



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ (ΣΘΕΤ)

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ : Μεταπτυχιακές Σπουδές στα
Μαθηματικά (ΜΣΜΒ)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μαθηματικές Επιστήμες στο Βυζάντιο: Η Αστρονομία»

ΑΡΙΣΤΟΚΛΗΣ ΚΑΛΚΑΒΟΥΡΗΣ

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Α

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΚΟΡΔΟΥΛΗΣ

Επιβλέπων Β

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΝΙΚΟΛΑΝΤΩΝΑΚΗΣ

**ΠΑΤΡΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2026**

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2026

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους, έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Σκορδούλη, για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξή του!

Την διπλωματική μου εργασία, ωστόσο, οφείλω να αφιερώσω πρωτίστως στους γονείς μου και έπειτα σε όσους στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού. Σας ευχαριστώ!

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ανάπτυξη της αστρονομίας ως μίας από τις σημαντικότερες μαθηματικές επιστήμες κατά τη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου. Η Βυζαντινή Αυτοκρατορία, η οποία διήρκεσε περισσότερο από μία χιλιετία (324–1453), αντιμετώπισε πλήθος πολιτικών, στρατιωτικών και κοινωνικών προκλήσεων. Παρά τις δυσκολίες αυτές και παρά την επικρατούσα αντίληψη που συχνά συνδέει τον Μεσαίωνα με πνευματική και επιστημονική στασιμότητα, το Βυζάντιο διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση, μετάδοση και εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης.

Η εργασία παρουσιάζει τη θέση της αστρονομίας στο πλαίσιο των μαθηματικών επιστημών και ιδιαίτερα στο Quadrivium της βυζαντινής εκπαίδευσης. Παράλληλα, εξετάζεται η εξέλιξη της αστρονομικής γνώσης κατά την Πρωτοβυζαντινή, Μεσοβυζαντινή και Υστεροβυζαντινή περίοδο, καθώς και η συμβολή σημαντικών λογίων και αστρονόμων στη διαμόρφωση και διάδοση της επιστημονικής σκέψης.

Επίσης, τονίζεται η σχέση της βυζαντινής αστρονομίας με την αρχαία ελληνική παράδοση, οι επιδράσεις που δέχθηκε από την αραβοπερσική επιστήμη, καθώς και η χρήση αστρονομικών οργάνων και μεθόδων υπολογισμού. Επιπλέον, αναλύεται η σύνδεση της αστρονομίας με τη χριστιανική κοσμοθεωρία και με πρακτικά ζητήματα, όπως η μέτρηση του χρόνου και ο υπολογισμός της ημερομηνίας του Πάσχα.

Μέσα από τη μελέτη των πηγών και της σχετικής βιβλιογραφίας αναδεικνύεται ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν αποτέλεσε απλώς μέσο διατήρησης της αρχαίας γνώσης, αλλά συνέβαλε ενεργά στην παραγωγή νέας επιστημονικής γνώσης και στη μετάδοσή της τόσο στον αραβικό κόσμο όσο και στη Δυτική Ευρώπη. Συνεπώς, το Βυζάντιο λειτούργησε ως σημαντικός κρίκος στη συνέχεια της επιστημονικής παράδοσης από την αρχαιότητα έως την Αναγέννηση.

Λέξεις – Κλειδιά : Βυζάντιο, Αστρονομία, Μαθηματικά, Quadrivium, Αστρολάβος, Προσδιορισμός Πάσχα, Τεχνικές Μέτρησης Χρόνου

Abstract

This thesis examines the development of astronomy as one of the most important mathematical sciences during the Byzantine period. The Byzantine Empire, which endured for more than a millennium (324–1453), faced numerous political, military, and social challenges. Despite these difficulties, and despite the widespread perception that often associates the Middle Ages with intellectual and scientific stagnation, Byzantium played a crucial role in the preservation, transmission, and advancement of scientific knowledge.

The study presents the position of astronomy within the framework of the mathematical sciences, with particular emphasis on its place in the Quadrivium of Byzantine education. It further explores the development of astronomical knowledge throughout the Early, Middle, and Late Byzantine periods, as well as the contribution of prominent scholars and astronomers to the formation and dissemination of scientific thought.

Special attention is given to the relationship between Byzantine astronomy and the ancient Greek scientific tradition, the influences it received from the Arabic-Persian scientific tradition, and the use of astronomical instruments and computational methods. Furthermore, the thesis examines the connection between astronomy and the Christian worldview, as well as its practical applications in areas such as timekeeping, calendar calculation, and the determination of the date of Easter.

Through the study of primary sources and the relevant scholarly literature, it is demonstrated that Byzantine astronomy was not merely a means of preserving ancient knowledge, but also contributed actively to the production of new scientific knowledge and to its transmission to both the medieval Islamic world and Western Europe. Particular emphasis is placed on the role of Byzantine scholars as intermediaries between different scientific traditions and on the intellectual exchanges that facilitated the circulation of astronomical knowledge across cultural boundaries.

The findings of this study highlight the significance of Byzantine astronomy within the broader history of science and demonstrate that Byzantium served as a vital link in the continuity of the scientific tradition from Antiquity to the Renaissance. Consequently, the Byzantine contribution to astronomy should be regarded not only as preservative but also as innovative, shaping the transmission and development of scientific knowledge for centuries.

Keywords: Byzantine Empire, Astronomy, Mathematics, Quadrivium, Astrolabe, Computation of the Date of Easter, Time Measurement Techniques

Περιεχόμενα	
Περίληψη	σελ.4
Abstract	σελ.5
Προηγούμενη Έρευνα	σελ.7
Σκοπός της Παρούσας Εργασίας	σελ.8
Κεφάλαιο 1^ο : Η αστρονομία πριν το Βυζάντιο	
1.1 Οι Σουμέριοι	σελ. 9
1.2 Οι Βαβυλώνιοι	σελ.10
1.3 Οι Αιγύπτιοι	σελ.10
1.4 Οι Αρχαίοι Έλληνες	σελ.11
Κεφάλαιο 2^ο : Η αστρονομία ως μαθηματική επιστήμη στο Βυζάντιο	
2.1 Η Πτολεμαϊκή Παράδοση ως βάση της Βυζαντινής Αστρονομίας	σελ.13
2.2 Quadrivium	σελ.15
2.3 Η Αστρονομία ως κορυφαία Μαθηματική Επιστήμη του Quadrivium	σελ.16
2.4 Η συνέχεια της ελληνικής μαθηματικής και αστρονομικής παράδοσης στο Βυζάντιο	σελ.19
Κεφάλαιο 3^ο : Πρωτοβυζαντινή Περίοδος (326 – 610)	
3.1 Παιδεία	σελ.22
3.2 Σχολή Αθηνών	σελ.23
3.3 Σχολή Αλεξάνδρειας	σελ.24
3.4 Σχολές Κωνσταντινούπολης	σελ.26
3.5 Μηχανική και Αρχιτεκτονική	σελ.26
3.6 Αστρολογία	σελ.28
Κεφάλαιο 4^ο : Μεσοβυζαντινή Περίοδος (610-1204)	
4.1 Η Αναβίωση των Μαθηματικών Επιστημών κατά Μακεδονική Αναγέννηση	σελ.30
4.2 Παιδεία	σελ.32
4.3 Οι Σοφοί και οι Αστρονόμοι της Μεσοβυζαντινής Περιόδου	σελ.33
Κεφάλαιο 5^ο : Υστεροβυζαντινή Περίοδος (1204-1453)	
5.1 Μαθηματικά κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο	σελ.36
5.2 Η Αραβοπερσική Επίδραση στη Βυζαντινή Αστρονομία	σελ.37
5.3 Γεώργιος Παχυμέρης: Το <i>Quadrivium</i> και η μαθηματική θεμελίωση της αστρονομίας	σελ. 40
5.4 Οι Μεγάλοι Αστρονόμοι της Βυζαντινής Περιόδου	
5.4.1 Μανουήλ Βρυέννιος	σελ.42
5.4.2 Θεόδωρος Μετοχίτης και η Αναβίωση της Μαθηματικής Αστρονομίας	σελ.43
5.4.3 Νικηφόρος Γρηγοράς και το Ζήτημα της Ημερολογιακής Μεταρρύθμισης	σελ.45
5.4.4 Γρηγόριος Χιονιάδης	σελ.46
5.4.5 Γεώργιος Χρυσοκόκης	σελ.48
Κεφάλαιο 6^ο : Αστρονομικά Όργανα και χρονομέτρηση στο Βυζάντιο	
6.1 Τεχνικές Μέτρησης του Χρόνου	σελ.51
6.2 Ο Αστρολάβος	σελ.53
6.3 Ο Γνώμονας	σελ.54
6.4 Ηλιακά Ωρολόγια	
α. Σταθερά Ηλιακά Ωρολόγια	σελ.56
β. Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια	σελ.58
6.5 Μηχανικά Ωρολόγια	σελ.61
6.6 Το βυζαντινό Ρολόι-Ημερολόγιο	σελ.63
6.7 Το Πρόβλημα του Καθορισμού της Ημερομηνίας του Πάσχα	σελ.64
Κεφάλαιο 7^ο : Αστρονομία, Αστρολογία και Χριστιανική Κοσμοθεωρία στο Βυζάντιο	
7.1 Η Χριστιανική Κοσμοθεωρία και η Θέση της Αστρονομίας	σελ.67
7.2 Η Αστρονομία στην Υπηρεσία της Εκκλησίας και της Βυζαντινής Παιδείας	σελ.68
7.3 Η Σχέση Αστρονομίας και Αστρολογίας στο Βυζάντιο	σελ.70
Συμπεράσματα	σελ.72
Βιβλιογραφία	σελ.74
Κατάλογος Εικόνων	σελ.76

Προηγούμενη έρευνα

Η μελέτη της βυζαντινής αστρονομίας έχει απασχολήσει την ιστοριογραφία της επιστήμης από διαφορετικές οπτικές, οι οποίες αναδεικνύουν τόσο τη συνέχεια της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης όσο και τις ιδιαίτερες μορφές που έλαβε η καλλιέργεια της αστρονομίας στο Βυζάντιο. Οι σχετικές μελέτες έχουν επικεντρωθεί, μεταξύ άλλων, στην πτολεμαϊκή παράδοση, στη θέση της αστρονομίας στο πλαίσιο των μαθηματικών επιστημών, στις επαφές με την αραβοπερσική επιστήμη, καθώς και στις πρακτικές εφαρμογές της αστρονομικής γνώσης.

Σπουδαίο έργο σχετικά με την αστρονομία στο βυζάντιο έχει παράξει η Anne Tihon (2009), η οποία εξετάζει τη μακρά διάρκεια της πτολεμαϊκής παράδοσης στο Βυζάντιο. Η μελέτη της αναδεικνύει ότι έργα όπως η *Μαθηματική Σύνταξις* και οι *Πρόχειροι Κανόνες* του Πτολεμαίου δεν αποτελούσαν απλώς αντικείμενα αντιγραφής και διατήρησης, αλλά χρησιμοποιούνταν ενεργά από Βυζαντινούς λογίους για τη μελέτη και τον υπολογισμό αστρονομικών φαινομένων. Κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο, μάλιστα, η πτολεμαϊκή παράδοση ήρθε σε επαφή και συγκρίθηκε με νεότερες περσικές αστρονομικές μεθόδους.

Από διαφορετική οπτική, ο Kurt Vogel (1967) εξετάζει τις μαθηματικές επιστήμες στο Βυζάντιο και τη θέση τους στο εκπαιδευτικό πλαίσιο του *Quadrivium*. Μέσα από την προσέγγισή του αναδεικνύεται η οργανική σχέση της αστρονομίας με την αριθμητική και τη γεωμετρία, αλλά και η σύνδεση της μαθηματικής γνώσης με πρακτικές ανάγκες. Στο ίδιο ευρύτερο πεδίο εντάσσεται και η μελέτη του Δημητρίου Κωτσάκη (1985), ο οποίος δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη θέση της αστρονομίας μεταξύ των μαθηματικών επιστημών του Βυζαντίου και στη συνέχεια της ελληνικής επιστημονικής παράδοσης κατά τη βυζαντινή περίοδο.

Ειδικότερα για την ύστερη βυζαντινή αστρονομία, η Ιωάννα Κατσιάμπουρα (2012) εξετάζει τη συνύπαρξη και την αντιπαράθεση διαφορετικών αστρονομικών παραδόσεων. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση της περιόδου κατά την οποία η προϋπάρχουσα ελληνική και πτολεμαϊκή γνώση συναντήθηκε με αστρονομικές μεθόδους που προέρχονταν από τον αραβοπερσικό κόσμο. Στην ευρύτερη διάσταση αυτών των επιστημονικών ανταλλαγών εντάσσεται και η μελέτη του Richard de Grijs (2024), η οποία παρουσιάζει το Βυζάντιο ως σημαντικό κόμβο επιστημονικής επικοινωνίας και εξετάζει τη συνέχεια της ελληνικής παράδοσης σε συνδυασμό με τις διασυνδέσεις μεταξύ Ανατολής και Δύσης.

Μια ευρύτερη και συνθετική εικόνα της βυζαντινής επιστήμης προσφέρει ο συλλογικός τόμος *A Companion to Byzantine Science*, σε επιμέλεια του Σταύρος Λάζαρης (2020). Το έργο εξετάζει συστηματικά διαφορετικές όψεις της επιστημονικής δραστηριότητας στο Βυζάντιο και περιλαμβάνει ειδική πραγμάτευση της αστρονομίας, εντάσσοντάς την στο ευρύτερο πλαίσιο της βυζαντινής επιστημονικής παράδοσης.

