, ώστε μπορούσαν να σταθούν από μόνα τους. Ο Νεύτωνας μισό αιώνα μετά το θάνατο του Κέπλερ, άντλησε αστρονομικά αποτελέσματα από την πιο γενική Δυναμική του, παρασύροντας την παλαιότερη επιστήμη σε νέους δρόμους. Γι' αυτό ο Κέπλερ θεωρείται ο τελευταίος μεγάλος επαγγελματίας της επιστήμης της αρχαίας αστρονομίας.

Ο Κέπλερ εκτός από το γεγονός ότι υπηρέτησε και έδωσε αποφασιστικές λύσεις στα προβλήματα της παλιάς αστρονομίας έπαιξε σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της σύγχρονης επιστήμης της αστρονομίας με δύο τρόπους. Πρώτον, διετύπωσε τους λεγόμενους «τρεις νόμους», με τους οποίους έθεσε στέρεα εμπειρικά θεμέλια στο μείζον βιβλίο της σύγχρονης αστρονομίας, που είναι τα *Principia*, τα οποία εισήγαγε στη Φυσική ο Νεύτωνας (1687). Δεύτερον ήταν ο πρώτος αστρονόμος που μελέτησε την αστρονομία **με όρους της φυσικής**. Από τους τρεις σπουδαίους νόμους του Κέπλερ, άντλησε ο Νεύτωνας αποδεικτικά στοιχεία για τις δικές του μαθηματικές και φυσικές αρχές. Ο Νεύτωνας χρησιμοποιώντας τους τρεις νόμους ως αποδεικτικά στοιχεία για τις δικές του θεωρίες έσωσε από την λήθη την εκτοπισμένη επιστήμη της αρχαίας αστρονομίας καθιστώντας την μέρος της Φυσικής επιστήμης.

Η μαθηματική εφευρετικότητα του Κέπλερ ήταν τέτοια που μπορούσε να εφεύρει εναλλακτικές θεωρίες, αρκετά επαρκείς προκειμένου να «σώσει» ακόμη και τις εξαιρετικές παρατηρήσεις του Τύχο Μπράχε και να οδηγηθεί στους νόμους του. Οι

δύο πρώτοι νόμοι του Κέπλερ περιέχονται στην *Astronomia nova* : **Ο πρώτος νόμος ο νόμος των ελλειπτικών τροχιών** : Οι πλανήτες περιφέρονται περί τον ήλιο σε ελλειπτικές τροχιές, των οποίων ο ήλιος καταλαμβάνει τη μία από τις δύο εστίες. Ο δεύτερος **νόμος των ίσων εμβαδών**: Η επιβατική ακτίνα (η γραμμή που ενώνει ένα πλανήτη με το κέντρο του Ήλιου) σε ίσους χρόνους σαρώνει ίσα εμβαδά . **Ο τρίτος νόμος** περιέχεται στο έργο *Harmonice Mundi* (Η αρμονία του κόσμου) που δημοσιεύθηκε το 1619 και είναι ο νόμος **των περιόδων**: Το τετράγωνο του χρόνου που απαιτείται για να συμπληρώσει ένας πλανήτης μία πλήρη περιφορά γύρω από τον Ήλιο (η περίοδος του πλανήτη) είναι ανάλογο του κύβου του μεγάλου ημιάξονα της ελλειπτικής του τροχιάς, και η σταθερά της αναλογίας είναι η ίδια για όλους τους πλανήτες.

Ο Κέπλερ ήταν ο πρώτος αστρονόμος που αντιμετώπισε την κίνηση των πλανητών ως ένα φυσικό πρόβλημα, δηλαδή η φυσική ήταν προαπαιτούμενο και βασικό στοιχείο της θεωρίας του . Μολονότι από το πεδίο των αναζητήσεων αυτής της φυσικής έλειπε η σύγχρονη έννοια της αδράνειας (με την οποία εκείνη την εποχή ασχολείτο ο Γαλιλαίος αλλά η ανάπτυξη της καθυστέρουσε), οι φυσικές θεωρίες που διετύπωσε ο Κέπλερ αν και δεν ήταν ορθές, αποδείχθηκαν αξιόπιστος οδηγός για τις αστρονομικές του έρευνες. Οι παρατηρήσεις αυτές, ωστόσο δεν του παρείχαν αρκετή καθοδήγηση για να φτάσει την τελική λύση στο πρόβλημα της πλανητικής κίνησης. Ο Κέπλερ καθοδηγούμενος από τις φυσικές του θεωρήσεις, οι οποίες άλλαξαν ριζικά με το έργο του Νεύτωνα, αποδείχθηκε αρκετά ικανός ώστε να επινοήσει άλλες θεωρίες παρατηρησιακά επαρκείς. Αν δεν είχε αφιερωθεί ακούραστα στη φυσική, δεν θα είχε ανακαλύψει τους νόμους της κίνησης των πλανητών, πολύ δε περισσότερο δεν θα είχε θέσει τα ερωτήματα- που για πρώτη φορά μέχρι τότε τέθηκαν- στα οποία απάντησε μέσω των πλανητικών νόμων του.

Το 1609 ο Κέπλερ δημοσίευσε την *Astronomia nova*, μια καταγραφή εντατικής δουλειάς μιας δεκαετίας. Ο τίτλος³ προδιαθέτει ότι πρόκειται για μια αστρονομία που αιτιολογεί, που είναι μια φυσική του ουρανού, στηριζόμενη στην μελέτη των κινήσεων του πλανήτη Άρη. Ωστόσο, στη μελέτη αυτή το υλικό που κατατίθεται δεν περιέχει κανένα ίχνος της βεβαιότητας με την οποία είχαν εξηγηθεί από τον

³ *Astronomia nova AITIOΛΟΓΗΤΟΣ, sev physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis, ex observationibus G. V. Tychoonis Brahe.*

Πτολεμαίο τα μοντέλα των προκατόχων του, ούτε την τακτοποιημένη και συνολική διευθέτηση του *Μεγίστης* του Πτολεμαίου. Πρόκειται για μια αφήγηση, ένα ταξίδι σε άγνωστο έδαφος. Ο σύγχρονος αναγνώστης ενώ ήδη γνωρίζει και έχει μια εξοικείωση με τους τελικούς νόμους του Κέπλερ, διέρχεται μέσα από παρεκβάσεις, επαναλήψεις και την λεπτή ανάλυση των μοντέλων που έχουν ήδη έχει αποδειχθεί ότι είναι λάθος, για να καταλήξει στους νόμους της πλανητικής κίνησης. Αυτό κυρίως οφείλεται στο γεγονός ότι ο Κέπλερ δεν απευθυνόταν στον αναγνώστη της εποχής του αλλά στους σύγχρονους του επαγγελματίες αστρονόμους, όπως άλλωστε έκανε και ο Γαλιλαίος, οι οποίοι γνώριζαν πολλά σχετικά με τη θεωρία της κίνησης των πλανητών. Ό, τι γνώμη και αν είχαν για το έργο του Κοπέρνικου, το οποίο ήταν εκτός του πεδίου της επαγγελματικής τους επάρκειας και είχε βαθιά ανησυχητικές επιπτώσεις στη φυσική και τη θεολογία, δεν ήταν καθόλου προετοιμασμένοι και διατεθειμένοι να αποδεχθούν το βιβλίο του Κέπλερ.

Η *Astronomia nova* ήταν ένα βιβλίο που όχι μόνο αντικαθιστούσε τα παλιά μοντέλα της θεωρίας των πλανητών, αλλά επιπλέον και τις τεχνικές υπολογισμού τους. Στον ανασχεδιασμό της διατύπωσης μιας τόσο πολύπλοκης και καλά θεμελιωμένης επιστήμης, ο Κέπλερ ήξερε ότι έπρεπε να πείσει τους επαγγελματίες της, ότι η αστρονομία του δεν ήταν απλώς ένας υπολογισμός των θέσεων των πλανητών, αλλά μια περιγραφή για το πώς είναι στην πραγματικότητα το σύστημα του κόσμου. Είναι το βιβλίο που έχει θεωρηθεί από πολλούς ως μια απλή καταγραφή του έργου του Κέπλερ, κυρίως γιατί εξομολογείται και εξιστορεί συγχρόνως τις αποτυχίες και τις λανθασμένες διαδρομές μαζί με τις επιτυχίες. Ο Stephenson αντίθετα θεωρεί ότι ο Κέπλερ έγραψε και ξαναέγραψε το βιβλίο προσεκτικά, προκειμένου να πείσει ένα πολύ εκλεκτό κοινό εξασκημένων αστρονόμων ότι όλες οι πλανητικές θεωρίες που γνώριζαν μέχρι τότε ήταν λάθος και ότι η σωστή θεωρία ήταν η δική του. Πάντως το τολμηρό έργο που περιέχει η νέα Αστρονομία του Κέπλερ στοιχειοθετείται και υποστηρίζεται με όρους φυσικής.

Στα πρώτα τριάντα ένα κεφάλαια, σχεδόν στο μισό βιβλίο, οι φυσικοί συλλογισμοί του Κέπλερ, που περιγράφονται συνίστανται σε τυχαίες και μάλλον ασαφείς εικασίες. Μολονότι φαίνεται να έχουν μικρή αξία, ίσως να είναι ακριβώς το σημείο, στο οποίο αρχίζει να εμφανίζεται μια νέα μόδα, με την οποία ορισμένα πρώιμα μοντέλα, που φάνταζαν εντελώς απίθανα, θέτουν ερωτήσεις φυσικής, που

ζητούν απάντηση. Κατά τον Stephenson ο στόχος του Κέπλερ ήταν με τα ερωτήματα αυτά, να εμφυτεύσει υποψίες περισσότερο, παρά να προτείνει μια νέα θεωρία.

Ο Stephenson επιπλέον θεωρεί ότι το πλαίσιο στο οποίο κινήθηκε ο Κέπλερ, δεν ήταν οι σύγχρονοι του αστρονόμοι αλλά ο μικρός αλλά καλλιεργημένος κόσμος της αστρονομίας, που ακολουθούσαν τους αρχαία Αστρονομία, που συνίστατο στις θεωρίες των Πτολεμαίου, Peurbach, Regiomontanus, Κοπέρνικου και Maestlin. Με την διατύπωση των νόμων του ο Κέπλερ έρχεται σε πλήρη ρήξη με τη μεταφυσική πίστη, αρνούμενος να επιβάλει στη φύση αρμονίες που βασίζονται μόνο σε δοξασίες και δεν επαληθεύονται από παρατηρήσεις. Είναι σίγουρος ότι η αρμονία αυτή υπάρχει και πρέπει να έχει φυσική ερμηνεία. Είναι αυτός που προσπαθεί να δώσει φυσικές απαντήσεις στα προβλήματα της Κοπερνίκειας αστρονομίας όπως: **1)** Ποια δύναμη διατηρεί σε κίνηση την γη και τους άλλους πλανήτες; Γιατί δεν περιπλανώνται τυχαία στο σύμπαν; ποιοι νόμοι εξηγούν αυτή την κίνηση; **2)** Γιατί η γη περιστρέφεται ενώ ταυτόχρονα περιφέρεται; **3)** Γιατί τα σώματα πέφτουν στη γη αφού η γη ούτε είναι το κέντρο του σύμπαντος, ούτε έχει σταθερή θέση; **4)** Τι μας κρατάει πάνω στη γη και δεν εκσφενδονιζόμαστε; **5)** Γιατί η γη δεν κομματιάζεται από το στριφογύρισμα; Ο Κέπλερ είναι ο πρώτος που μίλησε για αμοιβαία έλξη ; η γη δεν έλκει μόνο τα σώματα αλλά και έλκεται από αυτά. Όμως γιατί δεν συγκρούονται μεταξύ τους; Αυτό που τα εμποδίζει είναι η τροχιά τους.

Όσον αφορά την φυσική που είχε στη διάθεση του ο Κέπλερ, αυτή ήταν πολύ πιο ακατέργαστη, λιγότερο σαφής και πάντως λιγότερο σχετική με τη σύγχρονη φυσική από ότι η αστρονομία. Το λεξιλόγιο της φυσικής, που χρησιμοποίησε ο Κέπλερ ήταν τελείως προσωπικό αλλά το πιο ενδιαφέρον είναι ο τρόπος με το οποίο το έθεσε στην υπηρεσία της αστρονομίας. Εδώ ο Κέπλερ, από ότι φαίνεται από τις επιστολές του που αντάλλαξε με σύγχρονους του, ακολούθησε τον τελείως δικό του μοναχικό δρόμο, που ήταν γι' αυτούς ακατανόητος.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει και να εξηγήσει την ανάπτυξη της πλανητικής θεωρίας του Κέπλερ, καθώς και τις φυσικές υποθέσεις που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της θεωρίας αυτής. Επιπλέον στόχος είναι να ταιριάσουμε τη συζήτηση σχετικά με τη φυσική της *Astronomia nova*, με τα επιχειρήματα σε επίπεδο ρητορικής του σχεδιασμού του βιβλίου από τον ίδιο τον Κέπλερ.

Στην εργασία παρουσιάζονται τα μέρη της *Astronomia nova* , που αφορούν στα παρακάτω θέματα:

- Στην θεωρία για την βαρύτητα και την συνοχή της γης
- Στα προκαταρκτικά της *Astronomia nova*
- Στην αρχαία κληρονομιά –Μίμηση των αρχαίων
- Στην θεωρία της γης ή ηλιακή θεωρία
- Στην φαινόμενη ταλάντωση πλανήτη
- Στην μελέτη της τροχιάς του Άρη
- Φυσική σύνθεση
- Στις αντιδράσεις στο έργο του Κέπλερ

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η συνοχή της γης - Η βαρύτητα

Ο Καίσιλερ⁴ περιγράφει τον Κέπλερ, ως τον διαχωριστικό σταθμό ανάμεσα στη μεσαιωνική και τη σύγχρονη επιστήμη. Η φυσική του μεσαίωνα, όπως προέρχεται κυρίως από τον Αριστοτέλη, ήταν ως επί το πλείστον μια αναζήτηση για τις αιτίες. Η νέα φυσική που δημιουργήθηκε το δέκατο έβδομο αιώνα, κυρίως από τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα, είχε ως αντικείμενο την εύρεση ενιαίων αρχών, από τις οποίες θα μπορούσαν να συναχθούν τα παρατηρούμενα φαινόμενα με μαθηματικό τρόπο. Ο Κέπλερ αφιέρωσε μεγάλο χρονικό διάστημα και για τα δύο είδη της φυσικής και χρησιμοποίησε τη λέξη "φυσική" με διαφορετικό τρόπο στο κάθε είδος. Επιδεικνύοντας οξυδέρκεια και διορατικότητα στην αστρονομία, υπέθεσε αξιώματα με τα οποία για πρώτη φορά εισάγονται φυσικές αρχές πίσω από τις κινήσεις των ουρανίων σωμάτων και επιπλέον από τις αρχές αυτές εξήγαγε συμπεράσματα για την αστρονομία. Μολονότι οι φυσικές αρχές ήταν λάθος σχεδόν σε όλα τα επιμέρους τους, η αστρονομία της εποχής του ήταν μακράν καλύτερη από ποτέ. Το ενδιαφέρον δε συγκεντρώνεται τόσο στο πως ο Κέπλερ οδηγείτο από το ένα πόρισμα στο άλλο, ούτε στους μάλλον βαρετούς και πλάγιους τρόπους που εφάρμοσε τα μαθηματικά που διέθετε. Εκείνο το οποίο συνιστά την μείζονα εργασία του και αποδεικνύει την ευφυΐα του είναι ο τρόπος με τον οποίο συσχέτισε τα φαινόμενα με τη φυσική.

Στην εισαγωγή του *Astronomia nova*⁵ ο Κέπλερ δίνει την δική του εξήγηση στο γιατί η Γη και τα διάφορα σώματα πάνω σ' αυτή συγκρατούνται. Σύμφωνα με την Αριστοτελική φυσική τα σώματα κινούνται μόνα τους προς το κέντρο του σύμπαντος, που βρίσκεται στο εσωτερικό της γης. Έναντι της απλής αυτής εξήγησης της κίνησης των σωμάτων, ο Κέπλερ σχεδίασε μια θεωρία βαρύτητας (*doctrina de gravitate*), η οποία είναι σταθερή ενώ η γη κινείται και βρίσκεται οπουδήποτε αλλού και όχι στο κέντρο. Η θεωρία του στηριζόταν σε δύο απλές υποθέσεις: **Πρώτον** τα σώματα δεν κινούνται μόνα τους χωρίς εξωτερικό αίτιο, αλλά τείνουν να παραμείνουν στη θέση όπου βρίσκονται, για όσο διάστημα βρίσκονται εκτός της σφαίρας επίδρασης κάποιου

⁴ Α. Καίσιλερ., *Οι Υποβάτες* (1959), Για την Ελληνική Γλώσσα Εκδόσεις Χατζηνικολή, (1975), σελ. 248

⁵ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, σελ. 55-58

συναφούς σώματος. **Δεύτερον** όρισε την βαρύτητα ως μια προδιάθεση για ένωση που είχαν τα συναφή σώματα (*cognata corpora*), τα οποία έλκονταν μεταξύ τους με μια ελκτική δύναμη ανάλογη της μάζας τους.

Πολλοί μελετητές, μεταξύ των οποίων ο Delambre⁶ αναγνώρισαν στην θεωρία του Κέπλερ μια στοιχειοθετημένη θεωρία της βαρύτητας, με την οποία εισάγεται μια αμοιβαία ελκτική δύναμη ή ισχύς μεταξύ των σωμάτων, που είναι ανάλογη της μάζας τους (*virtus tractoria*). Επιπλέον ο Κέπλερ οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι η ελκτική δύναμη της σελήνης ευθύνεται για τις παλίρροιες. Η θεωρία του για την ελαφρότητα, ως απλά έλλειψης βαρύτητας, μολονότι δεν συμφωνεί με τις σύγχρονες απόψεις, προσφέρει μια σωστή ερμηνεία για το φαινόμενο της ανύψωσης των ελαφρών σωμάτων. Στο λεξιλόγιο της αρχαίας φυσικής η λέξη ελαφρότητα (*levitas*), σήμαινε το κοινό χαρακτηριστικό των ελαφρών σωμάτων, που ήταν η τάση τους για ανύψωση. Επιπλέον ο Κέπλερ για να είναι σίγουρος ότι η θεωρία του δεν θα προσβληθεί, υπέθεσε ρητά ότι η ελκτική δύναμη έχει πεπερασμένη εμβέλεια και η δράση της περιορίζεται στα συναφή σώματα, χωρίς να εξηγεί ακριβώς τι εννοεί με τον όρο «συναφή σώματα» (*cognata corpora*). Προφανώς υπονοούσε, χωρίς όμως να το έχει επεξεργαστεί, ότι η ελκτική δύναμη εξασθενεί όταν η απόσταση των σωμάτων αυξάνεται.

Η θεωρία του για την βαρύτητα (*doctrina de gravitate*), είναι μάλλον ένα επεισόδιο στην μάχη για την επικράτηση του ηλιοκεντρισμού, παρά ένα βήμα προς το νόμο της παγκόσμιας έλξης. Στο ένα τρίτο σχεδόν της εισαγωγής της *Astronomia nova*, ο Κέπλερ παρουσιάζει το βιβλίο, ενώ στα υπόλοιπα δύο τρίτα συνηγορεί και υπερασπίζεται το Κοπερνίκειο σύστημα του κόσμου, με επιχειρήματα που διατυπώνει με απλότητα, κομψότητα, και φυσική αληθοφάνεια. Τα επιχειρήματα αυτά καταρχάς στηρίζονται σε απλές γνώσεις αστρονομίας αλλά επιπλέον και σε προσωπικές μελέτες του ιδίου. Τα επιχειρήματα κατά του Κοπέρνικου ήταν σχετικά απλά αλλά δυο από αυτά, ήταν αναμφισβήτητα ισχυρά ιδίως, αν φανταζόμαστε τους εαυτούς μας στο γύρισμα του δέκατου έβδομου αιώνα. Το πρώτο αναφέρεται στο πρόβλημα πώς η γη κρατιέται μόνη της σε κίνηση και πραγματοποιεί τη κίνηση με βαριά σώματα πάνω της και το δεύτερο επιχείρημα με το οποίο δηλώνει σαφώς ότι ο ήλιος κινείται γύρω από τη Γη, πράγμα που αντίκειται και στην Αγία Γραφή.

⁶ J. B. Delambre . *Histoire de l' Astronomie Moderne* (Paris 1891), vol. I, σελ. 394, όπως αναφέρεται στο βιβλίο του Α. Καίσιλερ, *Οι Υπνοβάτες*, σελ. 249

Ο Κέπλερ στην εισαγωγή αφιερώνει περισσότερη προσοχή στο να ανασκευάσει τις βιβλικές αντιρρήσεις, παρά αναφέρεται στη γήινη συνοχή. Αυτές είναι οι σελίδες που περιέχουν το δόγμα της βαρύτητας (*doctrina de gravitate*) και το δόγμα της ελαφρότητας (*doctrina de levitate*). Η συνοχή της γης και των προσαρτημένων σωμάτων πάνω της, ήταν μεγάλο ζήτημα, αν κάποιος δεν υιοθετήσει την ιδέα ότι τα βαριά σώματα πέφτουν προς το κέντρο του κόσμου που αποτελεί το φυσικό τους τόπο. Ουσιαστικά καμία εξήγηση μέχρι την ανακάλυψη της θεωρίας της σχετικότητας, δεν υπήρξε ικανοποιητική. Ο Νεύτωνας εφάρμοσε το ασυνήθιστο μαθηματικό ταλέντο του για να απαντήσει σε αυτά το πρόβλημα και να αποδείξει ότι ένα μεγάλος αριθμός φαινομένων μπορούν να ερμηνευτούν από μερικές αρχές, μια από τις οποίες είναι ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, δηλαδή ο ισχυρισμός ότι τα σώματα έλκονται μεταξύ τους.

Η συμβολή του Κέπλερ είναι ότι υποστηρίζοντας τη θεωρία του ηλιοκεντρισμού, ισχυρίστηκε ότι η έλξη των σωμάτων είναι αμοιβαία και ανάλογη της μάζας τους. Δεν προχώρησε περαιτέρω, θεωρώντας ότι η έλξη έχει πεπερασμένη εμβέλεια και περιορίζεται στα συναφή σώματα, ίσως γιατί θεώρησε την ελκτική δύναμη όμοια με εκείνη του μαγνητισμού, που κατά τον William Gilbert ήταν περιορισμένη. Επιπλέον ο Κέπλερ δεν ασχολήθηκε καθόλου με τις συνέπειες που είχε η ελκτική δύναμη που όρισε στην προσπάθειά του να υπερασπιστεί το Κοπερνίκαιο σύστημα. Αν και δήλωσε καθαρά ότι η ελκτική δύναμη εκτείνεται και πέραν της σελήνης, δε χρησιμοποίησε τη δύναμη αυτή στη φυσική σεληνιακή του θεωρία. Η σεληνιακή θεωρία του διαμορφώθηκε μετά την πλανητική θεωρία του, για τον προφανή λόγο ότι τα βασικά συστατικά της σεληνιακή κίνησης αντιστοιχούν ακριβώς σε εκείνα της κίνησης των πλανητών.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η γνώση του Κέπλερ ότι η εξασθένηση του φωτός είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης, σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί μια προσέγγιση στη θεωρία της βαρύτητας. Η θέση του Κέπλερ ότι η ηλιακή δύναμη εξασθενεί αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης, παρά αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης, μας απασχολεί μόνο στη βάση ότι επιμένουμε να την θεωρούμε ως μια αποτυχημένη προσπάθεια να αποτελέσει τον προάγγελο της θεωρίας του Νεύτωνα.

Η δύναμη(*vis*) στη φυσική του Κέπλερ, δεν αναλογεί στη Νευτώνεια δύναμη, δεδομένου ότι η δύναμη του Κέπλερ προκαλεί ταχύτητα, ενώ η δύναμη του Νεύτωνα επιτάχυνση. Ο Κέπλερ ήταν απόλυτα σωστός από μαθηματική άποψη όταν θεωρούσε τις «δυνάμεις», που αναφέρονται στη κίνηση των πλανητών εξασθενούν όσο μεγαλώνει η απόσταση των πλανητών από τον ήλιο. Αλλά δεν μπορεί κάποιος με τις δυνάμεις του Κέπλερ να κτίσει φυσική, πράγμα που επιχείρησε ο ίδιος.

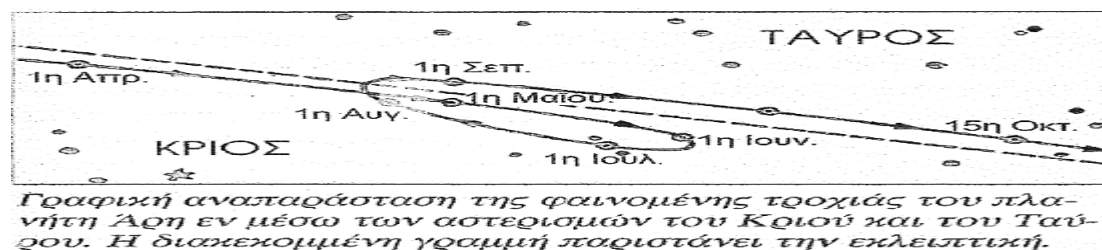
Αλλά κατά τον Stephenson αν αφήσουμε την αναχρονιστική θεώρηση ότι το έργο του Κέπλερ θα έπρεπε με κάποιο τρόπο να οδηγεί κομψά στη Νευτώνεια φυσική, θα ελευθερωθούμε και θα μάθουμε πολλά από το έργο του. Είναι χρήσιμο να μελετήσουμε τη φυσική του Κέπλερ αυτή καθαυτή που από μόνη της είναι ακριβής και συνεπής και όχι να μπούμε στη διαδικασία να συγκρίνουμε και αντιπαραβάλλουμε τα σωστά με τα λάθη που υπάρχουν στο έργο του. Από τις ατέλειες της που βρίσκονται στα θεμέλια, δηλαδή στο πως ο Κέπλερ συνέλαβε την έννοια της αδράνειας.

Από την άλλη μεριά, η επιστημονική δουλειά σε βάθος χρόνου χαρακτηρίζεται ευκρινώς από πρόοδο. Οι φιλόσοφοι περισσότερο από τους ιστορικούς της επιστήμης ενοχλούνται από την άποψη ότι από τις επιστημονικές θεωρίες γίνονται τελικά αποδεκτές, εκείνες που είναι καλύτερες από αυτές που αντικαθιστούν. Η γνήσια προοδευτική, επιστημονική δουλειά χαρακτηρίζεται από τα πιο ενδιαφέροντα και σημαντικά ερωτήματα της ιστορίας της επιστήμης. Αυτός είναι ο λόγος που οι φυσικές θεωρίες του Κέπλερ, χωρίς να έχουν αξία σε βάθος χρόνου ,παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και αποτελούν γόνιμα τμήματα της λαμπρής καριέρας του ως αστρονόμου. Οι θεωρίες αυτές αναπτύχθηκαν παράλληλα με την αστρονομία του διαμορφώνοντας την άποψη του για αυτή την επιστήμη και με τρόπους που θα εξετάσουμε, τον οδήγησαν στην κατάκτηση των προβλημάτων της αρχαίας αστρονομίας.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Προκαταρκτικά

Στα έξι πρώτα κεφάλαια του 1^{ου} μέρους του *Astronomia nova*, κύρια δουλειά του συγγραφέα είναι να αντικαταστήσει το μέσο ήλιο με τον αληθινό ήλιο στη πλανητική θεωρία. Η παρατηρούμενη κίνηση ενός πλανήτη χαρακτηρίζεται από δύο περιοδικές ανωμαλίες, που ονομάζονται «ανισότητες δεσμών» ή «ανωμαλίες»⁷. Για τον Άρη (Σχήμα 1), η «πρώτη ανωμαλία» προκύπτει από την κίνηση του ίδιου του πλανήτη. Ο Κοπέρνικος και ο Κέπλερ, απέδιδαν την «δεύτερη ανωμαλία» στη θέση του παρατηρητή στην κινούμενη γη. Ο Τύχο την είχε αποδώσει στην κίνηση του ήλιου γύρω από τη γη, παρασύροντας μαζί του ολόκληρη την τροχιά του Άρη ενώ ο Πτολεμαίος την είχε αποδώσει στην κίνηση του πλανήτη σε επίκυκλο. Ο Κέπλερ απέδειξε αυτή την ισοδυναμία, που τον απελευθέρωσε από την ανάγκη να λαμβάνει σταθερά υπόψη τα Πτολεμαϊκά και τα Τυχονικά μοντέλα στο υπόλοιπο του βιβλίου, αν και στην ανάλυση του 1^{ου} και 2^{ου} μέρους σχεδίασε τα μοντέλα του Πτολεμαίου και του Τύχο, για να αποδείξει την ανεξαρτησία των μαθηματικών αποτελεσμάτων του, από οποιαδήποτε ειδική υπόθεση περί του κόσμου.



Σχήμα 1

Η πρώτη ανισότητα θα μπορούσε επίσης να μελετηθεί με τα ισοδύναμα μοντέλα. Η πιο απλή υπόθεση ήταν ότι ο Άρης κινείται σε ένα κύκλο με κέντρο τον ήλιο. Εναλλακτικά, κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα ομόκεντρο κύκλο, με έναν επίκυκλο που να περιστρέφεται σε αντίθετη κατεύθυνση από τον ομόκεντρο. Η καλύτερη προσέγγιση ήταν εκείνη του Πτολεμαίου, ο οποίος χρησιμοποίησε τον εξισωτή. Ο πλανήτης κινείται ομαλά πάνω σε ένα επίκυκλο του οποίου το κέντρο

⁷ Στην παραδοσιακή γεωμετρική αστρονομία, ο όρος «ανωμαλία» δηλώνει την γωνιακή θέση ενός πλανήτη γύρω από κάποιο σημείο, το οποίο μετράται από μια γραμμή μέχρι το απόγειό ή αφήλιο. Οι ανωμαλίες διακρίνονται ανάλογα με τα σημεία γύρω από τα οποία αποτιμώνται: η μέση ανωμαλία (*mean anomaly*) γύρω από τον εξισωτή, η έκκεντρη ανωμαλία (*eccentric anomaly*) γύρω από το κέντρο του έκκεντρου, και η πραγματική ή ισοδύναμη ανωμαλία (*equated anomaly*) σχετικά με τη γη (για τον Πτολεμαίο) ή στο κέντρο της τροχιάς της γης

βρίσκεται πάνω στην περιφέρεια ενός περιστρεφόμενου κύκλου (φέρων κύκλος) που έχει κέντρο όχι το γεωμετρικό του κέντρο F, ούτε τη γη T αλλά ένα σημείο D *equant* (εξισωτής), που έχει την ιδιότητα $DF=FT$. Το μοντέλο αυτό είχε σκοπό να χαλαρώσει την απαίτηση της ομαλής κυκλικής κίνησης και έτσι να εξηγήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις παρατηρούμενες μεταβολές της ταχύτητας των πλανητών. Το ζητούμενο ήταν να ρυθμιστεί η ταχύτητα του πλανήτη, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή η γωνιακή του ταχύτητα γύρω από ένα σημείο, που είναι ο εξισωτής, δηλαδή το κέντρο ενός φανταστικού κύκλου.

Ο Κοπέρνικος, ακολουθώντας ίσως την σχολή που ακολουθούσαν οι αστρονόμοι του δεκάτου τετάρτου αιώνα δηλαδή εκείνη του σχολείου της Μαράγα⁸, είχε επιτύχει ουσιαστικά το ίδιο αποτέλεσμα με εκείνο του μοντέλου του εξισωτή, χρησιμοποιώντας ένα επιπλέον επίκυκλο. Στο 4^ο κεφάλαιο ο Κέπλερ προτίμησε να μελετήσει την κίνηση του Άρη με το μοντέλο του εξισωτή, χωρίς τη χρήση του μοντέλου του Κοπέρνικου με τον επίκυκλο. Απέδειξε ότι τα δύο μοντέλα ήταν τόσο στενά ισοδύναμα, ώστε οι αστρονόμοι που προτιμούσαν το μοντέλο του Κοπέρνικου θα μπορούσαν να δεχθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ιδίου με τη χρήση του εξισωτή.

Ανεξάρτητα από αυτές τις διατυπώσεις, ο Κέπλερ ήθελε να τονίσει στους αναγνώστες του βιβλίου του τις φυσικές συνέπειες της θεωρίας των πλανητών και να τους κάνει να σκεφτούν για το τι πραγματικά συμβαίνει στον ουρανό. Ο ίδιος δεν πίστευε στην ύπαρξη ουράνιων σφαιρών, θεωρία που είχε αλλάξει ριζικά τις τελευταίες δεκαετίες του δέκατου έκτου αιώνα. Επιπλέον πίστευε ότι ο ήλιος κατείχε σημαντικό ρόλο ως φυσικό σώμα, τον οποίο πρέπει να διαδραματίσει όχι μόνο στη γενική κοσμολογία, αλλά και στις λεπτομερείς γεωμετρικές κατασκευές της θεωρίας των πλανητών.

Η *Μεγίστη* του Πτολεμαίου είχε περιγράψει μόνο γεωμετρικά τα πλανητικά μοντέλα. Όσον αφορά τη φυσική των μοντέλων αυτών, αυτές θεωρούνταν ως άκαμπτες, διαφανείς σφαίρες, κατάλληλα ένθετες, έτσι ώστε να μπορούν να παράγουν τρισδιάστατα όλες τις περίτεχνες κινήσεις που απεικονίζονται στα γεωμετρικά διαγράμματα. Στο 2^ο κεφάλαιο, ο Κέπλερ παρουσίασε αυτά τα μοντέλα στερεού σφαιρικού τύπου, πρώτα στην απλή μορφή που περιγράφεται από τον

⁸ πόλη της κεντρικής Ασίας με σπουδαίο αστεροσκοπείο που ιδρύθηκε το 1259 από Ιλχανίδη Μογγόλο ηγεμόνα Χουλαγκού Χαν (εγγονό του Τσένγκις Χαν), με υπεύθυνο της κατασκευής του και των οργάνων του τον Μουαγιάντ αλ-Ντιν αλ-Ουρντί

Αριστοτέλη και στη συνέχεια, σύμφωνα με την πιο εξελιγμένη Πτολεμαϊκή μορφή, η οποία είχε ερμηνευθεί από τον Peurbach⁹ το 1472 στο έργο του *Theoricae novae planetarum*. Στο εξαιρετικά ακατέργαστο για αστρονομική χρήση μοντέλο του Αριστοτέλη είχαν χρησιμοποιηθεί μόνο ομόκεντρες σφαίρες με κέντρο τη γη, πράγμα που αναδείκνυε και τα αδύνατα σημεία αυτών των πρώιμων μοντέλων.

Στο μοντέλο των στέρεων σφαιρών, οι σφαίρες περιστρέφονται σε συγκεκριμένα γεωμετρικά μονοπάτια, εξαιτίας του άκαμπτου φωλιάσματος τους, αφού μετέφεραν και συγχρόνως μεταφέρονταν από άλλες σφαίρες. Ήταν λοιπόν εύκολο να συμπεράνει κάποιος ότι η κίνηση τους δεν ήταν υλική και να αποδοθεί σε μια κινητήρια ψυχή με κατανόηση και θέληση. Ο Κέπλερ θεώρησε ότι σε ένα τέτοιο μοντέλο η κίνηση των σφαιρών φαίνεται να σχετίζεται πρώτον με μια πραγματική δύναμη, η οποία παράγει την κίνηση και ορίζει την περιστροφική περίοδο σε αναλογία με τη σταθερή δύναμή που αντιστέκεται στην ύλη. Την δύναμη αυτή την απέδωσε σε κάποιου είδους ζωική ικανότητα και δεύτερον σκέφθηκε ότι κάπως έπρεπε η δύναμη να οδηγείτο προς τη σωστή κατεύθυνση, πράγμα το οποίο απέδωσε σε μια ιδιότητα αντίληψης και μνήμης.

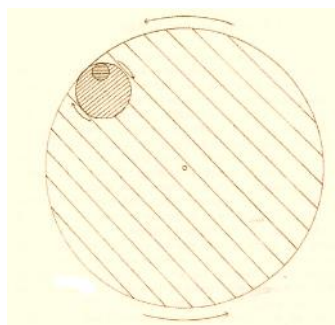
Όταν ο Κέπλερ απέδιδε σε ένα ουράνιο σώμα μια ψυχή, προσπαθούσε να ερμηνεύσει με την λογική μια σταθερή αλλά αφηρημένη κινητήρια δύναμη. Όταν αναφερόταν στο ενδεχόμενο της ύπαρξης πλανητικών μυαλών, το έκανε επειδή η κίνηση φαινόταν να κατευθύνεται κατά τρόπο που να απαιτείται κάποιος υπολογισμός ή κάποια μνήμη. Στο μοντέλο των στέρεων σφαιρών, από την κατασκευή τους οι σφαίρες περιοριζόνταν να ακολουθήσουν το σωστό μονοπάτι, αλλά έπρεπε να μετακινούνται από κάποια αιτία της οποίας η φύση παρέμεινε ένα μυστήριο.

Ο Peurbach και άλλοι αστρονόμοι είχαν επινοήσει κατάλληλες ρυθμίσεις, προκειμένου να ερμηνεύσουν τις υποθέσεις όπως εκείνες των επίκυκλων ή των έκκεντρων κυκλικών διαδρομών, που απαιτούσαν πιο πολύπλοκες ρυθμίσεις των σφαιρών. Ο Κέπλερ ως οπαδός του Κοπέρνικου συζητούσε αυτές τις περίτεχνες

⁹ Ο Peurbach και ο μαθητής του Regiomontanus εργάζονταν πάνω σε μία νέα μελέτη της *Μεγίστης* του Πτολεμαίου. Επίσης ο Peurbach πριν από αυτό, είχε ολοκληρώσει το *Theoricae Novae Planetarum*, μία νέα έκδοση του βασικού εγχειριδίου των πανεπιστημίων, διορθώνοντας κάποια λάθη που υπήρχαν στην αρχική έκδοση και ερμηνεύοντας κάποιους τεχνικούς όρους πιο ολοκληρωμένα. Ο Peurbach συμπλήρωσε την εξήγηση των πλανητικών κινήσεων με την χρήση περικλειστών κύκλων με αντίστοιχες τρισδιάστατες σφαίρες σε συνδυασμούς. Οι σφαίρες που εισήγαγε ο Peurbach γεφύρωσαν το χάσμα μεταξύ πλανητικών κινήσεων και της φυσικής γιατί έδειξαν πως ένας συνδυασμός σωμάτων, υπακούοντας σε αρχές και νόμους σχετικούς με την φυσική των ουρανών παρήγαγε κινήσεις σαν κι αυτές που περιέγραφε το σύστημα του Πτολεμαίου. Επιπλέον μελετήθηκε και επηρέασε τους αστρονόμους που ακολούθησαν συμπεριλαμβανομένων των Κοπέρνικου και Κέπλερ.

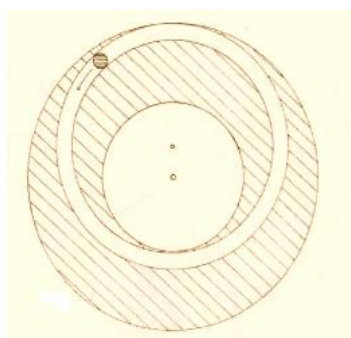
κατασκευές ως χρήσιμες για την επίλυση της πρώτης ανωμαλίας¹⁰, αν και οι Πτολεμαϊκοί αστρονόμοι χρησιμοποίησαν την επινόηση των επικύκλων για τη δεύτερη ανωμαλία.

Σε ένα απλό επικυκλικό μοντέλο (Σχήμα 2), κάποιος φαντάζεται τον επίκυκλο ως μια μικρή περιστρεφόμενη σφαίρα, που φέρει τον πλανήτη κάπου κοντά στην επιφάνειά του με το σύνολο του να περικλείεται μέσα του και να μεταφέρεται από ένα σφαιρικό κέλυφος, που περιστρεφόταν γύρω από το κέντρο του.



Σχήμα 2

Στο αντίστοιχο απλό έκκεντρο μοντέλο (Σχήμα 3), ο έκκεντρος ήταν ένα κέλυφος με πάχος τουλάχιστον ίσο με το πάχος του σώματος του πλανήτη, που τον μεταφέρει.



Σχήμα 3

Αυτό το κέλυφος ήταν έκκεντρο, γιατί κινείτο στην έξω από το κέντρο κοιλότητα ενός μεγαλύτερου κελύφους. Με τη σειρά του, το έκκεντρο κέλυφος περιείχε ένα

¹⁰ Όταν παρατηρεί κανείς τη θέση ενός πλανήτη επί πολλούς μήνες, θα διαπιστώσει την ύπαρξη ανωμαλιών στην εκ δυσμών προς ανατολώς κίνηση του. Οι ανωμαλίες αυτές είναι γνωστές ως *στάσεις*, *αναδρομήσεις* και *ορθοδρομήσεις*. Συγκεκριμένα ο πλανήτης από καιρού εις καιρόν φαίνεται να επιβραδύνει την κίνηση του και κατόπιν να ακινητοποιείται για μερικές ημέρες, στη συνέχεια να κινείται ανάδρομα, δηλαδή εξ ανατολών προς δυσμάς (*αναδρόμηση*), να επιβραδύνει και πάλιν την κίνηση του, να σταματά και στη συνέχεια να κινείται πάλιν στη κανονική πορεία δηλαδή εκ δυσμών προς ανατολώς (*ορθοδρομηση*).