Παράλληλα, σχετικά με τη μελέτη της πρακτικής και τεχνολογικής διάστασης της αστρονομίας είναι χρήσιμες εργασίες πάνω στη μέτρηση του χρόνου και τα αστρονομικά όργανα. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιείται η εργασία της Συμέλας Βούρα (2023), η οποία εξετάζει τεχνικές μέτρησης του χρόνου και αστρονομικά όργανα, όπως οι γνώμονες και τα ηλιακά ωρολόγια, καθώς και τις μαθηματικές αρχές λειτουργίας τους. Παράλληλα, τα έργα των Δανέζη και Θεοδοσίου και του Λάζου παρέχουν υλικό σχετικά με Βυζαντινούς αστρονόμους, αστρονομικά φαινόμενα, μηχανικές κατασκευές, όργανα και τεχνολογικές εφαρμογές.

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ιστορίας και της εξέλιξης της αστρονομίας κατά τη βυζαντινή περίοδο, με έμφαση στη θέση της ως μαθηματικής επιστήμης και στον ρόλο της στη διατήρηση, επεξεργασία και μετάδοση της προϋπάρχουσας επιστημονικής γνώσης. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζεται η πορεία της αστρονομικής σκέψης από την πρωτοβυζαντινή έως την υστεροβυζαντινή περίοδο, καθώς και η συμβολή σημαντικών λογίων και αστρονόμων στη διαμόρφωση και εξέλιξή της.

Παράλληλα, η εργασία αποσκοπεί στην ανάδειξη της κοινωνικής και πολιτισμικής διάστασης της αστρονομικής γνώσης στο Βυζάντιο, εξετάζοντας τη θέση της μέσα στο ευρύτερο ιστορικό και πνευματικό περιβάλλον της αυτοκρατορίας. Επίσης, τονίζεται η σχέση της αστρονομίας με τη βυζαντινή παιδεία, τη χριστιανική κοσμοθεωρία και τις επαφές του Βυζαντίου με άλλες επιστημονικές παραδόσεις.

Τέλος, βασικός στόχος είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της θεωρητικής επεξεργασίας της αστρονομικής γνώσης και των πρακτικών εφαρμογών της. Εξετάζεται, ειδικότερα, ο τρόπος με τον οποίο μαθηματικές και αστρονομικές γνώσεις αξιοποιήθηκαν για τη συγκρότηση και χρήση ημερολογίων, τη μέτρηση του χρόνου, τη χρήση αστρονομικών οργάνων, τον υπολογισμό και την πρόβλεψη ουράνιων φαινομένων και τον προσδιορισμό της ημερομηνίας του Πάσχα. Μέσα από αυτή την προσέγγιση επιχειρείται να αναδειχθεί η αστρονομία όχι μόνο ως πεδίο θεωρητικής γνώσης, αλλά και ως επιστήμη με συγκεκριμένες εφαρμογές στη βυζαντινή κοινωνία.

Κεφάλαιο 1^ο

Η αστρονομία πριν το Βυζάντιο

Η παρατηρησιακή αστρονομία φαίνεται να είναι ένας από τους πρώτους επιστημονικούς κλάδους που ανέπτυξε ο άνθρωπος. Ως αστρονομία ορίζουμε την επιστήμη εκείνη, η οποία μελετά όλα τα ουράνια σώματα, αρχίζοντας από τη Σελήνη, τον δορυφόρο της γης, έως τους άλλους μεγάλους πλανήτες με τους δορυφόρους τους, τους αστεροειδείς, τους μετεωρίτες, τους κομήτες και τον Ήλιο. Ακόμη, ερευνά και τους υπόλοιπους αστέρες, τον Γαλαξία μας, τους γαλαξίες και τα συμπλέγματά τους, τη μεσοαστρική και μεσοπλανητική ύλη.

Ο ουράνιος θόλος ήταν και είναι κάτι που αφενός προκαλεί το δέος στον άνθρωπο και αφετέρου του διεγείρει την περιέργεια να ερευνήσει ζητήματα πέρα από το μέρος που κατοικεί. Επίσης, η παρατήρηση του ουρανού χρειάστηκε γιατί συνδεόταν με τη μέτρηση του χρόνου, την πλοήγηση και τη γεωγραφία. Έτσι, πολλοί αρχαίοι λαοί ασχολήθηκαν με την αστρονομία (πολλοί με τη μορφή της αστρολογίας). Ας κάνουμε μια αναδρομή σε αυτούς, οι οποίοι προηγούνται χρονικά της εποχής του Βυζαντίου.

1.1 Οι Σουμερίοι

Ένας από αυτούς τους λαούς ήταν οι Σουμερίοι. Το όνομα δόθηκε από τον Γερμανογάλλο αρχαιολόγο Ζυλ Οππερτ (J. Oppert), κατά τις ανασκαφές του στη Μεσοποταμία, και προέρχεται από τον τίτλο των παλαιότερων ηγεμόνων στο νοτιότερο σημείο της Μεσοποταμίας, «των βασιλέων της Σουμέρ και της Ακκάδ», σύμφωνα με τους Στράτο Θεοδοσίου και Μάνο Δανέζη. Οι πληροφορίες που έχουμε για αυτό τον πολιτισμό είναι κυρίως τα κείμενα του Χαλδαίου ιερέα Βηρωσσού (300 μ.Χ.) και της αστρονομικής σχολής που ίδρυσε στην Κω. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο Βαβυλωνιακός πολιτισμός είναι επηρεασμένος από τον πολιτισμό των Σουμερίων. Τέτοιες επιρροές είναι η ιερατική-σφηνοειδής γραφή, η ιατρική τέχνη, η επική ποίηση, στοιχεία αρχιτεκτονικής και φυσικά η αστρονομία ως θετική επιστήμη.

Κατά την αρχαία περίοδο της Μεσοποταμίας, εμφανίζονται οργανωμένες αγροτικές κοινωνίες. Ο άνθρωπος δεν είναι πια κυνηγός, δε μετακινείται συνεχώς ώστε να βρίσκει τροφή αλλά αντιθέτως έχει αρχίσει να εγκαθίσταται σε ένα μέρος, να το καλλιεργεί και να παράγει αυτά που χρειάζεται για την επιβίωσή του. Επομένως, δημιουργήθηκε έντονα η ανάγκη παρακολούθησης των κλιματολογικών εποχών, καθώς και η ανάγκη να γνωρίζει με ακρίβεια πότε αυτές αλλάζουν ώστε να προγραμματίζει τις γεωργικές του εργασίες. Από την άλλη, οι ιερείς έπρεπε να γνωρίζουν πότε ακριβώς είναι ο εορτασμός των μεγάλων γιορτών τους, ώστε να τιμούν της ιερή μνήμη των θεών τους. Αποτέλεσμα αυτών των αναγκών ήταν η δημιουργία ενός ημερολογίου. Το ημερολόγιο αυτό στηρίχθηκε στην περιοδικότητα των φάσεων της Σελήνης, μιας και ο θεός της Σελήνης Ναννάρ είχε σπουδαία θέση στο πάνθεον των Σουμερίων. Χώρισαν το έτος σε 12 μήνες, οι οποίοι είχαν από 29,5 μέρες. Συνολικά δηλαδή 354 μέρες, πολύ κοντά στο τροπικό έτος των κλιματολογικών εποχών, αφού στο τέλος ενός τέτοιου έτους επανερχόταν σχεδόν η αρχική κλιματολογική εποχή και ξεκινούσαν από την αρχή οι γεωργικές εργασίες. Με το πέρασμα, όμως, μεγάλων χρονικών διαστημάτων, παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στις κλιματολογικές συνθήκες κατά την έναρξη του έτους και δημιουργήθηκε η ανάγκη για επαναπροσδιορισμό του ημερολογίου, εισάγοντας εμβόλιμους μήνες.

Οι ιερείς-αστρονόμοι του πολιτισμού αυτού υπήρξαν οι πρώτοι που διαίρεσαν τόσο το έτος όσο και την ημέρα χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα. Όπως το σεληνιακό έτος τους χωρίστηκε σε 12 μήνες των 30 περίπου ημερών, έτσι και το ημερονύκτιό τους χωρίστηκε σε 12 ντάννα με 30 μέρη το καθένα.

Οι Σουμερίοι παρατηρούσαν τα ουράνια σώματα, μελετούσαν τις κινήσεις τους και τη θέση τους και κατέγραφαν τις παρατηρήσεις τους σε πήλινες πλάκες, όπως φαίνεται από τα ευρήματα των ανασκαφών. Τα ευρήματα αυτά περιείχαν σημαντικά δεδομένα για τις φάσεις της Σελήνης και τη θέση των πλανητών, τα οποία οδήγησαν στη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων. Δυστυχώς, τα ευρήματα αυτά είναι λίγα, με αποτέλεσμα να έχουμε περιορισμένες πληροφορίες για τα αστρονομικά κατορθώματα και τα ημερολόγια τόσο των Σουμερίων όσο και των Ακκαδίων. Ωστόσο, είναι βέβαιο αυτό που αναφέρθηκε και παραπάνω, ότι ήταν οι πρώτοι που κατάλαβαν την ανάγκη για εμβόλιμους μήνες στον ημερολογιακό κύκλο, με σκοπό να ταιριάζουν την εναλλαγή των εποχών με τον ημερολογιακό ρυθμό. Ακόμη, παρά το γεγονός ότι αρχικά στηρίχθηκαν στις φάσεις της Σελήνης, στην πορεία έκαναν τις απαραίτητες διορθώσεις και τελικά εναρμόνισαν τις εναλλαγές των εποχών με την πορεία του Ηλίου.

1.2 Βαβυλώνιοι

Οι Βαβυλώνιοι και οι Σουμερίοι ήταν διαδοχικοί πολιτισμοί, στενά συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Οι Βαβυλώνιοι χρησιμοποίησαν τις γνώσεις που είχαν αναπτύξει ήδη οι Σουμερίοι, τις εξέλιξαν και τις μεταβίβασαν στους επόμενους πολιτισμούς. Ανέπτυξαν αρκετά τα μαθηματικά και τα χρησιμοποίησαν στην αστρονομία. Είχαν ένα είδος «αστρονομικής γεωμετρίας», με την οποία μελετούσαν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων. Έτσι, δημιούργησαν ένα από τα πρώτα γνωστά συστήματα αστρονομικών παρατηρήσεων και καταγραφών, με το οποίο μπορούσαν να υπολογίζουν εκλείψεις και πλανητικές κινήσεις. Τα αποτελέσματα από τις έρευνές τους τα κατέγραφαν σε πήλινες πινακίδες με σφηνοειδή γραφή. Σε αυτά υπήρχαν σημαντικές πληροφορίες για τις φάσεις της Σελήνης και τη θέση των πλανητών, οι οποίες βοηθούσαν την κατασκευή μοντέλων πρόβλεψης. Αρκετοί ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι Βαβυλώνιοι είχαν εντοπίσει την ακριβή θέση και τροχιά του Δία.

1.3 Αιγύπτιοι

Ένας άλλος αρχαίος πολιτισμός, για τον οποίο είναι γνωστό ότι ασχολήθηκε με την αστρονομία είναι οι Αιγύπτιοι. Οι Αιγύπτιοι είχαν φτιάξει από πολύ νωρίς ένα ημερολόγιο, το οποίο αρχικά ακολουθούσε το σεληνιακό έτος. Το ημερολόγιο, όμως, αυτό δεν τους εξυπηρετούσε, διότι δεν το σεληνιακό έτος δε συμβάδιζε με τον κύκλο των εποχών. Έτσι, δημιούργησαν ένα νέο, το οποίο σχετιζόταν τόσο με τη στάθμη του ποταμού Νείλου, όσο και με την Ηλιακή τροχιά, καθώς και την τροχιά του Σείριου και άλλων αστερών. Σε αυτό το ημερολόγιο, το έτος είχε τρεις εποχές (της πλημμύρας, της σποράς και του θερισμού), οι οποίες είχαν από τέσσερις μήνες των 30 ημερών. Συνολικά 360 μέρες. Είχαν, ακόμη, χωρίσει κάθε ημέρα σε 24 ώρες (12 ώρες ημέρα, 12 ώρες νύχτα, κάτι που μεταβαλλόταν ανά τις εποχές).

Σύντομα, όμως, αντιλήφθηκαν ότι ούτε το έτος των 360 ημερών ταίριαζε απόλυτα στο έτος της φύσης. Για το λόγο αυτό, φαίνεται ότι πρόσθεσαν άλλες 5 ημέρες σε κάθε έτος από το 2200 π.Χ. και έπειτα. Ακόμη και τότε, παρατήρησαν ότι υπήρχε ένα έλλειμμα 6 ωρών για να φτάσουν το έτος της φύσης, γεγονός που θα επέφερε μια σημαντική μεταβολή μακροχρόνια, στο πέρασμα χιλιετιών. Οπότε, το 239-238 π.Χ. , αποφασίστηκε η εισαγωγή μιας επιπλέον ημέρας κάθε 4 χρόνια.

Οι Αιγύπτιοι είχαν κάνει σημαντική καταγραφή αστερών ή ομάδων αστερών, όπως ο Ήλιος, η Σελήνη, ο Σείριος, ο Ωρίωνας, η Μεγάλη Άρκτος κλπ. Είχαν γνώση του ζωδιακού κύκλου και τουλάχιστον 43 αστερισμών κατά των 13^ο αιώνα π.Χ. Ακόμη, γνώριζαν τους πλανήτες Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Ζεύς και Κρόνο. Ειδικά για τον πλανήτη Άρη, πιθανόν είχαν σημειώσει τις ανάδρομες κινήσεις του.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις των πολιτισμών αυτών είναι σπουδαίες και έχουν μεγάλο ενδιαφέρον να τις μελετά κανείς, ειδικά συνυπολογίζοντας την εποχή στην οποία συνέβησαν. Ωστόσο, πρέπει να αναφέρουμε ότι πρόκειται κυρίως για πρακτικές και εμπειρικές παρατηρήσεις, χωρίς επιστημονική, θεωρητική βάση.