άλλο μικρότερο κέλυφος, του οποίου η εσωτερική κοιλότητα είχε τοποθετηθεί πίσω, έτσι ώστε να επικεντρώνεται στο κέντρο του κόσμου. Αυτή η φωλιά από τρία κελύφη επέτρεπε στο μεσαίο κέλυφος, που μετέφερε τον πλανήτη, να περιστρέφεται γύρω από ένα κέντρο, ενώ η εξωτερική επιφάνεια και η εσωτερική κοιλότητα της φωλιάς ήταν ευθυγραμμισμένες με το κέντρο του κόσμου.

Τα απλά επικυκλικά και έκκεντρα μοντέλα και τα δύο μετακινούσαν τον πλανήτη σύμφωνα με το ίδιο ομολογουμένως υπεραπλουστευμένα γεωμετρικό μοντέλο του πρώτης ανωμαλίας, χωρίς να χρειάζεται κάποιο μυαλό ή ψυχή για να κατευθύνει πέρα από ό, τι ήταν στο Αριστοτέλειο μοντέλο, διότι οι ένθετες σφαίρες καθοδηγούσαν σωστά όλες τις κινήσεις κατά μήκος των διαδρομών τους. Όπως το έθεσε ο Κέπλερ, οι υποκινητές των σφαιρών "κατευθύνονται από υλική αναγκαιότητα, δηλαδή από τη διάθεση και την γειτνίαση των σφαιρών».

Το πλήρες μοντέλο του Πτολεμαίου, που αφορούσε στην πρώτη ανωμαλία ήθελε τον πλανήτη να διατηρεί σταθερή την γωνιακή ταχύτητα γύρω από το κέντρο (εξισωτή) ενός φανταστικού κύκλου, πράγμα που σημαίνει ότι το πραγματικό κέλυφος που μεταφέρει τον πλανήτη, δεν έχει σταθερή ταχύτητα, άλλοτε επιτάχυνε και άλλοτε επιβράδυνε έτσι ώστε η γωνιακή ταχύτητα γύρω από τον εξισωτή να παραμένει σταθερή. Αυτό το μοντέλο επειδή η μεταβολή της ταχύτητας επαφίεται στη φυσική κατασκευή του, έχανε πολύ από την κομψότητα του. Οι αστρονόμοι της Μαράγα¹¹ και ο Κοπέρνικος έσωσαν αργότερα την αποτυχία του μοντέλου των στερεών σφαιρών με ένα επικυκλικό μοντέλο που μιμείτο την κίνηση του μοντέλου του εξισωτή.

Τα μοντέλα των στερεών σφαιρών πάντως δεν είχαν σχέση με τη φυσική του ουρανού, αντίθετα οι Έλληνες αστρονόμοι ερμήνευαν τις κινήσεις των πλανητών γεωμετρικά ή ακόμα όσο ήταν δυνατόν μετασχημάτιζαν την γεωμετρία υποθετικών κινήσεων σε ισοδύναμη γεωμετρία των στέρεων σφαιρών, για των οποίων την ουσία έκαναν υποθέσεις και να αναπτύξουν θεωρίες που όμως δεν είχαν σχέση με το πεδίο της αστρονομίας.

Ο Κέπλερ δεν πίστευε ότι υπήρχαν στέρεες σφαίρες και αντιλήφθηκε ότι δεν μπορούσε να στηρίζεται στην διάταξη και στην γειτνίαση τους. Από τις παρατηρήσεις

¹¹ Μια από τις μαθηματικές μεθόδους και θεωρίες, οι οποίες ενέπνευσαν τον Κοπέρνικο, γνωστή ως «λήμμα του Ουρντ», είναι ένας τρόπος αναπαράστασης της επικυκλικής κίνησης των πλανητών χωρίς τη μέθοδο του Πτολεμαίου.

του Τύχο από τον κομήτη του 1577 πείσθηκε απόλυτα, ότι δεν υπάρχουν ψυχές ούτε νόες που προκαλούν την κίνηση των πλανητών αλλά κάτι άλλο που δεν έχει σχέση με την γεωμετρία αλλά με αρχές λογικές και μαθηματικά ισοδύναμες με τα πλανητικά μοντέλα της ορθής αστρονομίας. Όπως στα μοντέλα του Αριστοτέλη και του Peurbach, χρειαζόταν να υπάρχει μια κατάλληλη δύναμη, που να κινεί τον πλανήτη που «κινείται στο αγνό αιθέρα, όπως τα πουλιά στον αέρα»¹². Έτσι μολονότι δεν ασχολήθηκε ούτε έγραψε για την κίνηση συστηματικά, ούτε γνώριζε τη μοντέρνο νόμο του Γαλιλαίου για την αδράνεια. ωστόσο διετύπωσε το αξίωμα ότι τα σώματα ηρεμούν εκτός αν υπάρχει κάποια δύναμη που τα κινεί.

Το ζητούμενο για τον Κέπλερ ήταν να κατανοήσει την κατεύθυνση της κινητήριας δύναμης και όχι οι αιτίες της κίνησης. Στις θεωρίες τόσο του μοντέλου της πρώτης ανωμαλίας όπως παρουσιαζόταν είτε με ένα επίκυκλο είτε με έναν έκκεντρο κύκλο, ο πλανήτης ακολουθούσε μια κυκλική διαδρομή που ούτε το κέντρο, ούτε η περίμετρος ξεχώριζαν από το περιβάλλον ημιδιαφανές υλικό. Στο μοντέλο του έκκεντρου κύκλου η κινούσα δύναμη έπρεπε να μετρηθεί σε σχέση με την απόσταση της από τον ήλιο, ίσως εξετάζοντας το μέγεθος του ηλιακού δίσκου και την απόσταση αυτή να ορίσει κάποιος την κατεύθυνση που θα έπρεπε να ταξιδεύσει ο πλανήτης για να παραμένει στον έκκεντρο κύκλο. Όλα αυτά απαιτούσαν την γνώση την εκκεντρότητας του πλανήτη και επιπλέον συγκεκριμένες γνώσεις μαθηματικών, δηλαδή μάλλον μια περίπλοκη διαδικασία.

Από την άλλη μεριά το επικυκλικό μοντέλο ήταν ακόμα χειρότερο, αφού έπρεπε από την μια μεριά να υποθέσει μια αποσπασμένη από το σώμα δύναμη που ταξιδεύει γύρω του σε κύκλο και από την άλλη μια δεύτερη δύναμη στο σώμα του πλανήτη, ικανή να παρακολουθεί την πρώτη και να μεταφέρει τον πλανήτη γύρω από αυτή σε κύκλο. Σε κάθε περίπτωση σε κάθε θεωρία που η κίνηση του πλανήτη οδηγείτο από τον ίδιο τον πλανήτη, έκρυβε πολλές δυσκολίες.

Ο Κέπλερ στο κεφάλαιο 15 *Μυστήριο* είχε προβλέψει αυτό που του έδωσε την ευκαιρία να δρέψει τους καρπούς της σπουδαίας απόδειξης για τη θεωρία του, δηλαδή ότι η δύναμη που κινεί τους πλανήτες βρίσκεται στον ήλιο. Στο Κοπερνίκαιο και στο Τυχονικό σύστημα, ο ήλιος ήταν στο κέντρο, δεν έπαιζε όμως κανένα άλλο λειτουργικό ρόλο εκτός από να λάμπει ανάμεσα στα άλλα πλανητικά σώματα.

¹² M.Caspar, volume III of *Johannes Kepler Gesammelte Werke* (Munich, 1937).3:69:4, στο εξής: G.W, όπως αναφέρεται στο βιβλίο του Bruce Stephenson *Kepler's Physical Astronomy*, σελ.27.

Αντίθετα αυτά τα πλανητικά μοντέλα ήταν κατασκευασμένα γύρω από τον μέσο ήλιο, ο οποίος κατά την Κοπερνίκεια θεωρία συνέπιπτε με το κέντρο της έκκεντρης κυκλικής διαδρομής της γης.

Ο Πτολεμαίος είχε επινοήσει τον εξισωτή το σημείο το οποίο ήταν το κέντρο, γύρω από το οποίο η γωνιακή κίνηση ήταν ομοιόμορφη και διέφερε από το κέντρο της κυκλικής διαδρομής, έτσι ώστε η πραγματική κίνηση γύρω από τον κύκλο ήταν ταχύτερη στο περίγειο και βραδύτερη στο απόγειο. Για τον Κέπλερ το μοντέλο του εξισωτή ήταν *«τίποτα άλλο παρά μια γεωμετρική συντόμευση για να υπολογίσεις τις εξισώσεις για μια απολύτως φυσική υπόθεση»*¹³ και ο λόγος που το χρησιμοποιούσε οφειλόταν στο γεγονός ότι αποτελούσε ένα βολικό και προφανή τρόπο αναπαράστασης του παρατηρούμενου φαινομένου, ότι δηλαδή ο πλανήτης κινείται γρήγορα όταν βρίσκεται κοντά στον ήλιο και αργά όταν απομακρυνόταν από αυτόν.

Από την άλλη μεριά το Κοπερνίκειο μοντέλο κρύβοντας την μεταβολή αυτή πίσω από ένα συνδυασμό ομοιόμορφων κινήσεων, χρειαζόταν ένα απέραντο πλήθος επινοητικών μηχανισμών, προκειμένου να ερμηνεύσει την κίνηση του πλανήτη. Το Πτολεμαϊκό μοντέλο ήταν που ενθάρρυνε τον Κέπλερ να προσπαθήσει να εντοπίσει στον ήλιο την δύναμη που κινεί και οδηγεί τον πλανήτη. Η μεταβολή στην ταχύτητα του πλανήτη, που μέχρι τότε έπρεπε να κρύβεται και να αγνοείται ως ελάττωμα, αποτελώντας ταμπού για την αρχαία αστρονομία, ήταν η αιτία που ανέδειξε ότι είναι ο ήλιος το ουράνιο σώμα που εμπλέκεται με κάποιο τρόπο στη κίνηση των πλανητών.

Ο Κέπλερ εγκαταλείπει το μοντέλο, για το οποίο ήταν υπερήφανος ο Κοπέρνικος για την πρώτη ανωμαλία, το οποίο είχε υιοθετήσει και ο Τύχο, για να επιστρέψει στο παλαιότερο μοντέλο του εξισωτή, βλέποντας όμως τα πράγματα τελείως διαφορετικά. Αυτό το μοντέλο ήταν ένα γεωμετρικό εργαλείο, ασυνήθιστα ακριβές, με την έννοια της μοντέρνας ανάλυσης, αλλά εκτός από το μεταβάλλει τις αποστάσεις στο απλό μοντέλο, αφήνοντας σχεδόν ίδιες τις εξισώσεις, δεν είχε άλλη σπουδαιότητα. Το γεγονός της μεταβολής της ταχύτητας του πλανήτη έμοιαζε να μην ήταν αντικείμενο αναζήτησης και μελέτης. Η μονότονη αλλαγή της ταχύτητας σε συνάρτηση με την απόσταση ήταν προφανής στο μοντέλο του εξισωτή, αλλά όχι στο επικυκλικό μοντέλο. Ο Κέπλερ θέλησε να βρει ακριβώς αυτή τη σχέση, να αναλύσει

¹³ G.W.,3:74:10-11, ό.π

τη φυσική του κινούμενου στο διάστημα πλανήτη. Πάνω σε αυτή τη μεταβολή της ταχύτητας σε σχέση με την απόσταση έστησε τη φυσική του αστρονομία.

Πώς όμως ο Κέπλερ από τα πρώιμα κεφάλαια της *Astronomia nova*, στα οποία αναφέρεται σε ουράνιες ψυχές και σε μυαλά που προκαλούν και κατευθύνουν την κίνηση βρέθηκε να προσπαθεί να ερμηνεύσει αυτή την κίνηση με όρους φυσικής; Προφανώς δεν μπορούμε να ξέρουμε με βεβαιότητα τι ακριβώς σκεπτόταν, όμως όταν μίλαγε για ουράνιο νου αναζητούσε ένα μέσο που να ελέγχει την κίνηση ή ειδικότερα που να την περιορίζει στη συγκεκριμένη διαδρομή που ακολουθεί ο παρατηρούμενος πλανήτης. Σε κάθε περίπτωση η κανονικότητα αυτής της κίνησης και ο τρόπος με τον οποίο μεταδίδεται στο κινούμενο σώμα, έπρεπε από κάπου να εκπορεύεται και από ότι φαίνεται ο Κέπλερ θεωρούσε ότι μπορεί να υπήρχαν κρυμμένα μυαλά αλλά δεν πίστευε ότι ήταν δυνατόν να δρουν με τρόπους κρυφούς δηλαδή με τρόπους που να μη μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος νους.. Στο βαθμό που τα ουράνια σώματα παρουσίαζαν τις ίδιες κανονικότητες στις κινήσεις τους ο Κέπλερ υπέθετε ότι οι κανονικότητες της κίνησης σχετίζονται με κάποιο τρόπο με τις κανονικότητες του σχηματισμού τους. Αφού οι πλανήτες κινούνται αργότερα όταν απομακρύνονται από τον ήλιο, τότε υπέθετε οτιδήποτε και αν είναι αυτό που τους κινεί πρέπει να σχετίζεται με τον ήλιο. Από την άλλη μεριά αν ένα υπόδειγμα κίνησης δεν υπάκουε σε καμιά κανονικότητα, από την οποία θα μπορούσε δυνάμει να προέρχεται, τότε υποψιαζόταν ότι η κίνηση δεν μπορούσε να γίνει αντιληπτή.

Το καλύτερο μέρος της φυσικής του Κέπλερ σ' ολόκληρη τη ζωή του, ήταν η επιμονή με την οποία ανέλυε τις πληροφορίες που υπέβοσκαν σ' ένα κανονικό υπόδειγμα κίνησης και με την οποία ανίχνευε αυτή την κανονικότητα ψάχνοντας πίσω σε κάποιο μονοπάτι αιτιότητας, την πηγή της. Δεν κατάφερε να εξηγήσει επαρκώς τι κινεί τους πλανήτες, αλλά είναι γνωστό σήμερα ότι έθετε λάθος ερώτημα. Στο πως κινούνται οι πλανήτες ξεκίνησε με την υπόθεση ότι κάποιο άλλο φυσικό σώμα ασκεί πάνω τους δύναμη, ανέλυσε σωστά με πλήρεις φυσικούς όρους και έδωσε μια εύλογη ερμηνεία-αν και εντελώς λανθασμένη-για την προέλευση της κίνησης αυτής.

Στα δύο τελευταία κεφάλαια του πρώτου μέρους της *Astronomia nova*, εξετάζονται λεπτομερώς οι αλλαγές που συμβαίνουν στα τρία συστήματα του κόσμου από ένα άλλο σύστημα, στο οποίο ο μέσος ήλιος έχει αντικατασταθεί από τον

πραγματικό ήλιο. Το θέμα συνίσταται στο εξής: Προκειμένου να κατασκευάσει κάποιος ένα μοντέλο για την πρώτη ανωμαλία, την κατάλληλη ανισότητα για τον πλανήτη, χρειαζόταν να γνωρίζει που βρίσκεται ο πλανήτης σε σχέση με την γη ή τον ήλιο (ο Κέπλερ αναφερόταν σε ένα κέντρο από το οποίο μετρίεται η εκκεντρότητα).

Για να εξακριβώσει κάποιος τις θέσεις των πλανητών, όπως εμφανίζονταν από τον ήλιο, χρησιμοποιούσε ένα απλό υποκατάστατο, περιμένοντας μέχρι η γη να βρεθεί στην ίδια ευθεία ανάμεσα στην υπολογισμένη θέση του ήλιου και την παρατηρούμενη θέση του πλανήτη. Επιπλέον κάποιος έπρεπε να παρεμβάλει διάφορες παρατηρήσεις ληφθείσες την κατάλληλη στιγμή. Τέτοιες παρατηρήσεις, πραγματικές ή παρεμβαλλόμενες ήταν η δύση ή η ανατολή του πλανήτη κατά την ώρα της δύσης του ηλίου (acronychal¹⁴). Με αυτή την διαδικασία ήταν αρκετά απλό, για τους αστρονόμους, με δεδομένη μια στοιχειώδη ηλιακή θεωρία, να παρατηρούν τον πλανήτη από οποιοδήποτε κέντρο θεωρούν κατάλληλο. Ο Κοπέρνικος θεωρούσε για κέντρο το μέσο ήλιο, που ήταν κατ' αυτόν το κέντρο της γήινης διαδρομής, ενώ ο Κέπλερ για λόγους φυσικής πίστευε ότι κάποιος έπρεπε να μετρήσει την εκκεντρότητα από τον ίδιο τον ήλιο.

Ο Κέπλερ απέδειξε μαθηματικά, ότι το μοντέλο για την πρώτη ανωμαλία του Άρη, με την γραμμή των ασπίδων¹⁵ να διέρχεται από τον μέσο ήλιο, απεικόνιζε αρκετά καλά τις *acronychal* παρατηρήσεις, μολονότι η πραγματική γραμμή των ασπίδων διερχόταν από το σώμα του ήλιου. Επιπλέον απέδειξε ότι αν κάποιος έλεγχε τις αποστάσεις του πλανήτη από το κέντρο της τροχιάς του, θα έβρισκε ότι το παραπάνω μοντέλο είναι λανθασμένο. Η επιχειρηματολογία του στηριζόταν στη φυσική περισσότερο παρά στις αστρονομικές παρατηρήσεις, αφού η κανονικότητα του σχήματος της κίνησης του πλανήτη και ιδιαίτερα η συστηματική μεταβολή της ταχύτητας του - δεδομένης της απουσίας των στερεών σφαιρών - μπορούσε να ερμηνευτεί μόνο με την υπόθεση ότι ο ήλιος παίζει ένα σημαντικό πόλο στην κίνηση του πλανήτη.

¹⁴ Acronychal εμφανίσεις: η ανατολή ή δύση του πλανήτη, όταν δίδει ο ήλιος

¹⁵ ασπίδες: το περιήλιο και το αφήλιο ή το περίγειο ή απόγειο στο γεωκεντρικό σύστημα.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«Όσον αφορά την πρώτη ανισότητα του πλανήτη Άρη, κατά μίμηση των αρχαίων». (ΚΕΦ.7-21)

Ο Κέπλερ ονόμασε το δεύτερο μέρος του βιβλίου του «Όσον αφορά την πρώτη ανισότητα του πλανήτη Άρη, κατά μίμηση των αρχαίων». Στο μέρος αυτό ασχολήθηκε με την πρώτη ανωμαλία του Άρη, η οποία οφείλεται στη ιδιαίτερη κίνηση του πλανήτη. Μιμούμενος τους αρχαίους, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν μοντέλα κατασκευασμένα από ομοιόμορφα περιστρεφόμενους κύκλους όπως είχαν εφαρμοστεί από τον Πτολεμαίο, ο Κέπλερ πήρε τις αρχαίες θεωρίες και τις γενίκευσε επιτυγχάνοντας για πρώτη φορά από την εποχή του Πτολεμαίου σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια στο μοντέλο της πρώτης ανωμαλίας, τηρώντας ακόμα τις αρχές της αρχαίας επιστήμης. Αυτή η πρόοδος, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις παρατηρήσεις του Τύχο, οι οποίες υπερέβαιναν μακράν σε ακρίβεια και ποσότητα οποιαδήποτε άλλη συσσωρευμένη γνώση.

Προκειμένου να επιτύχει τον σχηματισμό που επιθυμούσε ο Κέπλερ, επιχείρησε με σκληρή δουλειά(οι πρόχειροι υπολογισμοί του, που σώθηκαν σε χειρόγραφο καλύπτουν εννιακόσιες μεγάλες σελίδες με μικρά γράμματα) να περιορίσει αυτές τις παρατηρήσεις, διότι από την μια μεριά είχε ανακαλύψει ότι οι βοηθοί του Μπράχε είχαν υπολογιστεί εσφαλμένα τις οριζόντιες συντεταγμένες που αντιστοιχούν στις παρατηρούμενες θέσεις των πλανητών και από την άλλη μεριά είχαν μειώσει τις παρατηρήσεις ώστε να δίνουν το γεωγραφικό μήκος του Άρη όπως φαίνεται από το μέσο ήλιο, ενώ ο Κέπλερ ήθελε το γεωγραφικό μήκος από τον πραγματικό ήλιο, δηλαδή ήθελε να υπολογίσει τη θέση του πλανήτη όταν βρίσκεται σε αντίθεση με τον πραγματικό ήλιο. Σύμφωνα με τις εγκατεστημένες στο νου του «φυσικές» απόψεις ο Κέπλερ ήθελε να διατυπώσει μια θεωρία που να αφορά στο φυσικό σώμα του ήλιου.

Η ιδιαιτερότητα στην κίνηση του Άρη είναι ότι δεν κινείται στην εκλειπτική¹⁶, δηλαδή στο επίπεδο της τροχιάς της γης. Οι τροχίες των πλανητών συγκλίνουν σχηματίζοντας μικρές γωνίες. Τα επίπεδα των τροχιών αυτών διέρχονται από τον ήλιο, πράγμα όχι προφανές για την πριν τον Κέπλερ εποχή. Ο Κοπέρνικος προσηλωμένος στον Πτολεμαίο είχε διατυπώσει το αξίωμα ότι το επίπεδο της τροχιάς του Άρη ταλαντεύεται στο διάστημα με ταλάντευση εξαρτώμενη από το γεωγραφικό μήκος που το μετρούσε στη εκλειπτική ενώ υπολόγιζε ξεχωριστά το πλάτος του πλανήτη με ξεχωριστές θεωρίες. Αυτή η διαδικασία αποτελεί μια προσέγγιση, κατά την οποία η προβολή του πλανήτη πάνω στην εκλειπτική θεωρήθηκε σαν ο πλανήτης να κινείται στο επίπεδο της τροχιάς του. Στην πραγματικότητα, η προβολή κινείται λίγο πιο αργά από ό, τι ο πλανήτης γύρω από τους κόμβους, και λίγο πιο γρήγορα γύρω από τα όρια. Η διαφορά ήταν πολύ μικρή, και η πλανητική θεωρία του είχε ορθώς είχε παραμεληθεί από τους αστρονόμους πριν από τον Τύχο.

Ο Τύχο είχε επιμείνει να γίνει μικρή διόρθωση στην πλανητική θεωρία του, επιθυμώντας να διατηρήσει κάθε όφελος από την ορθότητα των παρατηρήσεων του, αλλά οι βοηθοί του είχαν απομακρυνθεί πολύ κάνοντας τους υπολογισμούς τους. Όταν υπολόγιζαν τον χρόνο της απομάκρυνσης, προκειμένου να εξασφαλίσουν τις

¹⁶ Η **εκλειπτική** είναι η νοητή γραμμή που διαγράφει ο ήλιος στην ουράνια σφαίρα, καθώς αυτός αλλάζει θέση στον ουρανό κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ο ίδιος όρος αναφέρεται και στο επίπεδο που ορίζει η νοητή αυτή γραμμή. Όπως είναι γνωστό η γη είναι αυτή που περιφέρεται γύρω από τον ήλιο, πλην όμως φαινομενικά ο Ήλιος μοιάζει να είναι αυτός που περιφέρεται γύρω από τη Γη, συμπληρώνοντας την περιφορά του σ' ένα έτος. Με διαφορετικά και πιο απλά λόγια, και αν θυμηθούμε ότι η Γη είναι αυτή που κινείται στην πραγματικότητα, η εκλειπτική είναι το επίπεδο πάνω στο οποίο διαγράφεται η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Το επίπεδο δε της εκλειπτικής ταυτίζεται σχεδόν με το επίπεδο πάνω στο οποίο διαγράφονται οι τροχίες των περισσότερων πλανητών, καθώς και με τον ισημερινό του Ήλιου. Η φαινομενική αυτή περιφορά του Ήλιου γύρω από τη Γη διαγράφει ένα επίπεδο που όταν προεκταθεί τέμνει την ουράνια σφαίρα κατά μέγιστο κύκλο. Ο μέγιστος αυτός κύκλος της ουράνιας σφαίρας ονομάζεται εκλειπτική.



ακραίες θέσεις του Άρη, είχαν βρει τον χρόνο όταν ο Άρης ήταν σε απόσταση από τους κόμβους του ίση με την απόσταση του ήλιου από τον αντίθετο κόμβο, πράγμα που ο Κέπλερ απέδειξε ότι ήταν λάθος. Κατά τον Κέπλερ αυτό που έπρεπε κάποιος να ξέρει ήταν το ηλιοκεντρικό μήκος του Άρη, και το μήκος ήταν μια συντεταγμένη περί την εκλειπτική, γι' αυτό χρειαζόταν να μετρηθεί η στιγμή κατά την οποία η προβολή του Άρη πάνω στην εκλειπτική ήταν ακριβώς απέναντι από τον ήλιο, γιατί αυτή τη στιγμή η δεύτερη ανωμαλία του γεωγραφικού μήκους (η οποία οφείλεται στην κίνηση της γης, ή για τον Τύχο στην κίνηση του ήλιου στην εκλειπτική) είχαν εξαφανιστεί. Η εκλειπτική θέση του πλανήτη αυτή τη στιγμή θα μπορούσε τότε να προβάλλεται πίσω στο σωστό της επίπεδο και να μετρηθεί η γωνιακή της απόσταση από τον κόμβο. (σημείο τομής τροχιάς –εκλειπτικής).

Όλα αυτά ακούγονται υπερβολικά περίπλοκα, ίσως επειδή ήταν υπερβολικά περίπλοκα ακόμα και για τις παρατηρήσεις του Τύχο. Για τον Άρη η μεγαλύτερη διόρθωση έπρεπε να εφαρμοστεί σε μία μείωση στην εκλειπτική είναι μικρότερη από 53 δευτερόλεπτα τόξου, σε θέσεις 45° από τους κόμβους. Οι βοηθοί του Τύχο, εκτός από τους εσφαλμένους υπολογισμούς για τις ακραίες παρατηρήσεις είχαν κάνει διορθώσεις μέχρι και εννέα λεπτών, πράγμα που οφειλόταν από τη μια μεριά στην διάχυτη σύγχυση στην προ του Κέπλερ θεωρία του γεωγραφικού πλάτους καθώς και στην ανεπάρκεια τους.

Ο Κέπλερ θεώρησε προφανές ότι δεδομένου ότι ο Άρης ταξίδευε γύρω από τον ήλιο και κινείτο από τον ήλιο, η τροχιά του θα έπρεπε να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τον ήλιο, πράγμα το οποίο απέρριπταν οι θεωρίες της εποχής του. Ο Πτολεμαίος είχε υποθέσει, ότι οι έκκεντρες τροχιές των πλανητών διασταυρώνονται στο κέντρο του σύμπαντος, την γη. Στη λεπτομερή θεωρία του γεωγραφικού πλάτους του, θεωρούσε ότι οι επίκυκλοι «γέρνουν πίσω» παράλληλα προς την εκλειπτική. Κατά τον Κέπλερ αυτό έγινε διότι σε αυτά τα πλανητικά μοντέλα δεν εμφανίζεται ο ήλιος που είναι στην πραγματικότητα το σημείο, στο οποίο τέμνονται οι τροχιές των πλανητών. Ο Κοπέρνικος δεν είχε ξεκαθαρίσει αυτή τη σύγχυση με αποτέλεσμα οι θεωρίες του γεωγραφικού πλάτους να παραμένουν περίπλοκες .

Ο Κέπλερ θεώρησε τερατώδη την ιδέα του Κοπέρνικου και ήθελε να αποδείξει ότι η θέση της γης «δεν έχει καμιά δουλειά με τον Άρη», αλλά ότι το επίπεδο κίνησης του Άρη περνούσε από τον ήλιο και μάλιστα σχημάτιζε σταθερή γωνία με το επίπεδο

της τροχιάς της γης. Με διάφορες και ανεξάρτητες μεθόδους απέδειξε ότι η γωνία αυτή είναι $1^{\circ}50'$. Ο Κέπλερ βρήκε ότι οι βοηθοί του Τύχο, συνήθιζαν να εφευρίσκουν φανταστικές θεωρίες για το γεωγραφικό πλάτος, όπως αυτή ενός «σπασμένου» έκκεντρου κύκλου μέσα στον οποίο το μέγιστο βόρειο πλάτος του Άρη ήταν 4.33° , ενώ το μέγιστο νότιο ήταν 6.26° . Το λάθος βρισκόταν στο γεγονός ότι δεν λάμβαναν υπόψη τους το προφανές ότι τα παρατηρούμενα πλάτη αυξάνονται όταν η γη είναι κοντά στον πλανήτη και μειώνονται όταν είναι μακριά. Ακόμα και αυτό το μεγάλο οπτικό αποτέλεσμα, το οποίο ο Κέπλερ ονόμασε δεύτερη ανισότητα του γεωγραφικού πλάτους, δεν ήταν ικανό να εξηγήσει τα προβλήματα που συνάντησε στη μείωση των παρατηρήσεων του Τύχο.

Θεωρώντας ότι οι παρατηρήσεις δεν είχαν αξιοποιηθεί κατάλληλα, ο Κέπλερ επέστρεψε στις αρχικές παρατηρήσεις προκειμένου να δουλέψει πάνω σ' αυτές και να διατυπώσει εκ βάθρων μια θεωρία για το πλάτος. Με την ιδέα ότι ο ήλιος κινεί τους πλανήτες σε απλά επίπεδα που διέρχονται από το σώμα του, ξεκίνησε να ορίσει τις στιγμές της πραγματικής αντίθεσης και τα μήκη του πλανήτη εκείνες τις στιγμές. Απέδειξε ότι η ημερήσια παράλλαξη¹⁷ του Άρη είναι αμελητέα και εγκατέστησε επιτυχώς την απλή θεωρία του πλάτους και τελικά προσάρμοσε τις ακραίες παρατηρήσεις στις στιγμές της πραγματικής αντίθεσης.

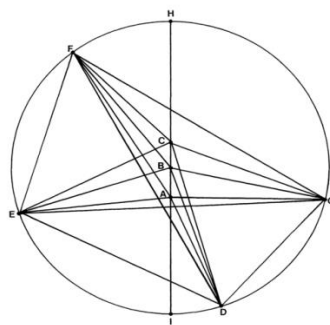
Η θεωρία του πλάτους του Κοπέρνικου επειδή ήταν επικεντρωμένη περί τον μέσο ήλιο και όχι γύρω από τον πραγματικό, δεν είχε επιτύχει την απλότητα της ηλιοκεντρικής άποψης, αλλά ο Κέπλερ όπως λέει ο ίδιος «*οπλισμένος με την δυσπιστία του*»¹⁸ δεν διστάζει καθόλου να ξεφορτωθεί όλον τον περίπλοκο μηχανισμό με τον οποίο ο Κοπέρνικος είχε αναπαραγάγει τις αναπαραστάσεις της θεωρίας του πλάτους του Πτολεμαίου. Ο Κέπλερ διαφωνούσε και θεωρούσε ατελή τη απλοποίηση που είχε κάνει ο Κοπέρνικος, ο οποίος είχε καταφέρει να αντικαταστήσει τα αυτόνομα αλλά ισοδύναμα μοντέλα της δεύτερης ανωμαλίας του μήκους με μια κίνηση του παρατηρητή, εφόσον το σύστημα χρειαζόταν-χωρίς να δίνεται εξήγηση- κάποιες κινήσεις να προσδεθεί στην κίνηση της γης. Κατά τον Κέπλερ οτιδήποτε και

¹⁷ η γωνιακή μετατόπιση της φαινόμενης θέσης ενός ουράνιου αντικειμένου πάνω στην ουράνια σφαίρα, που οφείλεται στην παρατήρηση του από δύο θέσεις πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους.

¹⁸ G.W.,ό.π.,3:141:3-16, ό.π

αν ήταν αυτό που κινούσε τον Άρη, δεν ήταν κατ' ανάγκη απαραίτητο να παρακολουθεί την κίνηση ενός άλλου πλανήτη¹⁹. Αυτό βέβαια ακόμη δεν αποτελεί ένα στέρεο επιχείρημα της φυσικής, αλλά ο Κέπλερ επικαλείτο ευρέως την απλότητα και την επεξηγηματική δύναμη του ηλιοκεντρισμού και αυτά τα πλεονεκτήματα θα μπορούσαν κατά κάποιον τρόπο να εκληφθούν, αν όχι απολύτως ως επιχειρήματα της φυσικής, τουλάχιστον ως λογικά, αισθητικά ή απλώς πραγματικά. Μια ρητά φυσική εξήγηση της κίνησης εξαρτημένη από το πλάτος, διατυπώνεται στο πέμπτο και τελευταίο τμήμα του βιβλίου, όπου αναπτύσσεται το μοντέλο του, το οποίο αποδεικνύεται σύμφωνο με τις παρατηρήσεις από διάφορα σημεία της γήινης τροχιάς και επιβεβαιώνεται η άποψη του Κέπλερ ότι οι κινήσεις των πλανητών είναι φυσικά ανεξάρτητες.

Με όλο αυτό το υλικό καταγεγραμμένο ο Κέπλερ ξεκίνησε να κατασκευάσει ένα πλανητικό μοντέλο με τη χρήση του εξισωτή, «κατά μίμηση των αρχαίων» όπως ο ίδιος έλεγε, αλλά χωρίς τον περιορισμό του Πτολεμαίου, ότι η εκκεντρότητα είναι ακριβώς διχοτομημένη. Η πηγή για τέτοιου είδους παραμέτρους για αυτό το μοντέλο, ήταν τέσσερις *acronychal* παρατηρήσεις. Η τροχιά είχε κέντρο το σημείο B, το οποίο απείχε από το σημείο A στο οποίο βρισκόταν ο ήλιος, κάτω από εκκεντρότητα, που χρειαζόταν να οριστεί. Η εκκεντρότητα του εξισωτή C υπολογιζόταν εμπειρικά, ενώ η θέση του, ώστε να ευθυγραμμίζεται με τα A και B, δεν ήταν εμπειρική αλλά μια φυσική παραδοχή του Κέπλερ με την οποία εφοδίασε το μοντέλο του. (σχήμα 4)



Σχήμα 4

Για τον πλήρη καθορισμό αυτού του μοντέλου χρειαζόνταν τα εξής: οι δύο εκκεντρότητες AB και BC, σε αναλογία με τις ακτίνες της κυκλικής τροχιάς, η κατεύθυνση της αψιδοειδούς γραμμής IH, πάνω στην οποία βρίσκονται τα A, B, C

¹⁹ G.W., 3:131:1-6, ό.π

και η μέση ανωμαλία²⁰ μιας από τις παρατηρήσεις. Οι εκκεντρότητες ήταν μέρος της γεωμετρίας του μοντέλου. Το μήκος της γραμμής των ασφίδων και η μέση ανωμαλία τοποθετούσαν την τροχιά στο χρόνο και τον τόπο ή αλλιώς συνέδεαν τα παρατηρούμενα μήκη και τους χρόνους με το μοντέλο. Προκειμένου να ορίσει τις εκκεντρότητες ο Κέπλερ, έπρεπε να συνδέσει τις παρατηρήσεις με το μοντέλο, δηλαδή να υποθέσει τιμές για το μήκος και για την μέση ανωμαλία μιας παρατήρησης. Έτσι από τις γνωστές γωνίες ανάμεσα στις παρατηρήσεις και τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα, συμπεραίνει τις γωνίες ανάμεσα στις πλανητικές θέσεις, μετρημένες και από τον ήλιο και από τον εξισωτή. Επομένως γνώριζε τα τέσσερα τρίγωνα με κορυφές τα D, E, F και G (που ήταν οι θέσεις των πλανητών στο μοντέλο) και βάση την AC. Επιπλέον γνώριζε τις αποστάσεις από τον ήλιο των τεσσάρων θέσεων. που προέκυπταν από το μοντέλο. Αυτές οι αποστάσεις ήταν εξαρτημένες από την υποτιθέμενη διεύθυνση της γραμμής των ασφίδων, την υποτιθέμενη μέση ανωμαλία μιας από τις παρατηρήσεις, τις παρατηρούμενες γωνίες γύρω από το σημείο A και από τα παρατηρούμενα διαστήματα χρόνου, που είναι οι γωνίες γύρω από το σημείο C.

Το μοντέλο του Κέπλερ ήταν επιπλέον περιορισμένο γιατί δεν είχε ακόμα εισαγάγει στους υπολογισμούς του την υπόθεση της κυκλικής τροχιάς. Υπήρχαν τέσσερα ζεύγη ακτινών από το A και το C, που τέμνονταν σε τέσσερα σημεία, αλλά δεν βρίσκονταν κατ' ανάγκη στον ίδιο κύκλο(ανά τρία σημεία ορίζουν ένα κύκλο).Αν τα τέσσερα σημεία δεν βρίσκονταν στον ίδιο κύκλο τότε έπρεπε να αλλάξει μια από τις βοηθητικές υποθέσεις, δηλαδή την διεύθυνση της γραμμής των ασφίδων. Όταν τελικά η γραμμή των ασφίδων διερχόταν από τέσσερα σημεία που ικανοποιούσαν τη γεωμετρική απαίτηση, να ανήκουν σε ένα κύκλο, τότε ο Κέπλερ εισήγαγε a priori μια επιπλέον παραδοχή: το κέντρο του κύκλου να βρίσκεται στην ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τον εξισωτή.

Η εξήγηση του Κέπλερ για την παραπάνω παραδοχή βασίσθηκε στην φυσική του ερμηνεία για την κίνηση με χρήση του εξισωτή: *«φυσικοί λόγοι απαιτούν ότι η κίνηση είναι πιο αργή όταν ο πλανήτης είναι πιο μακριά από τον ήλιο (σημείο A), όπως όταν βρίσκεται στο H, που δεν συμβαίνει παρά μόνο όταν τα A, B,C είναι στην ίδια*

²⁰ Στην ορολογία του Κέπλερ, μέση ανωμαλία είναι το μέτρο του χρόνου που έχει διανυθεί από τον πλανήτη από όταν ήταν στο αφήλιο, που εκφράζεται ως μια γωνία, όπου ο χρόνος μιας περιόδου είναι 360° ..

γραμμής»²¹. Εκτός από τις προσπάθειες του με τις διάφορες γραμμές των ασφιδων, ώστε να πετύχει να βρίσκονται τα τέσσερα σημεία στον ίδιο κύκλο, επιπλέον επιχειρούσε με διάφορες τιμές της μέσης ανωμαλίας, ώστε το κέντρο του κύκλου να βρίσκεται κατευθείαν ανάμεσα στον ήλιο και τον εξισωτή, πράγμα που απαιτούσε μετά από κάθε αναθεώρηση μετακίνηση γραμμής των ασφιδων της .

Η επίπονη αυτή δουλειά, που κατά την ομολογία του ίδιου του Κέπλερ απαιτήσε υπολογισμούς που επανέλαβε μέχρι και εβδομήντα φορές μέχρι να φτάσει στις τελικές παραμέτρους, κατέληξε στο μοντέλο του με την μη διχοτομημένη εκκεντρότητα στο οποίο το κέντρο του κύκλου είχε εκκεντρότητα με τον ήλιο 0,11332 της ακτίνας και ο εξισωτής είχε εκκεντρότητα με τον ήλιο 0,18564. Ο Κέπλερ απέδειξε ότι αυτό το μοντέλο, που παραγόταν από τέσσερις *acronychal* παρατηρήσεις του Τύχο, προέβλεπε άλλες δέκα και δύο επιπλέον παρατηρήσεις του ίδιου με ακρίβεια περίπου δύο λεπτών. Η ακρίβεια των παρατηρήσεων ήταν η επιδιωκόμενη και θεωρούσε ότι δεν υπήρχε ευρύτερη εκτίμηση από την δική του για τη φαινόμενη διάμετρο του πλανήτη. Καθώς η θεωρία του, ως πιο πρόσφατη και βασισμένη στο αληθινό ήλιο είχε την ίδια ακρίβεια με του Τύχο -η οποία στηριζόταν στο μέσο ήλιο, συμέρανε ότι δεν θα έβρισκε πρόσκομμα η επιμονή του να χρησιμοποιεί το φυσικό σώμα του ήλιου.

Αν οι μεταρρυθμίσεις του Κέπλερ που υποκινούνταν από τις φυσικές του ανησυχίες ήταν σωστές και είχε σταματήσει εδώ θα είχε συμβάλει σε μέγιστο βαθμό στη βελτίωση της Κοπερνίκειας αστρονομίας αφού θα είχε: **πρώτον** κτίσει μια αστρονομία γύρω από τον ήλιο, αποδεικνύοντας ότι οι άλλοι αστρονόμοι που κατασκεύαζαν μοντέλα γύρω από τον μέσο ήλιο, προέβλεπαν μεν με ακρίβεια τα μήκη αλλά όχι τις αποστάσεις. **Δεύτερον** ότι η θεωρία του ότι η πλανητική κίνηση κατά πλάτος πραγματοποιείται σε επίπεδες τροχιές που διέρχονταν από τον ήλιο και είχαν σταθερή κλίση και όχι από το μέσο ήλιο με ανεξήγητες κλίσεις και ταλαντώσεις. Επιπλέον θα είχε κατασκευάσει ένα πραγματικό μοντέλο για το μήκος εφάμιλλο του μοντέλου του Τύχο, αλλά με το πλεονέκτημα ότι η μεταβολή της ταχύτητας του πλανήτη, θα ήταν εξαρτημένη από την απόσταση του από τον ήλιο. Αλλά δεν σταμάτησε εκεί και απέδειξε με δύο διαφορετικούς τρόπους ότι η θεωρία του ήταν ανεπαρκής, εφαρμόζοντας μια θεωρία του μήκους, με την οποία με την

²¹ G.W.,3:155:13-15,ό.π

χρήση δώδεκα *acronychal* παρατηρήσεων σκορπισμένων περί τον ζωδιακό, βρήκε το σωστό μήκος για όλες, αλλά όχι την σωστή θέση για τον πλανήτη.