1.4 Αρχαίοι Έλληνες

Οι πρώτες αναφορές στην αστρονομία γίνονται στα ομηρικά έπη και στα κείμενα του Ησίοδου. Ο Όμηρος θεωρεί ότι η γη είναι επίπεδη με σχήμα κυκλικού δίσκου, ο οποίος περιβάλλεται από τον ποταμό Ωκεανό. Από πάνω της βρίσκεται η αψίδα του ουρανού, κάτι σαν ημισφαιρικός θόλος που την σκεπάζει. Από κάτω υπάρχουν τα Τάρταρα, που σχηματίζουν έναν θόλο συμμετρικό του ουρανού. Ο Ησίοδος, όπως και ο Όμηρος, πέραν του Ηλίου, σημειώνουν τον Αυγερινό, τον Αποσπερίτη, την Πούλια(Πλειάδες), τις Υάδες, τον Ωρίωνα και τη Μεγάλη Άρκτο, το Σείριο και τον Αρκτούρο. Η διαφορά είναι ότι ο Ησίοδος στηρίζεται περισσότερο στα ουράνια φαινόμενα για να προσδιορίσει ποιες εργασίες είναι κατάλληλες σε κάθε εποχή και κάθε στιγμή του έτους. Φαίνεται να γνώριζε τα Ηλιοστάσια. Τοποθετούσε την Άνοιξη εξήντα ημέρες μετά το χειμερινό ηλιοστάσιο. Επίσης, σημειώνει ότι προς το πέρας του καλοκαιριού, οι ημέρες μικραίνουν και οι νύχτες μεγαλώνουν. Τέλος, εκτιμά ότι η περίοδος της Σελήνης είναι περίπου 30 ημέρες.

Τόσο ο Όμηρος, όσο και ο Ησίοδος στηρίζονται σε εμπειρικές γνώσεις και πρακτικές, δεν παρέχουν θεωρητική τεκμηρίωση για τις αναφορές τους ούτε και καταλήγουν σε γενικούς κανόνες. Αυτή η πρακτική Αστρονομία κυριάρχησε μέχρι την αρχαία Ελληνική εποχή. Από αυτό το σημείο και έπειτα, μαζί με τα Μαθηματικά και τη Φιλοσοφία, μελετήθηκαν σε θεωρητικό επίπεδο. Άλλωστε, οι πρώτοι αστρονόμοι (Θαλής, Πυθαγόρας, Παρμενίδης, Φιλόλαος και άλλοι) ήταν παράλληλα μαθηματικοί και φιλόσοφοι.

Ο Θαλής (περίπου 624 – 540 π.Χ.) γεννήθηκε στη Μίλητο της Ιωνίας. Πρόκειται για τον πρώτο γνωστό Έλληνα Μαθηματικό και Φιλόσοφο. Ο Θαλής πίστευε ότι υπάρχει μια κοινή αρχή για τα πάντα, η οποία θεωρούσε ότι ήταν το νερό. Επίσης, ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την ιδέα της λογικής απόδειξης και εφάρμοσε στα Μαθηματικά τέτοιες διαδικασίες. Σχετικά με τη Γη, την φανταζόταν επίπεδη με τον Ήλιο να περιστρέφεται γύρω της, μια φορά το έτος. Κάθε έτος έχει τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια, τα οποία το διαιρούν σε τέσσερις άνισες εποχές. Ο Θαλής έδωσε το έναυσμα για την ερμηνεία των φαινομένων ως φυσικών διαδικασιών και όχι ως μυθολογικών κατασκευασμάτων. Υψίστης σημασίας είναι το θεώρημά του περί αναλογιών, με το οποίο υπολόγισε με μεγάλη ακρίβεια το ύψος των πυραμίδων. Λέγεται, επίσης, ότι προέβλεψε την έκλειψη του Ηλίου το 585 π.Χ.

Ο Πυθαγόρας και οι Πυθαγόρειοι συνέδεσαν τη μελέτη του ουρανού με τα μαθηματικά, τους αριθμούς και την αρμονία. Σύμφωνα με την πυθαγόρεια κοσμολογική αντίληψη, τα ουράνια σώματα κινούνταν γύρω από ένα κοινό κέντρο, το «κεντρικόν πῦρ» ή «Ἐστία τοῦ παντός». Παρά το γεγονός ότι μετρούσαν εννιά ουράνια σώματα, πρόσθεσαν ένα επιπλέον, την «Αντίχθων», μιας και ο αριθμός δέκα ήταν σπουδαιότερος του αριθμού εννιά. Παράλληλα, στην πυθαγόρεια παράδοση αποδίδεται η αντίληψη της «αρμονίας των σφαιρών», σύμφωνα με την οποία οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων παράγουν ήχους. Οι ήχοι αυτοί δεν γίνονταν αντιληπτοί διότι ήταν συνεχείς και οι άνθρωποι τους είχαν συνηθίσει. Εκπρόσωπος της πυθαγόρειας παράδοσης υπήρξε και ο Φιλόλαος (480-400 π.Χ.).

Ο Εύδοξος (4^{ος}-5^{ος} αιώνας π.Χ.) ασχολήθηκε συστηματικά με την παρατήρηση και τη μαθηματική ερμηνεία των ουράνιων φαινομένων. Συνέταξε κατάλογο αστερών, προσδιόρισε τις θέσεις τους και περιέγραψε αστερισμούς και βασικούς κύκλους της ουράνιας σφαίρας. Σημαντικότερη συμβολή του στην αστρονομία υπήρξε η θεωρία των ομόκεντρων σφαιρών, με την οποία επιχείρησε να εξηγήσει τις κινήσεις των πλανητών. Παράλληλα, ασχολήθηκε με τα μεγέθη και τις αποστάσεις του Ήλιου και της Σελήνης, καθώς και με ημερολογιακά ζητήματα, συντάσσοντας παράπηγμα για τη διόρθωση του μηνολογίου.

Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (περ. 310–230 π.Χ.) υπήρξε σημαντικός μαθηματικός και αστρονόμος της αρχαιότητας. Στο μοναδικό σωζόμενο έργο του, *Περὶ μεγεθῶν καὶ ἀποστημάτων Ἡλίου καὶ Σελήνης*, επιχείρησε με γεωμετρικές μεθόδους να υπολογίσει τα σχετικά μεγέθη και τις αποστάσεις του Ήλιου και της Σελήνης από τη Γη. Επίσης, στον Αρίσταρχο αποδίδεται η ιδέα του Ηλιοκεντρικού Συστήματος, σύμφωνα με την οποία ο Ήλιος παρέμενε ακίνητος, ενώ η Γη περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά της και κινούνταν γύρω από τον Ήλιο. Θεωρούσε, επίσης, ότι οι απλανείς αστέρες βρίσκονταν σε εξαιρετικά μεγάλη απόσταση, γεγονός που εξηγούσε γιατί η κίνηση της Γης δεν προκαλούσε κάποια εμφανή μεταβολή στη θέση τους. Αν και το ηλιοκεντρικό του σύστημα δεν επικράτησε στην αρχαιότητα, αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες καινοτόμες προτάσεις της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας.

Τέλος, ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος (287- 212 π.Χ.) ήταν αρχαίος Έλληνας μαθηματικός, μηχανικός, φυσικός, εφευρέτης και αστρονόμος. Είναι γνωστός για τις πολύπλοκες κατασκευές του, που αναπαριστούσαν τις κινήσεις των άστρων και των πλανητών στο στερέωμα, έχουμε όμως πληροφορίες μόνο για το τι λειτουργίες εκτελούσαν και όχι για το πως τις εκτελούσαν. Πιθανότατα όμως ο τρόπος λειτουργίας τους να ήταν παρόμοιος με του μηχανισμού των Αντικυθήρων. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ένα αρχαίο τέχνητρο, το οποίο λειτουργούσε ως αναλογικός, μηχανικός υπολογιστής και όργανο αστρονομικών παρατηρήσεων και παρουσιάζει ομοιότητες με πολύπλοκο ωρολογιακό μηχανισμό.

Κεφάλαιο 2^ο

Η Αστρονομία ως Μαθηματική Επιστήμη στο Βυζάντιο

2.1 Η Πτολεμαϊκή Παράδοση ως Βάση της Βυζαντινής Αστρονομίας

Η βυζαντινή αστρονομία διαμορφώθηκε σε μεγάλο βαθμό μέσα από τη διατήρηση και τη μελέτη της αρχαίας ελληνικής μαθηματικής αστρονομίας. Στο πλαίσιο αυτής της παράδοσης, κεντρική θέση κατείχε το έργο του Κλαύδιου Πτολεμαίου, το οποίο αποτέλεσε σταθερό σημείο αναφοράς για τους Βυζαντινούς λογίους. Η Anne Tihon επισημαίνει ότι η πτολεμαϊκή παράδοση, και ιδιαίτερα η *Μαθηματική Σύνταξις*, γνωστή ως *Αλμαγέστη*, και οι *Πρόχειροι Κανόνες*, παρέμεινε θεμελιώδης για τη βυζαντινή αστρονομία σε όλη σχεδόν τη διάρκεια της αυτοκρατορίας. Ο Πτολεμαίος όχι μόνο αντιγραφόταν και μελετούνταν, αλλά τα έργα του εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούνται στην αστρονομική πράξη μέχρι το τέλος του Βυζαντίου (Tihon, 2009, σ. 392–393).

Ο Πτολεμαίος, ο οποίος έδρασε στην Αλεξάνδρεια κατά τον 2ο αιώνα μ.Χ., είχε συστηματοποιήσει στο έργο του ένα εκτεταμένο σώμα μαθηματικής αστρονομίας. Η *Αλμαγέστη* αποτέλεσε το βασικό θεωρητικό και υπολογιστικό έργο αυτής της παράδοσης, ενώ οι *Πρόχειροι Κανόνες* προσέφεραν πίνακες που επέτρεπαν την πραγματοποίηση αστρονομικών υπολογισμών. Η σημασία των δύο έργων για το Βυζάντιο δεν περιοριζόταν επομένως στη διατήρηση ενός αρχαίου κοσμολογικού συστήματος. Συνδεόταν άμεσα και με την πρακτική άσκηση της μαθηματικής αστρονομίας μέσω πινάκων και υπολογιστικών διαδικασιών. Καθοριστικό ρόλο στη μετάδοση αυτής της γνώσης διαδραμάτισε η σχολιαστική παράδοση της ύστερης αρχαιότητας. Ιδιαίτερη θέση κατείχε ο Θέων ο Αλεξανδρεύς, τα σχόλια του οποίου στα έργα του Πτολεμαίου χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στους επόμενους αιώνες. Παράλληλα, ένα μεγάλο σύνολο ανώνυμων σχολίων συνόδευε την *Αλμαγέστη* και τα έργα του Θέωνα στη χειρόγραφη παράδοση. Η Tihon σημειώνει ότι το υλικό αυτό, το οποίο προερχόταν κυρίως από την Αλεξάνδρεια του 5ου και 6ου αιώνα, μεταδόθηκε από τους αντιγραφείς και αποτέλεσε σταθερή βάση για τις αστρονομικές σπουδές των μεταγενέστερων Βυζαντινών λογίων (Tihon, 2009, σ. 393).

Η μετάδοση αυτή δεν πρέπει να νοηθεί ως απλή μηχανική αντιγραφή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το χειρόγραφο Vaticanus gr. 1594, το οποίο περιλαμβάνει εκτεταμένα σχόλια στην *Αλμαγέστη*. Η Tihon επισημαίνει ότι ο λόγιος που πρόσθεσε τα σχόλια δεν εργάστηκε παθητικά: τοποθέτησε τις παρατηρήσεις στα κατάλληλα σημεία του κειμένου και αποκατέστησε ελλείποντα διαγράμματα του Πτολεμαίου. Η διαδικασία αυτή προϋπέθετε ουσιαστική ανάγνωση και κατανόηση του έργου. Από τα τέλη του 13ου αιώνα και εξής, τα χειρόγραφα του Πτολεμαίου διατηρούν πολυάριθμα ίχνη ενεργού μελέτης από Βυζαντινούς λογίους (Tihon, 2009, σ. 399).

Η πτολεμαϊκή παράδοση αναζωογονήθηκε κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο. Περί το 1300, ο Θεόδωρος Μετοχίτης συνέγραψε τη *Στοιχείωσιν Αστρονομικήν*, μια εκτενή πραγματεία που είχε ως βασικό στόχο την ερμηνεία της *Αλμαγέστης*. Η μελέτη του Πτολεμαίου συνδυαζόταν εδώ με σημαντική μαθηματική προπαρασκευή: η πραγματεία άρχιζε με εκτενή αριθμητική εισαγωγή και περιλάμβανε πράξεις στο εξηκονταδικό σύστημα, όπως πολλαπλασιασμό, διαίρεση και εξαγωγή τετραγωνικής ρίζας. Οι πηγές του Μετοχίτη περιλάμβαναν, μεταξύ άλλων, τον Ευκλείδη, τον

Πτολεμαίο, τον Πάππο και τον Θέωνα, ενώ η Tihon αναγνωρίζει επίσης σημαντική εξάρτηση από τον Γεώργιο Παχυμέρη (Tihon, 2009, σ. 385–386).