Ο Κέπλερ είχε καταλάβει ότι δύο διαφορετικά μοντέλα είναι πιθανόν να μπορούν να προβλέψουν τα ίδια μήκη, επινοεί λοιπόν δυο μεθόδους προκειμένου να ελέγξει αν ο Άρης απέχει από τον ήλιο τόσο όσο δείχνει το μοντέλο του. Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιεί γεωκεντρικά πλάτη, που εξαρτώνται από τα ηλιοκεντρικά πλάτη αλλά και από τη θέση της γης σε σχέση με τον πλανήτη. Έχει ήδη αποδείξει με μεθόδους ανεξάρτητες από τις αποστάσεις της γης και του Άρη από τον ήλιο, ότι τα ηλιοκεντρικά πλάτη προσδιορίζονται από σταθερή γωνία 1.50^0 , που είναι η κλίση του επιπέδου της τροχιάς του Άρη με την εκλειπτική. Σε αντίθεση, τα γεωκεντρικά πλάτη είναι πολύ ευρύτερα από εκεί που γίνεται η παρατήρηση αφού η γη τότε βρίσκεται περίπου στο ένα τρίτο της απόστασης από τον Άρη από όσο απέχει ο ήλιος από τον Άρη. Τα δύο πλάτη αρκούν για να οριστεί ένα τρίγωνο από το οποίο η αναλογία των αποστάσεων της γης και του Άρη από τον ήλιο μπορούν να υπολογιστούν, με σχετική ακρίβεια, αφού οι γωνίες είναι τόσο μικρές, που κάποιο λάθος σε αυτές επηρεάζει ελάχιστα το αποτέλεσμα.

Στις αντιθέσεις²² του 1585 και 1593, όταν ο Άρης ήταν αρκετά κοντά στο αφήλιο και στο περιήλιο, ο Κέπλερ έλυσε πολλά τέτοια τρίγωνα και διορθώνοντας τις αποστάσεις ακριβώς στις τιμές των ασίδων, βρήκε ότι η εκκεντρότητα του τροχιακού κέντρου είχε εύρος από 0,8 έως 1. Με αυτή την παρατήρηση κατάλαβε ότι η γη ήταν κοντά στον Άρη όταν αυτός βρισκόταν στο αφήλιο και όχι όταν ήταν στο περιήλιο. Επιπλέον ο Κέπλερ αντιλήφθηκε ότι το αξίωμα της διχοτομημένης εκκεντρότητας του Πτολεμαίου ήταν συνεπές όταν τα γεωκεντρικά πλάτη είναι σε αντίθεση.

Ο Κέπλερ δεν γύρισε τυχαία πίσω στην υπόθεση της διχοτομημένης εκκεντρότητας αλλά οδηγήθηκε από την ανάλυση των αποστάσεων ανάμεσα στο Άρη και τον ήλιο. Ο νόμος των εμβαδών στον οποίο υπακούει η κίνηση ενός πλανήτη πάνω στην ελλειπτική τροχιά του, μπορεί να εκφραστεί επαρκώς στη κίνηση με εξισωτή περί την κενή εστία της έλλειψης, οπότε το κέντρο της έλλειψης διχοτομεί την εκκεντρότητα του ψευδό-εξισωτή που βρισκόταν στην κενή εστία της έλλειψης,

²² αντίθεση ονομάζεται η θέση των πλανητών κατά την περιφορά τους γύρω από τον Ήλιο όπου η αποχή τους φθάνει τις 180^0 . Για παράδειγμα, όταν ο Ήλιος δύει και την ώρα εκείνη ανατέλλει κάποιος πλανήτης, τότε ο παρατηρούμενος αυτός πλανήτης βρίσκεται σε αντίθεση και η Γη βρίσκεται μεταξύ του Ηλίου και του πλανήτη αυτού. Τα δύο ουράνια σώματα, δηλαδή Ήλιος και πλανήτης απέχουν γωνιακά ως προς τη Γη 180^0 ή αλλιώς η ορθή αναφορά τους διαφέρει κατά 12 ώρες.

πράγμα που εξηγεί γιατί τα μοντέλα του Πτολεμαίου για τη πρώτη ανωμαλία ήταν τόσο καλά.

Επιπλέον οι πραγματικές ελλείψεις δεν διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά το σχήμα τους από τον κύκλο. Επομένως μια κυκλική τροχιά με διχοτομημένη εκκεντρότητα, αναπαριστά τις πραγματικές αποστάσεις με αρκετά καλά. Δεν αναπαριστά τα μήκη τόσο καλά όπως το μοντέλο με την μη διχοτομημένη εκκεντρότητα, το οποίο προέβλεπε τα μήκη με ακρίβεια δύο λεπτών. Με την εκκεντρότητα ισοδύναμα κατανεμημένη, έδινε σφάλμα 8 λεπτών στις θέσεις με κλίση 45^0 . Για τον Πτολεμαίο μια τέτοια απόκλιση στην αναπαράσταση των *acronychal* παρατηρήσεων, θα ήταν αμελητέα, αλλά ο Κέπλερ που γνώριζε την ακρίβεια των παρατηρήσεων του Τύχο, δεν μπορούσε να παραβλέψει ένα τέτοιας σπουδαιότητας σφάλμα. Για να προσδιορίσει την απόσταση του Άρη από τον ήλιο, δεν χρειαζόταν μόνο τα γεωκεντρικά πλάτη αλλά και τα γεωκεντρικά μήκη. Ο Κέπλερ επέλεξε ένα ζεύγος παρατηρήσεων όταν ο Άρης ήταν στο αφήλιο και στο περιήλιο και η γη κάπως μακριά και στηριζόμενος στα γνωστά ηλιοκεντρικά μήκη των δυο πλανητών και χονδρικά στις τιμές της απόστασης της γης σε αυτές τις στιγμές, πάλι βρήκε ότι η εκκεντρότητα της τροχιάς του Άρη ήταν 0,9 και όχι 1.1, όπως είχε προκύψει από το μοντέλο του μέσω των *acronychal* παρατηρήσεων. Η θεωρία του για την πρώτη ανωμαλία του Άρη είχε αποτύχει, μολοντί είχε επιχειρήσει με ελεύθερη διαίρεση της εκκεντρότητας να την γενικεύσει σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα.

Αν λάβουμε υπόψη ότι ο Κοπέρνικος είχε αρκεστεί σε σφάλμα 10 λεπτών, μπορούμε να υποθέσουμε ότι κάποιος άλλος θα ήταν ικανοποιημένος και θα σταματούσε, χωρίς όμως να είχε πετύχει κάτι ουσιαστικό. Όμως η επιμονή του Κέπλερ στην ορθότητα των παρατηρήσεων του Τύχο και η πεποίθηση ότι πρέπει να συμφωνούν απόλυτα με την τροχιά που προκύπτει από τους υπολογισμούς ήταν ακλόνητες. Η διαίσθηση του ότι δεν έχει βρει την πραγματική λύση αποδεικνύεται ισχυρότερη από την απογοήτευση και τις φαινομενικά ανυπέρβλητες δυσκολίες. Ο ίδιος γράφει: «Εφόσον η θεία χάρις μας παρείχε έναν εξαιρετικά φιλόπονο αστρονόμο, τον Tycho Brahe και από τις παρατηρήσεις του αποκαλύπτεται σφάλμα 8' για τον Άρη,

πρέπει όχι μόνο να το αναγνωρίσουμε, αλλά και να κάνουμε χρήση αυτού του ωραίου δώρου του Θεού με πνεύμα ευγνωμοσύνης»²³.

Στο 20^ο κεφάλαιο της *Astronomia nova*, ο Κέπλερ απορρίπτει για δεύτερη φορά το μοντέλο του, ωστόσο ξεχωρίζουν δύο στοιχεία: **πρώτον** το μοντέλο του με τον εξισωτή που δίνει πολύ ακριβή ηλιοκεντρικά μήκη με ακρίβεια δύο λεπτών ανάμεσα στα παρατηρούμενα, πράγμα που του δίνει την δυνατότητα-παρά τις μεγαλύτερες προσδοκίες του- να χρησιμοποιήσει αυτή την ατελή θεωρία, προκειμένου να εντοπίσει τον πλανήτη πάνω σε μια γραμμή από τον ήλιο. Επιπλέον στο πλαίσιο της αποστολής ενός παραδοσιακού αστρονόμου ο οποίος πρέπει να «σώζει τα φαινόμενα» χρειαζόταν μια θεωρία αποστάσεων. Διετύπωσε λοιπόν μια θεωρία χρήσιμη αν και λάθος την οποία ονόμασε «*vicarious hypothesis*»²⁴, η οποία τον εξυπηρέτησε ως ενδιάμεση στη αναζήτηση της αληθινής θεωρίας. **Δεύτερον** το δεδομένο ότι ο σχεδιασμός με την παραδοσιακή πρακτική ενός μοντέλου για την πρώτη ανωμαλία με την χρήση των *acronychal* παρατηρήσεων είχε αποτύχει, οδηγούσε στην αναζήτηση της θέσης της γης. Με εξαίρεση τα σημεία της αντίθεσης με τον ήλιο, έπρεπε κάποιος να λάβει υπόψη του στους υπολογισμούς την δεύτερη ανωμαλία του Άρη σε σχέση με την θέση της γης. Η ακριβής γνώση της απόστασης της γης από τον ήλιο σε διάφορα σημεία κατά μήκος της τροχιάς της, ήταν μεγάλης σπουδαιότητας για την ακριβή χρήση των παρατηρησιακών δεδομένων.

Ο Κέπλερ έχοντας στα χέρια του τις παρατηρήσεις του Τύχο, αντιλήφθηκε ότι προκειμένου να διερευνήσει το θέμα των αποστάσεων, χρειαζόταν ένα μέτρο σύγκρισης των αποστάσεων, δηλαδή χρειαζόταν να γνωρίζει τις μεταβολές των αποστάσεων ανάμεσα στη γη και τον ήλιο, αφού η κίνηση του Άρη σχετιζόταν με τον ήλιο.

Προτού εγκαταλείψει το βασίλειο της παραδοσιακής αστρονομίας, ο Κέπλερ στο 21^ο κεφάλαιο της αστρονομίας του σταμάτησε για μια σύντομη αναζήτηση στο χώρο της φιλοσοφίας, θέτοντας το ερώτημα πως μια λάθος υπόθεση μπορεί να δώσει σωστά αποτελέσματα. Ένα γενικό φιλοσοφικό πρόβλημα που απασχολεί τον Κέπλερ

²³ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York σελ.286: 110

²⁴ vicarious hypothesis ή substitute αναφέρεται στην πρώτη απόπειρα του Κέπλερ να σχεδιάσει την τροχιά του Άρη. Το νόημα της λέξης συνδέεται με την υποκατάσταση της πραγματικής κίνησης του Άρη με ένα μοντέλο που θα συνδύαζε το Πτολεμαϊκό μοντέλο για τον Άρη με την ακρίβεια των παρατηρήσεων του Tycho Brahe.

ήταν η σωστή μέθοδος της φυσικής φιλοσοφίας. Η Ronda Martens ²⁵ στο βιβλίο της *Kepler's philosophy and the New Astronomy* αναφέρεται στη φιλοσοφική κληρονομιά του Κέπλερ. Στην εποχή του Κέπλερ υπήρχε ζωηρό ενδιαφέρον για τη μεθοδολογία και την επιστημολογία. Η κλασική άποψη που επικρατεί είναι η μέθοδος που περιγράφεται στα *Αναλυτικά Ύστερα* του Αριστοτέλη. Ο Αριστοτέλης συνιστούσε ότι η κατάλληλη επιστημονική προσέγγιση των φυσικών φαινομένων ήταν να κρίνει κάποιος φιλοσοφικά από την ουσία των πραγμάτων τα αποτελέσματα, γιατί ο ακρογωνιαίος λίθος της γνώσης στη φυσική φιλοσοφία είναι η ουσία των αντικειμένων καθώς η γνώση σχετικά με μία κατηγορία αντικειμένων δεν είναι προφανές ότι μεταφέρεται σε άλλη κατηγορία. Με αυτή τη λογική, επειδή τα ουράνια και τα επίγεια σώματα ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες αντικειμένων, οι νόμοι της επίγειας φυσικής δεν μπορούν να μεταβιβαστούν και στη μελέτη των ουρανίων σωμάτων.

Εξίσου σημαντική ήταν η αυξανόμενη σημασία των μαθηματικών επιστημών. Επιπλέον η κατάσταση των μαθηματικών ήταν κακή και πρόβαλε η ανάγκη για την αναζωογόνηση των μεικτών επιστημών. Στο δέκατο έκτο αιώνα, οι συντάκτες του έργου του Αριστοτέλη *Αναλυτικά Ύστερα* άρχισαν να συμβουλεύουν τους αναγνώστες τους ότι έπρεπε να διαβάσουν την γεωμετρία, προκειμένου να κατανοήσουν τα *Αναλυτικά*. Στο Πανεπιστήμιο οι μεταρρυθμιστές εργάστηκαν σκληρά για να βελτιώσουν το κύρος των μαθηματικών και τη θέση των μαθηματικών στο πανεπιστημιακό σύστημα. Ο Κέπλερ όταν έφτασε στο Tübingen η διαδικασία αυτή ήταν περίπου στο μέσον της διαδρομής και ο ίδιος είχε εξαιρετικό ενδιαφέρον για τις μηχανικές τέχνες γιατί έκαναν αποτελεσματική τη χρήση των μαθηματικών αποδείξεων και πρότειναν ότι ο κόσμος είναι ένα μηχάνημα που μπορεί να εξηγηθεί με μηχανικές αρχές.

Υπήρχε επίσης μια ανανέωση του ενδιαφέροντος για τον Πλατωνισμό και τη νεοπλατωνική φιλοσοφία, κυρίως λόγω της ιδέας που είχε επικρατήσει στην Αναγέννηση ότι ο Πλάτωνας ήταν ο προστάτης των μαθηματικών. Επίσης, η αντίληψη του Πλάτωνα για μια υπερβατική αμετάβλητη πραγματικότητα (το δόγμα των μορφών) υιοθετήθηκε από ικανό αριθμό στοχαστών, συμπεριλαμβανομένων των Nicolas de Cusa (Κουζάνος)(1401-1464) Marcilio Ficino (1433-1499), Pico della

²⁵ Ronda Martens, , *KEPLER'S PHILOSOPHY AND THE NEW ASTRONOMY* 1964, σ.σ 32-38

Mirandola (1463-1494 και του Robert Fludd (1574-1637). Ο Κέπλερ αποκαλούσε τους Πλάτωνα και Πυθαγόρα πραγματικούς του αφέντες (σε επιστολή του προς τον Γαλιλαίο, προφανώς με βάση την από κοινού πίστη τους σε μια μαθηματική μεταφυσική).

Οι τάσεις αυτές, η κληρονομιά του Αριστοτέλη, η αυξημένη χρήση των μαθηματικών στη φυσική, και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους μηχανικούς και το Νεοπλατωνισμό, δεν χωράει εύκολα σε ένα συνεκτικό, προγραμματικό σύστημα. Για τον φυσικό φιλόσοφο που επιθυμεί να αντλήσει από όλα αυτά, όπως έκανε ο Κέπλερ, η κληρονομημένη ένταση από το σύνολο αυτών των επιρροών απαιτούσε μια λύση. Ως αποτέλεσμα, το έργο του Κέπλερ στη φυσική αστρονομία είναι μια πλούσια πηγή για την ιστορία της μεθοδολογικής σκέψης. Ταυτόχρονα, υπήρξε μια ανανεωμένη ανησυχία με τις παρατηρήσεις, όχι μόνο με την παραγωγή τους, αλλά με το τι πρέπει να τις κάνουν. Υπάρχουν διάφορα ζητήματα εδώ, όλα εκ των οποίων αμφισβητούν το συμπέρασμα από την παρατήρηση στη γνώση.

Πρώτον, υπάρχουν οι κοινές οπτικές ψευδαισθήσεις που μαθαίνουμε να διαχειριζόμαστε από μωρά. Το πρόβλημα της ερμηνείας των παρατηρήσεων γίνεται πιο περίπλοκο στο πλαίσιο της αστρονομίας. Οι κινήσεις των πλανητών, για παράδειγμα, φαίνονται χαοτικές και άτακτες (επιβραδύνουν, επιταχύνουν, άλλοτε κινούνται προς τα ανατολικά άλλοτε προς τα δυτικά), αλλά ήταν δεδομένο από τους περισσότερους ότι αυτό δεν θα μπορούσε να δείχνει πώς είναι τα πράγματα στην πραγματικότητα. Ο κόσμος, σίγουρα, δεν θα μπορούσε να είναι τόσο χαοτικός όσο φαίνεται.

Το πρόβλημα είναι τόσο επιστημολογικό όσο και μεταφυσικό: 1) πώς μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση στο πώς είναι τα πράγματα στην πραγματικότητα; Μήπως να παραβλέψει τις παρατηρήσεις; ή μπορεί κάποιος να βρει ένα τρόπο που να επιτρέπει στα φαινόμενα να μπορούν να προβλεφθούν και εξηγηθούν; 2) πώς θα πρέπει κάποιος να συλλάβει τη σχέση μεταξύ της παρατήρησης- εμφάνισης και της πραγματικότητας; Υπάρχει μια τέτοια σχέση, και αν ναι, είναι ο κόσμος της εμφάνισης η ατελής αντανάκλαση της πραγματικότητας, ή μήπως η πραγματικότητα παράγει εμφανίσεις με έναν ομαλό και ανιχνεύσιμο τρόπο; Ο Κέπλερ πίστευε ότι η φαινομενική διαταραχή του σύμπαντος παράγεται με τακτικό τρόπο με απλές βασικές

αρχές. Η δουλειά του φυσικού φιλοσόφου, στη συνέχεια, ήταν να αποκαλύψει αυτές τις αρχές.

Δεύτερον, υπήρξε μια αυξανόμενη ανησυχία για τα σφάλματα της παρατήρησης. Ο Κουζάνος ισχυριζόταν ότι είναι πιθανό να γίνονται λάθη στις μετρήσεις, επειδή οι προσδοκίες του παρατηρητή τον οδηγούν να δει τα πράγματα με έναν τρόπο και όχι με έναν άλλο. Ο Francis Bacon στο *Novum Organon* προειδοποιούσε ότι η προσδοκία της τάξης θα οδηγήσει να δούμε τα πράγματα πιο ομαλά από ό, τι πραγματικά είναι.

Τρίτον, υπήρχε η αυξανόμενη ανησυχία με το ζήτημα του κατά πόσον οι φυσικοί φιλόσοφοι θα πρέπει να επεξεργάζονται τα δεδομένα ή απλά να τα συλλέγουν. Ο Bacon θεωρεί ότι ο φυσικός φιλόσοφος πρέπει να κάνει ότι η μέλισσα με το μέλι: να συλλέγει τα δεδομένα και την ειδική επεξεργασία τους και να προσθέτει κάτι στην εξέλιξη τους, πράγμα το οποίο φαίνεται να υιοθετεί ο Κέπλερ αν και δεν γνωρίζουμε αν διάβασε το έργο του Bacon.

Τέταρτον, αν ο νους επεξεργάζεται τα δεδομένα, τότε τίθεται το ερώτημα αν η αντίληψή μας για την πραγματικότητα μπορεί να είναι αλήθεια (αν το μυαλό απλά αντανakλά σαν καθρέφτης, τότε η απάντηση είναι προφανής). Μια απάντηση στο πρόβλημα αυτό ήταν ότι στην εποχή του Κέπλερ πολλοί θεωρούσαν, ότι η απόλυτη δομή της πραγματικότητας είναι αποτυπωμένη στο ανθρώπινο μυαλό (ως αποτέλεσμα της δημιουργίας του ανθρώπου ως εικόνας του Θεού).

Πέμπτον, υπήρχε το ερώτημα αν είναι νόμιμο σε όλους να κινηθούν πέρα από τις παρατηρήσεις, δηλαδή, αν πρέπει να θεσμοθετηθούν υποθέσεις σχετικά με το τι προκαλεί παρατηρήσιμα φαινόμενα. Στο πλαίσιο αυτό, ο Ramus (1515-1572) προσέφερε την θέση του καθηγητή ως ανταμοιβή, σε όποιον θα μπορούσε να κατασκευάσει μια αστρονομία χωρίς υποθέσεις. Στη *Astronomia nova*, ο Κέπλερ αναφέρει ως ατυχές το γεγονός ότι ο Ramus δεν ήταν πλέον εν ζωή, γιατί θα μπορούσε να έχει απαιτήσει την καρέκλα του, εννοώντας **ότι είχε πράγματι κατασκευάσει μια αστρονομία χωρίς υποθέσεις, όπου μια «υπόθεση» μπορεί να κατανοείται ως μη συνδεδεμένη με τις αιτίες των φαινομένων.**

Επιπλέον επειδή στην αστρονομία υπήρχε ένα εμπόδιο ανάμεσα στην αλήθεια της θεωρίας και της πρόβλεψης της επιτυχίας της, ο Κέπλερ ωθήθηκε να αναπτύξει μια μεθοδολογία σχετικά με το ποια δομικά χαρακτηριστικά πρέπει να έχει μια

θεωρία για να υποστηρίζεται από την παρατήρηση. Η πρόταση του Κέπλερ, σε αδρές γραμμές, ήταν ότι κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στην αλήθεια μετακινούμενος διαλεκτικά μεταξύ του εκ των προτέρων και του εκ των υστέρων. Ο τρόπος με τον οποίο το έκανε αυτό ήταν κάτι σαν καινοτομία. Όπως γράφει ο καθηγητής του ο Maestlin «...ότι δεν πέρασε ποτέ από το μυαλό κανενός να συλλάβει την ιδέα να κάνει μια τόσο τολμηρή προσπάθεια να αποδείξει εκ των προτέρων τον αριθμό, την τάξη, το μέγεθος και τις κινήσεις των ουράνιων σφαιρών.... και να αποσπάσει όλα αυτά από το μυστικό, ανεξιχνίαστο διάταγμα του Ουρανού!»²⁶

Ωστόσο η συζήτηση είναι μαθηματική και εστιάζεται στο θέμα του μοντέλου της κίνησης των πλανητών. Σήμερα φαίνεται τουλάχιστον περίεργο, ότι η *vicarious hypothesis* ενώ είναι εσφαλμένη να παράγει στο πλαίσιο των παρατηρησιακών δεδομένων ακριβή μήκη. Ο Κέπλερ ωστόσο δεν δεχόταν ότι μια λάθος υπόθεση μπορεί να καταλήξει σε κάτι αληθές και εξηγεί ότι μπορεί το μοντέλο του να ήταν σωστό ως προς το μήκος αλλά όχι ως προς την απόσταση, επιπλέον θεωρεί ότι τα μήκη δεν ήταν απαραίτητα σωστά, αλλά ήταν εν μέρει ακριβή στο πλαίσιο της αντιληπτικής ικανότητας.

Συγκεκριμένα αναπτύσσει δύο επισημάνσεις: πρώτον ότι τα συμπεράσματα μπορεί να μοιάζουν σωστά λόγω του ελλείμματος της αντίληψης του παρατηρητή ή δεύτερον ότι ένα αληθές αποτέλεσμα έχει κύρος μόνο ως αντανάκλασης των τμημάτων της υπόθεσης, στα οποία οφείλεται η ιδιαίτερη αλήθεια αυτού του αποτελέσματος. Μια θεωρία θα μπορούσε να είναι ακριβής μέσω μιας λάθος παρατήρησης ή ακόμα να είναι λάθος και από άποψη φυσικής ή και αριθμητικά, μολονότι δεν ανιχνεύεται κάποιο αριθμητικό λάθος. Αν κάποιος δεν καταλάβει ακριβώς πως το αποτέλεσμα έπεται της υπόθεσης, δεν θα μπορέσει να προσεγγίσει τον βαθμό και την έκταση της εμπειρικής επιβεβαίωσης.

Ο Κέπλερ όπως δηλώνει ο ίδιος μισεί το αξίωμα των διαλεκτικών ότι ένα ψέμα ακολουθείται από μια αλήθεια, γιατί τότε όπως λέει απειλείται ο δάσκαλος του ο Κοπέρνικος,²⁷ του οποίου την γενική θεωρία για το σύστημα του κόσμου ακολούθησε σε μεγάλο βαθμό. Σ' όλη του την ζωή ο Κέπλερ επέμενε στην κατά γράμμα ερμηνεία της Κοπερνίκειας υπόθεσης, ότι ο ήλιος ήταν το ακίνητο κέντρο του πλανητικού

²⁶ Από επιστολή του Maestlin προς τον Hafenreffer, τον Ιούνιο του 1596

²⁷ G.W., 3:183:4-6, ό.π

συστήματος. Στο πίσω μέρος της σελίδας του τίτλου του *Astronomia nova*, είχε δημοσιεύσει ότι ο Οσίαντερ και όχι ο Κοπέρνικος ήταν εκείνος που είχε γράψει τον ανυπόγραφο πρόλογο του *De revolutionibus*, στον οποίο χαρακτήριζε τον ηλιοκεντρισμό, ως ένα υπολογιστικό μηχανισμό που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Ο Κέπλερ πίστευε ότι αν οι αστρονόμοι μπορούσαν να υπολογίσουν τις ίδιες εξισώσεις από το ηλιοκεντρικό και το γεωκεντρικό μοντέλο, αυτό θα σήμαινε ότι δεν θα έπρεπε να παραχωρήσουν την επιλογή για την υπόθεση του κόσμου στους λογικούς και θεολόγους. Με την έννοια ότι τα γεωμετρικά μοντέλα για την πρώτη και δεύτερη ανωμαλία παράγουν τα ίδια αποτελέσματα δηλαδή οι υποθέσεις του κόσμου της Κοπερνίκειας και της Πτολεμαϊκής θεωρίας ήταν ισοδύναμες.

Αυτό το επιχείρημα του Κέπλερ, για την ισοδυναμία των δύο συστημάτων, παραβλέπει ότι η μαθηματική αστρονομία, ως αρχαία επιστήμη, είχε στόχο να «σώσει τα φαινόμενα», δηλαδή να προβλέπει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τις θέσεις και τους χρόνους, για ό, τι παρατηρείται στους ουρανούς. Σε αυτή τη βάση καθώς οι δύο υποθέσεις ήταν ισοδύναμες, δηλαδή ανταποκρινόντουσαν σε αυτό τον στόχο, διέφεραν σε κάτι που ήταν εκτός της μαθηματικής αστρονομίας. Ο Κέπλερ πέτυχε να απομονώσει ένα φαινόμενο, την απόσταση, που ήταν κάτι διαφορετικό από τις εξισώσεις του μήκους και πλάτους, υποθέτοντας μια ιδιαίτερη Κοπερνίκεια θεωρία, την οποία τελικά διέψευσε. Τα μοντέλα για την πρώτη και τη δεύτερη ανωμαλία μπορεί να ήταν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ισοδύναμα ως προς το να προβλέπουν το μήκος, μέσα στο πλαίσιο της πιο γενικής κοσμολογίας, αλλά για την μαθηματική αστρονομία ήταν η ουσία. Από αυτή την άποψη η Αστρονομία δεν μπορούσε να διαλέξει ανάμεσα στο Πτολεμαϊκό και στο Κοπερνίκειο μοντέλο.

Ο Κέπλερ έχοντας στα χέρια του και τις δύο απόψεις ξεκινούσε μια νέα αστρονομία. Μολονότι ο ίδιος δεν το αναφέρει δεν απευθύνθηκε στη μαθηματική αστρονομία-την επιστήμη που «σώζει τα φαινόμενα»-ούτε στους θεολόγους, ούτε στους διαλεκτικούς, ούτε καν στους εμπειρικούς φυσικούς της εποχής του, αλλά στην εντελώς δική του σύλληψη για την αστρονομία, η οποία ήταν συγχρόνως και φυσική και μαθηματική. Σύμφωνα με τα δικά του λόγια ο Κέπλερ είχε ακολουθήσει το Κοπερνίκειο σύστημα «για φυσικούς ή αν προτιμάτε για μεταφυσικούς λόγους», από το οποίο προέκυψε η σύλληψη του, ως ένας εκλεκτός καρπός. Αυτός όμως ο καρπός διαλύθηκε στην προσπάθειά του να προσαρμόσει την αστρονομία σε άλλες πολύ διαφορετικές φυσικές αρχές, που προέκυψαν από την δουλειά του. Οι αρχές αυτές

αποτέλεσαν το αποφασιστικό βήμα της δημιουργίας της αστρονομίας, ως της φυσικής επιστήμης της εποχής μας.

Το 21^ο κεφάλαιο του δεύτερου μέρους της *Astronomia nova*, είναι μια σύνοψη της ιστορίας της αστρονομίας τόσο σύντομη όπως εμφανίζεται σε κάποιον που είναι σε θέση να εκτιμήσει τη ματαιότητα της. Στο πλαίσιο των περιορισμών και των κομψών υποθέσεων της κυκλικότητας και της ομοιόμορφης κίνησης των πλανητών, η κίνηση των πλανητών οφείλει να πραγματοποιείται σε ομοιόμορφα κινούμενες σφαίρες. Ο αστρονόμος επομένως καθοδηγούμενος από τις άπειρες δυνατότητες της γεωμετρίας έχει ως αποστολή να κατασκευάζει γεωμετρικά αυθαίρετες αλλά και άσκοπες εμφανίσεις των πλανητών.

Ο Τύχο απέρριπτε την κίνηση σε σφαίρες και ο Κέπλερ αναλύοντας τις παρατηρήσεις του Τύχο, εντόπισε ότι οι παραδοχές περί της κυκλικότητας και της ομοιόμορφης κίνησης δεν ήταν σωστές και ότι έπρεπε να ανακαλύψει γιατί ένα γεωμετρικό μοντέλο άλλοτε λειτουργεί και άλλοτε όχι ή ακόμα να υπολογίσει πως κινείται ο πλανήτης ή ποια είναι η αιτία της κίνησης πάνω στην τροχιά του.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η θεωρία της γης ή Η ηλιακή θεωρία (ΚΕΦ.22-40)

Ο Κέπλερ στο τρίτο μέρος του έργου του το οποίο το αφιέρωσε όπως είπε σε μίμηση των προηγούμενων μελετητών, εγκαινιάζε μια νέα μελέτη για τους ουρανούς, ξεκινώντας με την μελέτη της γης. Η θεωρία της γης στις αρχές του 17^{ου} αιώνα εμφανίζεται να είναι αρχαία και πρωτόγονη καθώς είχε αργήσει να αναπτυχθεί εξαιτίας κυρίως του έργου του Πτολεμαίου και των μεταγενέστερων αστρονόμων, των οποίων οι παρατηρησιακές δυνατότητες δεν ήταν τόσο καλές όσο οι ικανότητες τους στην επίλυση γεωμετρικών προβλημάτων. Ο Ίππαρχος(150 π. Χ) είχε επινοήσει ένα απλό μοντέλο για τον ήλιο, έναν ομοιόμορφα περιστρεφόμενο κύκλο και είχε δείξει τον τρόπο πως να αντλεί κάποιος τις παραμέτρους για αυτό το μοντέλο από τη μελέτη της διάρκειας των ετών. Στη συνέχεια ο Πτολεμαίος (3^{ος} μ. Χ) είχε διατηρήσει -και τον είχαν μιμηθεί και οι μεταγενέστεροι αστρονόμοι- αυτή την θεωρία χωρίς να διαχωρίζει το κέντρο του κύκλου από το κέντρο της ομαλής κίνησης του ήλιου, πράγμα που είχε κάνει για τους άλλους πλανήτες.

Η ηλιακή θεωρία ως ενταγμένη στο πλαίσιο της δεύτερης ανωμαλίας ήταν ακόμα πιο στοιχειώδης: ένας επίκυκλος της δεύτερης ανωμαλίας που περιστρέφεται ομαλά γύρω από το κέντρο του, δηλαδή το σημείο που τον προσδένει στο μοντέλο της πρώτης ανωμαλίας. Εκ των υστέρων μπορεί κάποιος να δει ότι αυτό το μοντέλο αντιστοιχεί στην απλούστατη ηλιακή θεωρία που μπορεί να φανταστεί, ως την κίνηση σ' ένα ομόκεντρο κύκλο που περιστρέφεται ομαλά. Ο Κοπέρνικος ήταν ο πρώτος που διέκρινε αυτή την ισοδυναμία και σχεδίασε κατάλληλα τη δεύτερη ανωμαλία με την απλούστατη ηλιακή θεωρία –την θεωρία της γης – δηλαδή ένα ομόκεντρο κύκλο περιστρεφόμενο ομαλά, ενώ για τους άλλους πλανήτες τα μοντέλα του δεν είχαν κέντρο τον ήλιο, αλλά τον μέσο ήλιο, δηλαδή το κέντρο της κυκλικής τροχιάς της γης. Με αυτό τον τρόπο διατηρούνταν οι εξισώσεις του Πτολεμαϊκού μοντέλου για την δεύτερη ανωμαλία.

Το μοντέλο αυτό και η θεωρία της γης ήταν ακατέργαστα και παλαιά και χρειάζονταν επεξεργασία. Ο Τύχο, ο οποίος είχε την δική του θεωρία, δεν συμφωνούσε, πράγμα που φαίνεται στο γράμμα του 1598 προς τον Κέπλερ όπου έγραφε ότι: «ο ομοιόμορφα κινούμενος ομόκεντρος κύκλος εμφανίζεται να

διαστέλλεται και να συστέλλεται».²⁸ Ο Stephenson εικάζει ότι μπορεί κάποιος να υποθέσει ότι ο Τύχο, ως αστρονόμος γαλουχημένος με μια αστρονομία των κύκλων και της ομοιόμορφης περιστροφής, μπορούσε να κάνει μια τέτοια υπόθεση ενώ ο Κέπλερ μετά από κάποια χρόνια συνειδητοποίησε ότι η παλαιά αντίδραση του Τύχο ήταν το κλειδί για την επίλυση των αμφιβολιών του- που περιγράφονταν στο τέλος του *Μυστηρίου*- και αφορούσαν στη φυσική εξήγηση της μεταβολής της ταχύτητας των πλανητών: Αν οι άλλοι πλανήτες επιταχύνουν όταν πλησιάζουν στον ήλιο και επιβραδύνουν όταν απομακρύνονται γιατί η γη να κινείται πάντα με την ίδια ταχύτητα πάνω στον έκκεντρο κύκλο της;

Ο Κέπλερ συνδύασε την παρατήρηση του Τύχο για το κυμαινόμενο μέγεθος της γης και φαίνεται ότι αυτό έλυσε το μυστήριο. Η γη όπως και οι άλλοι πλανήτες κινούνται σε έναν έκκεντρο κύκλο με κέντρο τον εξισωτή. Σύμφωνα με την παρατήρηση του Τύχο, η γη κινείται με ομοιόμορφη κυκλική κίνηση γύρω από τον μέσο ήλιο αλλά δεν βρισκόταν πάντα στην ίδια απόσταση από αυτόν, δηλαδή κινείται σ' έναν έκκεντρο κύκλο με κέντρο τον εξισωτή, όπως και οι άλλοι πλανήτες. Έτσι ο Κέπλερ δεν έχει πια αμφιβολία ότι η γήινη τροχιά έχει το κέντρο της σε ένα σημείο που βρίσκεται ανάμεσα στον ήλιο και στον εξισωτή και ότι σε αυτό οφείλεται το γεγονός ότι η ταχύτητα της μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόσταση της από τον ήλιο.

Ο Κέπλερ προχώρησε στην μέτρηση της τροχιάς της γης, πράγμα καθόλου εύκολο. Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία μπορούσε να βρει τα ηλιοκεντρικά μήκη του Άρη(και να τα επιβεβαιώσει όταν ήταν σε αντίθεση με τον ήλιο) και συγκρίνοντας τα με τα παρατηρούμενα μήκη του Άρη, να βρει τη θέση της γης, αλλά δεν μπορούσε να υπολογίσει την απόσταση του Άρη από τον ήλιο. Ο τρόπος που ο Κέπλερ χειρίστηκε το πρόβλημα μας αποκαλύπτει την ιδιοφυΐα του: χρησιμοποίησε τον Άρη ως σταθερό σημείο. Επειδή όμως ο Άρης κινείται συνεχώς και αυτό που προσπαθούσε να προσδιορίσει ο Κέπλερ ήταν η τροχιά του Άρη, χρησιμοποίησε το γεγονός ότι ο πλανήτης επανερχόταν στην ίδια θέση κάθε περίπου 687 ημέρες, όσο διαρκεί η περιφορά του γύρω από τον ήλιο. Χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις του Τύχο για να βρει την ακριβή θέση του Άρη ως προς την γη σε διάφορες χρονικές στιγμές στο διάστημα των 687 ημερών και γνωρίζοντας τη διεύθυνση στην οποία

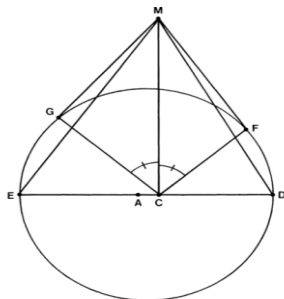
²⁸ G.W., 191:26-32,ό.π

βρισκόταν ο Άρης και ο Ήλιος αυτές τις στιγμές βρήκε τα δύο σημεία που καθόρισαν τη βάση του τριγώνου με κορυφή τη γη και από εκεί προσδιόρισε την τροχιά της γης.

Οι παρατηρήσεις του Τύχο ήταν πολύτιμες για τον Κέπλερ, ο οποίος στηρίχθηκε εξ ολοκλήρου στο πάθος του Τύχο για παρατηρήσεις σε όλους τους διαφορετικούς σχηματισμούς. Οι αστρονόμοι που είχαν προηγηθεί, παρατηρούσαν κυρίως σε κρίσιμες στιγμές-όπως οι αντιθέσεις με τον ήλιο- για να πάρουν από τις παρατηρήσεις αυτές καθαρές απαντήσεις στα ζητούμενα ερωτήματα. Το πρόγραμμα του Τύχο ως λιγότερο κατευθυνόμενο αποδείχθηκε σπουδαίο γιατί ήταν το κίνητρο για τον Κέπλερ να θέσει θέματα που δεν είχε σκεφθεί μέχρι τότε: Αυτό που σκόπευε να αποδείξει ήταν ότι το κέντρο της γήινης ομοιόμορφης γωνιακής κίνησης ήταν διαφορετικό από κέντρο της τροχιάς της δηλαδή ήθελε να δείξει ότι ο εξισωτής για την τροχιά της γης, δηλαδή ο μέσος ήλιος, ήταν έκκεντρος της τροχιάς και για να το πετύχει έπρεπε να συνδέσει το πραγματικό του παρατηρητήριο(του Άρη) με τον μέσο ήλιο. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποίησε το μοντέλο του Τύχο για τον Άρη, το οποίο όπως και η *vicarious hypothesis*, έδινε λάθος αποστάσεις αλλά σωστά μήκη, αλλά από τον Άρη μπορούσε να εντοπίσει τον μέσο ήλιο οποιαδήποτε ώρα και επιπλέον από τις παρατηρήσεις του Τύχο για τον Άρη μπορούσε εντοπίσει την γη.

Στα κεφάλαια 22 και 23 ο Κέπλερ παρουσιάζει την πρώτη μέθοδο, η οποία είναι προσαρμοσμένη στις κατάλληλες παρατηρήσεις προκειμένου να οδηγηθεί στο αποτέλεσμα που επιδιώκει. Στο παρακάτω σχήμα στο A είναι ο πραγματικός ήλιος και στο C ο μέσος ήλιος. Υποθέτοντας ότι η γη, όπως και οι άλλοι πλανήτες κινούνται πιο αργά όταν είναι πιο μακριά από τον ήλιο, στο μοντέλο με εξισωτή η ταχύτητα είναι ελάχιστη, όταν ο πλανήτης είναι στο πλησιέστερο σημείο στο κέντρο του κύκλου με κέντρο τον εξισωτή. Από φυσικής απόψεως επομένως το κέντρο του κύκλου δεν βρίσκεται στο σημείο C, αλλά βρίσκεται ανάμεσα στο σημείο A και C, έτσι ώστε ο πλανήτης θα βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο του κύκλου με κέντρο τον εξισωτή.. Σύμφωνα την διαδικασία που έχουμε περιγράψει πιο πάνω η αψιδοειδής τροχιά της γης είναι η AC, βρίσκεται περίπου $5,5^\circ$ από τον αστερισμό του Καρκίνου έως $5,5^\circ$ του αστερισμού του Αιγόκερω, οπότε αν ο Κέπλερ έβρισκε ένα ζευγάρι παρατηρήσεων στις οποίες η γη να βρίσκεται στην αψίδα DE, την ώρα που ο Άρης βρισκόταν συνέχεια στο ίδιο σημείο M υπό ορθές γωνίες που βαίνουν στην αψιδοειδή τροχιά DE, όπως φαίνεται από το σημείο C (μέσος ήλιος), τότε θα μπορούσε να πει αν το C ήταν το κέντρο της τροχιάς της γης. Αυτό θα συνέβαινε αν

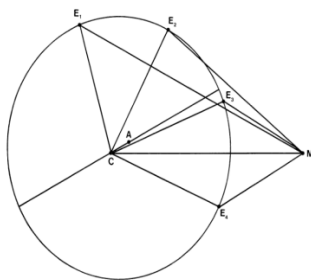
οι γωνίες CMD και CME ήταν ίσες, πράγμα που δεν συνέβη(όπως είχε υποψιαστεί) γιατί το κέντρο το βρήκε πιο κοντά στο A, αφού η γωνία CME βρέθηκε μεγαλύτερη από την CMD.