Ο Μετοχίτης δεν επιχείρησε να αντικαταστήσει την πτολεμαϊκή αστρονομία με ένα νέο σύστημα. Σύμφωνα με την Tihon, στην αριθμητική και υπολογιστική ανάπτυξη της πραγματείας του δεν καινοτομεί ουσιαστικά ως προς τις πηγές του, αλλά προσθέτει αποδείξεις και παρουσιάζει το υλικό με σαφή παιδαγωγικό προσανατολισμό (Tihon, 2009, σ. 386). Η συμβολή του βρίσκεται επομένως κυρίως στην αναδιοργάνωση, επεξήγηση και διδασκαλία της μαθηματικής αστρονομικής παράδοσης.

Ακόμη σημαντικότερη για την πρακτική αναβίωση της πτολεμαϊκής αστρονομίας υπήρξε η δραστηριότητα του Νικηφόρου Γρηγορά, μαθητή του Μετοχίτη. Η Tihon τονίζει ότι ο Γρηγοράς συνέβαλε στην προώθηση της πτολεμαϊκής αστρονομίας, χρησιμοποιώντας την *Αλμαγέστη* και τους *Πρόχειρους Κανόνες* για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη εκλείψεων. Διασώζεται, μεταξύ άλλων, λεπτομερής υπολογισμός της ηλιακής έκλειψης της 16ης Ιουλίου 1330, ενώ ο Γρηγοράς προέβλεψε επίσης εκλείψεις του 1333 και του 1337 (Tihon, 2009, σ. 399). Η περίπτωση αυτή δείχνει ότι η πτολεμαϊκή παράδοση δεν αποτελούσε απλώς αντικείμενο φιλολογικής μελέτης, αλλά χρησιμοποιούνταν για πραγματικούς αστρονομικούς υπολογισμούς.

Ταυτόχρονα, οι Βυζαντινοί λόγιοι αντιλαμβάνονταν ότι ορισμένα από τα πτολεμαϊκά δεδομένα παρουσίαζαν προβλήματα όταν εφαρμόζονταν πολλούς αιώνες μετά τη σύνταξή τους. Κατά τον 14ο αιώνα συναντώνται παρατηρήσεις για την ανάγκη διόρθωσης πτολεμαϊκών παραμέτρων και πινάκων. Η ανάγκη αυτή έγινε περισσότερο εμφανής όταν οι Βυζαντινοί άρχισαν να συγκρίνουν την πτολεμαϊκή αστρονομία με νεότερες περσικές παραδόσεις. Η Tihon αναφέρει, για παράδειγμα, ότι οι πτολεμαϊκοί πίνακες μπορούσαν πλέον να εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις και ότι ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης επισήμαινε την ανάγκη διόρθωσής τους (Tihon, 2009, σ. 405). Η εισαγωγή της περσικής αστρονομίας δεν οδήγησε, ωστόσο, στην άμεση εγκατάλειψη του Πτολεμαίου. Αντίθετα, κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο συνυπήρχαν διαφορετικές αστρονομικές παραδόσεις. Για παράδειγμα, ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης, στο δεύτερο βιβλίο της *Τριβίβλου Αστρονομικής* πραγματεύεται υπολογισμούς σύμφωνα με την *Αλμαγέστη* και τους *Πρόχειρους Κανόνες*, ενώ το τρίτο είναι αφιερωμένο στην περσική αστρονομία (Tihon, 2009, σ. 404–405). Η διάρθρωση αυτή δείχνει ότι οι νέες ανατολικές μέθοδοι προστέθηκαν στην υπάρχουσα πτολεμαϊκή παράδοση χωρίς να την εξαφανίσουν.

Ακόμη και στα τέλη του 14ου και στις αρχές του 15ου αιώνα οι Βυζαντινοί αστρονόμοι εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούν και να συγκρίνουν πτολεμαϊκούς και περσικούς πίνακες. Η Tihon επισημαίνει ότι οι πίνακες του Πτολεμαίου παρέμεναν ευκολότεροι στη χρήση και μπορούσαν ακόμη να δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον υπολογισμό των συζυγιών Ήλιου και Σελήνης, οι οποίες είχαν ιδιαίτερη σημασία και για τον καθορισμό της ημερομηνίας του Πάσχα (Tihon, 2009, σ. 407). Η επιμονή της πτολεμαϊκής παράδοσης οφειλόταν επομένως όχι μόνο στο κύρος της αρχαιότητας αλλά και στη συνεχιζόμενη χρησιμότητά της ως υπολογιστικού εργαλείου.

Συνολικά, η πτολεμαϊκή παράδοση αποτέλεσε τον βασικό άξονα γύρω από τον οποίο οργανώθηκε μεγάλο μέρος της βυζαντινής μαθηματικής αστρονομίας. Η *Αλμαγέστη*, οι *Πρόχειροι Κανόνες*, τα σχόλια του Θέωνα και η ευρύτερη χειρόγραφη παράδοση μελετήθηκαν, αντιγράφηκαν και χρησιμοποιήθηκαν επί αιώνες. Η σχέση των Βυζαντινών με το πτολεμαϊκό έργο δεν ήταν αποκλειστικά παθητική: περιλάμβανε σχολιασμό, διδασκαλία, αποκατάσταση

χειρόγραφων, εφαρμογή των πινάκων σε πραγματικούς υπολογισμούς και, κατά την ύστερη περίοδο, σύγκρισή τους με περσικές και άλλες ξένες αστρονομικές παραδόσεις. Με αυτή την έννοια, ο Πτολεμαίος παρέμεινε θεμελιώδης μέχρι το τέλος της βυζαντινής επιστημονικής παράδοσης, ακόμη και όταν οι λόγιοι γνώριζαν πλέον ότι ορισμένες παράμετροι και πίνακές του χρειαζόνταν διόρθωση.

2.2 Quadrivium

Η διδασκαλία των μαθηματικών επιστημών στο Βυζάντιο εντασσόταν σε ένα ευρύτερο εκπαιδευτικό πλαίσιο, το οποίο αποτελούσε συνέχεια της ύστερης ελληνικής και ελληνορωμαϊκής παράδοσης. Κεντρική θέση σε αυτό κατείχε το *Quadrivium*, δηλαδή το σύνολο των τεσσάρων μαθηματικών επιστημών: της αριθμητικής, της γεωμετρίας, της αστρονομίας και της μουσικής. Μαζί με το *Trivium* (γραμματική, λογική, ρητορική) συγκροτούσε το παραδοσιακό σχήμα των επτά ελευθερίων τεχνών. Η διαίρεση αυτή είχε τις ρίζες της στην αρχαιότητα και διατηρήθηκε ως θεμελιώδες πλαίσιο της μαθηματικής διδασκαλίας τόσο στη βυζαντινή όσο και στη δυτική μεσαιωνική εκπαίδευση (Vogel, 1967, σ. 268).

Οι απαρχές του *Quadrivium* ανάγονται στην αρχαία ελληνική φιλοσοφική και μαθηματική παράδοση. Ήδη στην ύστερη αρχαιότητα, στα εκπαιδευτικά κέντρα της Αθήνας και της Αλεξάνδρειας, τα μαθηματικά συνδέονταν στενά με τη φιλοσοφική παιδεία. Στην Ακαδημία των Αθηνών ιδιαίτερη βαρύτητα δινόταν σε κλάδους που θεωρούνταν αναγκαίοι για την κατανόηση φιλοσοφικών και φυσικών ζητημάτων, όπως η γεωμετρία και η νεοπλατωνική αριθμητική. Μελετώνταν, μεταξύ άλλων, έργα του Πλάτωνα, του Αριστοτέλη, του Ευκλείδη και του Νικόμαχου, ενώ λόγιοι όπως ο Πρόκλος και ο Σιμπλίκιος συνέβαλαν στη διατήρηση αυτής της παράδοσης (Vogel, 1967, σ. 266).

Σύμφωνα με τον Vogel, η διαίρεση των μαθηματικών σε αριθμητική, γεωμετρία, αστρονομία και μουσική υποστηρίχθηκε κατά την ύστερη αρχαιότητα από τον Αμμώνιο, αν και η προέλευσή της ήταν πολύ παλαιότερη. Το *Quadrivium* διατηρήθηκε στη συνέχεια ως βάση της μαθηματικής εκπαίδευσης στις βυζαντινές σχολές, ενώ στη Δύση καθιερώθηκε μέσω συγγραφέων όπως ο Μαρτιανός Καπέλλα και ο Βοήθιος, στον οποίο αποδίδεται και η ονομασία *Quadrivium* (Vogel, 1967, σ. 268).

Η αριθμητική δεν περιοριζόταν στους πρακτικούς υπολογισμούς, αλλά περιλάμβανε και τη θεωρητική μελέτη των αριθμών και των μεταξύ τους σχέσεων. Σημαντική θέση σε αυτή την παράδοση κατείχε η *Αριθμητική Εισαγωγή* του Νικόμαχου του Γερασηνού, έργο το οποίο παρέμεινε σημείο αναφοράς για τη βυζαντινή μαθηματική παιδεία. Η επίδρασή του είναι εμφανής σε διαφορετικές περιόδους της βυζαντινής ιστορίας: ο Μιχαήλ Ψελλός ασχολήθηκε με τη θεωρία των αριθμών και με σχόλια στον Νικόμαχο, ενώ κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο ο Γεώργιος Παχυμέρης και άλλοι λόγιοι εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούν την αριθμητική παράδοση του Νικόμαχου (Vogel, 1967, σ. 272, 275).

Αντίστοιχα, η γεωμετρία στηριζόταν σε μεγάλο βαθμό στην ευκλείδεια παράδοση. Τα *Στοιχεία* του Ευκλείδη αντιγράφονταν, σχολιάζονταν και διδάσκονταν επί αιώνες. Ήδη κατά τον 9ο αιώνα, ο Λέων ο Μαθηματικός δίδασκε Ευκλείδη, ενώ η δραστηριότητα του κύκλου του συνδέθηκε με την αντιγραφή και τη διάσωση σημαντικών μαθηματικών χειρόγραφων. Η γεωμετρία, ωστόσο, δεν είχε αποκλειστικά θεωρητικό χαρακτήρα. Παράλληλα με την ανώτερη γεωμετρική παιδεία,

επιβίωναν πρακτικές μορφές γεωμετρίας και γεωδαισίας, απαραίτητες για τις ανάγκες της καθημερινής ζωής και των τεχνικών επαγγελμάτων (Vogel, 1967, σ. 268–271).

Η μουσική αποτελούσε επίσης μαθηματική επιστήμη στο πλαίσιο του *Quadrivium*. Η θεωρητική προσέγγισή της βασιζόταν στην πυθαγόρεια αντίληψη ότι τα μουσικά διαστήματα και η αρμονία μπορούν να εκφραστούν μέσω αριθμητικών λόγων. Η συγκεκριμένη παράδοση εξακολούθησε να καλλιεργείται στο Βυζάντιο και η μουσική ή «αρμονική» διδασκόταν ως ένα από τα τέσσερα μαθηματικά αντικείμενα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Γεώργιος Παχυμέρης, ο οποίος στο *Quadrivium* του πραγματεύτηκε εκτενώς τη μουσική θεωρία και χρησιμοποίησε διαγράμματα για την παρουσίαση των μουσικών διαστημάτων και των αριθμητικών τους σχέσεων (Vogel, 1967, σ. 283–284).

Η αστρονομία, τέλος, εντασσόταν οργανικά στο ίδιο μαθηματικό εκπαιδευτικό σύστημα. Η παρουσία της στο *Quadrivium* εξασφάλισε τη συστηματική σύνδεσή της με την αριθμητική και τη γεωμετρία και συνέβαλε στη διατήρηση της αρχαίας μαθηματικής αστρονομικής παράδοσης. Η θέση της ήταν ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η μελέτη των ουράνιων φαινομένων απαιτούσε τη χρήση μαθηματικών μεθόδων και αποτελούσε μέρος της ανώτερης επιστημονικής παιδείας. Η σχέση της αστρονομίας με τα μαθηματικά και η θέση της στο *Quadrivium* θα εξεταστούν αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα.

Η σπουδαιότητα του *Quadrivium* για τη βυζαντινή παιδεία γίνεται ακόμη σαφέστερη αν εξεταστεί η μακρά διάρκειά του. Ο Vogel επισημαίνει ότι ακόμη και σε περιόδους κατά τις οποίες η ανώτερη κοσμική παιδεία παρουσίαζε κάμψη, η διδασκαλία στοιχειωδών μαθηματικών γνώσεων δεν φαίνεται να διακόπηκε ολοκληρωτικά. Αργότερα, με την αναβίωση των σπουδών κατά τον 9ο αιώνα, ο Λέων ο Μαθηματικός δίδαξε φιλοσοφία και τα αντικείμενα του *Quadrivium* στη Μαγναύρα, ενώ κατά τον 11ο αιώνα ο Μιχαήλ Ψελλός δίδαξε επίσης τα αντίστοιχα μαθηματικά αντικείμενα στο πλαίσιο της φιλοσοφικής παιδείας (Vogel, 1967, σ. 268–272).

Κατά συνέπεια, το *Quadrivium* δεν αποτελούσε απλώς ένα σχήμα ταξινόμησης των επιστημών, αλλά έναν από τους βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων η αρχαία μαθηματική γνώση εντάχθηκε στη βυζαντινή εκπαίδευση. Η αριθμητική, η γεωμετρία, η μουσική και η αστρονομία διατήρησαν μέσω αυτού μια οργανική μεταξύ τους σχέση και συνέχισαν να αποτελούν αντικείμενα μελέτης σε διαφορετικές περιόδους της βυζαντινής ιστορίας. Όπως επισημαίνει γενικότερα ο Vogel, η ιδιαίτερη συμβολή του Βυζαντίου στην ιστορία των μαθηματικών και της αστρονομίας συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη διατήρηση της επιστημονικής κληρονομιάς της αρχαιότητας και τη μεταβίβασή της στις επόμενες εποχές (Vogel, 1967, σ. 264–265).