Σχήμα 5

Ο Κέπλερ απέδειξε -μολονότι τόσο εξειδικευμένες παρατηρήσεις ήταν πολύ δύσκολο να βρεθούν- ότι η περίοδος του Άρη και της γης ήταν μη μετρήσιμες, έτσι ώστε δεν υπήρχε κανένας αριθμός πλήρων περιστροφών του Άρη, που να έβρισκε την γη σε τέτοιες θέσεις που να «βλέπουν» υπό ορθή γωνία. Έπρεπε να βρεθούν θέσεις όπως οι θέσεις F και G στο σχήμα, ώστε οι γωνίες MCF και MCG να είναι ίσες. Ο Κέπλερ μπορούσε να βρει αυτού του είδους τα ζεύγη των παρατηρήσεων στα αρχεία του Τύχο και με τις σχετικές προσεγγίσεις και προσαρμογές, αφού οι παρατηρήσεις δεν ήταν ακριβώς στις στιγμές που ήθελε, αλλά απέκλιναν μια ή δύο μέρες. Όπως ακριβώς περίμενε η γωνία CMG ήταν πάνω από μια μοίρα μεγαλύτερη της γωνίας CMF. Χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία ο Κέπλερ εξέτασε λεπτομερώς τον σχηματισμό και υπολόγισε ότι το κέντρο της γήινης τροχιάς απείχε από τον μέσο ήλιο περίπου 0,18 της ακτίνας προς την κατεύθυνση του πραγματικού ήλιου. Το αποτέλεσμα ήταν ακριβώς αυτό που περίμενε, ότι δηλαδή η γη κινείται όπως και οι άλλοι πλανήτες.

Στο κεφάλαιο 24 ο Κέπλερ επιχειρεί μια νέα προσέγγιση, διατηρώντας τον μηχανισμό των παρατηρήσεων με βάσει την περιοδική κίνηση των 687 ημερών του Άρη, θεωρώντας ότι ο παρατηρητής βρίσκεται στον Άρη και παρατηρεί την γη, αλλά δεν επιμένει σε ιδιαίτερες θέσεις της γης. Η διάταξη του σχήματος 6 πιο κάτω έχει σχεδιαστεί λεπτομερώς από τον Κέπλερ με τέσσερις παρατηρήσεις: όπου στο C είναι ο μέσος ήλιος, στο M είναι ο Άρης, του οποίου το μήκος ήταν γνωστό από τις παρατηρήσεις του Τύχο και τα τέσσερα σημεία E που παριστάνουν τις θέσεις της γης κατά τις στιγμές της παρατήρησης.



Σχήμα 6

Τα μήκη των σημείων από το C ήταν γνωστά αφού το C εξ ορισμού ήταν το κέντρο της ομοιόμορφης γωνιακής κίνησης της γης. Επιπλέον συνδέοντας το M με τα σημεία ήταν γνωστά τα παρατηρούμενα μήκη του Άρη, έτσι για κάθε παρατήρηση είχε όλες τις γωνίες του εκάστοτε τριγώνου γης-Άρη-μέσου ήλιου, οπότε από τον νόμο των ημιτόνων μπορούσε να εκφράσει τις τέσσερις αποστάσεις ανάμεσα στην γη και τον μέσο ήλιο σε σχέση με την κοινή απόσταση MC. Αυτή η διαδικασία έδειχνε ότι οι αποστάσεις ήταν άνισες και τον οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι η γήινη τροχιά ήταν στο πιο κοντινό σημείο στον εξισωτή, όταν η γη βρισκόταν στο αφήλιο, **δηλαδή η γη κινείται με την μικρότερη ταχύτητα όταν βρισκόταν στο απώτατο σημείο από τον ήλιο.**

Με την μέθοδο αυτή δεν είχε τόσο καλά αριθμητικά αποτελέσματα όσο με την προηγούμενη, γιατί αυτός ο σχηματισμός δεν ήταν ιδιαίτερα κατάλληλος στο να υπολογίζει με ακρίβεια τις παραμέτρους, αλλά σε κάθε περίπτωση οδηγείτο στο συμπέρασμα ότι: το κέντρο της γήινης περιστροφής βρίσκεται σε μια θέση ανάμεσα στον ήλιο και στον εξισωτή αυτής της περιστροφής, πράγμα που σημαίνει **ότι η γη και οι άλλοι πλανήτες δεν κινούνται ομοιόμορφα** δηλαδή με σταθερή ταχύτητα στην τροχιά τους, αλλά πότε πιο γρήγορα και πότε πιο αργά, ανάλογα με την απόσταση τους από τον ήλιο. Επιπλέον στα ακραία σημεία της τροχιάς της στο αφήλιο και στο περιήλιο η ταχύτητα της γης αποδεικνυόταν αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης της.

Στο κεφάλαιο 26 ο Κέπλερ έχοντας εκτοπίσει από τον μέσο ήλιο την γήινη τροχιά, ερευνά την διάταξη της σε σχέση με τον πραγματικό ήλιο. Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο αλλά θεωρεί τις επίκεντρες γωνίες με κέντρο τον πραγματικό ήλιο. Οι θέσεις της γης σχετικά με τον ήλιο είναι αρκετά ακριβείς σε σχέση με τα μήκη δίνονται από την ηλιακή θεωρία του Τύχο. Η *vicarious hypothesis*

έδωσε τα πραγματικά ηλιοκεντρικά μήκη του Άρη. Η λύση ήταν περίπου αυτή που επεδίωκε, δηλαδή βρήκε ότι οι θέσεις της γης βρίσκονταν σε ένα κύκλο έκκεντρο σε σχέση με τον ήλιο με κέντρο στη μέση περίπου της απόστασης ηλίου και πραγματικού κέντρου. Στη συνέχεια κατανάλωσε πολλές σελίδες «βασανίζοντας» τις παρατηρήσεις δείχνοντας ότι η υπολογισμένη εκκεντρότητα και η γραμμή των ασπίδων μεταβάλλονται ελάχιστα ακόμα και ανεπαίσθητα. Επιπλέον απέδειξε ότι όταν πλησίαζε την γραμμή των ασπίδων κοντά στην πραγματική της θέση, η εκκεντρότητα πλησίαζε στο 0,18, ή στο μισό της προηγούμενης τιμής της.

Ο Κέπλερ με διάφορους τρόπους στο βιβλίο του σχεδίασε τις ισοδύναμες Πτολεμαϊκές και Τυχονικές εκδοχές των αποδείξεων του, που σχετίζονται με την δεύτερη ανωμαλία του Άρη. Στο 3^ο μέρος η ηλιακή του θεωρία έχει στηριχθεί στις παρατηρήσεις του Άρη και όχι του ήλιου και συνίσταται στον έλεγχο της πρώτης ανωμαλίας με την απομόνωση των παρατηρήσεων από τις πλήρεις περιστροφές του πλανήτη. Από την σκοπιά της καθαρής μαθηματικής αστρονομίας ο Κέπλερ επέμενε να εργάζεται πάνω στην δεύτερη ανωμαλία του Άρη παρά πάνω στη θεωρία της γης ή του ήλιου. Στην κοσμολογία του Κοπέρνικου αυτή ήταν η θεωρία της κίνησης της γης, στην Τυχονική κοσμολογία η θεωρία της κίνησης του ήλιου, ενώ στην Πτολεμαϊκή κοσμολογία ήταν η θεωρία ενός επίκυκλου.

Η ισοδυναμία αυτή είχε σαρωτικές συνέπειες, αφού η συζήτηση δεν γίνεται απλά για το κέντρο του επίκυκλου, γιατί ο επίκυκλος δεν είναι πλέον προσαρτημένος στον έκκεντρο κύκλο από το κέντρο του, αλλά από ένα σημείο κοντά στο κέντρο του επίκυκλου. Αυτό σημαίνει ότι το κέντρο του επίκυκλου διαγράφει ένα δικό του έκκεντρο κύκλο παράλληλο προς έκκεντρο της πρώτης ανωμαλίας, του οποίου όμως η γραμμή των ασπίδων δεν διέρχεται από την γη. Επιπλέον η κίνηση του πλανήτη γύρω από τον επίκυκλο δεν είναι ομοιόμορφη, αφού η ταχύτητα του πάνω στον επίκυκλο εξαρτάται στο πως τοποθετείται σε σχέση με το σημείο της προσάρτησης και με την ζωδιακή θέση της ηλιακής γραμμής των ασπίδων.

Με αυτά τα δεδομένα πριν προχωρήσει στην ανάλυση της κίνησης της γης, στα 28 και 29 κεφάλαια ασχολείται με δοκιμές και διασταυρώσεις των παραμέτρων που είχε συγκεντρώσει, προκειμένου να βεβαιωθεί για την συνέπεια τους. Στο 30^ο κεφάλαιο ο Κέπλερ κατασκεύασε ένα πίνακα με τις αποστάσεις της γης από τον ήλιο για κάθε μοίρα του ημικυκλίου της ανωμαλίας. Ο πίνακας αυτός κατασκευάστηκε με

την υπόθεση ότι η κίνηση ήταν κυκλική με τα εξής μαθηματικά χαρακτηριστικά: είχε ακτίνα 100.000 και εκκεντρότητα 1800. Επιπλέον ο πίνακας είχε ακόμα δύο στήλες με γωνίες, τη μία στήλη ονόμαζε «ισότιμη ανωμαλία»²⁹ και περιείχε τις γωνίες ίσες με την ισοδύναμη ανωμαλία χωρίς την οπτική εξίσωση, χωρίς ωστόσο να γνωρίζουμε το πλήρες νόημα της και την άλλη την ονόμαζε «μέση ανωμαλία»³⁰ και περιείχε την έκκεντρη ανωμαλία, δηλαδή την ισοδύναμη ανωμαλία συν την οπτική εξίσωση³¹. Όπως εξηγεί ο Κέπλερ από αυτά τα δεδομένα μπορούσε κάποιος να βρει τις αποστάσεις μικρότερες χωρίς να φτάνουν στο κύκλο αλλά σε μια ωειδή τροχιά. Αυτή η ανακάλυψη στην πραγματικότητα είναι ένα ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στο κεφάλαιο 30 και στην τελική του θεωρία. Ήταν φυσικό ότι έκανε πίνακα με τις τιμές της ισοδύναμης ανωμαλίας, αφού στην έρευνα του για τον Άρη είχε μεγάλη σημασία το διάνυσμα γης- ήλιου.

Όταν το 1605 ο Κέπλερ ανακάλυψε τους νόμους που διέπουν την κίνηση του Άρη, αμέσως τους επεξέτεινε και στους άλλους πλανήτες συμπεριλαμβανομένης και της γης. Ωστόσο ήθελε ένα διορθωμένο πίνακα εξισώσεων και αποστάσεων της γης από τον ήλιο, αφού ο παλιός είχε κατασκευαστεί με την εσφαλμένη υπόθεση της κυκλικής τροχιάς. Ο τελικός πίνακας με τις διορθώσεις που αφορούσαν στην έκκεντρη ανωμαλία έδινε ακριβή αποτελέσματα με εξαιρετική προσέγγιση περίπου 0,16% προς τα αληθή.

Στα επόμενα οκτώ κεφάλαια ο Κέπλερ, έχοντας νέες ιδέες σχετικά με την κίνηση του Άρη, αφιερώνεται στο να απαντήσει στο θεμελιώδες ερώτημα: **ποιο είναι το αίτιο που ευθύνεται για την κίνηση και τον τρόπο της κίνησης των πλανητών.** Επιχειρεί να εξηγήσει το πρόβλημα προσπαθώντας να δείξει πως μια απλή και λογική φυσική υπόθεση ερμήνευε την επιτυχία του εξισωτή του Πτολεμαίου. Η φυσική εξήγηση του, ήταν ένας σχεδιασμός ενός επιχειρήματος για την Πτολεμαϊκή υπόθεση και την είχε περιγράψει στο 22^ο κεφάλαιο του *Μυστηρίου*: ότι ο πλανήτης κινείται πιο αργά όταν είναι μακριά από τον ήλιο. Τώρα επιχειρεί να επεκτείνει αυτή την αιτιολόγηση με μια γεωμετρική απόδειξη και εισάγει την έννοια της *mora*

²⁹ ισοδύναμη ή πραγματική ανωμαλία είναι το μέτρο της γωνίας της σχετικής κίνησης της γης ή ενός πλανήτη γύρω από τον ήλιο

³⁰ μέση ανωμαλία είναι η γωνία της σχετικής κίνησης της γης ή ενός πλανήτη γύρω από το κέντρο της τροχιάς της γης

³¹ εξίσωση είναι η γωνία που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από την μέτρηση της θέσης ενός πλανήτη γύρω από ένα κέντρο για να δώσει την μέτρηση του γύρω από ένα άλλο κέντρο ή σύμφωνα με την ορολογία του Κέπλερ η γωνιακή διαφορά ανάμεσα σε δύο μετρήσεις των θέσεων ενός πλανήτη.

³²«καθυστερήσεως» του πλανήτη αντί της ταχύτητας. Κατά τον Donahue ³³το γεγονός ότι χρησιμοποίησε τον χρόνο ως ανεξάρτητη μεταβλητή, ως δηλαδή τον χρόνο που διανύει ο πλανήτης, όταν διασχίζει ομοιόμορφα τα τόξα, είναι μεγάλης σημασίας. Επίσης είναι άξιο συζήτησης αν θα είχε διατυπώσει τον δεύτερο νόμο του (τον νόμο των εμβαδών), αν δεν είχε συλλάβει την ιδέα του «διανυθέντα χρόνου» (χρόνος ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης), που είναι το αντίστροφο της σύγχρονης έννοιας της ταχύτητας.

Η ταχύτητα του πλανήτη, δεδομένου ότι μεταβαλλόταν συνεχώς, δεν αποτελούσε ένα αποδεκτό εργαλείο για τον Κέπλερ. Αφού δεν είχε την δυνατότητα να υπολογίσει την στιγμιαία ταχύτητα του πλανήτη ο Κέπλερ προφανώς θεωρούσε περιττό να ασχοληθεί με μια συνεχώς μεταβαλλόμενη ποσότητα στους υπολογισμούς του. Από την άλλη μεριά υπήρξε ακούραστος και ευρηματικός στις προσεγγιστικές μεθόδους οπότε δεν θα απέφευγε να χρησιμοποιήσει μια κατάλληλη θεωρία του απειροστικού λογισμού προκειμένου να βοηθηθεί στους υπολογισμούς του. Ο λόγος που δεν το έκανε κατά τον Stephenson, δεν ήταν η αδυναμία του να ορίσει ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο μέγεθος- όπως είναι η ταχύτητα-αλλά προβληματιζόταν από το είδος του μεγέθους αυτού, ως οριζόμενου από το πηλίκο ανόμοιων ποσοτήτων. Η ταχύτητα δεν ήταν ούτε ένας καθαρός αριθμός, ούτε ένα γεωμετρικό μέγεθος, δηλαδή ήταν για τον Κέπλερ ένας ακατάλληλος λόγος, που δεν μπορούσε να τον σχεδιάσει με γεωμετρικό τρόπο δηλαδή δεν μπορούσε να παραστήσει την ταχύτητα σε ένα γεωμετρικό διάγραμμα της τροχιάς - δεδομένου ότι έκανε τις θεωρητικές του αναλύσεις ως επί το πλείστον με γεωμετρικές μεθόδους .

Στο μοντέλο του εξισωτή , ο Κέπλερ αναπαριστούσε τον χρόνο με τόξα(αργότερα με εμβαδά). Η συνήθης πρακτική του ήταν να δουλεύει με τα χρονικά διαστήματα που ο πλανήτης χρειαζόταν για να διασχίσει ένα συγκεκριμένο τόξο της τροχιάς του, που όπως προαναφέρθηκε στην ορολογία του το αποκαλούσε «καθυστερήση» του πλανήτη και ήταν σχεδόν το αντίστροφο της με την σύγχρονη έννοια ταχύτητας, δηλαδή ως καθυστέρηση θεωρούσε μάλλον το πηλίκο του τόξου(χρόνος) δια του μήκους του. Ο Κέπλερ προκειμένου να εξυπηρετήσει την μάλλον δυσκίνητη σύλληψη του θεωρούσε κατά κανόνα ότι οι «καθυστερήσεις» στα τόξα ήταν πολύ

³² Mora: κατά γράμμα «καθυστερήση»'delay' και εννοεί τον χρόνο που χρειάζεται ο πλανήτης για να διασχίσει ένα τόξο της τροχιάς του (διανυθείς χρόνος)

³³Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., *Johannes. Kepler, New Astronomy* , 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, σελ 36

μικρές και περίπου ίσες χωρίς να είναι κατ' ανάγκη τα τόξα ίσα. Αργότερα όταν η έρευνα του προχώρησε σε πιο εξελιγμένο στάδιο ανέλυε τις καθυστερήσεις σε τόξα άνισου μήκους, που ωστόσο ευσταθούσαν από την άποψη της φυσικής.

Στο μυαλό του Κέπλερ η ταχύτητα ήταν κάτι ενεργό, ως μια μάχη μεταξύ της δύναμης που προκαλεί την κίνηση και της φυσικής αντίστασης που προβάλλει η ύλη στην δύναμη αυτή. Στη θεωρία του Κέπλερ μολονότι ο χρόνος εκφραζόταν ως απόσταση ή εμβαδόν στην γεωμετρία της τροχιάς του πλανήτη δεν μπορούσε να διαιρεθεί σε ίσα τμήματα, οπότε κρατούσε σταθερά τα διανυθέντα διαστήματα της απόστασης, αφού στο διάγραμμα του μπορούσε να διαιρεί σε ίσα τμήματα τις αποστάσεις. Με γεωμετρικό τρόπο απέδειξε ότι για ίσα τόξα στο αφήλιο και στο περιήλιο, οι «καθυστερήσεις» είναι ευθέως ανάλογες με τις αποστάσεις από τον ήλιο οπότε οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι το Πτολεμαϊκό μοντέλο του εξισωτή έδινε καθυστερήσεις ανάλογες με τις αποστάσεις από τον ήλιο.

Αν ο Κέπλερ είχε χρησιμοποιήσει πιο επεξεργασμένα μοντέλα για τις προσεγγίσεις που έκανε θα είχε αποφύγει τις εναλλαγές αριθμητικών και γεωμετρικών μέσων. Ο νόμος των αποστάσεων ισχύει ακριβώς στις ασπίδες στην κίνηση με εξισωτή με διχοτομημένη εκκεντρότητα και τελείως τυχαία στη κίνηση πάνω σε έλλειψη, όπου όταν ο Κέπλερ γράφει την *Astronomia nova* από ότι δηλώνει ο ίδιος προφανώς δεν γνώριζε την εγκυρότητα του.

Κλείνοντας το κεφάλαιο 32 ισχυρίζεται ότι το θεώρημα δεν ισχύει έξω από τις ασπίδες και η απόδειξη του καταρρέει διότι οι ακτίνες από τον ήλιο και τον εξισωτή δεν τέμνουν υπό ορθές γωνίες τους κύκλους, έτσι τα τρία ζεύγη τριγώνων δεν είναι όμοια. Αργότερα ο Κέπλερ χρησιμοποίησε τον νόμο των αποστάσεων σε όλα τα σημεία της τροχιάς –μολονότι δεν τον είχε αποδείξει- διότι θεώρησε ότι είναι σωστός από φυσικής απόψεως, δηλαδή ότι ένα γεωμετρικό τέχνασμα, όπως ήταν το μοντέλο του εξισωτή, ήταν περίπου αληθινό δηλαδή ισοδύναμο με μια αληθινή από φυσικής απόψεως θεωρία η οποία ίσχυε και στις ασπίδες και σε κάθε άλλο σημείο της τροχιάς.

Ο σκοπός του Κέπλερ στο κεφ.32 ήταν να εξηγήσει ότι το μοντέλο του εξισωτή μπορούσε να λειτουργήσει, δηλαδή ότι τα μοντέλα που βασίζονται στο μέσο ήλιο μπορούν να είναι προσεγγιστικά ακριβή. Τελικά απέδειξε αν και όχι με κάποια μεγάλη ακρίβεια, ότι όλες οι ικανοποιητικές θεωρίες για την πρώτη ανωμαλία οδηγούσαν σε μια σιωπηλή συμφωνία πραγμάτων ότι δηλαδή: «όταν ο πλανήτης είναι

πιο μακριά από το σημείο που λαμβάνεται ως το κέντρο του σύμπαντος, τότε κινείται πιο αργά». Ήταν λοιπόν η απόσταση μεταξύ των σωμάτων που είχε κατά τον Κέπλερ αιτιώδη προτεραιότητα σχετικά με την περιστροφή τους και τις μεταβολές στην κίνηση τους, άρα αν κάποιος ήθελε να αναζητήσει το αίτιο της κίνησης, θα έπρεπε να ψάξει σε κάποιο από τα σώματα, που βέβαια το πιο πιθανό ήταν το σώμα που βρισκόταν στο κέντρο του κόσμου στις εκάστοτε διατυπωμένες θεωρίες του κόσμου.

Η υπόθεση ότι το σώμα που βρίσκεται στο κέντρο του κόσμου ήταν η πηγή οποιασδήποτε κινητήριας δύναμης πρόσφερε μια απολύτως λογική φυσική εξήγηση, άλλωστε υπήρχαν και πολύ γνωστά παραδείγματα από την φυσική, όπως ο μοχλός ή η ζυγαριά, όπου φαίνεται ότι η επίδραση της κινητήριας δύναμης ελαττώνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση. Η σχέση λοιπόν ανάμεσα στην απόσταση και την ταχύτητα του πλανήτη δικαιολογούσε τη μεταβολή της ταχύτητας του. Από την άλλη μεριά αν επρόκειτο για μια ζωική δύναμη- όπως είχε υποθέσει στην πρώιμη μελέτη του στο *Μυστήριο*- που πηγάζει από κάποιου είδους ψυχή στο πλανήτη, τότε αυτή θα εξαντλείτο αν έπρεπε να μεταβάλλεται με τόση ένταση. Οι μεταβολές της ταχύτητας δεν έπρεπε λοιπόν να αποδίδονται στη ανεξήγητη δραστηριότητα κάποιας ψυχής, αλλά ήταν το φυσικό αποτέλεσμα της αυξανόμενης απόστασης.

Τα φυσικά επιχειρήματα του Κέπλερ είχαν κοσμολογικές συνέπειες, που συνηγορούσαν υπέρ του Κοπερνίκειου συστήματος, στο οποίο το κεντρικό σώμα που προκαλούσε την κίνηση, δεν ήταν άλλο από τον ίδιο τον ήλιο. Στα Πτολεμαϊκά μοντέλα δεν υπήρχε ένα σώμα στο κέντρο του επίκυκλου, οπότε ο Κέπλερ δεν μπορούσε να υπολογίσει τις μεταβολές της ταχύτητας του πλανήτη που κινείτο στον επίκυκλο, ενώ το Τυχονικό μοντέλο ήταν λίγο καλύτερο, αφού οι πλανήτες περιστρέφονταν γύρω από τον ήλιο.

Η κινητήρια δύναμη που προερχόταν από τον ήλιο έμοιαζε να έχει ένα κοινό δελεαστικό χαρακτηριστικό με το φως: εκπορευόταν μέσω του διαστήματος από τον ήλιο χωρίς να ελαττώνεται. Ο Κέπλερ είχε αποδείξει ότι η «καθυστέρηση»(το αντίστροφο της ταχύτητας) του πλανήτη σε ένα μικρό τόξο της διαδρομής του αυξανόταν σε αναλογία με την απόσταση, αλλά η περιφέρεια³⁴ μια πλήρους περιστροφής γύρω από τον ήλιο αυξανόταν με την ίδια αναλογία, που σημαίνει ότι η

³⁴ οι περιφέρειες στις οποίες αναφέρεται δεν αντιστοιχούσαν σε πραγματικές τροχιές, αλλά σε μάλλον σε υποθετικές διαδρομές με κέντρο τον ήλιο. Επιπλέον ο Κέπλερ δεν γνώριζε την ύπαρξη της κεντρομόλου δύναμης, που χρειάζεται προκειμένου ένας πλανήτης να προσδεθεί στην τροχιά ενός κύκλου και ότι η αδράνεια τον αναγκάζει να κινείται στην εφαιτομένη της καμπύλης

ικανότητα της ηλιακής δύναμης να παράγει κίνηση παρέμενε ίδια συνολικά σε κάθε απόσταση. Επιπλέον είχε αποδείξει στο πρώτο μέρος του βιβλίου του *Astronomia pars Optica* (το οπτικό μέρος της Αστρονομίας) ότι το φως δεν χάνεται κατά την μεταφορά, πράγμα που ακριβώς συμβαίνει και με τη δύναμη. Στο ίδιο σημείο του βιβλίου αυτού ισχυρίζεται ότι το φως όπως και η δύναμη δεν καταναλώνεται ανάμεσα στον ήλιο και τους πλανήτες και θεωρεί την δύναμη ως άυλη εικόνα της φωτιάς που βρίσκεται στο σώμα του ήλιου. Επίσης αναφερόμενος στη δύναμη, την θεωρεί όχι σαν γεωμετρικό σώμα αλλά μάλλον ως «ένα είδος επιφάνειας, όπως και το φως...» η οποία προσλαμβάνεται και ενεργεί σε ολόκληρο τον όγκο των πλανητών.

Η έκφραση «εικόνα» είναι παρεξηγημένη στις περισσότερες ερμηνείες που έχουν δοθεί παγκοσμίως σε αυτό το κείμενο, θεωρώντας ότι η ηλιακή «εικόνα» (δύναμη) περιορίζεται στο επίπεδο της εκλειπτικής. Ωστόσο ο Κέπλερ δεν έγραψε ότι η δύναμη είναι σαν ένα επίπεδο, αλλά σαν μια επιφάνεια, άρα όχι κατ' ανάγκη επίπεδη. Επιπλέον παρομοίασε την δύναμη με το φως, όπου στο πρώτο μέρος της *Astronomia pars Optica*, αναφέρεται σε κίνηση του φωτός που γίνεται σε ευθείες γραμμές, αλλά αυτό που κινείται θεωρείται από τον Κέπλερ, ως μια επιφάνεια που εξαπλώνεται σφαιρικά με απεριόριστη ταχύτητα. Πρόκειται για μια διάκριση ανάμεσα στην κίνηση του φωτός σε ευθείες γραμμές και στην επιφάνεια που σχηματίζεται από αυτό, το οποίο κινείται, που θα το λέγαμε σήμερα κύμα.³⁵ Η δράση του φωτός πάνω σε μια επιφάνεια είναι στιγμιαία ενώ η κινητήρια δύναμη όχι αφού το σώμα αντιστέκεται.

Προφανώς ο Κέπλερ παρομοίαζε την ηλιακή δύναμη με μια σφαιρική επιφάνεια, λόγω του τρόπου με τον οποίο εξαπλωνόταν μέσα στο διάστημα, με τον ίδιο τρόπο που μεταδίδεται το φως, χωρίς να υφίσταται καμία απώλεια. Η ερμηνεία ότι η ηλιακή εικόνα σχηματίζει μια επιφάνεια δεν έλυνε το μυστήριο της δράσης της ηλιακής δύναμης, πράγμα που φαίνεται στα λόγια του Κέπλερ: «το φως ρέει προς τα έξω σε ευθείες γραμμές σφαιρικά, η κινητήρια δύναμη επίσης ρέει σε ευθείες γραμμές, αλλά κυκλικά, δηλαδή κινείται προς μια κατεύθυνση του ουρανού από τα δυτικά προς τα ανατολικά ούτε προς πίσω ούτε προς τους πόλους...»³⁶. Αργότερα στο 36^ο κεφάλαιο προκειμένου να αντιμετωπίσει την δυσκολία σε αυτή την αναλογία, την αντικατέστησε με την ιδέα ότι το φως εξασθενεί αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης.

³⁵ Ο Κέπλερ δεν θεωρούσε το φως ως κύμα

³⁶ G.W.,3:240 :8-10, ό.π

Ο απώτερος στόχος του Κέπλερ ήταν η πηγή της ηλιακής «εικόνας», δηλαδή ο ίδιος ο ήλιος. Αναφερόμενος στην ηλιακή «εικόνα» επεσήμανε ότι κινείται στη κατεύθυνση ώστε να ωθεί τους πλανήτες, ότι είναι άυλη και ότι μεταδίδεται ακαριαία. Θεωρεί την κίνηση της «εικόνας» ως προσδεμένη στην κίνηση της πηγής(ήλιος) από την οποία πηγάζει και ότι σαρώνει γύρω της ότι συναντά, καθώς ο ήλιος περιστρέφεται, παρομοιάζοντας την ως ένα ρήτορα που περιστρέφει το κεφάλι του ευρισκόμενος στο κέντρο του ακροατηρίου. Οι πλανήτες δεν κινούνται από την ακαριαία μετάδοση της ηλιακής εικόνας, η οποία κινείται με πεπερασμένη ταχύτητα σαν είναι προσδεμένη στην υλική πηγή της (τον ήλιο), που εν τέλει προκαλεί την κίνηση τους. Επιπλέον ανάμεσα στους πόλους της ηλιακής περιστροφής βρίσκεται ο μεγάλος κύκλος της εκλειπτικής, του οποίου την φυσική προέλευση γνώριζε ο Κέπλερ³⁷ και κοντά στο επίπεδο της εκλειπτικής κινούνταν όλοι οι πλανήτες με ταχύτητα φθίνουσα όσο απομακρύνονταν από τον ήλιο, ενώ την μέγιστη ταχύτητα κίνησης είχε ο ήλιος. Έτσι υποθέτει ότι ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του με περίοδο κάπως μικρότερη από την περίοδο των 90 ημερών του Ερμή.

Ο Κέπλερ επηρεασμένος ίσως από το βιβλίο *De Magnete* του Gilbert³⁸, αναζητώντας τη φύση του ηλιακού σώματος, το οποίο περιστρέφεται και ασκεί δύναμη στους μακρινούς πλανήτες, σκέφτηκε μια ακόμα αναλογία, αυτή τη φορά με τον μαγνήτη. Ο Κέπλερ περιγράφει ως εξής: «*Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο η κινητήρια δύναμη που κινεί τους πλανήτες, μεταδίδεται από τον ήλιο μέσα σε μια σφαίρα και είναι πιο ασθενής για τα πιο απομακρυσμένα μέρη της σφαίρας*». Γνωρίζουμε ότι ο ήλιος δεν έλκει τους πλανήτες όπως ο μαγνήτης τον σίδηρο, αλλά δεδομένου ότι ο Gilbert είχε επισημάνει την ικανότητα του μαγνήτη να κατευθύνει τον σίδηρο παράλληλα προς τον μαγνήτη, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο Κέπλερ κατ' αναλογία υποθέτοντας ότι ο ήλιος διαθέτει μια ελκτική δύναμη σαν αυτή του μαγνήτη και ίνες παράλληλες προς τον ισημερινό του, τότε με κάποιο τρόπο η «εικόνα» του μπορεί να μεταφέρει τους πλανήτες καθώς οι ηλιακές ίνες κινούνται και αυτές από το σώμα του κινούμενου ήλιου.

³⁷ Όπως αναφέρεται σε σημείωση της σελ.70 στο βιβλίο του Bruce Stephenson *Kepler's Physical Astronomy* ο Delambre δεν δεχόταν αυτή την παραδοχή, επικαλούμενος ότι ο Κέπλερ δεν είχε αποδείξει ότι ο ηλιακός ισημερινός συνέπιπτε με το επίπεδο της τροχιάς της γης (εκλειπτική), πράγμα που ο Κέπλερ γνώριζε και είχε με συνέπεια υποστηρίξει ότι η γη ήταν ένας πλανήτης όπως όλοι οι άλλοι.

³⁸ Άγγλος γιατρός, φυσικός και φυσικός φιλόσοφος. Απέρριψε με πάθος την επικρατούσα αριστοτελική φιλοσοφία και τη σχολαστική μέθοδο της πανεπιστημιακής διδασκαλίας. Τον θυμούνται σήμερα σε μεγάλο βαθμό για το βιβλίο του *De Magnete* (1600), και πιστώνεται ως ένας από τους δημιουργούς του όρου «ηλεκτρικής ενέργειας»

Πράγματι ο Gilbert είχε αποδείξει ότι και η ίδια η γη στην πραγματικότητα είναι ένας μεγάλος μαγνήτης. Αν λοιπόν υποθεθεί ότι διαθέτει κυκλικές ίνες γύρω από τον άξονα της, τότε ερμηνεύεται και η κίνηση της σελήνης με την παραπάνω θεωρία που αναφέρεται στους πλανήτες. Αφού η κίνηση της γης σχετίζεται με την κινήσεις της σελήνης με παρόμοιο τρόπο με εκείνο του ήλιου με τους πλανήτες και η γη είναι ένας μαγνήτης, θα μπορούσε κάποιος να υποθέσει ότι και ο ήλιος είναι επίσης ένας μαγνήτης.

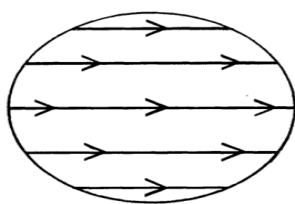
Στο κεφάλαιο 35 ο Κέπλερ αναρωτιέται κατά πόσο οι εκλείψεις των πλανητών επηρεάζουν την ηλιακή «εικόνα», πράγμα που με την σειρά του ερμηνεύει την αργή κίνηση τους στις ασίδες και στους πόλους. Στη συνέχεια ανασκευάζοντας τα επιχειρήματα του, θεωρεί την αναλογία με το φως ανακριβή, δεδομένου ότι το σώμα του ήλιου είναι αδιαφανές και μπλοκάρει το φως και την αναλογία με τον μαγνήτη επίσης αστήρικτη, διότι η δύναμη τους διέρχεται μέσα από διάφορα υλικά όπως ασήμι, χρυσό, γυαλί κτλ, αλλά μπλοκάρεται από την επέμβαση μιας μαγνητικής επιφάνειας (*magnetica tabella*), που μπορεί και απορροφά την μαγνητική δύναμη.

Στη συνέχεια ο Κέπλερ επανέρχεται στο μείζον θέμα της αιτιολόγησης της απλής ή αντίστροφης αναλογίας της κινητήριας δύναμης με την απόσταση. Προτείνει υποθετικά και μάλλον δυσνόητα επιχειρήματα προκειμένου να υποστηρίξει ότι τόσο το φως όσο και η κινητήρια δύναμη ελαττώνονται κατά τουλάχιστον το τετράγωνο ή ακόμα και τον κύβο της απόστασης από την πηγή τους. Επιπλέον επιμένει ότι η δύναμη δεν έχει να κάνει ούτε με το μέγεθος ούτε με την εμφάνιση του ηλιακού δίσκου. Ισχυρίζεται ότι το σύνολο του φωτός ή της κινητήριας δύναμης είναι το ίδιο σε μια σφαιρική επιφάνεια οποιασδήποτε ακτίνας και μόνο στις σφαίρες που εκτείνονται εξασθενούν αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης³⁹. Η θεωρία αυτή εγείρει περισσότερα ερωτήματα παρά απαντήσεις με κύριο ερώτημα πως μπορεί κάποιος να ερμηνεύει με τα ίδια επιχειρήματα και για το φως και για την κινητήρια δύναμη κάνοντας συγχρόνως διάκριση στους διαφορετικούς τρόπους εξασθένησης τους; Έχουν δοθεί πολλές ερμηνείες από μελετητές της φυσικής του Κέπλερ.

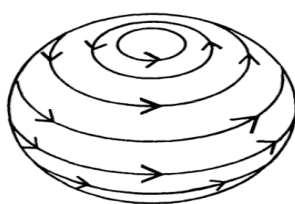
Ο Stephenson επιχειρώντας να ερμηνεύσει αυτήν την θεωρία, αναλύει προσεκτικά το τελευταίο απόσπασμα από το κεφάλαιο 36, στο οποίο ο Κέπλερ αναφέρεται σε νήματα (*filament*), δηλαδή σε ινώδεις κατασκευές, που περικυκλώνουν

³⁹ G.W., 3:250: 19-27

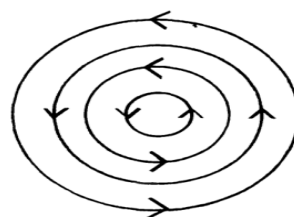
τον ήλιο, όπως οι παράλληλες του γεωγραφικού πλάτους. Συγκεκριμένα από το απόσπασμα αυτό⁴⁰ συμπεραίνει κάποιος ότι ο Κέπλερ θεωρούσε ότι η ηλιακή δύναμη δεν περιοριζόταν στην εκλειπτική, αλλά μεταδιδόταν προς όλες τις κατευθύνσεις, με κυκλική κίνηση. Αυτό που επιχειρεί είναι να δείξει πως η κίνηση των πλανητών παραμένει κοντά στην εκλειπτική: Για ένα πλανήτη κοντά στο ζωδιακό κύκλο, το ηλιακό σώμα φαίνεται όπως στο σχήμα 7, όπου είναι περικυκλωμένο από κάτι σαν μαγνητικά νήματα ή ίνες (*fibrae*). Τα τμήματα των μαγνητικών ινών που «φαίνονται» από τον πλανήτη, είναι σε ημικυκλική μορφή, αλλά εμφανίζονται σε ευθεία, κινούμενα σε συμφωνία από αριστερά προς τα δεξιά απέναντι από τον ήλιο. Η «εικόνα» τους, ωθεί τον πλανήτη προς την ίδια κατεύθυνση. Αν τώρα ο πλανήτης βρίσκεται σε κάποιο μεγαλύτερο πλάτος, τα νήματα διατάσσονται όπως στο σχήμα 8, με τα περισσότερα από τα ορατά νήματα να κινούνται επίσης από τα αριστερά προς τα δεξιά. Αλλά κάποια από αυτά βρίσκονται πέραν των πόλων όπως στο σχήμα 9 και κινούνται από τα δεξιά προς τα αριστερά και κατά τον Κέπλερ είναι λιγότερο κατάλληλα για να κινούν τους πλανήτες.



Σχήμα 7



Σχήμα 8



Σχήμα 9

Ο Κέπλερ θέλει να τονίσει ότι η κίνηση των πλανητών οφείλεται στην κίνηση αυτών των νημάτων και όχι στη ύπαρξη απλά της ηλιακής εικόνας (*species*)⁴¹. Όσον αφορούσε τον πλανήτη στο επίπεδο του ηλιακού ισημερινού, η κίνηση του ήλιου ήταν αποκλειστικά μιας κατεύθυνσης δηλαδή προς την ανατολή, ενώ σε μια υψηλότερη σε πλάτος θέση του πλανήτη, η κίνηση ήταν πιο περίπλοκη. Ενώ επεκτείνοντας από μια θέση με θέα πάνω από τον πόλο, η εμφάνιση της κίνησης του ήλιου έτεινε εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα ο πλανήτης που

⁴⁰ B.Stephenson. *Kepler's Physical Astronomy*, σελ.73-74

⁴¹ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., *Johannes. Kepler, New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, ,σελ.398-399

επηρεαζόταν από ολόκληρη την εικόνα την αποτελούμενη από όλα τα νήματα, θα ωθείτο από όλες τις κατευθύνσεις εξίσου και κατά συνέπεια δεν θα κινείτο.

Συνοψίζοντας φαίνεται ότι ο Κέπλερ επινόησε αυτόν τον μηχανισμό προκειμένου να εξηγήσει γιατί οι πλανήτες βρίσκονται κοντά στο ίδιο επίπεδο, που όμως δεν αποτελεί επιχείρημα για την ερμηνεία του αυτού του φαινομένου, που να αντέχει με όρους φυσικής. Από την άλλη μεριά χρησιμοποιεί την λέξη «είδος» (*species*) με την κυριολεκτική σημασία της λέξης, ως κάτι θεατού, δηλαδή μιας «εικόνας» και όχι ενός πράγματος με μεταφυσική ή μυστική σημασία. Επιπλέον φαίνεται να έχει επίγνωση ότι η επινόηση του όρου «*species*» δεν αποτελεί την εξήγηση στο πως ένας πλανήτης «μπορεί» να προσλάβει την «εικόνα» των μαγνητικών νημάτων.