2.3 Η Αστρονομία ως κορυφαία Μαθηματική Επιστήμη του *Quadrivium*

Η αστρονομία κατείχε εξέχουσα θέση μεταξύ των τεσσάρων μαθηματικών επιστημών του *Quadrivium*. Η ένταξή της στο ίδιο εκπαιδευτικό σχήμα με την αριθμητική, τη γεωμετρία και τη μουσική αντανakλούσε την αντίληψη της αρχαίας και μεσαιωνικής επιστημονικής παράδοσης ότι η μελέτη του ουρανού αποτελούσε κατεξοχήν μαθηματικό αντικείμενο. Η κατανόηση και η πρόβλεψη των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων προϋπέθεταν γνώσεις αριθμητικής και γεωμετρίας και, επομένως, η αστρονομία συνδεόταν οργανικά με τους υπόλοιπους κλάδους του *Quadrivium*. Η τετραμερής αυτή διαίρεση των μαθηματικών επιστημών διατηρήθηκε ως βασικό σχήμα της βυζαντινής μαθηματικής εκπαίδευσης (Vogel, 1967, σ. 268).

Η θέση αυτή της αστρονομίας είχε τις ρίζες της στην αρχαία ελληνική επιστημονική και φιλοσοφική παράδοση. Η ανάπτυξη της ελληνικής μαθηματικής αστρονομίας είχε ήδη δημιουργήσει ένα σύνθετο θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο κορυφώθηκε κατά την αρχαιότητα με το έργο του Κλαυδίου Πτολεμαίου. Η *Μαθηματική Σύνταξις*, γνωστή αργότερα ως *Αλμαγέστη*, συγκέντρωνε και συστηματοποιούσε μεγάλο μέρος της προγενέστερης ελληνικής αστρονομικής γνώσης. Η πτολεμαϊκή παράδοση αποτέλεσε στη συνέχεια βασικό σημείο αναφοράς και για τη βυζαντινή μαθηματική αστρονομία.

Η αστρονομία διέφερε ως προς το αντικείμενό της από τις άλλες επιστήμες του *Quadrivium*, χωρίς να αποχωρίζεται από αυτές. Η αριθμητική προσέφερε τη γνώση των αριθμών και των αριθμητικών σχέσεων, ενώ η γεωμετρία παρείχε τα απαραίτητα μέσα για τη μαθηματική περιγραφή των σχημάτων, των αποστάσεων και των κινήσεων. Η αστρονομία αξιοποιούσε αυτά τα μαθηματικά εργαλεία για τη μελέτη συγκεκριμένων φυσικών φαινομένων, όπως οι κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των πλανητών, οι εκλείψεις και οι χρονικές περίοδοι. Με αυτή την έννοια, αποτελούσε ένα πεδίο στο οποίο η θεωρητική μαθηματική γνώση μπορούσε να εφαρμοστεί στη συστηματική μελέτη του ουρανού.

Η μαθηματική αυτή διάσταση είναι εμφανής ήδη στην πρωτοβυζαντινή περίοδο. Ο Vogel επισημαίνει ότι η αρχαία αστρονομική παράδοση εξακολουθούσε να μελετάται στα μεγάλα πνευματικά κέντρα της ύστερης αρχαιότητας. Στην Αλεξάνδρεια, για παράδειγμα, η Υπατία ασχολήθηκε με τον Πτολεμαίο και συνέγραψε αστρονομικούς πίνακες, ενώ ο πατέρας της, Θέων ο Αλεξανδρεύς, είχε σχολιάσει την *Αλμαγέστη* και τους *Πρόχειρους Κανόνες* του Πτολεμαίου. Αργότερα, ο Ιωάννης Φιλόπονος συνέχισε την παράδοση των σχολίων σε αστρονομικά έργα και συνέγραψε πραγματεία για τον αστρολάβο (Vogel, 1967, σ. 266–267). Η δραστηριότητα αυτή δείχνει ότι η αστρονομική γνώση παρέμενε στενά συνδεδεμένη τόσο με τη μαθηματική παιδεία όσο και με τη μελέτη και ερμηνεία των αρχαίων επιστημονικών κειμένων.

Η συνέχεια της πτολεμαϊκής παράδοσης φαίνεται εντονότερα στις μεταγενέστερες περιόδους. Ο Vogel επισημαίνει τη σημασία της διατήρησης χειρόγραφων του Πτολεμαίου και συνδέει τη βυζαντινή επιστημονική δραστηριότητα όχι μόνο με τη διδασκαλία αλλά και με την αντιγραφή, τον σχολιασμό και τη διάσωση των αρχαίων μαθηματικών και αστρονομικών έργων. Κατά τον 9ο αιώνα, για παράδειγμα, η αναβίωση των μαθηματικών σπουδών συνδέθηκε με τον Λέοντα τον Μαθηματικό και τον κύκλο του, στον οποίο αντιγράφηκαν σημαντικά αρχαία επιστημονικά χειρόγραφα. Η δραστηριότητα αυτή είχε καθοριστική συμβολή στη διάσωση μέρους της αρχαίας επιστημονικής γραμματείας (Vogel, 1967, σ. 269–271).

Η αστρονομική γνώση είχε, παράλληλα, πρακτική χρησιμότητα. Ο Vogel επισημαίνει ότι οι επιστήμες του *Quadrivium* δεν καλλιεργούνταν αποκλειστικά για θεωρητικούς λόγους, αλλά συνδέονταν και με πρακτικές ανάγκες. Ειδικότερα, η αστρονομία ήταν απαραίτητη για τον υπολογισμό του χρόνου και του ημερολογίου, ενώ ιδιαίτερη σημασία για τη χριστιανική κοινωνία είχε ο υπολογισμός της ημερομηνίας του Πάσχα. Χαρακτηριστικά, ο Μιχαήλ Ψελλός συνέγραψε έργα σχετικά με τον υπολογισμό του Πάσχα και του ημερολογίου, γεγονός που καταδεικνύει τη σύνδεση της μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης με συγκεκριμένες ανάγκες της βυζαντινής κοινωνίας (Vogel, 1967, σ. 272).

Αξιοσημείωτη άνθηση γνώρισε η μαθηματική αστρονομία κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο. Στις αρχές του 14ου αιώνα, ο Θεόδωρος Μετοχίτης στράφηκε συστηματικά στη μελέτη της πτολεμαϊκής αστρονομίας. Σύμφωνα με τον Vogel, διδάχθηκε από τον Μανουήλ Βρυέννιο, ο

οποίος τον εισήγαγε στη *Μαθηματική Σύνταξη* του Πτολεμαίου. Ο Μετοχίτης μελέτησε επίσης τον Ευκλείδη, τον Θεοδόσιο και τον Απολλώνιο, γεγονός που δείχνει ότι η προχωρημένη αστρονομική κατάρτιση προϋπέθετε ευρύτερη γνώση της αρχαίας μαθηματικής παράδοσης. Ο ίδιος συνέγραψε μια εισαγωγή στην πτολεμαϊκή αστρονομία, τα *Στοιχεία Αστρονομικής*, επιδιώκοντας να καταστήσει το απαιτητικό αυτό γνωστικό αντικείμενο περισσότερο προσιτό στους μαθητές του (Vogel, 1967, σ. 276–277).

Η περίπτωση του Μετοχίτη είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική για την υψηλή θέση που μπορούσε να καταλάβει η αστρονομία στη βυζαντινή επιστημονική σκέψη. Ο Vogel αναφέρει ότι ο Μετοχίτης θεωρούσε την αστρονομία το υψηλότερο πεδίο της φιλοσοφίας, ενώ υπογράμμιζε τη δυσκολία που παρουσίαζε η εκμάθησή της. Η αντίληψη αυτή εξηγεί και τη συστηματική ενασχόλησή του με την πτολεμαϊκή παράδοση και τη διδασκαλία της σε μαθητές όπως ο Νικηφόρος Γρηγοράς (Vogel, 1967, σ. 276–277).

Ο Γρηγοράς συνέχισε αυτή την παράδοση, έχοντας διδαχθεί από τον Μετοχίτη αστρονομία και αρχαία ελληνικά μαθηματικά. Η δραστηριότητά του περιλάμβανε πραγματείες για αστρονομικά ζητήματα και για τη χρήση του αστρολάβου, ενώ το 1324 πρότεινε μεταρρύθμιση του ημερολογίου. Η περίπτωση του Γρηγορά καταδεικνύει ότι η αστρονομία δεν αποτελούσε μόνο αντικείμενο θεωρητικής μελέτης, αλλά μπορούσε να συνδέεται άμεσα με προβλήματα υπολογισμού του χρόνου και του ημερολογίου (Vogel, 1967, σ. 277–278).

Η άνθηση αυτή δεν πρέπει, ωστόσο, να θεωρηθεί ως μια απολύτως γραμμική και αδιάκοπη εξέλιξη. Η ένταση της αστρονομικής δραστηριότητας μεταβαλλόταν ανάλογα με τις ιστορικές και εκπαιδευτικές συνθήκες. Παράλληλα, κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο, η ελληνική πτολεμαϊκή παράδοση ήρθε σε επαφή με αστρονομικές γνώσεις που είχαν αναπτυχθεί και διατηρηθεί στην Ανατολή. Ο Γρηγόριος Χιονιάδης μετέφερε στο Βυζάντιο περσικό και αραβικό αστρονομικό υλικό, ενώ κατά τον 14ο αιώνα λόγιοι όπως ο Γεώργιος Χρυσόκοκκης, ο Ισαάκ Αργυρός και ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης ασχολήθηκαν με διαφορετικές αστρονομικές παραδόσεις. Ο Vogel περιγράφει χαρακτηριστικά αυτή τη διαδικασία ως επιστροφή, μέσω ενός μακρού κύκλου, στοιχείων της αρχαίας ελληνικής επιστήμης στο Βυζάντιο, αφού προηγουμένως είχαν μεταδοθεί και αναπτυχθεί στον αραβοπερσικό κόσμο (Vogel, 1967, σ. 278–279).

Συνεπώς, η εξέχουσα θέση της αστρονομίας στο βυζαντινό *Quadrivium* μπορεί να κατανοηθεί κυρίως μέσα από τον μαθηματικό της χαρακτήρα και τη σύνδεσή της με την ανώτερη παιδεία. Η αστρονομία αξιοποιούσε γνώσεις αριθμητικής και γεωμετρίας, απαιτούσε τη μελέτη σύνθετων μαθηματικών έργων και ταυτόχρονα είχε εφαρμογές στον υπολογισμό του χρόνου και του ημερολογίου. Η μακρά παρουσία της πτολεμαϊκής παράδοσης, από την ύστερη αρχαιότητα έως τους λογίους της Παλαιοιολόγιας περιόδου, αποδεικνύει τη σταθερή σημασία της στη βυζαντινή επιστημονική παιδεία. Στην περίπτωση μάλιστα του Θεόδωρου Μετοχίτη η αστρονομία

προσέλαβε ιδιαίτερα υψηλό θεωρητικό κύρος, αποτελώντας ένα από τα πλέον απαιτητικά πεδία της μαθηματικής και φιλοσοφικής γνώσης (Vogel, 1967, σ. 276–277).

2.4 Η συνέχεια της ελληνικής μαθηματικής και αστρονομικής παράδοσης στο Βυζάντιο

Η εξέταση της βυζαντινής αστρονομίας προϋποθέτει την κατανόηση της σχέσης της με την αρχαία ελληνική και την αλεξανδρινή επιστημονική παράδοση. Η μετάβαση από την ύστερη αρχαιότητα στον βυζαντινό κόσμο δεν σήμανε την πλήρη διακοπή της καλλιέργειας των μαθηματικών επιστημών. Αντίθετα, σημαντικό μέρος της αρχαίας επιστημονικής γραμματείας διατηρήθηκε, αντιγράφηκε, σχολιάστηκε και εντάχθηκε στο εκπαιδευτικό και πνευματικό πλαίσιο της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας. Ο Δημήτριος Κωτσάκης υπογραμμίζει ότι η βυζαντινή περίοδος μπορεί να θεωρηθεί συνέχεια της κλασικής και αλεξανδρινής εποχής, καθώς οι επιστημονικοί και ελληνικοί γραμματειακοί θησαυροί εξακολούθησαν να καλλιεργούνται και να μεταδίδονται κατά τη διάρκεια των αιώνων του Βυζαντίου (Κωτσάκης, 1985, σ. 231–232).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της συνέχειας αυτής αποτελεί το έργο του Γεωργίου Παχυμέρη, ο οποίος κατά τον 13ο αιώνα συνέγραψε πραγματεία για τις τέσσερις μαθηματικές επιστήμες, γνωστή ως *Quadrivium*. Το έργο του περιλαμβάνει την αριθμητική, τη μουσική, τη γεωμετρία και την αστρονομία και αποτελεί σημαντικό τεκμήριο για τον τρόπο με τον οποίο η αρχαία μαθηματική παράδοση ενσωματώθηκε στη βυζαντινή λόγια παιδεία. Η σύγχρονη ιστοριογραφία της ιστορίας των μαθηματικών έχει επισημάνει τη θέση του Διόφαντου στην αριθμητική πραγματεία του Παχυμέρη και τον τρόπο με τον οποίο το έργο του μαρτυρεί τη χρήση της αρχαίας μαθηματικής κληρονομιάς στο βυζαντινό εκπαιδευτικό περιβάλλον (Megremi & Christianidis, 2015).