Κατά τον Stephenson, αξίζει κάποιος να αξιολογήσει την αιτιολόγηση που δίνει ο Κέπλερ στο φαινόμενο της εξασθένησης της κινητήριας δύναμης αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης, όχι τόσο για να συγκρίνει αναχρονιστικά την Κεπλερική ηλιακή δύναμη έναντι της Νευτώνειας θεωρίας της βαρύτητας, αλλά για να κρίνει αυτή καθαυτή την αναλογία, που ο Κέπλερ θεωρούσε ότι υπάρχει ανάμεσα στο φως και την κινητήρια δύναμη. Ο Κέπλερ θεωρούσε ότι αφού η ταχύτητα των πλανητών μεταβαλλόταν αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης τους από τον ήλιο, τότε και το αίτιο που προκαλεί την κίνηση τους θα ακολουθούσε την ίδια σχέση. Με την πάροδο του χρόνου, η υπόθεση αυτή που στηρίχθηκε σε εμπειρικά γεγονότα ατόνησε και αφού απασχόλησε τους εκάστοτε περίεργους μελετητές, χάθηκε μέσα στη λάμψη της Νευτώνειας φυσικής.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η φαινόμενη ταλάντωση του πλανήτη

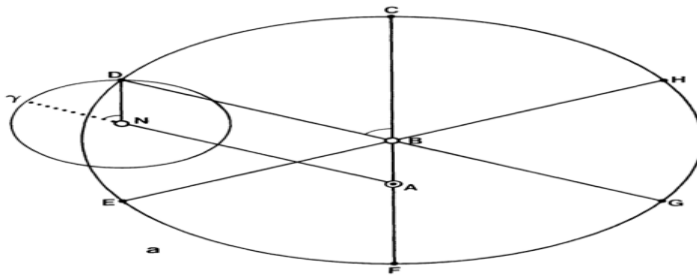
Στο 39^ο κεφάλαιο του τρίτου μέρους ο Κέπλερ, αρχίζει να εξετάζει εξονυχιστικά τις αλλαγές της απόστασης του πλανήτη από τον ήλιο ή όπως ο ίδιος έλεγε το ύψος τους πάνω από τον ήλιο. Έχει σκεφθεί ότι αν η κινητήρια δύναμη (με την μορφή που περιγράφηκε παραπάνω) ενεργούσε μόνο αυτή πάνω στους πλανήτες, τότε θα κινούνταν σε κύκλους με κέντρο τον ήλιο και σε ένα επίπεδο παράλληλο στον ηλιακό ισημερινό με σταθερή ταχύτητα. Αλλά δεδομένου ότι οι πλανήτες κινούνται άλλοτε πιο κοντά και άλλοτε μακρύτερα από τον ήλιο, η ταχύτητα τους μεταβάλλεται σε αντίστροφη σχέση με την απόσταση και επιπλέον κινούνται σε διαφορετικά επίπεδα, φαινομενικά δραπετεύοντας από το επίπεδο του ηλιακού ισημερινού.

Παρατηρώντας ότι κάθε πλανήτη εκτός από την κίνηση του γύρω από τον ήλιο, εμφανίζει επιπλέον δύο περιοδικές ταλαντώσεις σε κατευθύνσεις κάθετες προς την κινητήρια ηλιακή δύναμη, οδηγείται στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει μια ενδογενής δύναμη «*vis insita*» σε κάθε πλανήτη, η οποία τον κινεί και τον κατευθύνει. Επιπλέον κάθε πλανήτη έχει διαφορετική εκκεντρότητα και κινείται σε διαφορετικό επίπεδο, χωρίς η κίνηση του ενός να επηρεάζει την κίνηση του άλλου.

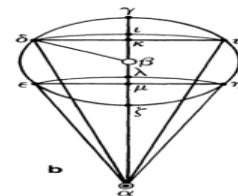
Ο Κέπλερ φαντάζεται ότι ο πλανήτη είναι τοποθετημένος σε μια κινούμενη «επιδέξια» ακτίνα (*radius virtuosus*), που τον συνδέει με τον ήλιο. Επιπλέον φαντάζεται ότι η κίνηση του πλανήτη πραγματοποιείται κατά μήκος της ακτίνας αυτής, την οποία θεωρεί ως θέση αναφοράς γύρω από την οποία ταλαντώνεται ο πλανήτη. Επιχειρεί έτσι να αναλύσει το σχήμα μιας τροχιάς με φυσικές συντεταγμένες, για να βρει πως δρουν οι δυνάμεις πάνω στον εκάστοτε πλανήτη.

Στο παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 9 απεικονίζεται η κυκλική τροχιά του πλανήτη με κέντρο το σημείο B και με τον ήλιο στο σημείο A και η ισοδύναμη επικυκλική απεικόνιση για μια επιλεγμένη θέση D. Το κέντρο του επίκυκλου N κινείται σε ένα κύκλο που είναι ομόκεντρος με τον ήλιο και ο πλανήτης κινείται γύρω από το N με αντίθετη κατεύθυνση, έτσι ώστε το τμήμα ND να παραμένει ίσο με την εκκεντρότητα AB του έκκεντρου κύκλου. Επειδή ο Κέπλερ ήθελε να αναλύσει τις αποστάσεις από το A (ήλιος) προς τα διάφορα σημεία της διαδρομής προκειμένου να

τις συγκρίνει, μετέφερε τον ήλιο και τον επίκυκλο όπως στο διάγραμμα του σχήματος 10, όπου στο α είναι ο ήλιος και το β είναι το κέντρο του επίκυκλου. Προκειμένου να διατηρήσει την ισοδυναμία, θεωρεί το αβ ίσο με την ακτίνα του έκκεντρου κύκλου του σχήματος 9 και την ακτίνα του επίκυκλου ίση με την εκκεντρότητα. Οποιαδήποτε απόσταση από το σχήμα 9 μπορεί να μεταφερθεί στο σχήμα 10, αν πάρει κάποιος πάνω στο επίκυκλο του σχήματος 10 γωνία (επικυκλική ανωμαλία) ίση με την γωνία (έκκεντρη ανωμαλία) της τροχιάς. Για παράδειγμα η έκκεντρη ανωμαλία στο σημείο D μετριέται με την γωνία CBD, έτσι στο σχήμα 10 κατασκευάζεται μια γωνία γβδ ίση με την CBD. Έτσι εκ κατασκευής τα τρίγωνα AND και αβγ είναι όμοια, οπότε η αδ ισούται με την απόσταση AD από τον ήλιο. Για να συγκρίνει κάποιος τις αποστάσεις, αρκεί κάποιος να τις μεταφέρει όλες στην κεντρική γραμμή, σχεδιάζοντας ένα τόξο του κύκλου με κέντρο το α (ήλιος), π. χ το τόξο δι.



Σχήμα 9



Σχήμα 10

Απεικονίζοντας το πρόβλημα στα παραπάνω διαγράμματα, προσπαθεί να φανταστεί από την μεταβολή των αποστάσεων, από ποιόν ή από ποιους κύκλους κατασκευάζεται η διαδρομή του πλανήτη. Ολόκληρη αυτή η κατασκευή δεν ήταν αξιόπιστη από την πλευρά της φυσικής, καθώς περιείχε πολύπλοκες υποθέσεις όπως ότι ένας πλανήτης θα μπορούσε να κινείται μη ομοιόμορφα γύρω από ένα κενό σημείο, το οποίο με την σειρά του κινείται μη-ομοιόμορφα, σε έναν κύκλο γύρω από τον ήλιο ή ότι θα μπορούσε να κινηθεί μη ομοιόμορφα γύρω από άδριο κέντρο ενός έκκεντρου κύκλου με μόνο οδηγό το φαινομενικό μέγεθος του ηλιακού δίσκου. Ο Κέπλερ μπορούσε να κατασκευάσει το πλήθος των αποστάσεων και των απομακρύνσεων του πλανήτη, αλλά δεν μπορούσε να βρει το υπόδειγμα που ακολουθούν.

Στο σχήμα 10 φαίνεται ότι οι αποστάσεις με τις οποίες ο πλανήτης πλησιάζει τον ήλιο, ενώ διανύει τα ίσα τόξα γδ, δε και εζ της τροχιάς του ήταν αντίστοιχα των γι, ιλ και λζ. Αυτές οι αποστάσεις ήταν μικρές κοντά στις αψίδες και μεγαλύτερες στα ενδιάμεσα διαστήματα, επιπλέον μια μικρή απόσταση κοντά στο περιήλιο, όπως το λζ, ήταν μεγαλύτερη από το αντίστοιχη γι στο αφήλιο. Ο Κέπλερ δεν μπορούσε να ελέγξει αυτές τις ανωμαλίες στην κίνηση ούτε με την θεωρία των «καθυστερήσεων» του πλανήτη, αφού οι «καθυστερήσεις» αντιστοιχούσαν σε ίσα τόξα που μειώνονταν σε ολόκληρο το ημικόκλιο, αλλά ούτε με την γωνιακή κίνηση του πλανήτη γύρω από τον ήλιο, αφού οι γωνίες έβαιναν αυξανόμενες.

Αυτό που έχει ενδιαφέρον σε αυτή την κατασκευή, είναι ότι ο Κέπλερ ανέλυσε την κίνηση πάνω σε έναν έγκεντρο κύκλο, δηλαδή ένα μοντέλο που ήταν σε γενική χρήση για σχεδόν δύο χιλιετίες, προφανώς το απλούστερο δυνατό μοντέλο με οποιαδήποτε εμπειρική ακρίβεια, προκειμένου να δείξει ότι ως μια φυσική διαδικασία (χωρίς την ύπαρξη των συμπαγών σφαιρών) ήταν τόσο περίπλοκη που δημιουργούσε αμφιβολίες για το αν μπορεί να υφίσταται.

Ο Κέπλερ ερμηνεύοντας την αστρονομία ως μια φυσική επιστήμη, φαίνεται να επιχειρεί μια ριζική επαναξιολόγηση της. Από αυτή την προσέγγιση δεν κέρδισε πολλά, ωστόσο βρήκε νέα και αποτελεσματικά κριτήρια για την αξιολόγηση των θεωριών και κυρίως άρχισε να συνειδητοποιεί ότι μια θεωρία δεν ήταν επαρκής επειδή ήταν μαθηματικά εύλογη και ότι τα σώματα κινούνταν από φυσικές δυνάμεις που ασκούν το ένα στο άλλο.

Το επόμενο θέμα με το οποίο ασχολείται ο Κέπλερ, το οποίο είναι πιο θεμελιώδες για τη φυσική του είναι να ανακαλύψει τον άγνωστο λόγο για τον οποίο ο πλανήτης «αποφασίζει» πόσο μακριά θα πλησιάσει ή θα απομακρυνθεί από τον ήλιο. Την κίνηση αυτή ονομάζει ταλάντωση «*libration*» (παρομοιάζοντας την κίνηση του πλανήτη με την κίνηση της ζυγαριάς (*libra*)). Υποθέτει με αρκετή δόση υπερβολής ότι ένας νους που συνδέεται με τον πλανήτη μπορεί να θυμάται και να υπολογίζει τις ποσότητες της ταλάντωσης που απαιτείται ώστε η τροχιά να παραμένει κυκλική, δηλαδή να γνωρίζει την σχετική απόσταση από τον ήλιο. Οι μεταβολές στην απόσταση του πλανήτη από τον ήλιο ήταν αποκαλυπτικές από μόνες τους με κάποιο ξεχωριστό τρόπο, που έδειχνε ότι πρέπει να υπάρχει κάποια σύνδεση ανάμεσα στην κατάλληλη απόσταση που είχε ο πλανήτης και στη θεμελιώδη πληροφόρηση για την

απόσταση, καθώς το φαινομενικό μέγεθος του ηλιακού δίσκου μεταβαλλόταν σε συνάρτηση με την απόσταση.

Η φυσική θεωρία χωρίς να έχει διατυπωθεί με ακρίβεια σε αυτή την φάση καθώς δεν έχει αποδειχθεί μαθηματικά ακόμα εκφράζεται ως εξής: το οπτικό μέρος της εξίσωσης δηλαδή η φαινόμενη αλλαγή στην κίνηση, που οφείλεται στο γεγονός ότι η τροχιά είναι έκκεντρη προς τον ήλιο, έχει να κάνει με κάποια δύναμη που αντιστοιχεί στον εκάστοτε πλανήτη, η οποία ευθύνεται για την εναλλασσόμενη κίνηση του πλανήτη από και προς τον ήλιο, με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαμορφώνει το σχήμα της τροχιάς του. Από την άλλη μεριά η πραγματική μεταβολή στο ρυθμό της κίνησης του πλανήτη γύρω από τον ήλιο αποτελεί μια δευτερεύουσα συνέπεια, που γινόταν αντιληπτή μόνο ως ταλάντωση του πλανήτη, που τον μετέφερε σε αποστάσεις που η ηλιακή δύναμη ήταν άλλοτε ισχυρότερη και άλλοτε ασθενέστερη.

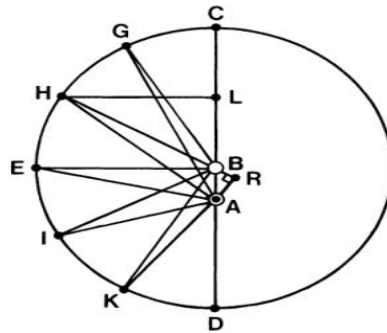
Τα μαθηματικά εργαλεία που είχε στη διάθεση του ο Κέπλερ προκειμένου να υπολογίσει την οπτική εξίσωση (γωνία) ήταν η τριγωνομετρία. Η φυσική εξίσωση οδηγούσε σε προβλήματα, καθώς ο νόμος των αποστάσεων έστεκε μόνο για μικρές μεταβολές στην κίνηση. Ο χρόνος («καθυστέρηση») που απαιτείτο για να διασχίσει ο πλανήτης ένα μικρό τόξο ήταν ανάλογος της απόστασης του από τον ήλιο και επειδή η απόσταση αυτή συνεχώς άλλαζε δεν υπήρχε η δυνατότητα να υπολογίσει συνολικά τον χρόνο, αφού θα έπρεπε να έχει γνώσεις του ολοκληρωτικού λογισμού.

Στο κεφάλαιο 40 ο Κέπλερ περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο προσπάθησε να υπολογίσει τον χρόνο. Καταρχάς διαίρεσε την περιφέρεια μιας κυκλικής τροχιάς σε 360 ίσα τόξα και υπολόγισε την απόσταση του κάθε σημείου του τόξου από τον ήλιο. Το άθροισμα όλων των αποστάσεων π. χ από το 0° μέχρι 45° ήταν ένα μέτρο του χρόνου που χρειαζόταν ο πλανήτης για να φτάσει μέχρι εκεί, δηλαδή υπέθεσε ότι κάθε απόσταση είναι ανάλογη του διανυθέντα χρόνου στο εκάστοτε τόξο, καθώς αυτή η απόσταση άλλαζε πολύ λίγο και όχι πέρα από τόξο μιας μοίρας. Αλλά όπως ο ίδιος γράφει αυτή η διαδικασία ήταν «μηχανική και κοπιαστική».

Στη συνέχεια ανακάλεσε την τεχνική του Αρχιμήδη⁴², σύμφωνα με την οποία αν ένας κύκλος διαιρεθεί σε μια απειρία τριγώνων, τότε το εμβαδόν του μπορεί να

⁴² Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, W.,σελ.422

εκφραστεί ως το άθροισμα των εμβαδών των τριγώνων. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται πως μπορεί να διαιρεθεί η επιφάνεια του κύκλου σε κυκλικούς τομείς με κέντρο το σημείο B. Όσο πιο επιτυχής είναι η διαίρεση τόσο το εμβαδόν του κυκλικού τομέα, θα προσεγγίζει το εμβαδόν του αντίστοιχου ισοσκελούς τριγώνου, επιπλέον το άθροισμα των βάσεων των ισοσκελών τριγώνων, θα προσεγγίζει την περιφέρεια του κύκλου.



Σχήμα 11

Αν τώρα κάποιος ενώσει κάποια από αυτά τα τρίγωνα, το εμβαδόν που προκύπτει θα είναι ανάλογο προς το τόξο που προκύπτει από την ενοποίηση (άθροισμα) των αντίστοιχων βάσεων και επομένως προς την μεταβολή της έκκεντρης ανωμαλίας. Επιπλέον ο Κέπλερ υπολόγισε με ένα άλλο τρόπο το εμβαδόν: θεώρησε-όχι με ακρίβεια-ότι αφού οι άπειρες ακτίνες από το κέντρο «γεμίζουν» τους τομείς, ένας μεγαλύτερος τομέας θα περιέχει κατ' αναλογία περισσότερες ακτίνες και στη συνέχεια υπέθεσε ότι το άθροισμα των μηκών τους, θα είναι ανάλογο του εμβαδού.

Στο σχήμα 11 οι αποστάσεις από το σημείο A (ήλιος) σύμφωνα με την φυσική ανάλυση του Κέπλερ ήταν το μέτρο των «καθυστερήσεων» του πλανήτη όταν διέσχισε τα αντίστοιχα τόξα της τροχιάς του. Σκέφτηκε λοιπόν ότι αν υπολόγιζε το εμβαδόν των τομέων με κορυφές τον ήλιο όπως π.χ οι τομείς CAG, GAH, θα μπορούσε να μετρήσει το άθροισμα όλων των αποστάσεων που περιέχονταν στους τομείς. Ο Κέπλερ πίστευε «ότι το εμβαδόν ήταν ένα μέτρο της συγκεντρωμένης ισχύος που έχουν οι αποστάσεις για να συσσωρεύουν τις καθυστερήσεις». Με πεπερασμένη προσέγγιση φαινόταν ότι τα εμβαδά των τριγώνων με ίσες βάσεις ήταν ανάλογες προς τα ύψη τους. Αν τα εμβαδά των τριγώνων που είχαν ως βάσεις καθένα από τα ίσα τόξα, στα οποία είχε διαιρέσει την τροχιά, ήταν ανάλογα των αποστάσεων τους από

τον ήλιο και επομένως των «καθυστερήσεων στα αντίστοιχα τόξα, θα είχε βρει μια γεωμετρική λύση για τα προβλήματα της φυσικής.

Στο σημείο G της τροχιάς στο σχήμα 11, η μέση ανωμαλία από το αφήλιο θα ήταν το μέτρο του εμβαδού του τομέα CAG με κορυφή στον ήλιο και η έκκεντρη ανωμαλία θα ήταν μέτρο του εμβαδού του τομέα CBG με κορυφή το κέντρο. Η διαφορά αυτών των δυο ποσοτήτων, δηλαδή το εμβαδόν του τριγώνου GAB, ήταν εξ ορισμού η φυσική εξίσωση του κέντρου. Ο Κέπλερ ωστόσο δεν ήταν ικανοποιημένος από την αιτιολόγηση του και συμπέρανε ότι ο νόμος των εμβαδών ήταν μόνο μια προσέγγιση. Το πρόβλημα ήταν ότι όταν διαίρεσε την τροχιά με ακτίνες με κέντρο τον ήλιο και όχι το κέντρο της τροχιάς, οι ακτίνες δεν ήταν πια κάθετες στην τροχιά του πλανήτη και επομένως τα εμβαδά των τομέων με βάσεις τα ίσα τόξα δεν ήταν ανάλογα των αποστάσεων τους από τον ήλιο, αφού δεν ήταν τα ύψη των τριγώνων. Οι αποστάσεις αυτές σχημάτιζαν οξεία γωνία με τις βάσεις και άρα ήταν μεγαλύτερες από τα ύψη, με αποτέλεσμα το άθροισμα των αποστάσεων αυτών να είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των αποστάσεων από το κέντρο, το οποίο μπορούσε κάποιος να το μετρήσει σωστά μετρώντας το εμβαδόν της επιφάνειας.

Η μέθοδος της μέτρησης των εξισώσεων από τα εμβαδά ήταν απλή και είχε αναπτυχθεί από τις φυσικές αιτίες των εξισώσεων και όχι από κάποια πλαστή υπόθεση, αλλά οδηγούσε σε εσφαλμένες μετρήσεις των φυσικών αιτίων με τη χρήση ενός εμβαδού που δεν αντιστοιχούσε στο αποτέλεσμα αυτών των αιτίων. Επιπλέον έσφαλε στην υπόθεση ότι η τροχιά ήταν κυκλική, πράγμα που παρατήρησε ο Κέπλερ όταν επανεξέτασε το 40^ο κεφάλαιο πριν την δημοσίευση του.

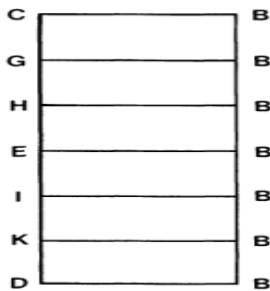
Ο Καίσιερ δικαίως θεωρεί τον Κέπλερ ως έναν υπονοβάτη⁴³ της ιστορίας της επιστήμης, αφού μέσα από λαθεμένες υποθέσεις, σκόνταψε πάνω στον σωστό νόμο, τον δεύτερο νόμο(τον οποίο ανακάλυψε πριν τον πρώτο), που λέει ότι η γραμμή που ενώνει τον πλανήτη με τον ήλιο σαρώνει ίσες επιφάνειες σε ίσους χρόνους. Το πρώτο λάθος του είναι ότι εξίσωνε μια επιφάνεια(εμβαδόν) με το άθροισμα ενός άπειρου αριθμού γειτονικών γραμμών (πράγμα που ο ίδιος γνώριζε και μάλιστα εξήγησε λεπτομερώς για ποιο λόγο δεν εξισώνονται)⁴⁴ και το δεύτερο ότι υπέθεσε ότι η τροχιά είναι κυκλική (το οποίο διορθώνει πιο κάτω στο 44 κεφάλαιο).Όπως ακριβώς γράφει

⁴³ Α. Καίσιερ., *Οι Υπονοβάτες*(1959) ,Για την Ελληνική Γλώσσα Εκδόσεις Χατζηνικολή , (1975),241

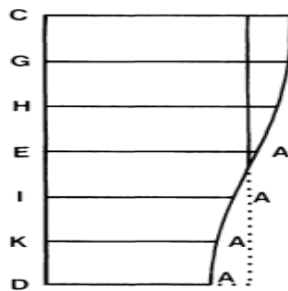
⁴⁴ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy* , 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, σελ.424

ο ίδιος: «Αυτά τα δυο λάθη ως εκ θαύματος αλληλοεξουδετερώνονται ...» πράγμα που επιχειρεί να αποδείξει παρακάτω στο 59 κεφάλαιο⁴⁵ για να οδηγηθεί σε απελπιστικά μπερδεμένη εξήγηση, την οποία όπως ο ίδιος διηγείται είναι αδύνατον να την παρακολουθήσει κάποιος.

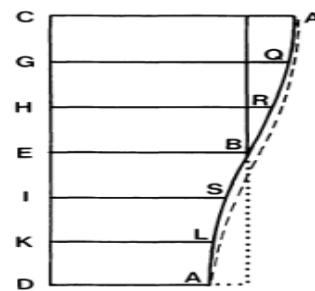
Χρησιμοποιώντας τον νόμο των εμβαδών ο Κέπλερ αντιλαμβάνεται την ατέλεια του και δεδομένου ότι θέλει να συνεχίσει την μελέτη του Άρη μεταφέροντας την φυσική του θεωρία σε αυτόν τον πλανήτη, επινοεί το παρακάτω σχήμα προκειμένου να αναλύσει τα αθροίσματα των αποστάσεων.



Σχήμα 12



Σχήμα 13



Σχήμα 14

Στο σχήμα 12 αναπαριστάνεται «ξετυλιγμένο» το μισό του κύκλου του παραπάνω σχήματος 9 (σελ.64), έτσι ώστε η περίμετρος CGHEIKD να είναι ευθεία και οι ακτίνες από το κέντρο, CB,GB και οι υπόλοιπες να είναι παράλληλες. Το κέντρο B γίνεται μια γραμμή που φράσσει όλες τις ακτίνες και κάθε τομέας, όπως ο CGB του σχήματος 11 έχει γίνει ένα τετράγωνο με διπλάσιο εμβαδόν από τον τομέα, έτσι το μεγάλο τετράγωνο CDBB έχει διπλάσιο εμβαδόν από το ημικύκλιο. Το σχήμα απεικονίζει την αναλογία του εμβαδού του τομέα και του ολικού αθροίσματος των αποστάσεων από το κέντρο B που περιέχονται σ' αυτόν.

Στο σχήμα 13 οι αποστάσεις από τον ήλιο είναι πιο πολύπλοκες. Με τον ίδιο τρόπο «απλώνονται» παράλληλες μεταξύ τους οι αποστάσεις CA, GA, κτλ. Η καμπύλη AAAAAA κλείνει τις αποστάσεις. Στα σχήματα 12, 13,14, κάθε τμήμα της μορφής GH αριστερά, παριστάνει καθένα από τα ίσα τόξα στα οποία έχει διαιρεθεί η περιφέρεια του κύκλου του παραπάνω σχήματος 11. Η περιοχή στα δεξιά του GH περιέχει πάντα τις αποστάσεις όλων των αποστάσεων από αυτό το τόξο και

⁴⁵ Στο κεφάλαιο 59 ο Κέπλερ θέτει εκ νέου το ζήτημα αυτό, αλλά δεν δίνει μια σαφή εξήγηση(δηλαδή ένα σαφή διαχωρισμό των ακτινικών και περιφερειακών συνιστωσών της κίνησης του πλανήτη), μάλλον περισσότερο επιχειρεί μια ποιοτική αναζήτηση της λύσης η οποία δεν έρχεται πριν την έκδοση το 1621 της *Επιτομής*.

παριστάνει το άθροισμα τους είτε άγονται από το κέντρο Β (σχήμα 12) είτε από τον ήλιο (σχήμα 13).

Κατά τον Stephenson ο σκοπός αυτής της κατασκευής δεν είναι για να αναπαρασταθούν τα εμβαδά των κυκλικών τομέων, αλλά να εμφανισθεί το εμβαδόν ως ισοδύναμο των αποστάσεων, οι οποίες με την περιστροφή τους με κατάλληλη γωνία είναι κάθετες στην «ισιωμένη» περιφέρεια. Δηλαδή το εμβαδόν οποιασδήποτε οριζόντιας φέτας του σχήματος 13 περιέχει τις αποστάσεις από τον ήλιο προς το τόξο, που αντιστοιχεί στο αριστερό όριο της φέτας και όλες αυτές οι αποστάσεις βρίσκονται η μια δίπλα στην άλλη και είναι παράλληλες μεταξύ τους. Θεωρώντας ότι το εμβαδόν αυτό είναι ισοδύναμο με το άθροισμα των αποστάσεων, το οποίο με τη σειρά του- σύμφωνα με τον θεμελιώδη νόμο της φυσικής του Κέπλερ- θα ισοδυναμεί με την «καθυστέρηση» του πλανήτη, όταν αυτός διανύει αυτό το τόξο του κύκλου.

Το ζητούμενο για τον Κέπλερ ήταν να μπορέσει να μετρήσει αυτό το εμβαδόν. Στη περίπτωση που οι αποστάσεις άγονταν από το κέντρο(σχήμα 12) σχημάτιζαν φέτες σχήματος ορθογωνίου, του οποίου το εμβαδόν ήταν ανάλογο του τόξου της βάσης του. Στη περίπτωση όμως που οι αποστάσεις άγονταν από τον ήλιο(σχήμα 13) τα άκρα των αποστάσεων, που συνιστούσαν αυτό το εμβαδόν, κλείνονταν από μια ασύμμετρη καμπύλη την οποία ο Κέπλερ ονόμαζε κογχοειδή. Στο σχήμα 13 στο σημείο Ε, οπότε έχει διανυθεί ένα τεταρτοκύκλιο της τροχιάς η ηλιακή απόσταση ήταν μεγαλύτερη από την ακτίνα της τροχιάς (σχήμα 11), οπότε η κογχοειδής καμπύλη φαίνεται ότι περικλείει μεγαλύτερο εμβαδόν από ότι η γραμμή ΒΒ (Σχήμα 12). Το συνολικό εμβαδόν της κογχοειδούς καμπύλης φαίνεται να είναι μεγαλύτερο από το συνολικό εμβαδόν της γραμμής ΒΒ, αν κρίνει κάποιος από τις αντίστοιχες αποστάσεις ΕΑ, ΕΒ (αντιστοίχως στα δύο σχήματα). Η φυσική σημασία αυτού του γεγονότος είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος (μήκος) της κυκλικής τροχιάς ήταν μακρύτερα από τον ήλιο από ότι η μέση ανωμαλία ή η ακτίνα, δηλαδή οι περισσότερες από τις καθυστερήσεις ήταν μεγαλύτερες από την μέση καθυστέρηση που θα λαμβανόταν αν το ίδιο μέγεθος της τροχιάς ήταν έκκεντρο προς τον ήλιο. Με το να είναι η τροχιά έκκεντρη το μεγαλύτερο μέρος της κινείται μακριά από τον ήλιο παρά προς τον ήλιο , με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο περιοδικός χρόνος. Ο Κέπλερ το είχε αποδείξει αυτό, με το να δείξει ότι το άθροισμα των αποστάσεων από το κέντρο προς τις ίσες διαιρέσεις της περιφέρειας ήταν μικρότερο από το άθροισμα τους από

οποιοδήποτε άλλο μέρος. Από μόνη της αυτή η διαφορά, σήμαινε την αύξηση στον περιοδικό χρόνο.

Η ιδέα του Κέπλερ να χρησιμοποιήσει το εμβαδόν της κογχοειδούς καμπύλης είχε πολλές δυσκολίες, καθώς δεν υπήρχε ισοδυναμία ανάμεσα στις «φέτες» στις οποίες είχε αυτό διαιρεθεί και στα χρηστικά εμβαδά στα οποία είχε διαιρεθεί η τροχιά του πλανήτη. Αν κάποιος ήθελε να μετρήσει τα αθροίσματα των αποστάσεων μέσω των κυκλικών τομέων που είχαν κοινή κορυφή τον ήλιο- οπότε το άθροισμα των αποστάσεων για κάθε τμήμα της τροχιάς θα αντιστοιχούσε σε έναν κυκλικό τομέα-θα έπρεπε να πάρει για τις αποστάσεις τα κατάλληλα ύψη, δηλαδή τα κάθετα τμήματα στις βάσεις, τα οποία οδηγούνταν στο κέντρο του κύκλου και όχι στον ήλιο και προφανώς δεν είχαν καμία φυσική σημασία.

Προκειμένου να διευκολύνει την μέτρηση ο Κέπλερ κατασκευάζει μια νέα κογχοειδή την AQRBSLA (σχήμα 14) από τις αποστάσεις που ήταν τα ύψη των κυκλικών τριγώνων που αντιστοιχούσαν στους τομείς. Η δεύτερη αυτή κογχοειδής καμπύλη δεν είχε κανένα ιδιαίτερο νόημα, παρά ήταν ένας μηχανισμός με τον οποίο ο Κέπλερ μπορούσε να συγκρίνει με την πρώτη κογχοειδή που είχε οριστεί με φυσικό τρόπο. Από αυτή την σύγκριση αντιλαμβάνεται ότι το εμβαδόν μεταξύ των δυο κογχοειδών, ενώ είναι μεγαλύτερο από τη μέση του σχήματος και κάτω, δεν ήταν συμμετρικό ως προς τη μεσαία γραμμή EA, επιπλέον ήταν μάλλον πιο πλατύ κάτω, κοντά στο περιήλιο D. Ο Κέπλερ δεν επισημαίνει το γεγονός, αλλά αυτή η ανώμαλη μεταβολή δείχνει τη περιπλοκότητα του μοντέλου με τον επικυκλικό διάγραμμα, το οποίο είχε μελετήσει και απεικονίσει νωρίτερα. (σχήμα 10 παραπάνω). Σε αυτό το σχήμα τα ακανόνιστα τμήματα των αυξήσεων της απόστασης, όπως ικ και λμ αντιστοιχούσαν εκ κατασκευής στο πλάτος του χώρου μεταξύ των κογχοειδών στην δεδομένη έκκεντρη ανωμαλία.

Ο Κέπλερ χρησιμοποιώντας τον νόμο των εμβαδών προκειμένου να εκφράσει την καθυστέρηση του πλανήτη σε κάποιο τμήμα της τροχιάς, βρέθηκε μπροστά σε μια γεωμετρική μέτρηση ενός σφάλματος. Η φυσική θεωρία του τον δίδαξε ότι η «καθυστέρηση» σε οποιοδήποτε τόξο του κύκλου ήταν ανάλογη με το άθροισμα όλων των αποστάσεων που αντιστοιχούν σε αυτό το τόξο από τον ήλιο, και συνεπώς είναι ανάλογη με μια «φέτα» του σχήματος της πρώτης κογχοειδούς (σχήμα 13). Ο νόμος των εμβαδών έδωσε μια απάντηση ανάλογη προς την ίδια «φέτα» αλλά αυτή

τη φορά από την δεύτερη κογχοειδή (σχήμα 14). Θα μπορούσε να υπολογίσει το σφάλμα για οποιοδήποτε τμήμα της τροχιάς, μόνο αν μπορούσε να ορίσει την έκταση των αυθαίρετων οριζόντιων φετών που περιέχονταν στο μικρό χώρο ανάμεσα στις δυο κογχοειδείς. Εδώ ο Κέπλερ αδυνατώντας να υπολογίσει αυτή την έκταση, καλεί τους γεωμέτρες της εποχής του να τον διδάξουν πώς να «τετραγωνίσει» τον χώρο ανάμεσα στις κογχοειδείς, υποσχόμενος ότι στο κεφάλαιο 43 παρακάτω θα κάνει μια πρόχειρη εκτίμηση του χωρίου αυτού⁴⁶.

Όταν ο Κέπλερ ζητάει τη βοήθεια των άλλων μαθηματικών σίγουρα κατά τον Stephenson θεωρούσε ότι το πρόβλημα ήταν σημαντικό και επομένως δεν γνώριζε ακόμα ότι η εύκολα μετρήσιμη περιοχή ήταν αυτή που ήθελε. Από τα λίγα στοιχεία που έχουμε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο Κέπλερ χρησιμοποίησε την σχέση μεταξύ της έκκεντρης ανωμαλίας και της απόστασης, καθώς έκανε δοκιμές στον νόμο των εμβαδών πολλά χρόνια πριν συνειδητοποιήσει ότι και τα δυο περιέγραφαν ακριβώς την κίνηση ενός πλανήτη. Εκείνο τον καιρό φυσικά δεν είχε καμία υποψία ότι θα μπορούσε να αποδοθεί οποιαδήποτε φυσική σημασία στις κοντύτερες αποστάσεις ούτε και στην προφανή σχέση μεταξύ των αποστάσεων εκτεινόταν σε σχήμα 14 και στο μήκος του τόξου.

Κλείνοντας το 40ο κεφάλαιο της *Astronomia nova* κλείνει και το 3^ο μέρος του βιβλίου, ένα μέρος που ο Κέπλερ ονόμασε το κλειδί για την πιο θεμελιώδη αστρονομία. Με εφόδια την ακρίβεια των παρατηρήσεων του Τύχο και την δική του *vicarious hypothesis*, ο Κέπλερ αναλύοντας την δεύτερη ανωμαλία στην κίνηση του Άρη, εντόπισε τις ανωμαλίες της κίνησης της γης στην απόσταση και στο μήκος, Μέσα από τις σπουδαίες τεχνικές που σχεδίασε στην προσπάθεια του να «φρεσκάρει» τις αστρονομικές γνώσεις της εποχής του, άνοιξε άλλοτε συνειδητά και άλλοτε αφελώς ένα νέο πεδίο αναζήτησης για τους αστρονόμους. Η φυσική της πλανητικής κίνησης του Κέπλερ και το υπόδειγμα που ακολουθούσε, παίρνει τώρα τον δρόμο της ακριβούς γνώσης των ουράνιων κινήσεων. Οι κομψές τεχνικές των προγενεστέρων του εγκαταλείπονται δίνοντας τη θέση τους στην αναζήτηση των αιτίων και κάνοντας νύξεις για την επίλυση παλαιότερων προβλημάτων, ανοίγοντας νέους δρόμους για την αστρονομία.

⁴⁶ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy* , 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York, σελ.426

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η μελέτη της τροχιάς του Άρη (ΚΕΦ.41 -60)

Στο τέλος του δεύτερου βιβλίου της *Astronomia nova* ο Κέπλερ ομολογεί την ήττα του στον αγώνα του να καθορίσει την τροχιά του Άρη, που οφειλόταν στην απόκλιση των 8 λεπτών του τόξου. Εκεί ακριβώς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω άλλαξε κατεύθυνση αναθεωρώντας την θεωρία του για τις κινήσεις της γης, για να καταλήξει στην ανακάλυψη του Δεύτερου νόμου του. Στο τέταρτο βιβλίο του η έρευνα του επανέρχεται τέσσερα χρόνια αργότερα στην τροχιά του Άρη και συνεχίζει από εκεί που είχε μείνει, αντιμετωπίζοντας με μεγαλύτερο σκεπτικισμό τις παρακαταθήκες για το ορθόδοξο δόγμα της κυκλικότητας.

Από το 41^ο έως το 60^ο κεφάλαιο του βιβλίου έχοντας πλουτίσει σημαντικά τις γεωμετρικές του γνώσεις και έχοντας εφοδια τις ξεχωριστής εφευρετικότητας μεθόδους του, επιχειρεί την τελική επίθεση κατά του Άρη, που διήρκεσε περίπου δύο χρόνια. Σε πρώτη φάση είχε πάρει τρεις θέσεις του Άρη από τις οποίες είχε μετρήσει την τροχιά της γης στα κεφάλαια 26-28 και είχε υπολογίσει τον κύκλο πάνω στον οποίο βρίσκονταν. όπου ενημέρωνε τον αναγνώστη ότι άλλες θέσεις του Άρη θα έδιναν άλλους κύκλους. Αυτό επιβεβαιώθηκε στο 41^ο κεφάλαιο όπου η εκκεντρότητα που βρήκε δεν ήταν η ίδια με αυτή που βρήκε όταν είχε αναλύσει τις εξισώσεις του κέντρου και του πλάτους στα κεφάλαια 16-19.

Στο 42 κεφάλαιο ο Κέπλερ επιλέγει μια σειρά παρατηρήσεων από πλήρεις περιστροφές του Άρη, με τον πλανήτη κοντά στο αφήλιο και μια άλλη σειρά παρατηρήσεων κοντά στο περιήλιο. Γνωρίζοντας για κάθε παρατήρηση την απόσταση και κατεύθυνση από την γη προς τον ήλιο και την κατεύθυνση προς τον Άρη από παρατήρηση και υποθέτοντας μια τιμή για την απόσταση Άρη- ήλιου κατασκεύασε το τρίγωνο ήλιου-γης-Άρη. Το σχέδιο του ήταν να προσαρμόσει την υποτιθέμενη απόσταση του Άρη από τον ήλιο μέχρι το μήκος να γίνει ίδιο με το μήκος κάθε μιας από τις παρατηρήσεις. Επιπλέον υπολόγισε την απόσταση από το αφήλιο με τον τρόπο που είχε εφεύρει στο κεφάλαιο 28.

Δεν είναι γνωστό σε πόσα σημεία της τροχιάς ο Κέπλερ είχε ελέγξει τις εξισώσεις που προέκυπταν από τον νόμο των εμβαδών. Δημοσίευσε τρεις συγκρίσεις, αφού αρκούσαν για να αποδειχθεί η ανεπάρκεια των μεθόδων του. Στο τεταρτοκύκλιο με

έκκεντρη ανωμαλία 90° , ο υπολογισμός με την προσέγγιση του νόμου των εμβαδών ήταν ακριβής. Στα σημεία με έκκεντρη ανωμαλία 45° και 135° έβγαζε σφάλμα περίπου 8 λεπτών. Οι τριγωνομετρικοί υπολογισμοί του για κάθε κύκλο που διερχόταν από οποιαδήποτε τριάδα παρατηρούμενων θέσεων, όπως αυτές που είχε επιλέξει στο κεφάλαιο 41, έδινε διαφορετικούς κύκλους για κάθε διαφορετική τριάδα παρατηρούμενων σημείων. Ο κύκλος που επιλεγόταν ήταν αυτός που διερχόταν από τα αφήλιο και το περιήλιο, δηλαδή θέσεις που είχε εντοπίσει στο κεφάλαιο 42, ενώ οι αποστάσεις από άλλα σημεία ήταν πιο κοντές και δεν έφταναν στο κύκλο. Το φαινόμενο είχε διακυμάνσεις και ήταν ποιο έντονο στα τεταρτοκύκλια.

Η απελπισμένη προσπάθεια του Κέπλερ να αποδείξει ότι ο Άρης κινείται σε κυκλική τροχιά αποτυγχάνει. Οι αποστάσεις σύμφωνα με τον νόμο των εμβαδών ήταν πολύ κοντές για να είναι φυσικές αποστάσεις επιπλέον είναι κοντές ιδιαίτερα στις μεσαίες αποστάσεις. Ο Κέπλερ έκανε δύο χρόνια για να αποδεχθεί την λύση στο δίλημμα του και να καταλήξει ότι: *«το συμπέρασμα είναι πολύ απλά, ότι η πορεία του πλανήτη δεν είναι κυκλική. Κάμπτεται εσωτερικά στις δυο πλευρές της και εξωτερικά στις αντίθετες άκρες της. Μια τέτοια καμπύλη ονομάζεται ωοειδής. Η τροχιά δεν είναι κύκλος αλλά έχει ένα ωοειδές σχήμα»*⁴⁷.

Ο κύκλος ήταν το σχήμα πάνω στο οποίο είχε οικοδομηθεί η αρχαία και η μεσαιωνική αστρονομία και ασκούσε ιδιαίτερη γοητεία και στους αστρονόμους της αρχαιότητας, οι οποίοι ήταν προσηλωμένοι στα κυκλικά μοντέλα. Ο κύκλος θεωρείτο η πιο απλή κλειστή καμπύλη που περιστρέφεται εύκολα. Ο Πυθαγόρας θεωρούσε τον κύκλο ως το σχήμα που προσφέρει αισθητική απόλαυση. Επιπλέον οι αστρονόμοι έκαναν εύκολα υπολογισμούς με τριγωνομετρία σε ένα κύκλο. Επιπλέον το δόγμα του Πλάτωνα για χρησιμοποίηση μόνο κυκλικών κινήσεων επηρέασε την αστρονομία για είκοσι σχεδόν αιώνες. Ο Κέπλερ ήταν ένας από τους πρώτους αστρονόμους ο οποίος απαλλάχθηκε καταρχάς από τη υπόθεση των συμπαγών σφαιρών και μετά μολονότι υπήρξε ένα τολμηρός νους δίσταζε πολύ να πάρει την απόφαση να εγκαταλείψει τον κύκλο. Ωστόσο αποτινάζοντας την κυκλικότητα κάθε άλλο παρά έλυσε το πρόβλημα, αφού ανέκυσαν νέα ερωτήματα.