Η αστρονομία είχε σημαντική θέση μέσα στο *Quadrivium*, καθώς συνδύαζε τη μαθηματική θεωρία με την παρατήρηση και τη μελέτη των ουρανίων κινήσεων. Η πτολεμαϊκή παράδοση αποτέλεσε τον βασικό θεωρητικό άξονα της βυζαντινής μαθηματικής αστρονομίας. Η μελέτη του Πτολεμαίου δεν περιορίστηκε στην απλή αντιγραφή των αρχαίων έργων. Οι Βυζαντινοί λόγιοι συνέταξαν σχόλια, επεξηγήσεις και μαθηματικές πραγματείες, μέσω των οποίων η πτολεμαϊκή αστρονομία προσαρμόστηκε στις ανάγκες της διδασκαλίας και της επιστημονικής έρευνας. Ο Κωτσάκης θεωρεί χαρακτηριστική αυτή τη διαδικασία σχολιασμού και συστηματοποίησης των έργων των αρχαίων Ελλήνων και των Αλεξανδρινών, επισημαίνοντας παράλληλα ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι Βυζαντινοί λόγιοι διατύπωσαν και πρωτότυπες απόψεις (Κωτσάκης, 1985, σ. 227–232).

Η συνέχεια αυτή δεν υπήρξε, ωστόσο, γραμμική ούτε αδιάλειπτη. Η καλλιέργεια των μαθηματικών και αστρονομικών επιστημών παρουσίασε διακυμάνσεις, οι οποίες συνδέονταν με τις πολιτικές, κοινωνικές και εκπαιδευτικές μεταβολές της αυτοκρατορίας. Ιδιαίτερα από τον 9ο αιώνα παρατηρείται αναζωογόνηση της λόγιας παιδείας και των επιστημονικών σπουδών, με σημαντική θέση να καταλαμβάνουν η αριθμητική, η γεωμετρία και η αστρονομία. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται η δραστηριότητα του Λέοντος του Μαθηματικού και η αναδιοργάνωση της ανώτερης εκπαίδευσης στην Κωνσταντινούπολη. Η περίοδος αυτή αποτέλεσε σημαντικό σταθμό για την ανανέωση της μελέτης των αρχαίων μαθηματικών και αστρονομικών κειμένων (Κωτσάκης, 1985, σ. 229–230).

Ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρείται κατά τους τελευταίους αιώνες της αυτοκρατορίας. Ο Κωτσάκης θεωρεί την παλαιολόγια περίοδο ιδιαίτερα σημαντική για την καλλιέργεια των μαθηματικών και αστρονομικών επιστημών και αναφέρεται σε μια σειρά λογίων, μεταξύ των οποίων ο Νικηφόρος Βλεμμύδης, ο Γεώργιος Παχυμέρης, ο Μάξιμος Πλανούδης, ο Θεόδωρος Μετοχίτης και ο Νικηφόρος Γρηγοράς (Κωτσάκης, 1985, σ. 230–231). Η εξέλιξη αυτή δείχνει ότι η βυζαντινή επιστημονική παράδοση δεν περιορίστηκε στη συντήρηση αρχαίων κειμένων, αλλά

περιλάμβανε ενεργό μελέτη, σχολιασμό και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάπτυξη νέων υπολογιστικών και αστρονομικών μεθόδων.

Ιδιαίτερη θέση στη διαδικασία αυτή κατέχει ο Θεόδωρος Μετοχίτης, ο οποίος συνέβαλε αποφασιστικά στην ανανέωση της μαθηματικής αστρονομίας κατά τον 14ο αιώνα. Η δραστηριότητά του συνδέεται στενά με τη μελέτη της πτολεμαϊκής παράδοσης και με την προετοιμασία του πνευματικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο δραστηριοποιήθηκε ο Νικηφόρος Γρηγοράς. Ο τελευταίος υπήρξε ιδιαίτερα σημαντικός για την αστρονομία, καθώς ασχολήθηκε με τον υπολογισμό εκλείψεων, τον αστρολάβο και το πρόβλημα του πασχαλίου και της ημερολογιακής μεταρρύθμισης (Κωτσάκης, 1985, σ. 230–231). Η δραστηριότητα αυτή εντάσσεται στη γενικότερη παλαιολόγια αναγέννηση των επιστημών και καταδεικνύει ότι η αστρονομία παρέμενε αντικείμενο συστηματικής μαθηματικής μελέτης.

Η συνέχεια της παράδοσης υπήρξε παράλληλα συνδεδεμένη με τη μετάδοση της βυζαντινής επιστημονικής γνώσης εκτός των ορίων της αυτοκρατορίας. Η μελέτη και η διατήρηση των ελληνικών μαθηματικών και αστρονομικών έργων δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη μεταγενέστερη αξιοποίησή τους στη Δύση. Η σχέση αυτή δεν πρέπει να θεωρείται ως απλή και μονοσήμαντη μεταφορά γνώσης, αλλά ως αποτέλεσμα πολύπλοκων διαδικασιών μετάφρασης, μετακίνησης λογίων, χειρόγραφης παράδοσης και διαπολιτισμικών επαφών. Ωστόσο, η συμβολή του βυζαντινού κόσμου στη διατήρηση και μετάδοση της ελληνικής επιστημονικής γραμματείας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την κατανόηση της ιστορίας των μαθηματικών και της αστρονομίας κατά τη μετάβαση από τον Μεσαίωνα στην Αναγέννηση.

Συνεπώς, η βυζαντινή αστρονομία δεν μπορεί να εξεταστεί αποκλειστικά ως παθητική συνέχεια της αρχαίας ελληνικής επιστήμης. Η διατήρηση των πτολεμαϊκών και άλλων αρχαίων έργων, η ένταξή τους στο εκπαιδευτικό σύστημα, η παραγωγή σχολίων και μαθηματικών πραγματειών και, ιδιαίτερα κατά την παλαιολόγια περίοδο, η ανάπτυξη συστηματικότερης αστρονομικής έρευνας, συνθέτουν μια ιστορική διαδικασία στην οποία η παράδοση και η ανανέωση συνυπάρχουν. Υπό αυτή την έννοια, το Βυζάντιο αποτέλεσε έναν κρίσιμο ενδιάμεσο χώρο μεταφοράς, επεξεργασίας και συνέχισης της ελληνικής μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης.

Κεφάλαιο 3^ο

Πρωτοβυζαντινή Περίοδος (326-610)

Κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο, παρά τον έντονο θρησκευτικό προσανατολισμό της κοινωνίας και την επικράτηση του χριστιανισμού, παρατηρείται η παρουσία σημαντικών λογίων που δραστηριοποιήθηκαν στον χώρο των μαθηματικών και της αστρονομίας. Στους πρώτους αιώνες της αυτοκρατορίας, και κυρίως κατά την εποχή του Ιουλιανού, αναφέρονται μορφές όπως ο νεοπλατωνικός Πρίσκος και ο Μάξιμος ο Εφέσιος, οι οποίοι συνδύαζαν φιλοσοφία, αστρολογία και μυστικισμό, αντανakλώντας τη στενή σχέση των επιστημών αυτών με τις θρησκευτικές και φιλοσοφικές αντιλήψεις της εποχής.

Αξιοσημείωτη άνθηση γνώρισε η αστρολογία κατά τον 4ο αιώνα, με χαρακτηριστική περίπτωση τον Παύλο τον Αλεξανδρέα, ο οποίος συνέγραψε πραγματεία σχετική με την επίδραση των άστρων και των αστερισμών. Η σύνδεση αυτή της αστρονομικής παρατήρησης με ερμηνευτικά και μαντικά στοιχεία αναδεικνύει την ασαφή διάκριση μεταξύ αστρονομίας και αστρολογίας στη συγκεκριμένη περίοδο.

Παράλληλα, σημαντική υπήρξε η συμβολή της Αλεξανδρινής σχολής, με κορυφαίο εκπρόσωπο τον Θέωνα τον Αλεξανδρέα, μαθηματικό και αστρονόμο, ο οποίος κατέγραψε αστρονομικά φαινόμενα, όπως ηλιακές και σεληνιακές εκλείψεις, και επιμελήθηκε εκδόσεις έργων της αρχαίας ελληνικής μαθηματικής παράδοσης, όπως τα «Στοιχεία» του Ευκλείδη. Στην ίδια παράδοση εντάσσεται και η Υπατία, η οποία διακρίθηκε ως μαθηματικός και αστρονόμος, καθώς και ο μαθητής της Συνέσιος.

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται, συνεπώς, από τη συνύπαρξη της αρχαίας επιστημονικής γνώσης με τις νέες θρησκευτικές αντιλήψεις, γεγονός που επηρέασε τον τρόπο με τον οποίο εξελίχθηκαν οι μαθηματικές επιστήμες. Παρά την παρουσία σημαντικών προσωπικοτήτων, η ανάπτυξη των επιστημών αυτών δεν υπήρξε ανεξάρτητη, αλλά συνδέθηκε στενά με φιλοσοφικά και θεολογικά ρεύματα της εποχής.

Παρακάτω θα αναφέρουμε σημαντικούς Μαθηματικούς και Αστρονόμους της Βυζαντινής εποχής. Ωστόσο, αξίζει να ξεκινήσουμε με εκείνους που συνετέλεσαν ώστε οι γνώσεις οι οποίες ήδη υπήρχαν να διασωθούν και να μεταφερθούν στο Βυζάντιο.

Ο Νικόμαχος ο Γερασινός υπήρξε ένας από αυτούς, αν και δεν είναι ευρέως γνωστός. Πρόκειται για έναν Έλληνα Μαθηματικό με καταγωγή από τα Γέρασα της Αραβίας. Γεννήθηκε περίπου το 60 μ.Χ. και ασχολήθηκε με την αριθμητική. Το σημαντικότερο έργο του είναι η Αριθμητική Εισαγωγή, η οποία είναι και το πρώτο έργο Αριθμητικής που έχει διασωθεί και είναι αποκολλημένο από τη Γεωμετρία. Σε αυτό το έργο του, ο Νικόμαχος αναφέρεται στην αρμονία των αριθμών και στη σύνδεση που υπάρχει με τη μουσική.

Ο Σερήνος ο Αντινοεύς υπήρξε ένας ακόμη συνδετικός κρίκος. Ήταν Έλληνας Μαθηματικός και Φιλόσοφος, ο οποίος έζησε τον 3^ο μ.Χ. αιώνα. Συνέγραψε δύο σημαντικά έργα, το «Περί Κυλίνδρου Τομής» και το «Περί Κώνου Τομής» (Λάζος Χ. , Αθήνα 2005). Με αυτά του τα έργα βοήθησε αρκετά στην εξέλιξη των μαθηματικών. Ο Σερήνος είχε σχολιάσει το έργο Κωνικά του Απολλώνιου και λογίζεται γενικά από τους ιστορικούς ως συνεχιστής του έργου Απολλώνιου.

Στη μετα-απολλώνεια παράδοση, κατέχει σημαντική θέση ως γεωμέτρης-φιλόσοφος που ασχολήθηκε με τις κωνικές τομές.

Ακόμη ένα γρανάζι στη μηχανή μετάδοσης των επιστημονικών γνώσεων υπήρξε ο Πρόκλος ο Διάδοχος. Γεννημένος στη Κωνσταντινούπολη το 412 μ.Χ., ήταν Φιλόσοφος και Μαθηματικός ενώ έγραψε και κάποια έργα περί αστρονομίας. Το συγγραφικό του έργο ήταν εκτενές, όμως διασώθηκε περίπου το ένα τρίτο αυτού. Το προσωνύμιο «Διάδοχος» το απέκτησε όταν σε ηλικία 25 ετών και εξαιτίας του θανάτου του Συριανού, αποκτά πρωταγωνιστικό ρόλο στη νεοπλατωνική σχολή. Συγκαταλέγεται στους τελευταίους σπουδαίους εκπροσώπους της αρχαιοελληνικής φιλοσοφικής σκέψης. Κατόρθωσε να ενοποιήσει σε ένα συνεκτικό και σύνθετο φιλοσοφικό σύστημα ολόκληρη την προγενέστερη νεοπλατωνική φιλοσοφική παράδοση, επηρεάζοντας τη μεταγενέστερη δυτική φιλοσοφία.

3.1 Παιδεία

Η εκπαίδευση κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο (4ος–7ος αι.) δεν διέθετε ενιαία οργάνωση και χαρακτηριζόταν από τον έντονα θρησκευτικό της προσανατολισμό. Η διδασκαλία των βασικών γνώσεων επικεντρωνόταν κυρίως σε εκκλησιαστικά κείμενα, όπως η Αγία Γραφή και το Ψαλτήρι, ενώ ο κύριος στόχος της παιδείας ήταν η διαμόρφωση ηθικά ορθών χριστιανών. Στο πλαίσιο αυτό, τα μαθηματικά δεν αποτελούσαν αυτόνομο γνωστικό πεδίο, αλλά περιοριζόνταν κυρίως σε στοιχειώδη αριθμητική με πρακτικό χαρακτήρα.

Η αριθμητική διδασκόταν ήδη από τα κατώτερα στάδια της εκπαίδευσης, με τη χρήση εργαλείων όπως το αβάκιο, ενώ οι υπολογισμοί πραγματοποιούνταν με ακέραιους αριθμούς και συχνά με τη βοήθεια των γραμμάτων του αλφαβήτου. Παράλληλα, χρησιμοποιούνταν απλά μέσα γραφής, όπως πινακίδες με κερί και κοντύλια, γεγονός που καταδεικνύει τον πρακτικό και στοιχειώδη χαρακτήρα της μαθηματικής παιδείας. Η χρήση πιο εξελιγμένων αριθμητικών συστημάτων, όπως οι ινδοαραβικοί αριθμοί, εισήχθη πολύ αργότερα, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σχετική στασιμότητα στον τομέα αυτό κατά την πρώιμη βυζαντινή περίοδο.