Έχοντας αφήσει πίσω τον κύκλο και την παράδοση της κυκλικότητας, ο Κέπλερ είχε να αντιμετωπίσει μια νέα παράδοση που δεν είχε κανένα στήριγμα. Όλες οι

⁴⁷W. Donahue., ο.π., σελ.426:214

προτάσεις της αρχαίας αστρονομίας αποτελούνταν από ομοιόμορφα κινούμενους κύκλους και οι υπολογισμοί τους στηρίζονταν στην τριγωνομετρία, ενώ οι μαθηματικές γνώσεις για το ωοειδές σχήμα ήταν ανύπαρκτες. Ο Κέπλερ είχε ήδη απορρίψει το μηχανισμό των ομοιόμορφα περιστρεφόμενων κύκλων, με συνέπεια να επιστρέψει στον υπολογιστικό εφιάλτη του νόμου των αποστάσεων. Η νέα θεωρία με την οποία αντικατέστησε την αποτυχημένη δεν θα έπρεπε να αποτελείται από κύκλους, αλλά θα έπρεπε να είναι μια ακριβής φυσική θεωρία η οποία θα ορίζει μαθηματικά την κίνηση του πλανήτη γύρω από τον ήλιο.

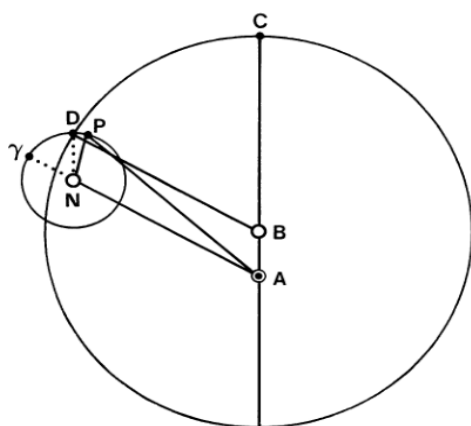
Στο τέλος του κεφαλαίου 39 ο Κέπλερ δηλώνει ανίκανος να καταλάβει πως ήταν δυνατόν από φυσική άποψη ένας πλανήτης να κινείται σε έναν έκκεντρο κύκλο. Ομολογώντας την αδυναμία του να δώσει απάντηση στο ερώτημα αυτό, το εγκαταλείπει προσωρινά (από ότι αποδείχθηκε) για να επιδιώξει να βρει τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιούσε τον νόμο των αποστάσεων, με τον οποίο είχε ασχοληθεί προηγουμένως.

Η νέα του παραδοχή για την μη κυκλική κίνηση του πλανήτη οδηγούσε την φυσική του σε νέο αδιέξοδο, οπότε αναγκάστηκε να γυρίσει πίσω στα φυσικά επιχειρήματα που είχε αναπτύξει στο κεφάλαιο 39 : Ότι δηλαδή ο πλανήτης στην κίνηση του από το αφήλιο στο περιήλιο με κάποιο τρόπο πλησιάζει τον ήλιο. Προκειμένου να περιγράψει αυτή την κίνηση (θεωρώντας την κυκλική), είχε επινοήσει έναν φανταστικό επίκυκλο (σχήμα 10 παραπάνω), με τον οποίο ερμήνευε τις ασκούμενες φυσικές δυνάμεις. Επιπλέον ο Κέπλερ προκειμένου να δικαιολογήσει την κυκλική τροχιά είχε ανασύρει ένα μοντέλο που ήταν σε γενική χρήση για σχεδόν δύο χιλιετίες, δηλαδή το μοντέλο της έκκεντρης κίνησης του πλανήτη, η οποία ήταν ανώμαλη και επιπλέον δεν έδινε απάντηση γιατί αλλάζει η απόσταση του πλανήτη από τον ήλιο.

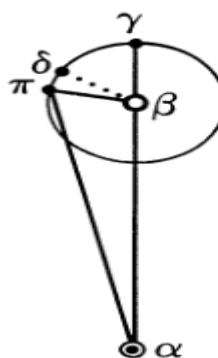
Ο Κέπλερ δεν έδινε φυσική υπόσταση στο παραπάνω μοντέλο, αλλά είχε επινοήσει αυτό τον μηχανισμό, με τον οποίο μπορούσε με έναν γεωμετρικά ακριβή τρόπο να προσδιορίσει που βρισκόταν ο πλανήτης. Επιπλέον έκανε χρήση του επίκυκλου (αν και τον είχε απορρίψει στο κεφ.39 ως κινούμενο ανομοιόμορφα), όπως θα χρησιμοποιούσε κάποιος μια τριγωνομετρική συνάρτηση για να περιγράψει μια περιοδικά μεταβαλλόμενη απόσταση. Μετά όμως την παραδοχή ότι η τροχιά δεν είναι κυκλική, μπορούσε πλέον να χρησιμοποιηθεί ο ομοιόμορφα περιστρεφόμενος

επίκυκλος (σχήματα 15, 16) ως ένα θεωρητικό μοντέλο, που τελικά αποτέλεσε το κύριο αντικείμενο της μελέτης του.

Το σχέδιο του Κέπλερ ήταν να οικοδομήσει μια φυσική θεωρία, δηλαδή να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται οι φυσικές ποσότητες της απόστασης και της κίνησης και να οδηγηθεί στη πηγή και στο υπόδειγμα λειτουργίας των φυσικών αιτίων που παρέμεναν μυστηριώδη. Ερευνώντας λοιπόν τον φανταστικό επίκυκλο, ο οποίος αποτελούσε το υπόδειγμα της μεταβολής των αποστάσεων του πλανήτη, ξεπήδησε η θεωρία των αποστάσεων του κεφαλαίου 45. Αυτή τη φορά ο επίκυκλος έχει μια φυσική αιτία: Η κίνηση του Άρη από μόνη της είναι μια «έντονη μάχη κατά της δύναμης του ήλιου»⁴⁸, δηλαδή όταν η δύναμη του ήλιου σάρωνε τον πλανήτη τότε μια άλλη δύναμη που πήγαζε από τον ίδιο τον πλανήτη, τον έκανε να κινείται σε ένα μικρό επίκυκλο προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ωστόσο όπως ο ίδιος περιγράφει σε επιστολή του προς τον Fabricius⁴⁹ όταν μιλάει για μάχη εννοεί την φυσική αιτία της κίνησης του πλανήτη και όταν αναφέρεται στη κίνηση του επίκυκλου αναφέρεται στον τρόπο που αυτή η κίνηση γίνεται αντιληπτή και όχι πως είναι στην πραγματικότητα.



Σχήμα 15



Σχήμα 16

⁴⁸ G.W., 14:277:567-568 ό.(αναφέρεται στο περιεχόμενο επιστολής του Κέπλερ προς τον Fabricius το 1602)

⁴⁹ Ο David Fabricius (1564 - 1617), ήταν ένας Γερμανός πάστορας ο οποίος έκανε δύο σημαντικές ανακαλύψεις κατά τις πρώτες ημέρες της τηλεσκοπικής αστρονομίας, από κοινού με το μεγαλύτερο γιο του, Johannes Fabricius (1587-1615). Ο Fabricius αλληλογραφούσε με τον Κέπλερ. Μελέτησε την κίνηση του Άρη και χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις του για να θέσει ερωτήματα στον Κέπλερ. Έτσι ξεκίνησε η εντατική αλληλογραφία τους που διήρκεσε μέχρι το 1608 και δείχνει την διαδικασία της κατασκευής της Νέας Αστρονομίας και της ουράνιας φυσικής εξηγώντας την ελλειπτική κίνηση του Άρη γύρω από τον ήλιο. Η σπουδαιότητα αυτής της αλληλογραφίας είναι αναμφισβήτητη, για την κατανόηση του θεωρητικού μέρους αλλά και της ρητορικής κατασκευής της Κεπλερικής Αστρονομίας και αποτέλεσε το αντικείμενο λαμπρής μελέτης του James Voelkel.

Στο σχήμα 15 παραπάνω περιγράφεται ένα υποτυπώδες φυσικό μοντέλο : η AP συνδέει τον ήλιο με τον πλανήτη και η περιστρεφόμενη ηλιακή εικόνα μεταφέρει τον πλανήτη γύρω από τον ήλιο, με καθυστερήσεις ανάλογες της απόστασης AP σε ένα δεδομένο μικρό τόξο της κίνησης. Εν τω μεταξύ ο πλανήτης, από κάποια ενδογενή δύναμη, κινείται προς και μακριά από τον ήλιο κατά μήκος AP κατά ένα τρόπο που μεταβάλλει τις αποστάσεις ακριβώς όπως η ομοιόμορφη κίνηση σε επικύκλο. Το κέντρο του N του επίκυκλου και ο ήλιος συνδέονται με την σταθερή ακτίνα AN και δεν είναι τίποτα άλλο παρά κατασκευές για την μέτρηση του μήκους του AP. Το σημείο N είναι φανταστικό και καθορίζεται από τις σταθερές αποστάσεις AN και PN, με την προϋπόθεση ότι η γωνία PNA μεταβάλλεται ομοιόμορφα. Το φανταστικό αυτό σημείο N κινείται γύρω από τον ήλιο σε ένα κύκλο (από κατασκευής), πολύ κοντά όσο η έκκεντρη ανωμαλία⁵⁰.

Ο Κέπλερ όσο χρησιμοποιούσε τις κυκλικές τροχιές είχε ως βασικό εργαλείο μέτρησης της θέσης του πλανήτη την έκκεντρη ανωμαλία. Επιπλέον είχε διατυπώσει των νόμο των αποστάσεων σε σχέση με μικρά ίσα διαστήματα έκκεντρης ανωμαλίας δηλαδή σε σχέση με την διανυόμενη απόσταση. Τώρα με την μη κυκλική τροχιά δεν μπορούσε να χρησιμοποιήσει την έκκεντρη ανωμαλία ούτε ως τόξο ούτε ως γωνία, αλλά καθώς αποτελούσε ένα ουσιαστικό εργαλείο της φυσικής του αν και δύσκολα συνδυαζόμενο με την γεωμετρική περιγραφή της νέας ωοειδούς τροχιάς ο Κέπλερ προτίμησε να θεωρήσει την έκκεντρη ανωμαλία ως το μήκος του τόξου αυτής της τροχιάς, μολονότι δεν είχε τον τρόπο να το μετρήσει.

Ο ίδιος ο Κέπλερ περιγράφει⁵¹ την απόφαση του να γεννήσει τη ωοειδή τροχιά που τον οδηγούσε σε νέο λαβύρινθο: *«αυτό που μου έτυχε επιβεβαιώνει την παροιμία ότι το βιαστικό σκυλί γεννάει τυφλά κουτάβια....»*. Η μάχη με την ωοειδή τροχιά θα διαρκέσει ένα ολόκληρο χρόνο από τη ζωή του και στα επόμενα έξη (51-56) κεφάλαια της *Astronomia nova* θα επιχειρήσει μάταια να τετραγωνίσει το «αυγό» του όπως γράφει σε επιστολή του προς τον Fabricius το 1604.⁵²

Για να ανακαλύψει το εμβαδόν του αυγού υπολόγισε και πάλι σειρές ολόκληρες από 180 αποστάσεις Ηλίου- Άρη και τις πρόσθεσε. Είναι αξιοσημείωτο ότι ανέλυσε την κίνηση σε ίσα διαστήματα χρόνου και όχι απόστασης. Για πρώτη φορά

⁵⁰ το τόξο μεταξύ του αηλίου και την θέση του πλανήτη (η επίκεντρη γωνία αηλίου-κέντρο-πλανήτη)

⁵¹ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy* , ό.π.σελ.455

⁵² G.W., vol.XV 78,ό.π.

χρησιμοποίησε τον νόμο των αποστάσεων θεωρώντας ότι το διανυόμενο διάστημα (τόξο) για ίσα διαστήματα χρόνου ήταν αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης από τον ήλιο, ενώ νωρίτερα θεωρούσε ότι οι καθυστερήσεις του πλανήτη ήταν ανάλογες της απόστασης του από τον ήλιο. Τώρα διαίρεσε την τροχιά σε μικρά τμήματα που αντιστοιχούσαν σε ίσους χρόνους και δήλωσε ότι ο λόγος των μηκών ενός οποιουδήποτε τμήματος προς ένα άλλο είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των αποστάσεων τους από τον ήλιο. Γνώριζε λίγο πολύ την απόσταση κάθε σημείου της τροχιάς από τον ήλιο και τον μέσο όρο των αποστάσεων της τροχιάς από τον ήλιο. Ο λόγος των δυο αυτών αποστάσεων αντιστοιχούσε στην κίνηση του πλανήτη σε εκείνο το σημείο της τροχιάς. Στο παρελθόν έπαιρνε αποστάσεις που αντιστοιχούσαν σε ίσα στοιχειώδη διαστήματα και προσπαθούσε να υπολογίσει τους άνισους χρόνους που απαιτούνταν για να διανυθούν. Τώρα, έχοντας αναπτύξει τεχνικές από τις εργασίες του στα προηγούμενα κεφάλαια, έπαιρνε αποστάσεις ίσων διαστημάτων χρόνου και προσπαθούσε να υπολογίσει τις στοιχειώδεις άνισες διαδρομές που αντιστοιχούσαν σε αυτά τα διαστήματα χρόνου.

Προκειμένου να αθροίσει όλες τις αποστάσεις ο Κέπλερ μετέφερε τον επίκυκλο του μοντέλου των αποστάσεων, μέσα σε έναν έκκεντρο, που τον ονόμασε «φανταστικό» αφού αποτελούσε και αυτός μια γεωμετρική κατασκευή, που δεν αντιστοιχούσε στην τροχιά του πλανήτη, αλλά ήταν μια αναπαράσταση των αποστάσεων του επικυκλικού μοντέλου. Η ιδέα ήταν να κατασκευάσει μια επιφάνεια που θα περιείχε όλες τις αποστάσεις και επομένως το εμβαδόν της θα ισοδυναμούσε με το άθροισμα των αποστάσεων. Σε μια περιοχή που θα ήταν περίπου ισοδύναμη με το άθροισμά τους.

Στο κεφάλαιο 40 είχε πετύχει μια προσέγγιση σε έναν έκκεντρο κύκλο που αντιπροσώπευε την τροχιά, τώρα εφαρμόζε την ίδια τεχνική σε έναν φανταστικό έκκεντρο κύκλο με ακτίνα την ίδια με εκείνη της τροχιάς του σχήματος 16 παραπάνω και με εκκεντρότητα AB που ήταν η ακτίνα του επίκυκλου. Οι γωνίες με κέντρο B του έκκεντρου μετρούσαν τον χρόνο ή τη μέση ανωμαλία, καθώς ισοδυναμούσαν με τις γωνίες του ομαλά περιστρεφόμενου επίκυκλου. Ο κύριος στόχος αυτής της κατασκευής ήταν ο κυκλικός τομέας του έκκεντρου κύκλου με κορυφή το A , να ισοδυναμεί με το άθροισμα των όλων αποστάσεων από το A προς τα σημεία που ισαπέχον μεταξύ τους πάνω στο τόξο που όριζε αυτόν τον τομέα.

Η κατασκευή αυτή είχε μειονεκτήματα τα οποία ο Κέπλερ γνώριζε και ήταν σε θέση να απαριθμεί: Καταρχάς τα εμβαδά των κυκλικών τομέων ήταν κατά προσέγγιση ίσα με το άθροισμα των αποστάσεων που περιείχαν. Επιπλέον θεωρούσε ότι υπήρχε αναλογία ανάμεσα στα διαστήματα της διαδρομής και την εφάρμοζε εσφαλμένα στα αθροίσματα των διαστημάτων. Χρησιμοποιούσε αυτή την ανακριβή πρακτική, καθώς δεν είχε άλλη εναλλακτική τεχνική προκειμένου να υπολογίσει το μέσο όρο των αποστάσεων. Υπήρχε επίσης πρόβλημα στο να κατασκευάσει γεωμετρικά το μήκος ενός τμήματος της τροχιάς, αν τελικά ήταν σε θέση να το βρει. Και τέλος καθώς η τροχιά ήταν ωοειδής, ακόμη και αν ήταν δυνατόν να κατασκευάσει ένα κυκλικό τόξο του σωστού μήκους η διαδρομή που θα ακολουθούσε ο πλανήτης θα ήταν εντός του τόξου οπότε δεν θα μπορούσε να υπολογιστεί με κάποια άμεση κατασκευή. Ωστόσο κατόρθωσε να τροποποιήσει την τεχνική του και να αποφύγει την δυσκολία που αφορούσε στην εφαρμογή την σχέση της αντίστροφης αναλογικότητας της απόστασης σε σχέση με το άθροισμα των αποστάσεων, αλλά οι άλλες ατέλειες παρέμεναν. Ο νόμος των εμβαδών δεν επαληθευόταν και δεν είχε την δυνατότητα να προσδιορίσει πόσο κοντά πρέπει να είναι κατασκευασμένη η ωοειδής του, ώστε να επαληθεύεται ο νόμος.

Συνοψίζοντας συμπεραίνουμε ότι Κέπλερ τελικά έκανε μια κατασκευή η οποία δεν αντανakλούσε αυτό που πραγματικά συνέβαινε στον πλανήτη. Η *vicarious hypothesis* του είχε δώσει ένα ακριβές μήκος και ο φανταστικός επίκυκλος που επινόησε στο κεφάλαιο 45 του έδωσε την απόσταση και σταδιακά τον οδήγησαν στην ωοειδή τροχιά. Η τελευταία μέθοδος που χρησιμοποίησε αν και δεν ήταν ικανοποιητική τουλάχιστον τον βοήθησε να προσδιορίσει κάποιες πλανητικές θέσεις χρησιμοποιώντας τις επικυκλικές αποστάσεις.

Στη συνέχεια ο Κέπλερ ξεκίνησε να υπολογίσει το πλάτος της πολύ στενής «φέτας» ή της επιφάνειας σε σχήμα μισοφέγγαρου, στο οποίο διέφερε η ωοειδής από τον κύκλο. Η κατασκευή που έκανε ήταν επίπονη και σχεδόν σωστή, αλλά τελικά έδωσε τους αριθμούς που απαιτούνταν για να προχωρήσει του μαθηματικού του μοντέλου για τον υπολογισμό της απόστασης.⁵³ Το μεγαλύτερο πλάτος του μισοφέγγαρου ήταν 0,0858 της τροχιακής ακτίνας. Προκειμένου να υπολογίσει το εμβαδόν αυτό, αντικατέστησε την ασύμμετρη ωοειδή του με μια έλλειψη, με την

⁵³ στο κεφάλαιο 19 είχε βρει ένα ανεπαρκές μοντέλο, που είχε σφάλμα 8 λεπτών στις θέσεις που ο πλανήτης βρισκόταν στις 45°

λογική ότι οι δυο καμπύλες έχουν μικρή διαφορά και βρήκε ότι το μισοφέγγαρο που αποκόπτεται από την έλλειψη έχει το ίδιο εμβαδόν με ένα κύκλο με ακτίνα ίση με την εκκεντρότητα του έκκεντρου κύκλου. Το εμβαδόν αυτό ήταν το 0,0858 του συνολικού εμβαδού του κύκλου.

Με βάση την φυσική του θεωρία ή τον προσεγγιστικό νόμο των εμβαδών ο Κέπλερ χρειαζόταν εκτός από την συνολική επιφάνεια της ωοειδούς καμπύλης και το εμβαδόν ενός αυθαίρετου κυκλικού τομέα με κορυφή στον ήλιο, προκειμένου να υπολογίσει τις εξισώσεις. Αδυνατώντας να το μετρήσει αφού η καμπύλη δεν είχε καμία συμμετρία, αγνόησε αυτό το πρόβλημα και το υπολόγισε χρησιμοποιώντας τομείς μιας βοηθητικής έλλειψης. Με αυτή τη μέθοδο υπολόγισε εξισώσεις της έκκεντρης ανωμαλίας στις 45° , 90° και 135° και τις παρουσίασε συστηματικά σε ένα πίνακα προκειμένου να τις συγκρίνει με μετρήσεις από προηγούμενα μοντέλα. Η σύγκριση με την *vicarious hypothesis* –που παρέμενε μια έγκυρη μέθοδος- η νέα ωοειδής ήταν η πιο ακριβής, με πάνω από 6 λεπτά σφάλμα στις 45° και στις 135° . Συγκρινόμενη με την κυκλική τροχιά, η οποία μετακινούσε τον πλανήτη πολύ γρήγορα στις ασίδες και πολύ αργά στις μεσαίες αποστάσεις, η ωοειδής έκανε το αντίθετο.

Στο κεφάλαιο 50 ο Κέπλερ αναπτύσσει έξι μεθόδους με μακροσκελείς υπολογισμούς με σκοπό μια ακριβέστερη αναπαράσταση της θεωρίας του. Με εργαλείο τον νόμο των εμβαδών προσπάθησε να ένα τρόπο που να δίνει μια απόσταση για καθεμιά από τις ίσες χρονικές αυξήσεις της διαδρομής του πλανήτη. Αυτό δεν μπορούσε να το πετύχει ευθέως γιατί το μοντέλο της απόστασης που χρησιμοποιούσε ήταν συνάρτηση του χρόνου, και επιπλέον δεν γνώριζε το σχήμα της διαδρομής.

Μέχρι τώρα μπορούμε να πούμε ότι αυτό που προβλημάτισε τον Κέπλερ ήταν το πώς δημιουργήθηκε η ωοειδής, που έμοιαζε να ορίζεται μόνο σταδιακά από την αλληλεπίδραση των δύο άμεσων δυνάμεων. Με τα σημερινά δεδομένα μια τέτοια καμπύλη είναι απόλυτα ικανοποιητική και ο ίδιος ο Κέπλερ είχε καταφέρει να υπολογίσει θέσεις πάνω σε αυτή. Οι ηλιακές και οι πλανητικές δυνάμεις ήταν τέτοιες ώστε να προκύπτει μια δύναμη η οποία να κατευθύνει τον πλανήτη σε μια τροχιά προς τα μέσα ώστε η περίοδος της περιστροφής γύρω από τον ήλιο να είναι ίση με την περίοδο της μεταβολής της απόστασης. Η πρώτη περίοδος εξαρτάτο από το

μήκος της διαδρομής, η οποία ήταν κατά τον Κέπλερ μια μη γεωμετρική σύλληψη (*anticipatio*)⁵⁴, πράγμα που θεωρούσε αδιανόητο ότι δηλαδή θα μπορούσε ο Δημιουργός να είχε σχεδιάσει κάτι τέτοιο για το σύμπαν. Οι δύο δυνάμεις δεν θα μπορούσαν να έχουν συντονιστεί χωρίς να είναι γνωστό εκ των προτέρων το μήκος της ωοειδούς και για τον Κέπλερ δεν μπορούσε να είναι η δημιουργία τόσο άτακτη όσο αυτή.

Η διορθωμένη ωοειδής του κεφαλαίου 49, παρά το γεγονός ότι ήταν ατεκμηρίωτη από φυσική άποψη, θα μπορούσε εύκολα να προσδιοριστεί από τη θεία γεωμετρία. Η κίνηση ενός σημείου κινούμενου σε κύκλο ερμηνευόταν από τον νόμο των αποστάσεων. Η περιφέρεια της κίνησης του σημείου αυτού και επομένως η μέση αύξηση της κίνησης, ήταν γνωστές γεωμετρικά, έτσι ώστε η κίνηση σε οποιαδήποτε δεδομένη απόσταση ακολουθείτο από μία απλή αντίστροφη αναλογία. Αλλά μετά τον υπολογισμό των εξισώσεων και βρίσκοντας τις να είναι χειρότερες από την προηγούμενη θεωρία του, ο Κέπλερ παρατήρησε ότι θα μπορούσε να έχει εμπιστευθεί την αναπληρωματική την υπόθεσή του (*vicarious hypothesis*), αν ενδιαφερόταν απλώς για την αριθμητική ακρίβεια.

Στο κεφάλαιο 51 ο Κέπλερ συνέχισε να αγωνίζεται για τον προσδιορισμό της τροχιάς του Άρη συγκεντρώνοντας, τους υπολογισμούς για την απόσταση του Άρη από τον ήλιο σε ζεύγη θέσεων συμμετρικών ως προς τη γραμμή των ασπίδων. Υπολόγισε αυτές τις αποστάσεις από τη σύγκριση των παρατηρήσεων που απέσπασε από τις πλήρεις περιστροφές του Άρη, επιπλέον κάποιες τις είχε ήδη χρησιμοποιήσει όταν στο 3ο μέρος ερευνούσε την τροχιά της γης. Σε κάθε θέση του Άρη στο «φθινόν ημικύκλιο» από το αφήλιο στο περιήλιο, αντιστοιχούσε την αντίστοιχη θέση στο «αύξον ημικύκλιο», βρίσκοντας ότι οι αποστάσεις κάθε ζεύγους που προέκυπτε με αυτό τον τρόπο, ήταν ίδιες μέσα από την ακρίβεια των υπολογισμών.

Ο Κέπλερ έβρισκε τα σφάλματα των αποτελεσμάτων του συγκρίνοντας τα με τους διαφορετικούς υπολογισμούς που έκανε για την ίδια απόσταση. Έτσι βρήκε για περίπου 200 τμήματα, την ακτίνα της τροχιάς της Γης να είναι 100.000. Μετά την επιβεβαίωση της ισότητας σε έξι ζεύγη σημείων, κατέληξε στο κεφάλαιο 52 στο συμπέρασμα ότι η γραμμή των ασπίδων πράγματι ήταν σωστά τοποθετημένη, δηλαδή διερχόταν από τον ήλιο. Πράγματι ο Κέπλερ είχε θεωρήσει ότι η γραμμή των ασπίδων

⁵⁴ *anticipatio*: προϋπάρχουσα σύλληψη

διέρχεται από τον ήλιο και όχι από το μέσο ήλιο όπως θεωρούσαν οι προηγούμενοι αστρονόμοι στις πλανητικές τους θεωρίες. Αυτή η θεώρηση είχε έκτοτε τηρηθεί με συνέπεια μολονότι αποτελούσε μια καινοτομία την οποία ο Κέπλερ είχε υιοθετήσει πλην όμως δεν την είχε αιτιολογήσει.

Στο κεφάλαιο 53 προκειμένου να βελτιώσει την ακρίβεια στους υπολογισμούς των θέσεων του Άρη, ο Κέπλερ αναπτύσσει μια έξυπνη κατασκευή για να την χρησιμοποιήσει για τις παρατηρήσεις πριν και μετά την αντίθεση, όταν ο πλανήτης ήταν κοντά στη γη. Στηρίχθηκε σε πράγματα για τα οποία είχε βεβαιότητα, δηλαδή στις αποστάσεις και στα μήκη της τροχιάς της Γης. Από αυτά τα περισσότερο γνωστά στοιχεία ήταν οι παρατηρήσεις που λαμβάνονταν αμέσως πριν και μετά την αντίθεση, από τα οποία θα μπορούσε να βελτιώσει τις εκτιμήσεις του για την απόσταση και το μήκος του Άρη. Όπως αποκάλυψε αργότερα τις εκτιμήσεις για τις αποστάσεις τις πήρε από την θεωρία που δεν την είχε ακόμα περιγράψει και η οποία ήταν καλύτερη από την προηγούμενη. Έτσι κατασκεύασε ένα πίνακα με είκοσι οκτώ θέσεις του Άρη για μελλοντική χρήση.

Σχετικά με την χρονολόγηση ο Stephenson παρατηρεί ότι στα κεφάλαια 51 και 53 παρατίθενται οι αποστάσεις και οι ανωμαλίες, δηλαδή εκλεπτυσμένα παρατηρησιακά δεδομένα, τα οποία ο Κέπλερ πρόκειται να συζητήσει παρακάτω, αν και αυτά τα κεφάλαια είναι τελείως διαφορετικά. Από τις έξι τιμές της μέσης ανωμαλίας που αναφέρονται στο κεφάλαιο 51, η μια αφορά στην απόδειξη ότι η γραμμή των ασπίδων διέρχεται μέσα από το ίδιο το ήλιο, οι άλλες ήταν στις θέσεις που είχε χρησιμοποιήσει για τη διερεύνηση της γήινης τροχιάς στα κεφάλαια 26, 27, και 28. Τα δεδομένα των κεφαλαίων 51 και 52 προέρχονται από μια πολύ προγενέστερη περίοδο από αυτήν του κεφαλαίου 53 και το θέμα τους είναι η απόδειξη ότι η γραμμή των ασπίδων του Άρη διέρχεται από τον ήλιο, η οποία ήταν σίγουρα ένα από τα πρώτα θεωρητικά αποτελέσματα του Κέπλερ. Δεν θα ήταν υπερβολή να σκεφθούμε ότι ο Κέπλερ κατά τους υπολογισμούς αποσκοπούσε στον προσδιορισμό της ωοειδούς τροχιάς του Άρη.

Έχοντας όλα αυτά τα δεδομένα ο Κέπλερ ήταν σε θέση να απορρίψει το μοντέλο εργασίας του για τις αποστάσεις στην ωοειδή τροχιά του Άρη. Στο κεφάλαιο 45, είχε υποθέσει ότι η τροχιά είναι ωοειδής όπου σε μέση ανωμαλία a η απόσταση του Άρη ήταν ανάλογη προς την τετραγωνική ρίζα της του $1 + 2e \sin a + e^2$. Πρόχειροι υπολογισμοί έδειξαν ότι αυτή η θεωρία των αποστάσεων ήταν ασυμβίβαστη με τις

θέσεις που υπολογίζονταν από τις παρατηρήσεις του Τύχο. Η θεωρία των αποστάσεων με την χρήση του επίκυκλου έφερνε το επίπεδο της τροχιάς πάρα πολύ κοντά στις μέσες αποστάσεις, όπου η αρχική κυκλική τροχιά το είχε αφήσει πολύ μακριά. Αυτοί οι άμεσοι υπολογισμοί της απόστασης έδωσαν εξήγηση- στο πλαίσιο της φυσικής του Κέπλερ- για τα λάθη που είχε ήδη βρει σε εξισώσεις που είχαν υπολογιστεί από το μοντέλο των αποστάσεων. Το μοντέλο αυτό το είχε επινοήσει για να μετακινήσει τον πλανήτη πιο γρήγορα στις μεσαίες αποστάσεις.

Ως μοντέλο της απόστασης, ο ομοιόμορφα περιστρεφόμενος επίκυκλος ήταν ανεπαρκής και οδήγησε σε μια ωοειδή τροχιά. Με τους συλλογισμούς αυτούς Κέπλερ διέψευδε το παλιό μοντέλο της απόστασης και οι αποστάσεις και οι εξισώσεις που υπολόγιζε έδειχναν ότι το μισοφέγγαρο που είχε αποκοπεί μεταξύ του κύκλου και της ωοειδούς έπρεπε να είναι περίπου το μισό σε πλάτος από ότι εμφανιζόταν σε αυτό το μοντέλο. Το μεγαλύτερο πλάτος του μισοφέγγαρου ήταν 858 τμήματα, εκεί που η ακτίνα της τροχιάς του Άρη ήταν 100.000. Η ωοειδής τροχιά υπολειπόταν του κύκλου το μισό του μέγιστου αυτού πλάτους στις μεσαίες αποστάσεις. Επίσης οι φυσικές εξισώσεις αν υπολογίζονταν από τον νόμο των αποστάσεων και από το μοντέλο της ωοειδούς, έδειχναν περίπου το ίδιο σφάλμα αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο Κέπλερ έπρεπε να επινοήσει μια θεωρία για την απόσταση που θα τράβαγε τον πλανήτη κατά περίπου το μισό από όσο πριν μέσα στον κύκλο, δηλαδή κατά 429 μέρη περίπου.

Όταν ο Κέπλερ εργαζόταν πάνω στη σεληνιακή θεωρία συνειδητοποίησε ότι η ωοειδής του ήταν πάρα πολύ περιορισμένη. Αρχικά υπέθεσε ότι ο επίκυκλος που καθόριζε την απόσταση του πλανήτη, επιταχυνόταν στις ανίδες σε αναλογία με την σεληνιακή «παράλλαξη» που είχε ανακαλυφθεί από τον Τύχο, η οποία κινούσε την σελήνη ταχύτερα οι συζυγίες. Επιπλέον είχε ανακαλύψει την συμμετρία που εμφάνιζαν οι παρατηρήσεις στην ωοειδή του, οι οποίες έδειχναν σαν να επρόκειτο για έλλειψη. Σε επιστολή του προς τον Fabricius τον Δεκέμβριο του 1604 γράφει ότι η αλήθεια πρέπει να βρίσκεται κάπου ανάμεσα στο σχήμα του αυγού και στο σχήμα του κύκλου *«σαν να ήταν η τροχιά του Άρη μια τέλεια έλλειψη. Δεν έχω ανακαλύψει όμως τίποτα σχετικό μέχρι αυτή τη στιγμή»*⁵⁵. Από ό, τι φαίνεται η έλλειψη του είχε γίνει έμμονη ιδέα, καθώς στους υπολογισμούς του χρησιμοποιούσε συνεχώς

⁵⁵ A. Koestler, ό.π., σελ243

ελλείψεις, αλλά μάλλον ως βοηθητικές καμπύλες προκειμένου να προσδιορίσει προσεγγιστικά το εμβαδόν της ωοειδούς.

Ακολουθώντας τις ενδείξεις περισσότερο παρά τη φυσική της θεωρίας του επικυκλικού μοντέλου, ανακάλυψε ένα τρόπο για να κατασκευάσει μια συμμετρική ωοειδή όπως την χρειαζόταν. Στο κεφάλαιο 56 ο ίδιος εξηγεί πως οδηγήθηκε σε μια τέτοια θεωρία. Απελπισμένος από την αποτυχία του και παρά τις πολύ επίπονες προσπάθειες του στη μελέτη της ωοειδούς, παρατήρησε τυχαία την τιμή της τέμνουσας⁵⁶ της γωνίας των 5.18° , δηλαδή της μέγιστης οπτικής εξίσωσης⁵⁷ του Άρη. Η τέμνουσα αυτή είναι 100429, εκεί όπου η ακτίνα της τροχιάς είναι 100.000. Η σύμπτωση των αριθμών από ότι φαίνεται κέντρισε την προσοχή του Κέπλερ και σκέφθηκε ότι ο μηνίσκος, όπως η οπτική εξίσωση, ήταν μεγαλύτερη στις μέσες αποστάσεις, και το πλάτος της εκεί ήταν ακριβώς όσο διέφερε η τέμνουσα από την ακτίνα, δηλαδή 429 τμήματα. Άρα να ήθελε κάποιος να κατασκευάσει μια ωοειδή τροχιά με τις σωστές διαστάσεις, θα μπορούσε να αντικαταστήσει την ακτίνα με την τέμνουσα στα τεταρτοκύκλια και ακόμα και σε όλη την τροχιά.

Όπως ο ίδιος ο Κέπλερ περιγράφει⁵⁸: «*άρχισα να αναρωτιέμαι για τις αιτίες και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αποκοπεί ένας μηνίσκος τέτοιου πάχους (0,000429). Και εκεί που με βασάνιζε αυτή η σκέψη ότι ήταν μάταιος ο θρίαμβος μου πάνω στον Άρη, έπεσα τελείως τυχαία πάνω στην τέμνουσα της γωνίας των 5.18° , που είναι το μέτρο της μεγαλύτερης οπτικής εξίσωσης.*

Όταν συνειδητοποίησα ότι αυτή η τέμνουσα ισούται με 1.00429 ήταν σαν να ξύπνησα από τον ύπνο για να δω ένα νέο φως, και άρχισα»

Κατά τον Stephenson αυτό το κρίσιμο βήμα προς την έλλειψη, το οποίο όπως λέει ο Κέπλερ ήταν γοητευτικά τυχαίο, εξακολουθεί να αφήνει πάρα πολλά πράγματα ανεξήγητα, καθώς περιγράφει κατά προσέγγιση τα γεγονότα, αφού σε έναν κύκλο με εκκεντρότητα 9.265 μέρη, η μέγιστη οπτική εξίσωση δεν είναι 5.18° αλλά 5.19° , και δεν εμφανίζεται στο τεταρτημόριο, όπου η έκκεντρη ανωμαλία είναι 90° , αλλά μικρότερη και σε κάθε ωοειδή τροχιά θα είναι ακόμα μεγαλύτερη. Το θέμα του Κέπλερ δεν ήταν η αριθμητική ακρίβεια που από ότι ο ίδιος ομολογεί πρόκειται για

⁵⁶ τέμνουσα γωνίας είναι ο λόγος της υποτείνουσας προς την προσκείμενη κάθετη πλευρά ενός ορθογωνίου τριγώνου

⁵⁷ οπτική εξίσωση είναι η γωνία που σχηματίζεται από τα σημεία Ήλιος-Άρης- κέντρο τροχιάς

⁵⁸ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy*, ό.π.σελ. 557:267

μια αριθμητική σύμπτωση, αλλά χρειαζόταν κάποια θεωρία ώστε να μπορέσει να αποκόψει τις πλευρές του κύκλου του και να αφαιρέσει τον μηνίσκο που ήταν η μεγαλύτερος γύρω από τα τεταρτημόρια. Αντικαθιστώντας την ακτίνα με την τέμνουσα ο Κέπλερ αποκτά μια «απόσταση» που δεν επισυνάπτεται ούτε στον ήλιο, ούτε στον πλανήτη πάνω στην ωοειδή του.

Στο σχήμα 11 παραπάνω ο Κέπλερ θεωρεί ότι η οπτική εξίσωση στο σημείο E είναι γωνία AEB. Η τέμνουσας αυτής της γωνίας είναι όπως την υπολογίζουμε σήμερα ο λόγος EA προς EB. Για τον Κέπλερ ήταν απλά η απόσταση EA, όπου EB είναι η έμμεση ακτίνα αναφοράς και ο ίδιος πρότεινε να ορίζεται ως απόσταση του πλανήτη από τον ήλιο η ακτίνα EB, την οποία μετρούσε από τον ήλιο στο A μέχρι το ένα E, που κατείχε ο πλανήτης μέσα στον κύκλο. Λαμβάνοντας μια άλλη απόσταση από τον κύκλο, δηλαδή AH ως τέμνουσα, ο Κέπλερ την αντικατέστησε με μια ακτίνα η οποία έχει βρεθεί να είναι η HR, όπου το R είναι το ίχνος της κάθετης από τον ήλιο A πάνω στη διαμέτρου που άγεται στο H. Όλη αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα παράξενο τρόπο για να κατασκευάσει κάποιος μια ωοειδή, και πάντως όχι ένας τρόπος που επιχειρεί κάποιος που έχει απλά στο νου του τις αποστάσεις από τον ήλιο προς την τροχιά.

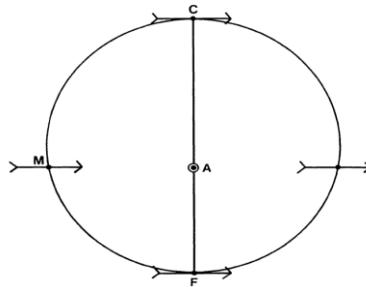
Η εξήγηση που δίνει ο Stephenson είναι ότι ο Κέπλερ είχε χρησιμοποιήσει πιο πριν αυτές τις αποστάσεις, όταν προσπαθούσε να υπολογίσει το εμβαδόν της κογχοειδούς που ήταν σχεδόν ισοδύναμη με το άθροισμα των αποστάσεων σε μια κυκλική τροχιά (Σχήμα 13). Τότε προκειμένου να κατασκευάσει μια δεύτερη κογχοειδή (Σχήμα 14), η οποία θα ήταν πραγματικά ισοδύναμη με ένα άθροισμα των αποστάσεων, είχε αναγκαστεί να αντικαταστήσει τις πραγματικές αποστάσεις με τις προβολές τους πάνω στην διάμετρο, επειδή ήταν κάθετες προς τα τόξα της περιφέρειας, τα οποία τα θεωρούσε τις βάσεις της «*Αρχιμήδειων τριγώνων*». Στην πραγματικότητα τότε είχε αντικαταστήσει τις τέμνουσες από τις ακτίνες τους, σε σχέση με μια γωνία η οποία ήταν ακριβώς η οπτική εξίσωση για την κυκλική τροχιά. Ο στόχος του τότε ήταν να ελέγξει το σφάλμα στον νόμο των εμβαδών, ως μια προσέγγιση στον νόμο των αποστάσεων. Τώρα όμως ήταν σε θέση να συνειδητοποιήσει- όπως ο ίδιος έγραψε σαν ξύπνημα από ύπνο- ότι αυτές οι πιο κοντές αποστάσεις, που δεν έφταναν στον κύκλο- που δεν ήταν η σωστή τροχιά του πλανήτη- εκτείνονταν από τον ήλιο προς την ωοειδή, που ήταν η σωστή τροχιά.

Τα χρόνια των περιπλανήσεων τα αφιερωμένα στη μελέτη της ωοειδούς φαίνεται ότι δεν πήγαν χαμένα, αν μη τι άλλο μπορεί να τα θεωρήσει κάποιος ως ένα βήμα προς την εφεύρεση του απειροστικού λογισμού. Στο κεφάλαιο 57 έχοντας μια μαθηματική θεωρία των αποστάσεων που συμφωνεί με την πραγματική κίνηση του πλανήτη, όπως ορίζεται από τις παρατηρήσεις, ο Κέπλερ στράφηκε ξανά προς το πρόβλημα της φυσικής περιγραφής, δηλαδή αναζήτησε τον τρόπο με τον οποίο ο πλανήτης κινείται αλλάζοντας την απόσταση του. Οι ταλαντώσεις της νέας θεωρίας, οι οποίες είναι μεγαλύτερες στις μεσαίες αποστάσεις και συμμετρικά μικρότερες κοντά στις αψίδες μεταβάλλονταν κατά ένα αξιόπιστο φυσικό τρόπο ανάλογα με την «ένταση» της έκκεντρης ανωμαλίας. Η ένταση κατά τον Κέπλερ θα μεταβαλλόταν όπως το ημίτονο. Μάλλον εδώ θεωρεί ότι οι αλλαγές που είναι ανάλογες προς το ημίτονο μιας γωνίας που ορίζεται με φυσικό τρόπο δεν είναι ασυνήθιστες στη φύση.

Υποθέτοντας ότι ο πλανήτης δεν μπορεί μόνο με τις δικές του ενυπάρχουσες δυνάμεις να προκαλέσει μεταφορά από μέρος σε μέρος, παρά μόνο αν αυτές κατευθύνονται από άλλες εξωτερικές δυνάμεις, ο Κέπλερ ισχυρίζεται ότι πρέπει να θεωρηθούν ως ανταποδοτικές εν μέρει στην ηλιακή δύναμη⁵⁹. Προκειμένου να περιγράψει αυτού του είδους τις δυνάμεις επινόησε και φιλοτέχνησε ένα φυσικό παράδειγμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 17. Στο σχήμα αυτό περιγράφεται ένα κυκλικό ποτάμι που μεταφέρει μια βάρκα κατά τη ροή του. Αν ένα κουπί διεύθυνσης, προσαρμοζόταν μαλακά έτσι ώστε να περιστρέφεται κατά μισή περιστροφή σε κάθε ταξίδι γύρω από το κέντρο, τότε θα οδηγούσε τη βάρκα προς το κέντρο, και στη συνέχεια πίσω. Ας φανταστούμε ένα ποτάμι που ρέει γρήγορα γύρω από τον κύκλο προς τα αριστερά. Στα σημεία Δ και Ε του ποταμού, πατώντας το κουπί, με τέτοιο ώστε να αναγκάζει τη βάρκα να κινείται προς τα μέσα δηλαδή προς το κέντρο. Στο περιήλιο F η πίεση είναι όμοια και δεν κινεί τη βάρκα ούτε προς μέσα ούτε προς τα έξω. Στα σημεία G και η πίεση αναγκάζει τη βάρκα να κινηθεί πίσω προς το C, όπου το κουπί έχει κάνει μισή περιστροφή από την αρχική του θέση. Ο Κέπλερ παρομοιάζει την κίνηση της βάρκας με εκείνη του πλανήτη, να διανύει μια έκκεντρη αλλά κατευθυνόμενη προς τα μέσα διαδρομή και η απόσταση του από το κέντρο να αλλάζει πολύ γρήγορα στις μεσαίες αποστάσεις.

⁵⁹ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy* , ό. π. σελ. 563:270

έλκεται προς τον ήλιο με αποτέλεσμα η προσέγγιση να είναι πιο γρήγορη. Στη συνέχεια η προσέγγιση προς τον ήλιο γίνεται λιγότερο έντονη, μέχρι το περιήλιο F όπου ο πλανήτης πάλι ούτε πλησιάζει ούτε απομακρύνεται, καθώς κανένας από τους δυο πόλους δεν είναι πλησιέστερα στον ήλιο. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στο υπόλοιπο μισό της τροχιάς.



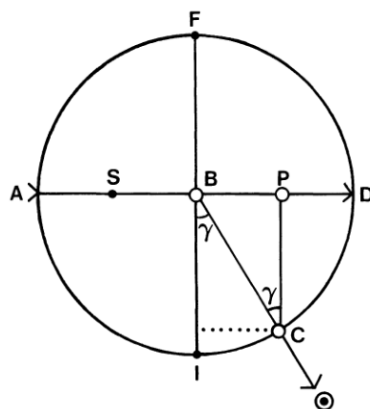
Σχήμα 18

Σύμφωνα με τη θεωρία της απόστασης, η αύξηση της ταλάντωσης του πλανήτη, όταν διανύει ένα τόξο κοντά στο περιήλιο θα έπρεπε είναι η ίδια με εκείνη ενός ίσου τόξου που θα είχε την ίδια απόσταση από το αφήλιο, αν και ο πλανήτης θα μπορούσε να καθυστερήσει περισσότερο στο πιο μακρινό τόξο κοντά στο αφήλιο. Ο Κέπλερ δεν είχε κανένα μαθηματικό επιχείρημα για να δικαιολογήσει τη μαγνητική αναλογία του σε αυτό το σημείο, αλλά ήξερε ότι η έλξη ενός μαγνήτη αποδυναμώνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση. Προκειμένου να περιγράψει μαθηματικά την μαγνητική δύναμη που διέπει την ταλάντωση του πλανήτη ή την κίνηση προς και από τον ήλιο, ο Κέπλερ υποθέτει ένα τρόπο με τον οποίο η δύναμη της ταλάντωσης να μεταβάλλεται καθώς ο πλανήτης κινείται γύρω από τον ήλιο. Έχοντας υιοθετήσει την άποψη άλλων συγγραφέων που είχαν ασχοληθεί με τη θεωρία του μαγνήτη σύμφωνα με την οποία η δύναμη αυτή διαιρείται ομαλά από τη διαίρεση του ίδιου του μαγνήτη, θεώρησε ότι το πλανητικό σώμα έχει έναν και μοναδικό άξονα.

Στο σχήμα 19 παρακάτω ο κύκλος παριστάνει το σώμα του πλανήτη, AD είναι ο άξονας της δύναμης που προκαλεί την ταλάντωση, D είναι ο πόλος που έλκεται από τον ήλιο και A είναι ο πόλος που απωθείται. Αν ο πλανήτης ήταν στο αφήλιο και ο ήλιος στη διεύθυνση BI, τότε οι δυο πόλοι θα σχημάτιζαν ίσες γωνίες με την ακτίνα από τον ήλιο και δεν θα συνέβαινε η ταλάντωση. Αν υποθέσουμε ότι ο πλανήτης απομακρύνεται από το αφήλιο, ενώ ο ήλιος βρίσκεται στην διεύθυνση BC, τότε η πραγματική ή η ισοδύναμη ανωμαλία είναι η γωνία PCB ή CBI που σημειώνονται στο σχήμα με γ στο σχήμα. Ο ήλιος «φαίνεται» από τον πόλο που έλκεται υπό την

οξεία γωνία CBD και από τον πόλο που απωθείται υπό την αμβλεία γωνία CBA, έτσι η ελκτική δύναμη ξεπερνά την απωθητική.

Ο Κέπλερ θέλει να αναγάγει το φαινόμενο της κίνησης του πλανήτη σε ένα φυσικό φαινόμενο ανάλογο της ζυγαριάς: Η ελκτική δύναμη ας είναι η AP και η απωθητική η DP, όπου P είναι το ίχνος της κάθετης από το C προς τον άξονα. Αν η AD ήταν μια δοκός ισορροπίας εξαρτημένη από τον βραχίονα CB, ο βραχίονας και η δοκός σχηματίζουν γωνία αν τα βάρη στο A και στο D είναι αντιστοίχως AP και DP. Επιπλέον αν η δοκός ήταν εξαρτημένη από τον βραχίονα CP, ο βραχίονας παραμένει οριζόντιος αν τα βάρη στα σημεία A και D είναι αντιστοίχως DP και AP. Από τις δυο αυτές υποθέσεις η δεύτερη είναι η θεωρία του μοχλού και είναι σωστή ενώ η πρώτη είναι λάθος. Αν κάποιος αποδώσει στην δύναμη που προκαλεί την ταλάντωση τον παραπάνω φυσικό υπόδειγμα λειτουργίας τότε η καθαρή δύναμη που ασκείται στον πλανήτη είναι η διαφορά των AP και DP. Επειδή $AS=DP$ η διαφορά αυτή είναι το SP που είναι διπλάσιο από το BP, οπότε η δύναμη μεταβάλλεται όπως μεταβάλλεται το BP κατά την περιστροφή του πλανήτη γύρω από τον ήλιο. Το BP όμως εκφράζεται από το ημίτονο της ισοδύναμης ανωμαλίας δηλαδή της γωνίας γ . Ο Κέπλερ είχε υποθέσει ότι οι υποτιθέμενοι μαγνητικοί πλανήτες έλκονται ή απωθούνται από τον ήλιο ανάλογα με το ημίτονο της ισοδύναμης ανωμαλίας, όταν τα υπόλοιπα πράγματα παραμένουν ίσα.



Σχήμα 19

Έχοντας στο μυαλό του την θεωρία των αποστάσεων ο Κέπλερ έγραψε την παραπάνω φυσική ανάλυση αποβλέποντας στο να εκφράσει τη συνολική επίδραση της δύναμης της ταλάντωσης. Στο επικυκλικό διάγραμμα όταν ο πλανήτης βρισκόταν στο αφήλιο η απόστασή του από τον ήλιο ήταν $1+e$, όταν βρισκόταν σε έκκεντρη

ανωμαλία β , η απόσταση ήταν $R=1+e\cdot\sin\beta$. Η ταλάντωση ήταν $e\cdot(1-\sin\beta)$. Αυτό που ήθελε να δείξει ήταν ότι το άθροισμα του μεγάλου αριθμού των μεριδίων της ταλάντωσης που καθένα ήταν ανάλογο του ημιτόνου της **ισοδύναμης ανωμαλίας** θα ανερχόταν στο παρημίτονο⁶⁰ της έκκεντρης ανωμαλίας του πλανήτη. Το σκοτεινό αυτό ζητούμενο του Κέπλερ γινόταν ακόμα πιο δύσκολο, αν σκεφτούμε ότι δεν είχε γνώσεις απειροστικού λογισμού. Για κάθε γωνία αποτελούμενη από έναν ακέραιο αριθμό μοιρών σε ένα τεταρτοκύκλιο, άθροιζε τα ημίτονα για κάθε μοίρα της γωνίας και το σύγκρινε με το παρημίτονο της γωνίας και το βρήκε ανάλογο εκτός από την αρχή του τεταρτημορίου όπου τα λάθη ήταν μεγάλα. Καθώς οι παρατηρήσεις έδειχναν ότι η ταλάντωση ήταν περίπου⁶¹ όσο το παρημίτονο και κατά απόλυτη τιμή τα λάθη μικρά ο Κέπλερ θεώρησε πολύ ικανοποιητικό το αποτέλεσμα.

Στο 57 κεφάλαιο ο Κέπλερ έκανε και άλλους υπολογισμούς, προκειμένου να στηρίξει την φυσική του θεωρία για την δύναμη της ταλάντωσης. Στην πραγματικότητα, ολόκληρη η επιχειρηματολογία του στο επίπεδο της φυσικής ερμηνείας της θεωρίας της ταλάντωσης με τη χρήση του παρημιτόνου ήταν αναμφίβολα γραμμένη με προσεγγιστικούς όρους. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αναλογικότητα βρίσκεται μέσα στα όρια του αισθητού σφάλματος. Το αξιοσημείωτο είναι ότι ο Κέπλερ όταν έγραφε το κεφάλαιο 57 δεν γνώριζε ότι η τελική του θεωρία και η προέλευση της από τη φυσική του για τη σχέση του παρημιτόνου ήταν ακριβής.

Ο Κέπλερ ήταν γενικά ικανοποιημένος με τη φυσική θεωρία της ταλάντωσης που είχε διατυπώσει. Η θεωρία υπέθετε ότι οι επενεργούσες δυνάμεις ήταν όμοιες με εκείνες τις φυσικές δυνάμεις των μαγνητών, χωρίς να απαιτείται κανενός είδους μυαλού για να επιβλέπει την κίνηση. Η θεωρία όμως ένα ελάττωμα καθώς υπέθετε ότι ο μαγνητικός άξονας του πλανήτη έπρεπε να διατηρεί μια σταθερή κατεύθυνση, κάθετη προς τη γραμμή των ανίδων. Στην περίπτωση της γης μόνο ο άξονας περιστροφής διατηρείται σε σταθερή ευθυγράμμιση για ακόμα ένα κλάσμα μιας ημέρας. Αυτός ο άξονας κατευθύνεται προς την αρχή του Καρκίνου, η οποία είναι αρκετά κοντά στη γραμμή των ανίδων της γης και σίγουρα όχι κάθετα προς αυτή. Η υπόθεση ότι ο άξονας περιστροφής έπρεπε να διατηρεί μια σταθερή κατεύθυνση, οπότε οι μεταβαλλόμενες συνθήκες του απέδιδαν τις σωστές διακυμάνσεις στην απόσταση. δεν υπήρξε δεσμευτική για τον Κέπλερ. Έτσι για την περίπτωση που ο

⁶⁰ παρημίτονο της γωνίας φ είναι το $1-\sin\varphi$

⁶¹ στην τελική θεωρία η ταλάντωση ήταν ακριβώς όσο το παρημίτονο

άξονας δεν θα μπορούσε να κρατήσει την κατεύθυνση του, θεώρησε ότι υπάρχει κάποιου είδους μυαλό στον πλανήτη που ελέγχει την κίνηση του. Αναρωτήθηκε χωρίς να απαντά πώς ένας νους στον πλανήτη θα μπορούσε να γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο θα καθόριζε τις μεταβολές στην απόσταση του πλανήτη. Το υπόδειγμα αυτού του τρόπου με τον οποίο κυβερνάται ο πλανήτης είναι ό,τι χρειαζόταν για να οικοδομήσει πάνω σε φυσικές αρχές τη νέα του αληθινή αστρονομία. Ο μόνος εμφανής τρόπος για να αντιληφθεί ένας νους την απόστασή του από τον ήλιο ήταν να εξετάσει την ηλιακή διάμετρο.

Μέχρι τώρα σύμφωνα με τη θεωρία των αποστάσεων είχε βρει ότι συνολικά η δύναμη της ταλάντωσης, η οποία είχε αναχθεί στο άθροισμα των ημιτόνων της ισοδύναμης ανωμαλίας, ήταν ανάλογη προς το παρημίτονο της έκκεντρης ανωμαλίας. Καθώς ο πλανήτης κινείτο από το αφήλιο στο περιήλιο, η μεταβολή στη φαινόμενη διάμετρο του ήλιου, όπως φαινόταν από τον πλανήτη, ήταν ανάλογη προς την μεταβολή του παρημιτόνου της πραγματικής ανωμαλίας. Ο Κέπλερ δεν γενίκευσε το συμπέρασμα του απλά απέδειξε ότι ίσχυε σε πραγματική ανωμαλία 90° , δηλαδή έδειξε ότι όταν ο πλανήτης ήταν στις 90° από τη γραμμή των αψίδων το μέγεθος του ήλιου, όπως φαινόταν από τον πλανήτη, ήταν όσο το μέγεθος όπως φαίνεται από ενδιάμεση θέση ανάμεσα στο αφήλιο και στο περιήλιο. Πρόκειται πάλι για ένα ακριβή υπολογισμό που έγινε χωρίς τη χρήση του απειροστικού λογισμού, παρά μόνο στηρίχθηκε στο 6^ο βιβλίο των Στοιχείων του Ευκλείδη, που αναφέρεται στην εφαρμογή της θεωρίας αναλογιών επί γεωμετρικών μεγεθών στην ομοιότητα επίπεδων σχημάτων.⁶² Δηλαδή απέδειξε ότι σε μια ελλειπτική τροχιά οι μεταβολές στο φαινόμενο μέγεθος του ήλιου, είναι ανάλογες προς τις αντίστοιχες αλλαγές στα παρημίτονα της αληθινής ανωμαλίας.

Στο κεφάλαιο 57 ο Κέπλερ πρότεινε δυο διαφορετικές θεωρίες οι οποίες αναφέρονται στην ερμηνεία των ταλαντώσεων του πλανήτη. Η πρώτη στηρίζεται σε φυσικές δυνάμεις μαγνητικές ή περίπου μαγνητικές, στο άθροισμα των οποίων συνάντησε μαθηματικές δυσκολίες. Στη δεύτερη θεωρία γίνεται υπόθεση για την ύπαρξη κάποιου είδους πρωτόγονα πλανητικά μυαλά, τα οποία εικάζεται ότι είναι εξοπλισμένα με την αίσθηση και τον έλεγχο, που απαιτείται για να καθορίσει πόσο θα απομακρυνθεί ο πλανήτης. Στη μαγνητική θεωρία ο Κέπλερ είχε θεωρήσει ως

⁶² B.L. Van Der Waerden., *Η Αφύπνιση της Επιστήμης*, σελ.230

αξίωμα ότι ο άξονας του πλανήτη θα είχε συνεχώς την ίδια κατεύθυνση πράγμα θεωρούσε ως μια φυσική θεωρία που στεκόταν από μόνη της. Στην δεύτερη θεωρία είχε θέσει ένα παρόμοιο αξίωμα την *tractus*⁶³ η οποία θα παράσχει μια ένδειξη του ημιτόνου της ανωμαλίας. Στη συνέχεια θεωρεί ότι είναι περιττή η ύπαρξη του πλανητικού νου, πράγμα που όπως λέει ο ίδιος λέει οι αναγνώστες του δεν θα ήταν πρόθυμοι να πιστέψουν στην ύπαρξη του.

Ο Κέπλερ μετά από έξι χρόνια διαρκούς αγώνα είχε εκφράσει με έναν απλό τύπο τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονταν οι αποστάσεις του Άρη από τον ήλιο ανάλογα με τη θέση του. Ο τύπος $R=1+e\sin\beta$ που εκφράζει την απόσταση του πλανήτη από τον ήλιο προσδιόριζε την τροχιά ως έλλειψη, αλλά ο Κέπλερ μη γνωρίζοντας αναλυτική γεωμετρία δεν το είχε αντιληφθεί. Είχε ανακαλύψει εμπειρικά τις εξισώσεις του αλλά δεν ήταν ακόμα σε θέση να τις συνδέσει με την έλλειψη. Είχε στα χέρια του ένα νόμο για την απόσταση που έδινε αποτελέσματα που ανταποκρίνονταν και στις παρατηρήσεις και στους φυσικούς του συλλογισμούς, τον οποίο διατήρησε σταθερά ως το βασικό μέρος της θεωρίας του αλλά είχε δεν καταφέρει να συμπεράνει με βεβαιότητα ότι η τροχιά ήταν έλλειψη.

Ο Stephenson θεωρεί ότι ο Κέπλερ εγκαταλείποντας τον κύκλο δεν ήταν σίγουρος για τον τρόπο που όριζε την έκκεντρη ανωμαλία. Στηριζόμενος στην αρχαία αστρονομία είχε δυο ερμηνείες: Την μια στη φυσική γενικά όταν υπολόγιζε με τον νόμο των αποστάσεων τις καθυστερήσεις ή στη μαγνητική θεωρία της ταλάντωσης, θεωρούσε ως έκκεντρη ανωμαλία την απόσταση μετακίνησης του πλανήτη πάνω στη τροχιά του. Ενώ σε γεωμετρικές κατασκευές που χρησιμοποιούσε στη θεωρία της απόστασης και στη πιο αφηρημένη φυσική του, όπου απέδιδε την πληροφορία σε κάποιο μυαλό, θεωρούσε ότι την έκκεντρη ανωμαλία ως μια γωνία που είχε κορυφή το κέντρο της τροχιάς και έβαινε στο τόξο που είχε αρχή το αφήλιο και τέλος την εκάστοτε θέση του πλανήτη πάνω στην τροχιά του.

Στο κεφάλαιο 58 ξεκινάει εκ νέου να κατασκευάσει την τροχιά που αντιστοιχούσε στην εξίσωση του, αλλά έκανε κάποιο γεωμετρικό λάθος με αποτέλεσμα να καταλήξει σε μια τροχιά που είχε μεγαλύτερο πλάτος κοντά στο

⁶³ *Tractus*; Εκτεταμένες συνθέσεις κάποιου είδους που υπάρχουν στον πλανήτη, που έλκονται με φυσικό τρόπο με κατεύθυνση προς τον ήλιο, αλλά συγχρόνως κρατιούνται σε κάποια άλλη κατεύθυνση από μια ζωική δύναμη, ώστε να υπάρχει μια συνεχής πάλη ανάμεσα στη ζωική δύναμη και τη φυσική έλξη. Σε αυτή τη πάλη ο Κέπλερ θέτει ως υπόθεση ότι η ζωική υπερνικά τη φυσική έλξη.

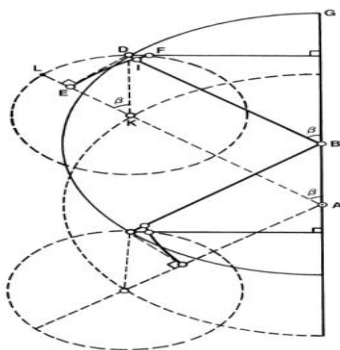
αφήλιο από ότι κοντά στο περιήλιο, γι αυτό την ονόμασε *via buccosa*⁶⁴. Αποκαλύπτοντας το λάθος του ο Κέπλερ υπονοούσε ότι η τροχιά έπρεπε να είναι πιο συμμετρική σχετικά πιο στενή κοντά στο αφήλιο και σχετικά πιο πλατιά στο περιήλιο και σύντομα εξηγεί πως θα την διορθώσει. Εγκαταλείποντας τη φυσική θεωρία της ταλάντωσης γύρισε πίσω στους υπολογισμούς που είχε κάνει προκειμένου να βρει τις θέσεις του πλανήτη στην προηγούμενη θεωρία της απόστασης στο κεφάλαιο 45, όπου είχε υποθέσει ένα ομοιόμορφα περιστρεφόμενο επικύκλο. Οι υπολογισμοί αυτοί ήταν εσφαλμένοι όπως και οι υπολογισμοί του κεφαλαίου 43, όπου είχε χρησιμοποιήσει κυκλική τροχιά. Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα ο Κέπλερ οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι η πραγματική τροχιά πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στις δύο αυτές υποθέσεις, οπότε είχε προχωρήσει στη θεωρία της ταλάντωσης και στο εγχείρημα του υπολογισμού του μέγιστου πλάτους του μισοφέγγαρου, το οποίο ήταν η διαφορά της τροχιάς του πλανήτη και του κύκλου(κεφάλαιο 56). Τελικά οδηγήθηκε σε μια τροχιά ασύμμετρη, της οποίας οι φυσικές εξισώσεις ήταν εσφαλμένες .

Το εκπληκτικό είναι ότι ο Κέπλερ είχε χρησιμοποιήσει στους υπολογισμούς του στα διάφορα μοντέλα ελλείψεις, αλλά τις χρησιμοποιούσε ως βοηθητικά εργαλεία-τεχνάσματα προκειμένου να προσδιορίσει το εμβαδόν της ωοειδούς καμπύλης του. Στο μοντέλο του κεφαλαίου 45 όπου πάλι είχε χρησιμοποιήσει μια συμμετρική ωοειδή καμπύλη - μια έλλειψη, είχε οδηγηθεί επίσης σε μια ασύμμετρη καμπύλη, όπου οι υπολογισμοί του απείχαν από την πραγματικότητα όσο απείχαν και από τον κύκλο. Ο Κέπλερ λοιπόν κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η τροχιά του πλανήτη ήταν μια συμμετρική ωοειδής, η οποία βρισκόταν ανάμεσα στην ωοειδή του και στον κύκλο που είναι περιγεγραμμένος σε αυτήν, δηλαδή μια ήταν έλλειψη. Ο Stephenson θεωρεί ότι η επιτυχία του Κέπλερ στο να υιοθετήσει την τροχιά της έλλειψης συνίσταται στο γεγονός ότι την προσάρμοσε στην φυσική του θεωρία, πράγμα που δεν εξηγεί ο Κέπλερ στην *Astronomia nova* δηλαδή δεν εξηγεί πώς από τις αμέτρητες συμμετρικές ωοειδείς που θα μπορούσαν να επιβεβαιώνουν τις παρατηρήσεις, θεώρησε ότι η ελλειπτική τροχιά ήταν αυτή που ανταποκρινόταν στη φυσική.

Η ερμηνεία που δίνει ο Stephenson είναι η εξής: Η λύση που έδωσε ο Κέπλερ στη μακροχρόνια αναζήτηση της τροχιάς του Άρη είχε ως κομβικό σημείο τον

⁶⁴ *Via buccosa*:φλασκομάγουλη

αυθαίρετο επανακαθορισμό της έκκεντρης ανωμαλίας. Στο σχήμα 20 παρακάτω, σύμφωνα με τη θεωρία της ταλάντωσης η πλανητική απόσταση που αντιστοιχούσε σε έκκεντρη ανωμαλία β , ήταν AE , όπου β είναι η γωνία LKD πάνω σε ένα φανταστικό επίκυκλο. Η θέση του ίδιου του πλανήτη, ωστόσο, εξαρτάται από τη σημασία που δίνει κάποιος στο β , ως μιας παραμέτρου που περιγράφει την τροχιά. Η *via buccosa* προέκυψε από την προφανή ερμηνεία της γωνίας β ως της επίκεντρης GBD και ήταν λάθος. Αλλά αν ο πλανήτης ήταν στο F πάνω στην κάθετη από το D προς την γραμμή των ασφιδων, τότε αν ως απόσταση λαμβανόταν η AE , τότε οι εξισώσεις ήταν ικανοποιητικές. Στο κεφάλαιο 59 ο Κέπλερ οδηγήθηκε μέσω της παρακάτω κατασκευής στην έλλειψη: Αν β είναι η έκκεντρη ανωμαλία, κατασκεύασε ένα κύκλο που ήταν περιγεγραμμένος στην τροχιά και επομένως εφαπτόμενος στην τροχιά στο αφήλιο και στο περιήλιο. Η γωνία β αν μετρηθεί από το αφήλιο ορίζει ένα σημείο στον κύκλο. Από το σημείο αυτό έφερε την κάθετη στη γραμμή των ασφιδων και τότε η θέση του πλανήτη ήταν πάνω σε αυτή την κάθετη και σε απόσταση από τον ήλιο που καθοριζόταν από τη θεωρία της ταλάντωσης.



Σχήμα 20

Ο Κέπλερ επιπλέον απέδειξε ότι στην έλλειψη ο νόμος των εμβαδών λειτουργεί ακριβώς ως υποκατάστατο του νόμου των αποστάσεων. Ωστόσο στα κεφάλαια 58-60 δεν αναφέρεται καθόλου στο φυσικό ρόλο της έκκεντρης ανωμαλίας στον θεμελιώδη νόμο της απόστασης, ο οποίος διέπει την κίνηση γύρω από τον ήλιο. Η νέα σχέση μεταξύ του πλανήτη και της έκκεντρης ανωμαλίας, η οποία ήταν και το τελικό βήμα για την έγκριση της ελλειπτικής τροχιάς του Κέπλερ, του επέτρεψε να συμβιβάσει τη φυσική του με τα αποτελέσματα από την παρατήρηση.

Συνοψίζοντας καθώς ο Κέπλερ δεν είναι σίγουρος για την γεωμετρία της τροχιάς του Άρη επιστρέφει στις προσεγγιστικές μεθόδους που είχε χρησιμοποιήσει στο

παρελθόν. Υποθέτει λοιπόν ότι η τροχιά είναι έλλειψη προκειμένου να εφαρμόσει τον νόμο των εμβαδών στην ωοειδή του. Στη συνέχεια χωρίζοντας την έλλειψη και τον κύκλο με κάθετες στην γραμμή των ασπίδων, υπολόγισε τους τομείς της έλλειψης σε αναλογία με τους αντίστοιχους κυκλικούς τομείς. Κατά τον εντοπισμό του πλανήτη κατά μήκος της γραμμής, η οποία είχε ορισθεί πρόχειρα, βρήκε ότι ο πλανήτης βρίσκεται πάνω στη βοηθητική έλλειψη που είχε χρησιμοποιήσει. Αναζητώντας λοιπόν μια συμμετρική ωοειδή, ο Κέπλερ οδηγούμενος από τις κάθετες που είχε φέρει για να μετρήσει τους τομείς, είχε αποκτήσει μια καμπύλη που ανταποκρινόταν στη θεωρία του των αποστάσεων, με μια νέα όμως θεώρηση για την έκκεντρη ανωμαλία. Έτσι τελείωσε η μακροχρόνια αναζήτηση του.

Στο κεφάλαιο 59 ο Κέπλερ δεν αναζητά πλέον την τροχιά του Άρη αλλά μιλάει για μια γνωστή τροχιά, την έλλειψη, της οποίας κατασκευάζει το σημείο που σήμερα ονομάζουμε εστία της έλλειψης και διατυπώνει προτάσεις τις οποίες ονομάζει *protheoremata*⁶⁵, που συνδέουν την θεωρία των αποστάσεων με την ελλειπτική τροχιά του Άρη. Τα θεωρήματα χωρίζονται σε δύο ομάδες: Αυτά που καθιερώνουν το νόμο των εμβαδών ότι δηλαδή ότι οι τομείς της έλλειψης είναι ανάλογοι με αντίστοιχους τομείς του κύκλου, που με τη σειρά τους είναι ανάλογοι με το άθροισμα των αποστάσεων των άνω⁶⁶ τμημάτων της έλλειψης, τα οποία όμως αντιστοιχούν σε ίσες διαιρέσεις του κύκλου. Η δεύτερη ομάδα θεωρημάτων είχε ασχοληθεί στενά με αυτό το θέμα, χωρίς να μπορεί να απαντήσει ικανοποιητικά σ' αυτό, παρά μόνο να δείξει σε γενικές γραμμές, ότι αυτή η συγκεκριμένη διαίρεση της έλλειψης ήταν αναγκαία για να υπάρχει ισοδυναμία ανάμεσα στο νόμο της απόστασης και στο νόμο των εμβαδών. Το 4^ο κεφάλαιο της *Astronomia nova* κλείνει με το κεφάλαιο 60, όπου ο Κέπλερ περιγράφει υπολογιστικές μεθόδους για την μετατροπή μεταξύ της μέσης, έκκεντρης και πραγματικής ανωμαλίας.

⁶⁵ Η λέξη χρησιμοποιήθηκε από τον Μαρτιανό Καπέλλα (5ος αιώνας μ. Χ.), προφανώς ως άμεση μεταγραφή από το ελληνικό, όπου σήμαινε προκαταρκτική συζήτηση. Ο Κέπλερ ωστόσο δεν τη χρησιμοποίησε με αυτό το νόημα και δεν είναι σαφές τι εννοούσε με αυτή τη λέξη, αφού θα έπρεπε να πει τις προτάσεις απλώς θεωρήματα.

⁶⁶ Παραμένει το αναπάντητο το ερώτημα γιατί ο Κέπλερ διαίρεσε τη έλλειψη σε άνω τμήματα.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η φυσική σύνθεση (ΚΕΦ.61-68)

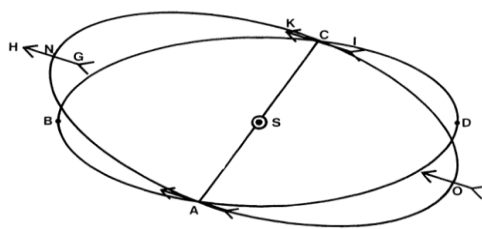
Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος της *Astronomia nova*, η τελειότητα της θεωρίας του μήκους οδήγησε τον Κέπλερ να ασχοληθεί πάλι με τα γεωγραφικά πλάτη του Άρη και να βρει καλύτερες παραμέτρους για τη θεωρία του γεωγραφικού πλάτους. Επιπλέον σκόπευε να παρουσιάσει μια φυσική υπόθεση για την κίνηση του πλανήτη κατά πλάτος και κάποιες από τις σημαντικές συνέπειες αυτής της κίνησης.

Στο κεφάλαιο 63 η φυσική θεωρία, που προτείνεται ήταν απλή και απορρέει από την απλότητα της κίνησης των πλανητών κατά το γεωγραφικό πλάτος. Οι συνέπειες αυτής της θεωρίας αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 68 αλλά δεν γίνεται αναφορά σ' αυτές στους αιώνες που έχουν μεσολαβήσει. Στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στις λανθασμένες θεωρίες της ταλάντωσης που διέπουν τις αλλαγές της απόστασης του πλανήτη από τον ήλιο και στη θεωρία του γεωγραφικού πλάτους, αλλά ωστόσο παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Η φυσική υπόθεση του κεφαλαίου 63 είναι εμπνευσμένη από τη θεωρία της ταλάντωσης, όπου ο Κέπλερ υποθέτει αξιωματικά την ύπαρξη ενός μαγνητικού άξονα στο σώμα του πλανήτη. Ο άξονας αυτός υποτίθεται ότι έχει πάντα σταθερή κατεύθυνση προς τους απλανείς αστέρες κάτω από τους οποίους καθορίζονται τα όρια της κατά πλάτος κίνησης του πλανήτη. Ο άξονας παραμένει παράλληλος σε όλα τα μέρη της τροχιάς του, κατευθύνοντας τον πλανήτη όπως ένας μαγνήτης βόρεια και νότια της περιστρεφόμενης ηλιακής εικόνας ή όπως ένα κουπί τη βάρκα.

Στο σχήμα 21 παρακάτω περιγράφεται η πορεία του πλανήτη: καθώς ο πλανήτης πέρναγε τον άνω κόμβο, στο σημείο C η πορεία του ήταν εφαπτόμενη στον άξονα ΙΚ της κατά πλάτος κίνησης. Η κίνηση του άξονα εξέτρεπε τον πλανήτη βόρεια της πορείας της ηλιακής εικόνας, κατά τον κύκλο CBAD. Όταν ο πλανήτης έφτανε στο όριο του βόρειου γεωγραφικού πλάτους στο N, η διαδρομή του ήταν σε ορθές γωνίες με την αμετάβλητη κατεύθυνση του άξονα, η οποία, κατά συνέπεια, δεν είχε καμία επίδραση στην κίνηση του σε αυτά τα σημεία. Στα όρια ο πλανήτης ακολουθούσε την κατεύθυνση της κινούμενης ηλιακής εικόνας, που κινείτο παράλληλα προς τον ισημερινό του ήλιου. Στη συνέχεια καθώς ο πλανήτης κατερχόταν προς τον κόμβο A,

το νότιο άκρο του άξονα προπορευόταν καθοδηγώντας τον πλανήτη πίσω στο μέσο της πορείας της εικόνας του ήλιου, και στο νότιο όριο.



Σχήμα 21

Στο κεφάλαιο 57 ο Κέπλερ προκειμένου δώσει εξηγήσεις για το είδος του άξονα αυτοσχεδιάζει και δεν ξεκαθαρίζει τη άποψη του για τη φύση του άξονα, καθώς μιλάει ακόμα και για κάποιου είδους πνευματική οντότητα που εμπλέκεται στη λειτουργία του. Σε αυτή τη φάση μάλλον τείνει να αποδώσει στον κεκλιμένο άξονα, που κατευθύνει τις ταλαντώσεις του πλανήτη βόρεια και νότια του ηλιακού ισημερινού κάποια φυσική υπόσταση: Θεωρεί ότι καθώς ο πλανήτης κινείται γύρω από τον ήλιο, ο άξονας έλκεται και απωθείται από τον ήλιο, οπότε θα υπόκειται σε κάποια δύναμη που τείνει να τον εκτρέψει. Από την άλλη μεριά ο άξονας μάλλον στρέφει τον πλανήτη παρά τον μετακινεί και παραμένει πάντοτε στην ίδια ευθυγράμμιση, χωρίς να υπάρχει λόγος να εκτραπεί.

Ο άξονας του πλάτους είχε την ιδιαιτερότητα ότι όταν ο πλανήτης ήταν στα όρια του γεωγραφικού πλάτους, είχε διεύθυνση ακριβώς προς τον ήλιο, που σημαίνει ότι το επίπεδο της τροχιάς του πλανήτη διερχόταν μέσα από το κέντρο του ήλιου. Η ιδέα αυτή όπως και το γεγονός ότι για κάποιο λόγο η έκκεντρη τροχιά οδηγούσε τον πλανήτη να κατευθύνεται προς τα μέσα δεν αποδόθηκε από τον Κέπλερ σε κάποια πνευματική επίδραση. Ο Κέπλερ θεώρησε ότι ο πλανήτης είχε δημιουργηθεί με τον άξονά του κατάλληλα ευθυγραμμισμένο και παρέμεινε αναλλοίωτος με αυτή την ευθυγράμμιση μέσα στους αιώνες. Η εξήγηση αυτή είναι ανεπαρκής, αλλά δεν μπορεί να επικαλείται πλέον τα πλανητικά μυαλά τα ικανά για υψηλά λειτουργίες, όπως π. χ αυτές των Μαθηματικών. Άλλωστε μετά από χρόνια μελέτης ο Κέπλερ θεωρεί ότι τα υποδείγματα της κίνησης που προτείνει η φύση από μόνη της μπορεί να τα ερμηνεύσει.

Οι παράδοξες υποθέσεις του Κέπλερ, που αναπτύσσονται στο *Μυστήριο* αναφέρονται σε πιθανά ουράνια «μυαλά», «anima motrix» δηλαδή μια κινητήρια

ψυχή που κατευθύνει την κίνηση των πλανητών, μολονότι φαντάζονται άνευ νοήματος και περιττές, φαίνεται να έχουν τελικά παίξει σημαντικό ρόλο στην φυσική του ανάλυση καθώς και στην επιχειρηματολογία του στο *Astronomia nova*. Ο ίδιος γράφει «Αν αντικαταστήσουμε τη λέξη «ψυχή» (*anima*), με τη λέξη δύναμη «*votrix*», θα έχουμε την ίδια αρχή, στην οποία βασίζεται η ουράνια φυσική στην *Astronomia nova*. Διότι στο παρελθόν πίστευα απολύτως ότι η αιτία της κίνησης των πλανητών είναι κάποια ψυχή.... Όταν όμως αντιλήφθηκα ότι αυτό το κινητήριο αίτιο εξασθενεί καθώς αυξάνει η απόσταση από τον ήλιο, ακριβώς όπως μειώνεται το φως του ήλιου, συμπέρανα ότι αυτή η δύναμη πρέπει να θεωρήσουμε ότι έχει υλική υπόσταση». Αργότερα έγραψε «Σκοπός μου είναι να δείξω ότι η μηχανή του ουρανού δεν είναι κάτι θεϊκό, ζωντανό αλλά ένα είδος ωρολογιακού μηχανισμού, όπου όλες σχεδόν οι πολλαπλές κινήσεις οφείλονται σε μια πολύ απλή, μαγνητική και υλική δύναμη, όπως ακριβώς όλες οι κινήσεις του ρολογιού οφείλονται σε ένα απλό βάρος.

Επιπλέον ο άξονας του γεωγραφικού πλάτους δεν ήταν πάντα ευθυγραμμισμένος κατά τη διάρκεια των αιώνων, καθώς οι κόμβοι της κατά πλάτος κίνησης των πλανητών δεν ήταν σταθεροί, αλλά κινούνταν πολύ αργά, γύρω από την εκλειπτική και η κατεύθυνση του κεκλιμένου άξονα μεταβαλλόταν. Το γεγονός αυτό αποδείκνυε ότι υπήρχε κάτι πέρα από τυφλές δυνάμεις της φύσης που διέπει τις αποκλίσεις των πλανητών βόρεια και νότια του ηλιακού ισημερινού. Ο Κέπλερ καθώς η ερμηνεία του με μια ακριβή μαθηματική φυσική ήταν ανεπαρκής προτίμησε να διατηρήσει στη θεωρία του μια οιονεί μαγνητική δύναμη, με πιθανή νοητική εποπτεία, παρά μια δύναμη με υπερφυσική νοητική επίδραση.

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω ο Κέπλερ αναφέρεται σε δυο διαφορετικούς άξονες κίνησης του πλανήτη: τον άξονα της κατά πλάτος κίνησης με κατεύθυνση από το νότο προς τον βορρά και τον άξονα της δύναμης ταλάντωσης που είναι κάθετος προς την γραμμή των ασίδων προς τις θέσεις των ζωδίων. Αυτό δηλώνει ότι οι δυο θεωρίες της ταλάντωσης και πλάτους δεν μπορούσαν να ενοποιηθούν και να εκπορεύονται από κάποιο ιδιαίτερη κατασκευή μέσα στον πλανήτη. Ο Κέπλερ ίσως να είχε σκεφθεί ότι το εξωτερικό κέλυφος ενός πλανητικού κόσμου θα μπορούσε να κινείται ελεύθερα αφήνοντας το εσωτερικό στην δική του ευθυγράμμιση.