Φυσικά, θα πρέπει να αναφέρουμε και τη στάση της Εκκλησίας απέναντι στα μαθηματικά και την αστρονομία. Οι Βυζαντινοί διέκριναν μεταξύ «επιστημονικών» μαθηματικών, τα οποία γίνονταν αποδεκτά στον βαθμό που συνέβαλλαν στην κατανόηση της θείας τάξης, και «αποκρύφων» γνώσεων, όπως η αστρολογία, οι οποίες απορρίπτονταν και διώκονταν. Η αστρονομία επιτρεπόταν μόνο ως μέσο κατανόησης της δημιουργίας, ενώ κάθε σύνδεσή της με την πρόβλεψη της ανθρώπινης μοίρας θεωρούνταν απαράδεκτη. Ωστόσο, στην πράξη, τα όρια μεταξύ αστρονομίας και αστρολογίας δεν ήταν πάντοτε σαφή.

Η επιφυλακτική έως αρνητική στάση απέναντι στις κοσμικές επιστήμες ενισχύθηκε από θεσμικές παρεμβάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διακοπή λειτουργίας της Νεοπλατωνικής Σχολής των Αθηνών το 529 από τον Ιουστινιανό, καθώς και νομοθετικές ρυθμίσεις που περιόριζαν ή απαγόρευαν τη διδασκαλία των μαθηματικών, ιδίως όταν αυτά συνδέονταν με την αστρολογία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα βιβλία των μαθηματικών καταστρέφονταν και οι διδάσκοντες απομακρύνονταν, γεγονός που επηρέασε αρνητικά την εξέλιξη των θετικών επιστημών.

Παρά τις δυσμενείς αυτές συνθήκες, η μαθηματική και αστρονομική γνώση δεν εξαφανίστηκε πλήρως. Στα ανώτερα εκπαιδευτικά ιδρύματα, όπως το Πανδιδακτήριο της Κωνσταντινούπολης, η διδασκαλία περιλάμβανε στοιχεία της λεγόμενης τετρακτύος (quadrivium), δηλαδή αριθμητική,

γεωμετρία, μουσική και αστρονομία. Ωστόσο, η διδασκαλία αυτή βασιζόταν κυρίως σε έργα της αρχαίας ελληνικής παράδοσης, όπως τα «Στοιχεία» του Ευκλείδη και τα έργα του Πτολεμαίου, χωρίς να συνοδεύεται από ουσιαστική πρωτογενή επιστημονική έρευνα.

Επιπλέον, η διατήρηση της επιστημονικής γνώσης οφειλόταν σε μεγάλο βαθμό στη δραστηριότητα των μοναστηριών και των βιβλιοθηκών, όπου αντιγράφονταν και διασώζονταν αρχαία κείμενα. Με τον τρόπο αυτό, η βυζαντινή παιδεία λειτούργησε περισσότερο ως φορέας μετάδοσης και συντήρησης της αρχαίας επιστημονικής κληρονομιάς, παρά ως πεδίο ανάπτυξης νέας γνώσης.

Συνολικά, κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο, η ανάπτυξη των μαθηματικών επιστημών και ειδικότερα της αστρονομίας ήταν περιορισμένη, εξαιτίας του θρησκευτικού προσανατολισμού της παιδείας και της επιφυλακτικής στάσης απέναντι στις κοσμικές επιστήμες. Παρά τις μεμονωμένες εξαιρέσεις και τη διατήρηση της αρχαίας γνώσης, η επιστημονική πρόοδος παρέμεινε περιορισμένη και εξαρτημένη από το πλαίσιο της χριστιανικής κοσμοθεωρίας.

3.2 Σχολή Αθηνών

Η Νεοπλατωνική Σχολή των Αθηνών αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα πνευματικά κέντρα της πρωτοβυζαντινής περιόδου, όπου η φιλοσοφία συνδέθηκε στενά με τα μαθηματικά και την αστρονομία. Στο πλαίσιο της νεοπλατωνικής σκέψης, τα μαθηματικά θεωρούνταν απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση της φιλοσοφίας και της δομής του κόσμου, ενώ η αριθμοσοφία και η γεωμετρία κατείχαν κεντρική θέση στη φιλοσοφική παιδεία.

Κορυφαία μορφή της Σχολής υπήρξε ο Πρόκλος ο Λύκιος (410–485), ο οποίος συνδύασε τη φιλοσοφία με τη μαθηματική και αστρονομική γνώση. Το έργο του στις θετικές επιστήμες περιλάμβανε αστρονομικές πραγματείες, όπως η «Υποτύπωση των αστρονομικών υποθέσεων», όπου πραγματεύεται τις κινήσεις των πλανητών και σχολιάζει έργα σημαντικών αρχαίων επιστημόνων, όπως ο Ευκλείδης, ο Νικόμαχος, ο Ίππαρχος, ο Αρίσταρχος και ο Πτολεμαίος. Παράλληλα, αναφέρεται σε βασικά ουράνια φαινόμενα (Ήλιος, Σελήνη, πλανήτες) και στη χρήση αστρονομικών οργάνων, όπως ο τροπικός κρίκος και ο αστρολάβος, δείχνοντας τη σύνδεση θεωρίας και παρατήρησης.

Ο Πρόκλος, αν και επηρεασμένος από την πτολεμαϊκή παράδοση, δεν δίστασε να εκφράσει επιφυλάξεις τόσο για τη θεωρία των επικύκλων όσο και για την ηλιοκεντρική πρόταση του Αρίσταρχου, γεγονός που καταδεικνύει την ύπαρξη επιστημονικού προβληματισμού στο εσωτερικό της νεοπλατωνικής σκέψης. Συνολικά, η συμβολή του συνίσταται στη συστηματοποίηση και ερμηνεία της αρχαίας επιστημονικής γνώσης, παρά στην παραγωγή νέας.

Σημαντική υπήρξε επίσης η δραστηριότητα σχολιαστών όπως ο Σιμπλίκιος, ο οποίος μέσω των υπομνημάτων του στα έργα του Αριστοτέλη, και ιδίως στο «Περί ουρανού», διέσωσε πολύτιμες πληροφορίες για την αρχαία αστρονομία και την ιστορία των μαθηματικών. Μέσα από τα έργα του διατηρήθηκαν παραδόσεις σχετικές ακόμη και με πρώιμες επιστημονικές ιδέες, όπως η ηλιοκεντρική θεωρία που αποδιδόταν στον Φιλόλαο.

Παράλληλα, φιλόσοφοι όπως ο Δαμάσκιος και ο Μαρίνος συνέχισαν την παράδοση της Σχολής, συμβάλλοντας κυρίως στη διατήρηση και ερμηνεία των μαθηματικών έργων, ιδίως των «Στοιχείων» του Ευκλείδη. Ο Μαρίνος, ειδικότερα, ασχολήθηκε με την αριθμητική και τη

γεωμετρία, ενώ άλλοι εκπρόσωποι, όπως ο Δομνίνος, ασχολήθηκαν συστηματικά με την αριθμητική θεωρία.

Η Σχολή των Αθηνών διακρίθηκε επίσης για τη σύνδεση φιλοσοφίας και μαθηματικών μέσω της νέο-πυθαγόρειας παράδοσης, όπου οι αριθμοί και οι μαθηματικές σχέσεις θεωρούνταν θεμελιώδη στοιχεία της κοσμικής τάξης. Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη των μαθηματικών δεν είχε μόνο πρακτικό ή επιστημονικό χαρακτήρα, αλλά και μεταφυσική διάσταση.

Ωστόσο, η εξέλιξη αυτή διακόπηκε απότομα το 529 μ.Χ., όταν ο αυτοκράτορας Ιουστινιανός έκλεισε τη Σχολή των Αθηνών. Το γεγονός αυτό σηματοδότησε το τέλος της οργανωμένης φιλοσοφικής και επιστημονικής παράδοσης της αρχαιότητας στον ελλαδικό χώρο. Παρά την παύση της λειτουργίας της Σχολής, το έργο των εκπροσώπων της διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στη διάσωση και μετάδοση της αρχαίας μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης.

Συνολικά, η Σχολή των Αθηνών δεν υπήρξε κέντρο πρωτογενούς επιστημονικής καινοτομίας, αλλά λειτούργησε ως φορέας διατήρησης, ερμηνείας και συστηματοποίησης της αρχαίας επιστημονικής παράδοσης, συμβάλλοντας καθοριστικά στη μεταβίβασή της στο Βυζάντιο και, αργότερα, στη Δύση.

3.3 Σχολή Αλεξάνδρειας

Κατά τη μετάβαση από την ύστερη αρχαιότητα στην πρώιμη βυζαντινή περίοδο, η Αλεξάνδρεια διατήρησε εξέχουσα θέση στην καλλιέργεια των μαθηματικών και της αστρονομίας. Η μακρά επιστημονική παράδοση της πόλης, η οποία είχε ήδη συνδεθεί με σημαντικές μορφές της ελληνιστικής επιστήμης, εξακολούθησε να αποτελεί βασικό σημείο αναφοράς για τη μελέτη και τη διδασκαλία των θετικών επιστημών. Η Τihon χαρακτηρίζει την Αλεξάνδρεια ως το κυριότερο κέντρο επιστημονικών σπουδών κατά τους πρώτους αιώνες της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας, παράλληλα με άλλα κέντρα, όπως η Αθήνα και ορισμένες σχολές της Συρίας (Tihon, 2009, σ. 393).

Η αλεξανδρινή αστρονομική παράδοση επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από το έργο και την κληρονομιά του Κλαύδιου Πτολεμαίου. Η *Μαθηματική Σύνταξις*, περισσότερο γνωστή ως *Αλμαγέστη*, και οι *Πρόχειροι Κανόνες* αποτέλεσαν θεμελιώδη κείμενα της μεταγενέστερης βυζαντινής αστρονομίας. Σημαντικό ρόλο στη μετάδοσή τους διαδραμάτισαν οι σχολιαστές τους και ιδιαίτερα ο Θέων ο Αλεξανδρεύς. Σύμφωνα με την Τihon, τα έργα του Πτολεμαίου, τα σχόλια

του Θέωνα και η εκτεταμένη σχολιαστική παράδοση που τα συνόδευε αποτέλεσαν τη βασική παρακαταθήκη πάνω στην οποία στηρίχθηκε η βυζαντινή αστρονομία, ενώ ο Πτολεμαίος συνέχισε να μελετάται και να χρησιμοποιείται μέχρι το τέλος της αυτοκρατορίας (Tihon, 2009, σ. 392–393).

Ο Θέων ο Αλεξανδρεύς, μαθηματικός και αστρονόμος του 4ου αιώνα και πατέρας της Υπατίας, υπήρξε ένας από τους σημαντικότερους εκπροσώπους αυτής της σχολιαστικής παράδοσης. Η συνεισφορά του στη βυζαντινή επιστήμη αφορά κυρίως κυρίως τη μελέτη και ερμηνεία των έργων του Πτολεμαίου και τη διατήρηση της μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης. Τα σχόλια του αποτέλεσαν μέρος μιας εκπαιδευτικής παράδοσης που επέζησε επί αιώνες και επηρέασε βαθιά τον τρόπο με τον οποίο οι μεταγενέστεροι Βυζαντινοί λόγιοι προσέγγιζαν την πτολεμαϊκή αστρονομία (Tihon, 2009, σ. 392–393).

Στην ίδια επιστημονική παράδοση εντάσσεται η Υπατία, κόρη και μαθήτρια του Θέωνα, η οποία δραστηριοποιήθηκε στην Αλεξάνδρεια στα τέλη του 4ου και στις αρχές του 5ου αιώνα. Η Υπατία υπήρξε διακεκριμένη νεοπλατωνική φιλόσοφος και δασκάλα με ιδιαίτερη κατάρτιση στα μαθηματικά και την αστρονομία. Η δραστηριότητά της συνδέθηκε με τη μελέτη και τον σχολιασμό της προγενέστερης μαθηματικής και αστρονομικής γραμματείας, ενώ η αλληλογραφία του μαθητή της Συνέσιου Κυρήνης μαρτυρεί το ενδιαφέρον του κύκλου της για επιστημονικά όργανα και ιδιαίτερα για τον αστρολάβο.

Η δολοφονία της Υπατίας το 415 πραγματοποιήθηκε μέσα στο σύνθετο πολιτικό και θρησκευτικό περιβάλλον της Αλεξάνδρειας των αρχών του 5ου αιώνα. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως το τέλος της μαθηματικής και αστρονομικής παράδοσης της πόλης. Η επιστημονική δραστηριότητα στην Αλεξάνδρεια συνεχίστηκε και κατά τους επόμενους αιώνες,

με τον ο Ιωάννη Φιλόπονο, έναν από τους σημαντικότερους επιστήμονες του 6ου αιώνα, με δράση ως φιλόσοφος, μαθηματικός, φυσικός και αστρονόμος. Μαθητής του Αμμωνίου στην Αλεξάνδρεια, συνδέθηκε με τη νεοπλατωνική παράδοση, αλλά αργότερα απομακρύνθηκε από αυτήν και ανέπτυξε πρωτότυπες απόψεις.

Ασχολήθηκε με πλήθος γνωστικών πεδίων, όπως λογική, φυσική, αστρονομία και θεολογία, ενώ το έργο του επηρέασε σημαντικά μεταγενέστερους επιστήμονες. Δίδαξε και στην Κωνσταντινούπολη και συνέγραψε σημαντικά έργα, όπως το *Περί της του αστρολάβου χρήσεως*. Στη φυσική φιλοσοφία άσκησε κριτική στον Αριστοτέλη. Υποστήριζε ότι η κίνηση των σωμάτων οφείλεται σε ωθητική δύναμη που μεταδίδεται σε αυτά κατά την εκτόξευση, απορρίπτοντας την αριστοτελική θεωρία της αντιπερίστασης (η φιλοσοφική και φυσική έννοια που περιγράφει την ενίσχυση μιας ιδιότητας ή δράσης μέσω της αντίδρασης ή της πίεσης που δέχεται από το αντίθετό της). Διατύπωσε επίσης την ιδέα ότι η φυσική κατάσταση των σωμάτων είναι η διατήρηση της κίνησης (έννοια συγγενής με την αδράνεια).