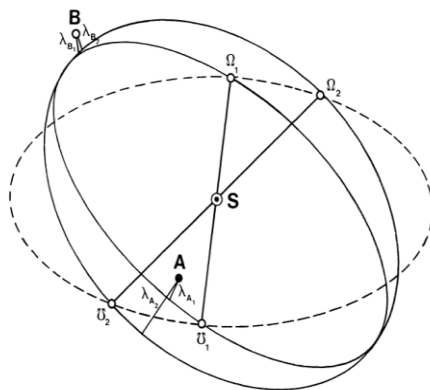
Στο κεφάλαιο 68 ο Κέπλερ ενοποιεί τις φυσικές θεωρίες του πλάτους και της ταλάντωσης στην περίπτωση της γης. Ο άξονας της δύναμης ταλάντωσης της γης

είναι στραμμένος προς τις μέσες αποστάσεις, στον Κριό και στο Ζυγό, αλλά δεν γνώριζε τι γίνεται με τον άξονα του γεωγραφικού πλάτους της καθώς τα όρια πλάτους της γης ήταν άγνωστα. Αυτό ήταν ένα νέο πρόβλημα δεδομένου πριν από τη φυσική ερμηνεία του Κέπλερ περί της πλανητικής κίνησης η γη δεν είχε καμία κίνηση κατά πλάτος, καθώς η τροχιά της οριζόταν από την εκλειπτική, της οποίας το επίπεδο ήταν μηδενικού πλάτους. Ο Κέπλερ είχε επιλέξει αυθαίρετα αυτό το επίπεδο το οποίο είναι σημαντικό στη φυσική του στην οποία δεν έκανε καμία αναφορά στο επίπεδο της τροχιάς της γης. Οι κατά πλάτος κινήσεις του πλανήτη τον απομάκρυναν από το επίπεδο της κίνησης της ηλιακής εικόνας, δηλαδή από τον ηλιακό ισημερινό επίπεδο. Στο επίπεδο αυτό κατά τον Κέπλερ θα μετακινούνταν όλοι πλανήτες αν δεν είχαν τις κατάλληλες διαμέτρους, που διευθύνουν την κίνηση τους βόρεια και νότια. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις από το επίπεδο αυτό στην κίνηση του πλανήτη ορίζονταν από την ηλιακή δύναμη. Το ηλιακό ισημερινό επίπεδο δεν ήταν ορατό με παρατήρηση, δηλαδή ο Κέπλερ είκαζε ότι ο ήλιος περιστρέφεται, ως ένα αποτέλεσμα της κυκλοφορίας των πλανητών, χωρίς η υπόθεση αυτή να στηρίζεται στη παρατήρηση. Αν η φυσική του πλάτους ήταν σωστή, τότε ο άξονας κάθε πλανήτη θα συναντούσε τον ουρανό σε συγκεκριμένες θέσεις. Αυτές οι θέσεις της τροχιάς του πλανήτη ήταν οι πιο απομακρυσμένες από το αόρατο μονοπάτι της εικόνας του ήλιου, το οποίο λόγω της σπουδαιότητας που είχε στη φυσική του το ονόμαζε *Circulus regius* (βασιλικό κύκλο).

Μολονότι ωστόσο δεν είχε στοιχεία να αποδείξει την ηλιακή περιστροφή(οι ηλιακές κηλίδες δεν ήταν γνωστές) το ακαταμάχητο ταλέντο του για σύνθεση συνεπικουρούμενο από λίγη τύχη τον βοήθησε να την συμπεριλάβει σε μια θεωρία που διέπεται από γνήσια επιστημονική κομψότητα, παρά από τη λανθασμένη φυσική του.

Ο Κέπλερ γνώριζε από τις παρατηρήσεις του Τύχο ότι τα πλάτη κάποιων σταθερών απλανών αστερών είχαν αλλάξει κατά λίγα λεπτά του τόξου σε σχέση με τις θέσεις που περιέχονταν στους καταλόγους του Πτολεμαίου. Στην ανάπτυξη της φυσικής του θεωρίας ερμηνεύεται ηλιοκεντρικά αυτό το φαινόμενο και προτείνεται μια θαρραλέα θεωρητική ενοποίηση των φυσικών του θεωριών. Η ηλιοκεντρική θεωρία του Κέπλερ είναι η εξής: Τα αστέρια δεν μπορεί να έχουν κινηθεί, η κοσμολογία του Κοπέρνικου τα θεωρεί ακίνητα και σε τεράστια απόσταση υπεράνω των πλανητών. Θεωρεί φυσικό να υποθέσει ότι η εκλειπτική(το επίπεδο τροχιάς της

γης) είναι αυτή που κινείται, καθώς μεταβάλλεται η απόσταση των αστεριών από την αυτήν. Επιπλέον οι κόμβοι του Άρη (δηλαδή τα σημεία τομής του επιπέδου της τροχιάς του με το επίπεδο της γης) δεν έμεναν σταθεροί καθώς και οι σεληνιακοί κόμβοι κινούνταν γύρω από τον ζωδιακό κύκλο κάθε εννέα χρόνια.



Σχήμα 22

Στο Σχήμα 22 παραπάνω φαίνεται γιατί η κίνηση της εκλειπτικής ερμήνευε γιατί αλλάζουν τα παρατηρούμενα από τον Τύχο πλάτη των αστεριών. Το επίπεδο της εκλειπτικής σχηματίζει γωνία με το ισημερινό επίπεδο, την μέση εκλειπτική. Αυτό το επίπεδο είναι κεκλιμένο κατά μια γωνία, σε μεγάλο βαθμό στο σχήμα, με το ηλιακό ισημερινό επίπεδο, δηλαδή τη μέση εκλειπτική. Οι κόμβοι του τροχιακού επιπέδου με τη μέση εκλειπτική, είναι σημειωμένα με Ω για τον ανερχόμενο κόμβο Υ για το κατερχόμενο κόμβο. Κατά τη διάρκεια των αιώνων η τροχιά της Γης κινείται σαν σε κούνια πολύ αργά γύρω από τον ήλιο, διατηρώντας μια σταθερή κλίση, οπότε η γραμμή των κόμβων να κινείται από $\Omega_1 \Upsilon_1$ στο $\Omega_2 \Upsilon_2$ (σχήμα). Το πλάτος του αστερά A κοντά στους κόμβους μεταβάλλεται πολύ πιο γρήγορα από ότι το πλάτος του αστερά B κοντά στα όρια. Σε βάθος χρόνου (χιλιετιών) ενώ η γραμμή των κόμβων θα διαγράφει μια πλήρη περιστροφή, το πλάτος οποιουδήποτε αστερά θα μεταβάλλεται με ημιτονοειδή μεταβολή, καθώς η εκλειπτική θα ταλαντεύεται γύρω από την μέση θέση της.

Ο Tycho είχε παρατηρήσει αλλαγή στα αστρικά γεωγραφικά πλάτη γύρω από τα ηλιοστάσια, δηλαδή γύρω από αστερισμό του Καρκίνου και του Αιγόκερου. Στις περιοχές αυτές θα έπρεπε να περιλαμβάνονται οι κόμβοι της τροχιάς της γης δηλαδή η τομή της εκλειπτικής με τη μέση εκλειπτική, οπότε τα γήινα όρια, όπου έδειχνε ο άξονας της κίνησης της γης κατά πλάτος θα βρίσκονταν γύρω από τις ισημερίες.

Σύμφωνα με τη φυσική του Κέπλερ, ο άξονας της ταλάντωσης της γης έδειχνε επίσης κοντά στις ισημερίες. Οι γήινες ασπίδες ήταν κοντά στην αρχή του Καρκίνου και του Αιγόκερου, έτσι ώστε ο άξονας ταλάντωσης κατευθυνόταν υπό ορθή γωνία, κοντά στην αρχή του Κριού και Ζυγού. Θα μπορούσε, ως εκ τούτου, να είναι ο ίδιος άξονας με εκείνον που είναι υπεύθυνος για τα γήινα πλάτη και έτσι οι δύο θεωρίες της φυσικής του θα μπορούσαν να ενοποιηθούν.

Ο Κέπλερ θεωρούσε ότι οι παρατηρημένες από τον Τύχο μεταβολές στα αστρικά πλάτη ήταν σπουδαίες όχι γιατί ήταν κοντά στα ηλιοστάσια αλλά περισσότερο γιατί ήταν κοντά στις ασπίδες της γης. Αυτές οι πληροφορίες συνέτειναν να μην εγκαταλείψει την υπόσχεση του για την ανάπτυξη περαιτέρω της ενοποίησης των θεωριών της ταλάντωσης και του πλάτους. Το κύριο εμπόδιο ήταν ότι το ηλιακό ισημερινό επίπεδο δεν ακόμα ορατό, παρά μόνο οι τροχίες των πλανητών, αλλά οι γραμμές των ασπίδων δεν ήταν αόρατοι, οπότε θα μπορούσε να τις υπολογίσει με κάποια ακρίβεια. Αλλά αν η γραμμή των ασπίδων του πλανήτη συνέπιπτε με εκείνη των κόμβων όπως προτάθηκε από την φυσική του και από τα αστρικά γεωγραφικά πλάτη του Τύχο, τότε θα ήταν γνωστές οι γραμμές των κόμβων των πλανητών. Αφού όλες οι γραμμές των κόμβων ήταν οι διασταυρώσεις των διαφόρων τροχιών με τη μέση εκλειπτική, συμπεράνε ότι θα βρίσκονταν όλες στο επίπεδο της μέσης εκλειπτικής, δηλαδή στο ηλιακό ισημερινό επίπεδο. Ο Κέπλερ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν εύρισκε ένα επίπεδο που να διέρχεται τις γραμμές των ασπίδων όλων των πλανητών, τότε αυτό θα ήταν η αόρατη μέση εκλειπτική, η οποία θα κατέγραφε την πορεία του ισημερινού της ηλιακής περιστροφής και την δράση της κινούμενης εικόνας του.

Η φυσική του Κέπλερ δεν ήταν σωστή και υπήρχε επίπεδο το οποίο να διέρχεται από τις γραμμές των ασπίδων των έξι γνωστών πλανητών. Το όραμα του για τη μεγάλη σύνθεση που ήθελε να θεμελιώσει πάνω στον νέο υπολογισμό των πλανητικών τροχιών κατά μήκος των γραμμών που είχε κατασκευάσει για τον Άρη και την γη δεν βγήκε αληθινό. Η ελπίδα αυτή δεν ήταν παράλογη, αν σκεφθεί κάποιος όλη της διαδρομή του Κέπλερ στην *Astronomia nova*: είχε μετατοπίσει όλες τις γραμμές των ασπίδων από το μέσο στον αληθινό αληθινή ήλιο, και είχε ανακατασκευάσει εκ βάθρων μια θεωρία του γεωγραφικού πλάτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Κέπλερ είχε επινοήσει από τις φυσικές θεωρίες του και από παρατηρήσεις ένα επίπεδο που να περιέχει όλες τις γραμμές των ασπίδων. Αν το

επίπεδο αυτό υπήρχε θα συνέπιπτε με τον ηλιακό ισήμερινό, δηλαδή το βασικό επίπεδο αναφοράς της φυσικής αστρονομίας. Η ύπαρξη αυτού του επιπέδου κατέχει μείζονα θέση στη θεωρία του και αποτελεί τη βάση της αστρονομίας του. Ο ίδιος δεν περιορίστηκε σε υποθέσεις όπως προηγούμενοι θεωρητικοί της ουράνιας φυσικής, αλλά σε καλλιεργημένες θεωρίες από μια γόνιμη φαντασία που στηρίζονταν στηρίχτηκαν όσο ήταν δυνατόν στην μαθηματική αστρονομία.

Οι παραπάνω φυσικές θεωρίες ήταν λάθος και το σχέδιο του Κέπλερ για την ενοποίηση ήταν μια ψευδαίσθηση, ωστόσο, από τον προβληματισμό του σχετικά με αυτές απέκτησε βαθειά γνώση για τη θέση του ως ένας οπαδός του Κοπέρνικου. Έτσι ο Κέπλερ κλείνει το κεφάλαιο, που αποτελεί κατά τον Stephenson ένα από τα πιο πρωτότυπα και όμορφα κεφάλαια σε ολόκληρο το βιβλίο, με την ελπίδα ότι ο Θεός⁶⁷ θα χαρίσει στην ανθρώπινη φυλή επαρκή χρόνο μέσα σε αυτό το σύμπαν προκειμένου να επιλύσει αυτά τα θέματα.

⁶⁷ Johannes Kepler., *Astronomia nova*, Translated by William H. Donahue., Johannes. Kepler, *New Astronomy* ό.π., σελ 640

8^Ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Αντιδράσεις στο έργο του Κέπλερ

Το εγχείρημα του Κέπλερ μπορεί να θεωρηθεί ότι ολοκληρώνεται με την απόρριψη της απειρίας του σύμπαντος, δηλαδή την μείωση των διαστάσεων του κόσμου και την κατασκευή της σφαίρας των σταθερών αστεριών της. Η αντίληψη της απειρίας του σύμπαντος⁶⁸ ήταν μια καθαρά μεταφυσική δοξασία που δεν ήταν δυνατό να αποτελέσει τη βάση μιας εμπειρικής επιστήμης αφού δεν θα μπορούσε με κανένα τρόπο να θεμελιωθεί στην εμπειρία. Αυτό φαίνεται ότι ο Κέπλερ το είχε κατανοήσει γι' αυτό τη χαρακτηρίζει άνευ περιεχομένου. Οι αιτίες που οδήγησαν τον Κέπλερ στο συμπέρασμα αυτό είναι μεταφυσικές και απορρέουν από τα θρησκευτικά του πιστεύω. Πράγματι ως ένας ευλαβής χριστιανός, βλέπει τον κόσμο ως μια έκφραση του θεού που συμβολίζει την Αγία Τριάδα και ενσωματώνει στη δομή του μια μαθηματική τάξη και αρμονία, που δεν μπορεί να βρίσκεται στο άπειρο τελείως άμορφο ή ομοιόμορφο σύμπαν του Μπρούνο.

Ο Κέπλερ θεωρεί ότι η άποψη της απειρίας του κόσμου, έχει τα θεμέλια της στους ειδωλολάτρες φιλοσόφους, τους οποίους αντέκρουσε -δικαιολογημένα κατά την δική του γνώμη ο Αριστοτέλης-και αντιτάσσει στον Giordano Bruno και στον Gilbert (ο οποίος υποστηρίζει την απειρία του σύμπαντος προκειμένου να μεγαλώνει την άπειρη δύναμη του θεού), μια αντίληψη αστρονομικής επιστήμης, η οποία θεμελιώνεται στα φαινόμενα και περιορίζεται σ' αυτά.

Για ένα τέταρτο του αιώνα με όλη την δύναμη της νεότητας του ο Κέπλερ περιπλανήθηκε σε ένα δρόμο δύσκολο γεμάτο παγίδες, στο οποίο πάντα γύριζε με την αλάνθαστη φροντίδα της θείας πρόνοιας. Μοιάζει το σύμπαν να αποκάλυψε στη σκέψη του επίμονου δημιουργήματος του τον λόγο του, όταν η διάνοια του επίγειου μαθηματικού ενώθηκε με την διάνοια του Θεού αρχιτέκτονα: *«Ποτέ μέχρι τώρα δεν δόθηκε σε κάποιον η ευκαιρία να επιβιβαστεί με έναν τόσο τυχερό τρόπο σε ένα τόσο θαυμαστό έργο και τόσο αντάξιο του σκοπού που υπηρετεί»* ομολογεί ο Κέπλερ όταν το 1621 επανεξετάζει το *Μυστήριο*. Τότε ένοιωσε ότι σαν να του είχε δοθεί κάποιος χρησμός ότι κάθε τι που είχε καταθέσει στα μέχρι τότε έργα του ήταν αρκούντως επαρκή για την αποκάλυψη της αλήθειας δηλαδή ότι : το σύμπαν ήταν μια έκφραση

⁶⁸ Α. Κουτε, *Από τον κλειστό κόσμο στο άπειρο σύμπαν*, εκδ. ΕΥΡΥΑΛΟΣ, σελ.61

της Δημιουργικής Αγίας Τριάδας και ακολουθούσε τους νόμους της αναλογίας και της αρμονίας .

Ο Κέπλερ δεν επένδυσε στη ταχεία επιτυχία και είναι αξιοσημείωτο ότι στη ζωή του δεν είχε οπαδούς δεδομένου ότι οι σύγχρονοι του και οι απόγονοι τους απέρριπταν ομόφωνα την αρμονική κοσμολογία του καθώς και τις εμβριθείς και πλούσιες ιδέες του σχετικά με την φυσική του ουρανού επιπλέον απέρριπταν και τους άκρως αξιόπιστους και ακριβείς τρεις νόμους του. Είναι χαρακτηριστικό ότι τρία χρόνια πριν την έκδοση του *Astronomia Nova* (1609) ο Fabricius επαναφέρει τις αντιρρήσεις του Tycho Brahe έναντι της υπόθεσης του Κοπέρνικου περί της απόρριψης της κυκλικότητας με το επιχείρημα ότι αυτή καταστρέφει την σταθερότητα των ουράνιων φαινομένων. Το 1616 την παραμονή της έκδοσης της *Επιτομής*, ο δάσκαλος του Κέπλερ ο Maestlin στον οποίο είχε ανακοινώσει το σπουδαίο σχέδιο του, απορρίπτει την κορυφαία ιδέα του Κέπλερ για την ουράνια φυσική επικαλούμενος ότι βλάπτει την αισθητική και την υγιή επιστημονική φιλοσοφία.

Από την άλλη μεριά οι εκφραστές της επίσημης ακαδημαϊκής αστρονομίας έδωσαν μικρή σημασία στις επαναστατικές θεωρίες του Αυτοκρατορικού Μαθηματικού. Οι μεγάλοι νεωτεριστές, Γαλιλαίος και Ντεκάρτ επίσης τον αγνόησαν πλήρως.

Οι Gassendi και Boulliau ήταν οι μόνοι σχεδόν που ενστερνίστηκαν το έργο του Κέπλερ στο πρώτο μισό του 17^{ου} αιώνα. Ο Gassendi επισήμανε τις παρατηρήσεις και τις προβλέψεις, συμπεριλαμβανομένης και της διέλευσης του Ερμή πάνω στο ηλιακό δίσκο, επιπλέον επικρότησε τις απόψεις του Κέπλερ περί μαγνητικών δυνάμεων αν και έδειχνε να μην αντιλαμβάνεται την θεωρία των πλανητικών κινήσεων, στις οποίες βασιζόταν και από τις οποίες προερχόταν η θεωρία αυτή. Όσον αφορά τον Boulliau, υιοθέτησε την δήλωση του Κέπλερ για τις ελλειπτικές τροχιές αλλά τις μετασχημάτισε πλήρως, απορρίπτοντας την Κεπλερική δυναμική προς χάριν της θεωρητικής κινητικής σύλληψης της αστρονομίας. Επιπλέον ο Boulliau αντικατέστησε τον νόμο των εμβადών του Κέπλερ με την πτολεμαϊκή σύλληψη του εξισωτή, επικαλούμενος την ανομοιομορφία της ελλειπτικής τροχιάς.

Σκοπός του Boulliau ήταν να παράσχει νέα γεωμετρικά και οπτικά επιχειρήματα για την κίνηση της γης. Εντυπωσιασμένος από την κομψότητα του Κέπλερ στα

«Πλατωνικά Στερεά» και του Γαλιλαίου στην «πλατωνική κοσμογονία», ο Boulliau αναζήτησε μια ενιαία λύση σε δύο μακροχρόνια προβλήματα: την κίνηση των πλανητών (πρόβλημα Κέπλερ) και την επίσπευση της εγκυκλίου της ελεύθερης πτώσης (πρόβλημα του Γαλιλαίου). Η πιο ξεκάθαρη έκφραση αυτών των δεσμεύσεων του Boulliau ήρθε στο έργο του *Astronomia philolaïca* του (1645), αναμφισβήτητο το πιο σημαντικό βιβλίο για την αστρονομία στην περίοδο μεταξύ του Κέπλερ και του Νεύτωνα.

Στην Αγγλία ο μόνος οπαδός του Κέπλερ είναι ο Jeremias Horrocks, ο οποίος αποδέχθηκε όχι μόνο την θεωρία περί των ελλειπτικών τροχιών των πλανητών, αλλά και τον μηχανισμό της φαινόμενης ταλάντωσης των πλανητών που συνέλαβε ο Κέπλερ και την ερμηνεία περί μαγνητικών δυνάμεων στις οποίες την απέδωσε.

Κατά τον Koyre⁶⁹ ο J.A.Borelli ήταν ο πρώτος που κατανόησε την εξαιρετική σημασία της επανάστασης του Κέπλερ. Ο Borelli όχι μόνο δανείσθηκε την ελλειπτικότητα των πλανητικών τροχιών του Κέπλερ, αλλά επιπλέον υιοθέτησε τη γενική του σύλληψη της ουράνιας φυσικής, αν και την άλλαξε με ένα δικό του τρόπο, ιδιαίτερα αντικατέστησε την αλληλεπίδραση των κεντρομόλων και των φυγόκεντρων δυνάμεων με την φαινόμενη ταλάντωση του ήλιου. Επιπλέον δανείσθηκε την λανθασμένη θεωρία του νόμου της δυναμικής του Κέπλερ, ότι δηλαδή η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης, την οποία θεωρούσε ως ισοδύναμη μιας απλής ελλειπτικής θεωρίας.

Η Αστρονομία θα είχε μείνει για πολύ καιρό σε αυτή τη κατάσταση, αλλά η Θεία πρόνοια αποφάσισε να προσφέρει έναν αντάξιο διάδοχο του Κέπλερ, τον Νεύτωνα, ο οποίος συνδυάζοντας τους τρεις νόμους του Κέπλερ με τη σύλληψη της έλξης κατάφερε να συνδέσει την ουράνια και την επίγεια φυσική –πράγμα που υπήρξε το όνειρο του Κέπλερ-στο ***Philosophia Naturalis Principia Mathematica***.

⁶⁹ A.Koyre, *The Astronomical Revolution* English translation by Herman 1973 σ.σ 362-364

Επίλογος

Η ανάπτυξη της μοντέρνας επιστήμης

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να διευρυνθεί η προοπτική αυτών που μελετούν εκείνα μόνο τα μέρη του έργου του Κέπλερ που είναι σωστά αλλά και εκείνων που δίνουν έμφαση στο γεγονός ότι ένας μεγάλος επιστήμονας υποστηρίζει και διατυπώνει θεωρίες που φαίνονται εσφαλμένες ή ακόμα και μυστικιστικές. Δεν είναι ωφέλιμο να αξιολογεί κάποιος αναχρονιστικά την επιστήμη του Κέπλερ, αντίθετα είναι χρήσιμο να ακολουθεί τα επιχειρήματα του όταν έχουν συνέχεια και λογική και να τα τοποθετεί στο πλαίσιο της εποχής του.

Σε πολλές μελέτες- απολογισμούς των επιτευγμάτων της επιστήμης του 17^{ου} αιώνα το έργο του Κέπλερ εξετάζεται συνήθως ξεχωριστά. Μολονότι το έργο του κατέχει εξέχουσα θέση, όσον αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων που προέρχονται από την προσεκτική μελέτη παρατηρήσεων και την διατύπωση γενικών νόμων, ο ίδιος φαίνεται να μη ταιριάζει με τους επιστήμονες, που συνέβαλαν στη ανάπτυξη της σύγχρονης επιστήμης. Ο Κέπλερ ολοκλήρωσε την κατασκευή της αρχαίας αστρονομίας, ακριβώς τη στιγμή που προβάλλει στο προσκήνιο η γέννηση της σύγχρονης φυσικής, που συμπίπτει με το έργο του Γαλιλαίου.

Σήμερα ξεχωρίζουμε το μέρος του έργου του Κέπλερ, που αναφέρεται στους «νόμους της πλανητικής κίνησης» αποδίδοντας την αξία που αναλογεί στους νόμους μιας επιστήμης, εντελώς άγνωστης στον Κέπλερ, όπως είναι σε μεγάλο βαθμό η κλασική ή η νευτώνεια φυσική. Οι νόμοι αυτοί κερδίζουν τον θαυμασμό, όχι τόσο επειδή είναι ακριβείς- αφού οι πλανήτες δεν κινούνται ακριβώς όπως περιγράφουν οι νόμοι-αλλά επειδή αποτελούν τους τύπους που προκύπτουν ως εξιδανικευμένο παράδειγμα της Νευτώνειας δυναμικής. Ο Koyre παραφράζοντας μια φράση του Νεύτωνα παρατηρεί εύστοχα: *«αν όντως ο Νεύτων είδε τόσο μακριά, τόσο μακρύτερα από οποιονδήποτε άλλον πριν από αυτόν, ήταν γιατί ήταν ένας γίγας ανεβασμένος πάνω στους ώμους γιγάντων»* Το γεγονός ότι ο Κέπλερ είχε ήδη δημοσιεύσει τους νόμους του περισσότερο από μισό αιώνα πριν από τη έκδοση των *Principia*, ήταν προφανώς κρίσιμης σημασίας για την αποδοχή των αρχών του Νεύτωνα. Επιπλέον είναι προφανές ότι οι νόμοι του Νεύτωνα συντέλεσαν στη κατοχύρωση των νόμων του Κέπλερ και στην τοποθέτηση τους μεταξύ των σπουδαίων επιτευγμάτων της επιστήμης, καθώς το θεωρητικό τους ενδιαφέρον περιορίσθηκε στην αρχαία αστρονομία.

Πολλοί ιστορικοί της επιστήμης θεωρούν ότι αυτό που πέτυχε ο Κέπλερ ποτέ δεν θα είχε γίνει αν δεν το είχε ο ίδιος κάνει, πράγμα που έχει συμβεί με πολύ λίγους μεγάλους επιστήμονες. Αν ο Ισαάκ Νεύτων είχε πεθάνει κατά το έτος της πανώλης, η ανάπτυξη της μηχανικής θα ήταν πιο αργή, αλλά οι μαθηματικοί του δέκατου όγδοου αιώνα, θα μπορούσαν εξίσου ίσως να έχουν οδηγηθεί στους σημαντικούς νόμους του. Αν ο William Harvey ήταν ικανοποιημένος με το να θεραπεύει τους ασθενείς του, κάποιος άλλος θα είχε γράψει (ίσως όχι και τόσο πειστικά) για την κυκλοφορία του αίματος. Με τον Κέπλερ τα πράγματα είναι διαφορετικά. Η ανακάλυψη του από τις παρατηρήσεις με γυμνό μάτι, ότι οι πλανήτες κινούνται σε ελλείψεις καθώς και ο νόμος των εμβαδών αλλά και ο υπερβολικά απίθανος τρόπος με τον οποίο ο Κέπλερ κατέληξε σε αυτά ήταν τόσο ολοκληρωτικά προσωπικός-που βρίσκεται έξω από την πορεία κάθε μοιραίας ανάπτυξης. Η ενδεχόμενη προέλευση μιας τέτοιου είδους κίνησης με βάση την κλασική φυσική ήταν προκαθορισμένη αλλά η εμπειρική ανακάλυψή της, εκτός του πλαισίου της κλασικής φυσικής ήταν πραγματικά κάτι το εξαιρετικά ασυνήθιστο.

Θα μπορούσε κάποιος να αντιτάξει ότι οι απόψεις περί φυσικής του Κέπλερ ήταν τόσο πρωτόγονες ώστε θα πρέπει να τις αξιολογεί κάποιος σαν ένα υποκειμενικό κίνητρο της δουλειάς του χωρίς καμιά αντικειμενική αξία. Στην πραγματικότητα πάντως η προσπάθεια του ήταν η πρώτη σοβαρή προσπάθεια εξήγησης του μηχανισμού του ηλιακού συστήματος με όρους φυσικών δυνάμεων και μόλις δόθηκε το παράδειγμα η φυσική και η κοσμολογία δεν χωρίστηκαν ποτέ ξανά.

Η θέση του Κέπλερ στην ιστορία είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτή και ο λόγος που οι μεγαλύτερες ανακαλύψεις του μας εκπλήσσουν οφείλεται στο γεγονός ότι το έργο του υπερβαίνει τα όρια της επιστήμης της αρχαίας αστρονομίας, χωρίς όμως να καταλήγει στην κλασική φυσική. Πολλά από όσα έκανε βέβαια, ήταν απολύτως συνεπή με τα χαρακτηριστικά προβλήματα, τις μεθόδους και τους στόχους της αρχαίας αστρονομίας. Μπορεί κάποιος να κατανοήσει εύκολα τις παραδοχές του, όπως η χρήση του αληθινού ήλιου και όχι του μέσου ήλιου, ή η απομάκρυνση των περιπλοκών της θεωρίας του γεωγραφικού πλάτους, υπέρ της κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο, όπως η τελειοποίηση του έργου του Κοπέρνικου. Η προσεκτική ανάλυση των τεχνικών λεπτομερειών των μοντέλων του *De Revolutionibus*, οδήγησαν τον Κέπλερ να προβεί στις παραπάνω εννοιολογικές απλουστεύσεις προκειμένου να καταστεί δυνατός ο ηλιοκεντρικός μετασχηματισμός. Και σε κάθε περίπτωση ήταν

απαραίτητο σε κάποιον να υιοθετήσει αυτές τις τροποποιήσεις αν επρόκειτο να είναι οπαδός του Κοπερνίκειου συστήματος.

Ακόμη και το πιο εξελιγμένο έργο του Κέπλερ που αφορά στα γεωγραφικά μήκη του Άρη και περιγράφεται στο 2^ο μέρος του *Astronomia Nova* δεν ήταν παρά μια επεξεργασία των μεθόδων των προκατόχων του. Στο 3^ο μέρος αυτού του βιβλίου θα αναλάβει να γράψει μια νέα Αστρονομία, πράγμα που τον οδήγησε να ανακαλύψει την δική του «κίνηση».

Ο ισχυρισμός του Κέπλερ ότι οι τροχιές των πλανητών ήταν ελλείψεις δεν έμοιαζε με κανένα τρόπο με τεχνικές βελτιώσεις των μοντέλων του Κοπέρνικου. Η υπόθεση αυτή διέφερε ποιοτικά από οποιαδήποτε προηγούμενη υπόθεση σχετικά με τις τροχιές, αλλά επιπλέον έδινε απάντηση και σε ένα ερώτημα που κανένας μαθηματικός αστρονόμος δεν είχε ποτέ θέσει από την νηπιακή ηλικία της επιστήμης μέχρι τότε. Ο Κέπλερ για πρώτη φορά θέτει το ερώτημα για το σχήμα της τροχιάς, δηλαδή την πραγματική διαδρομή που διασχίζει ο κινούμενος πλανήτης. Οι παλαιότεροι αστρονόμοι αντιλαμβάνονταν τις θεμελιώδεις έννοιες ως γεωμετρικές, και την διαδρομή των πλανητών ως ένα φαινόμενο που γινόταν καλύτερα κατανοητό, όταν το ανέλυαν στα συστατικά του. Η φυσική κίνηση του πλανήτη θεωρείτο λιγότερο κατανοητή από την γεωμετρία που εισήγαγαν οι αστρονόμοι, προκειμένου να την εξηγήσουν.

Ο Κοπέρνικος είχε αντιληφθεί ότι αυτή η ανάλυση σε όλους αυτούς τους κύκλους που είχε επινοήσει ο Πτολεμαίος, τελικά δημιουργούν σύγχυση και ότι ίσως τελικά κάθε πλανήτης να έχει την δική του τροχιά, ωστόσο επέμενε πεισματικά στην ομαλή κυκλική κίνηση. Με την κατάργηση των επικύκλων του Πτολεμαίου άνοιξε το δρόμο για αυτή τη συνειδητοποίηση αλλά εξακολουθούσε να μένει προσηλωμένος στο πρότυπο της ομοιόμορφης περιστροφής. Ωστόσο, ακόμη και αν είχε διατηρήσει τον εξισωτή, και μαζί του την τέλεια κυκλική διαδρομή για τον πλανήτη, θεώρησε ως αποστολή του να περιγράψει τις κινήσεις των πλανητών με ένα γνησιότερο σύστημα ομαλής κυκλικής κίνησης, χωρίς τη χρήση διαφόρων τεχνασμάτων, που είχαν αναπτυχθεί στο πλαίσιο του πτολεμαϊκού συστήματος και να μειώσει τα φαινόμενα της γεωμετρίας.

Ο Κέπλερ δεν ήταν ικανοποιημένος με την γεωμετρική θεωρία και την περιόρισε περισσότερο στη φυσική. Τα ερωτήματα που έθεσε σχετικά με την προέλευση, την

κατεύθυνση και την ένταση των δυνάμεων που κινούν τον πλανήτη ήταν ακριβώς αυτά, που του επέτρεψαν με το προωθήσει την αρχαία αστρονομία σε υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας, να ανακαλύψει και να αναγνωρίσει τα αποτελέσματα τα οποία την υπερέβησαν. Ήταν ερωτήσεις στις οποίες οι γεωμετρικές του γνώσεις αδυνατούσαν να απαντήσουν. Ακριβώς γι' αυτόν τον λόγο οι ανακαλύψεις του για την έλλειψη και την απόσταση (ή τον νόμο των εμβαδών) σχετίζεται περισσότερο με την ανάλυση, τη γλώσσα της κλασικής φυσικής, και όχι με τη γεωμετρία, τη γλώσσα της αρχαίας αστρονομίας.

Κατά τον Stephenson αν θέλουμε να αντιληφθούμε πως ο Κέπλερ, μελετώντας τις παρατηρήσεις του Τύχο Μπράχε, οδηγήθηκε στην ανακάλυψη των νόμων του για την κίνηση των πλανητών, πρέπει να μελετήσουμε την θεώρηση του για την κίνηση των πλανητών, ως μιας φυσικής διαδικασίας που γίνεται κατανοητή με όρους φυσικής. Επιπλέον πρέπει να εστιάσουμε στις καινοφανείς του απόψεις και στα ζητήματα που προκύπτουν από αυτές. Στην πραγματικότητα, ο Κέπλερ δεν καθοδηγήθηκε από μια βαθιά θεωρία για να φτάσει στις ελλειπτικές τροχιές και τον νόμο των αποστάσεων, αλλά καθοδηγήθηκε από το σωστό είδος της θεωρίας, δηλαδή την δυναμική φυσική που περιγράφει τις δυνάμεις μεταξύ των υλικών σωμάτων. Χωρίς αυτή τη θεωρία δεν θα είχε ποτέ κατασκευάσει την νέα αστρονομία του.

Ο Κέπλερ αν και κατά καιρούς απασχολήθηκε με αβέβαιες και αφηρημένες θεωρίες, ωστόσο τον βοήθησαν να αναλύσει επανειλημμένα ένα πρόβλημα με εξαιρετικά γενικούς φυσικούς όρους είτε χωρίς καμία θετική θεωρία ή με κάποια αβάσιμη θεωρία όπως συνέβη με τη θεωρία του πλανητικού «μυαλού» για παράδειγμα. Η φυσική μελέτη των αστρονομικών προβλημάτων, ακόμη και σε τόσο αφηρημένο επίπεδο, τον ώθησαν να θέσει μια σειρά από κρίσιμα ερωτήματα. Από πού μπορεί να προέρχεται η κίνηση; Προς τα πού κατευθύνεται; Πώς διαφέρουν οι συνιστώσες τα συστατικά του φαίνεται να διαφέρουν; Με ποιο τρόπο φυσικά κατανοητό τρόπο θα μπορούσαν πραγματικά να διαφέρουν, έτσι ώστε να εμφανίζονται έτσι; Έχουμε δει τον Κέπλερ να ακολουθεί τέτοιες μεθόδους έρευνας, με πολλούς διαφορετικούς βαθμούς λεπτομέρειας και αξιοπιστίας, καθώς και με αποτελέσματα που κυμαίνονται από μη χρήσιμα έως αποτελέσματα θαυμαστής ακρίβειας. Σε τέτοιες περιόδους οι έρευνες του ακολούθησαν το μεγάλο σχέδιο της φυσικής ανάλυσης και σύνθεσης, για το οποίο ο Νεύτωνας θα δηλώσει αργότερα

τόσο λακωνικά: «από τα φαινόμενα συμπεράνουμε τους νόμους, και από αυτούς συμπεράνουμε νέα φαινόμενα».

Ο Κέπλερ ήταν ο πρώτος αστρονόμος που η ανάλυση του οδήγησε σε νόμους της φύσης που ήταν περισσότερο φυσικοί παρά μαθηματικοί ή φιλοσοφικοί. Στο *Astronomia nova* με τρόπο παρεκβατικό αποκαλύπτεται με ασυνήθιστη λεπτομέρεια πως ο Κέπλερ ανάγοντας τα παρατηρούμενα φαινόμενα σε μια θεωρία δυνάμεων μεταξύ των υλικών σωμάτων, μπόρεσε στη συνέχεια να συνθέσει αυτές τις νέες και πολύπλοκες σχέσεις οδηγούμενος στις ελλειπτικές τροχιές ή στο νόμο της απόστασης. Στην πορεία της ανάπτυξης της φυσικής του θεωρίας οδηγήθηκε από τις αφηρημένες και ασαφείς απαρχές μέχρι τις μαθηματικά εξελιγμένες θεωρίες από τις οποίες ήταν τελικά σε θέση να συναγάγει σημαντικά αστρονομικά τα συμπεράσματά του. Οι φυσικές αναζητήσεις για την κίνηση των πλανητών ήταν εκείνες που δημιούργησαν το βασικό κίνητρο για τον Κέπλερ, προκειμένου να τακτοποιήσει και να φιλτράρει τις μυριάδες δυνατότητες που του παρουσιάστηκαν, όταν αρνήθηκε τις παλιές αρχές της ομοιομορφίας και της κυκλικότητας στην κίνηση των πλανητών. Η φυσική του δεν ήταν μια φιλοσοφική φυσική που βασίζεται σε αξιώματα και στη λογική, αλλά μια εμπειρική φυσική που οικοδομήθηκε πάνω στα γερά θεμέλια της γνώσης, που δημιουργήθηκε από Έλληνες, Άραβες, και Λατίνους μαθητές της αρχαίας μαθηματικής αστρονομίας και η οποία μολονότι ήταν λανθασμένη, τον υπηρέτησε μάλλον καλά.

Θα φαινόταν υπερβολικό να συγκρίνουμε τα συμπεράσματα του Κέπλερ για την πραγματικότητα της αστρονομίας με την πραγματικότητα, όπως την γνωρίζουμε από τους διαδόχους του. Ο κόσμος του Κέπλερ που ήταν η συνέχεια των κόσμων του Αριστοτέλη, του Πτολεμαίου και του Κοπέρνικου, εξαφανίστηκε στο άπειρο σύμπαν της Νευτώνειας φυσικής. Ο νους του θεού-μαθηματικού, τον οποίο δεν έχουμε οριστικά διαλευκάνει, αποδεικνύεται ότι είναι απεριόριστα πιο σύνθετος και πλούσιος από ότι μπορούσε ποτέ να φανταστεί ο Κέπλερ και είναι τελείως απαλλαγμένος από μουσική έμπνευση. Ωστόσο λέει ο Κoyre ⁷⁰ «δεν πρέπει να παραπονιόμαστε για τα λάθη του Κέπλερ, ούτε για τις λοξοδρομήσεις της σκέψης του, αντίθετα πρέπει να θυμόμαστε ότι ο ανθρώπινος νους όταν αναζητά την αλήθεια, ακολουθεί ένα μονοπάτι ακόμα πιο παράξενο και πιο θαυμαστό από την ίδια την αλήθεια».

⁷⁰ A.Koyre ο.π σελ 361

Κατά τη διάρκεια των πενήντα εννέα ετών που έζησε ο Κέπλερ έγραψε πολλά έργα με τα οποία άλλαξε το πρόσωπο της αστρονομίας και συνέβαλε τα μέγιστα στην οπτική, στην ουράνια φυσική, και σε αυτό που λέμε τώρα φιλοσοφία της επιστήμης και όλα αυτά μέσα σε διαρκείς προσωπικές και πολιτικές δυσκολίες, που είναι δύσκολο κανείς να φανταστεί. Είναι σαφές για ποιο λόγο οι μελετητές του Κέπλερ τείνουν να εκφράσουν όχι μόνο το βαθύ θαυμασμό για το έργο αλλά η πραγματική αγάπη για τον συντάκτη της. Ο Caspar γράφει:

«Είναι το φωτοστέφανο της προσωπικότητάς του, η οποία προσελκύει πολλούς κάτω από την μαγεία του, η ευγένεια του χαρακτήρα του, η οποία κάνει τους φίλους γι αυτόν, οι αντιξοότητες της ζωής του, που μνημόνευσαν, και το μυστικό της ένωσής του με τη φύση, που προσελκύει όλους εκείνους, που αναζητούν κάτι στο σύμπαν πέρα, και διαφορετικό από εκείνο που προσφέρει η αυστηρή επιστήμη. Στις καρδιές τους, φέρουν την λατρεία και την αγάπη για αυτό το εξαιρετικό άτομο».

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stephenson. B., *Kepler's Physical Astronomy* ,1987 by Springer-Verlag New York Inc.
2. Delambre. J. B, *Histoire de l' Astronomie Moderne* (Paris 1891)
3. Donahue. W., *Johannes Kepler New Astronomy*, 1992 Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge Dover Publications, Inc. New York
4. Gaspar. M., *Kepler*, translated and edited by C. Doris Helman,
5. Koestler. A., *The Sleepwalkers* London Hutchinson, 1959
6. Koyre. A., *The Astronomical Revolution* English translation by Herman 1973
7. Koyre. A., *Από τον κλειστό κόσμο στο άπειρο σύμπαν*, εκδ. ΕΥΡΥΑΛΟΣ, σελ. 61
8. Martens. R. , *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*,
Princeton University Press Princeton and Oxford
9. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο(1999). *Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας. Στοιχεία από την ιστορία των Μαθηματικών, της Αστρονομίας, της Φυσικής, της Χημείας και της Τεχνολογίας*, Γ' τάξη γενικού λυκείου, Αθήνα, ΟΕΔΒ
10. Van Der Waerden B.L., *Η Αφύπνιση της Επιστήμης*, επιστημονική επιμέλεια Γιάννης Χριστιανίδης, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης,2010
11. Voelkel J.,*The composition of Kepler's Astronomia nova*, Princeton University Press, 2001