Πρότεινε τη διεξαγωγή πειράματος για τη μελέτη της πτώσης σωμάτων διαφορετικού βάρους, καταλήγοντας ότι οι διαφορές στον χρόνο πτώσης είναι μικρές. Παράλληλα, αμφισβήτησε την αιωνιότητα του κόσμου και υποστήριξε ότι το σύμπαν έχει αρχή.

Στην κοσμολογία και τη φυσική, άσκησε εκτενή κριτική στην αριστοτελική σκέψη, επισημαίνοντας αντιφάσεις και προτείνοντας νέες ερμηνείες για τη φύση της κίνησης, του φωτός και του κενού. Υποστήριξε επίσης ότι η «επαφή» μεταξύ σωμάτων είναι φαινομενική και σχετίζεται με μικρές αποστάσεις μεταξύ των σωματιδίων.

Το έργο του θεωρείται πρόδρομος μεταγενέστερων επιστημονικών εξελίξεων, καθώς εισήγαγε έννοιες όπως η ορμή, η αδράνεια και η σχέση δύναμης και ταχύτητας. Παράλληλα, η ενασχόλησή του με θεολογικά ζητήματα οδήγησε στην καταδίκη των απόψεών του από την Εκκλησία (ΣΤ΄ Οικουμενική Σύνοδος, 681), με αποτέλεσμα την περιθωριοποίηση του έργου του για μεγάλο χρονικό διάστημα (Θεοδοσίου & Δανέζης, 2010, σ.180-186)

Στο πλαίσιο της ευρύτερης αλεξανδρινής μαθηματικής παράδοσης αξίζει να αναφερθεί και ο Πάππος ο Αλεξανδρεύς. Το κυριότερο έργο του, η *Συναγωγή*, αποτελεί εκτενή συλλογή μαθηματικού υλικού, μέσα από την οποία διασώζονται και σχολιάζονται αποτελέσματα προγενέστερων Ελλήνων μαθηματικών. Κομβική θέση κατέχει το έκτο βιβλίο, το οποίο συνδέεται με τη μαθηματική αστρονομία και περιλαμβάνει υλικό σχετικό με έργα σφαιρικής γεωμετρίας και αστρονομίας.

Συνολικά, η σημασία της Σχολής της Αλεξάνδρειας για τη βυζαντινή αστρονομία βρίσκεται ακριβώς σε αυτή τη λειτουργία της ως συνδετικού κρίκου ανάμεσα στην ύστερη αρχαία και τη βυζαντινή επιστήμη. Μέσω της μελέτης του Πτολεμαίου, της σχολιαστικής δραστηριότητας του Θέωνα και των μεταγενέστερων λογίων, της μαθηματικής παράδοσης του Πάππου, της πραγματείας του Φιλοπόνου για τον αστρολάβο και, τελικά, του έργου του Στεφάνου Αλεξανδρέα, διαμορφώθηκε μια παράδοση μαθηματικής αστρονομίας που συνέχισε να επηρεάζει τη βυζαντινή επιστημονική παιδεία επί πολλούς αιώνες.

3.4 Σχολές Κωνσταντινούπολης

Με την πάροδο του χρόνου, το κέντρο των επιστημών μεταφέρθηκε στην Κωνσταντινούπολη, πρωτεύουσα της Βυζαντινής αυτοκρατορίας, ιδίως μετά το κλείσιμο της Σχολής της Αθήνας και την παρακμή της επιστημονικής δραστηριότητας στην Αλεξάνδρεια. Σημαντικές μορφές της πρώιμης βυζαντινής περιόδου υπήρξαν ο Θεμίστιος, η Αθηναΐς-Ευδοκία, ο Ισίδωρος ο Μιλήσιος και ο Ιωάννης ο Φιλόπονος, οι οποίοι συνέβαλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη της παιδείας και των επιστημών στην Κωνσταντινούπολη.

Ο Θεμίστιος (317-388) γεννήθηκε στην Παφλαγονία και δραστηριοποιήθηκε στην Κωνσταντινούπολη ως ρήτορας, φιλόσοφος και αξιωματούχος. Σπούδασε αρχικά κοντά στον πατέρα του και στη συνέχεια κοντά σε άλλους δασκάλους, μεταξύ των οποίων και ο Λιβάνιος. Ίδρυσε σχολή στην Κωνσταντινούπολη, όπου δίδαξε ρητορική και φιλοσοφία, ενώ υπηρέτησε πέντε αυτοκράτορες ως παιδαγωγός και σύμβουλος. Ως φιλόσοφος προτιμούσε τον Αριστοτέλη από τον Πλάτωνα και αποστασιοποιήθηκε από τον νεοπλατωνισμό. Το έργο του περιλαμβάνει παραφράσεις βασικών έργων του Αριστοτέλη, όπως τα *Αναλυτικά Ύστερα*, τη *Φυσική Ακρόαση*, τα *Μεταφυσικά*, καθώς και τα *Περί ψυχής* και *Περί ουρανού*. Έγραψε επίσης 35 εγκωμιαστικούς λόγους προς αυτοκράτορες, από τους οποίους σώζονται οι περισσότεροι. Παρότι δεν θεωρείται πρωτότυπος φιλόσοφος, συνέβαλε στη διατήρηση και διάδοση της αριστοτελικής σκέψης και προσπάθησε να συμβιβάσει την ελληνική φιλοσοφία με τον χριστιανισμό, διατηρώντας παράλληλα ανεξίτηρησκία (Θεοδοσίου & Δανέζη, 2010, σ.177-178)

Η Αθηναΐς ή Ευδοκία (402-460), κόρη του ρήτορα Λεοντίου, διακρίθηκε για τη μόρφωση και την ευφυΐα της. Σπούδασε στην Αθήνα ελληνική λογοτεχνία, ρητορική, αριθμητική και αστρονομία. Η Ευδοκία συνέβαλε σημαντικά στην πνευματική ζωή της αυτοκρατορίας. Υποστήριξε την ίδρυση της Σχολής της Μαγναύρας το 425, η οποία αποτέλεσε σημαντικό κέντρο συγκέντρωσης λογίων. Θεωρείται ότι συνέβαλε στην αναγέννηση των θετικών επιστημών και διέθετε και η ίδια γνώσεις αστρονομίας.

3.5 Μηχανική και Αρχιτεκτονική

Κατά την πρώιμη βυζαντινή περίοδο, η αρχιτεκτονική και η μηχανική παρουσίασαν σημαντική πρόοδο χάρη στη δράση σπουδαίων επιστημόνων, με σημαντικότερους εκπροσώπους τον Ανθέμιο από τις Τράλλεις και τον Ισίδωρο από τη Μίλητο. Οι δύο αυτοί μηχανικοί ανέλαβαν τον σχεδιασμό και την κατασκευή της Αγίας Σοφίας, ενός από τα σημαντικότερα αρχιτεκτονικά επιτεύγματα της παγκόσμιας ιστορίας.

Ο Ανθέμιος ο Τραλλιανός (474-534) γεννήθηκε στις Τράλλεις της Λυδίας και προερχόταν από οικογένεια με έντονη επιστημονική παράδοση, καθώς πατέρας του ήταν ο γνωστός ιατρός

Στέφανος. Σπούδασε στις ανώτερες σχολές της Κωνσταντινούπολης και ήδη από τα πρώτα χρόνια της βασιλείας του Ιουστινιανού είχε αποκτήσει μεγάλη φήμη ως αρχιτέκτονας, μηχανικός, μαθηματικός και εφευρέτης. Ο ιστορικός Προκόπιος τον χαρακτηρίζει ως τον σημαντικότερο γνώστη της μηχανικής όχι μόνο της εποχής του αλλά και των προηγούμενων γενεών.

Η ενασχόλησή του με τα μαθηματικά υπήρξε ουσιαστική. Συνέταξε υπομνήματα στην *Αριθμητική Εισαγωγή* του Νικόμαχου του Γερασηνού και μελέτησε σε βάθος τις γεωμετρικές ιδιότητες των ελλείψεων και των παραβολών. Στο έργο του *Περί παραδόξων μηχανημάτων*, από το οποίο σώζονται μόνο αποσπάσματα, παρουσίασε πρωτότυπες ιδέες που σε αρκετά σημεία

υπερέβαιναν τις αντίστοιχες θεωρίες του Απολλώνιου. Παράλληλα, διερεύνησε τα σφαιρικά τρίγωνα του Αρχιμήδη, τη λειτουργία των σφαιρικών και παραβολικών κοίλων κατόπτρων, καθώς και τις ιδιότητες του ατμού ως φυσικής δύναμης.

Επίσης, πραγματοποίησε σπουδαίες έρευνες στον τομέα της οπτικής. Ο Ανθέμιος ασχολήθηκε με την κατασκευή παραβολικών κατόπτρων, επιδιώκοντας να συγκεντρώνει τις ηλιακές ακτίνες σε ένα σημείο ώστε να προκαλείται ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών. Για τον λόγο αυτό, ο J. Heiberg του αποδίδει τη διατύπωση της αρχής σύμφωνα με την οποία οι ακτίνες που προσπίπτουν παράλληλα στον άξονα μιας παραβολής συγκεντρώνονται στην εστία της. Ο ίδιος υποστήριζε ακόμη ότι, αξιοποιώντας συνδυασμό τέτοιων κατόπτρων, είχε καταφέρει να αναπαραγάγει τον μηχανισμό με τον οποίο ο Αρχιμήδης φέρεται να πυρπόλησε τα ρωμαϊκά πλοία κατά την πολιορκία των Συρακουσών (Θεοδοσίου & Δανέζης, 2010, σ. 216).

Εξίσου αξιοσημείωτη ήταν η γνώση του σχετικά με τη δύναμη του ατμού. Αν και δεν αξιοποίησε την ενέργεια αυτή σε πρακτικές εφαρμογές, φαίνεται ότι κατανοούσε τις φυσικές της ιδιότητες και τις χρησιμοποίησε σε πειραματικές μηχανικές κατασκευές. Σύμφωνα με σχετικές παραδόσεις, είχε επινοήσει μηχανισμούς που προσομοίωναν φυσικά φαινόμενα, όπως σεισμούς και βροντές, ενώ αναφέρεται ότι χρησιμοποίησε την πίεση του ατμού για να προκαλέσει τεχνητές δονήσεις στο σπίτι ενός γείτονα, δίνοντάς του την εντύπωση πραγματικού σεισμού (Θεοδοσίου & Δανέζης, 2010, σ. 216).

Η βαθιά γνώση του στη μηχανική και στη στατική των κατασκευών οδήγησε τον αυτοκράτορα Ιουστινιανό να του αναθέσει, μετά τη Στάση του Νίκα το 532, την ανοικοδόμηση της Αγίας Σοφίας. Στο έργο αυτό συνεργάστηκε με τον Ισίδωρο τον Μιλήσιο και τον Ιγνάτιο, ο οποίος αργότερα ανέλαβε την κατασκευή της Παναγίας Εκατονταπυλιανής στην Πάρο.

Η Αγία Σοφία αποτελεί το σημαντικότερο δημιούργημα του Ανθεμίου. Εφαρμόζοντας πρωτοποριακές κατασκευαστικές τεχνικές και αξιοποιώντας γεωμετρικές αρχές, όπως η χρυσή τομή, κατάφερε να συνδυάσει δημιουργικά τον περίκεντρο ναό με τρούλο και τη βασιλική, δημιουργώντας έναν νέο αρχιτεκτονικό τύπο που καθόρισε τη βυζαντινή αρχιτεκτονική. Ο Προκόπιος περιγράφει το οικοδόμημα ως ένα μοναδικό και θαυμαστό θέαμα για κάθε επισκέπτη. Το μεγαλύτερο τεχνικό επίτευγμα του έργου ήταν η τοποθέτηση ενός τρούλου διαμέτρου περίπου 33 μέτρων πάνω σε τετράγωνη κάτοψη, χωρίς τη χρήση εσωτερικών υποστυλωμάτων. Η αντιμετώπιση των τεράστιων φορτίων επιτεύχθηκε μέσω ενός πολύπλοκου συστήματος καμαρών, ημιθολίων και σταυροθολίων, τα οποία κατανέμουν αποτελεσματικά τις κατακόρυφες και οριζόντιες ωθήσεις. Καθοριστικό ρόλο στη στατική λειτουργία του ναού διαδραμάτισαν και τα σφαιρικά τρίγωνα (σφαιρικά λοφία), που εξασφάλισαν την ασφαλή μετάβαση από την τετράγωνη βάση στον κυκλικό τρούλο. Η καινοτόμος αυτή λύση αποτέλεσε σταθμό στην εξέλιξη της παγκόσμιας αρχιτεκτονικής και θεμελίωσε τον βυζαντινό αρχιτεκτονικό ρυθμό.

Η τεχνολογική αρτιότητα της Αγίας Σοφίας εξακολουθεί να εντυπωσιάζει ακόμη και σήμερα. Σύγχρονες μελέτες σχετικά με τη σεισμική συμπεριφορά του μνημείου δείχνουν ότι, ακόμη και σε περίπτωση ιδιαίτερα ισχυρού σεισμού, η κατασκευή διαθέτει υψηλή αντοχή χάρη στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάστηκε ο φέρων οργανισμός της. Ερευνητές του Πανεπιστημίου Πρίνστον κατέληξαν, μέσω προσομοιώσεων, στο συμπέρασμα ότι ο ναός είναι πιθανό να υποστεί έντονες ταλαντώσεις χωρίς όμως να καταρρεύσει. Επιπλέον, έχει υποστηριχθεί ότι στοιχεία όπως τα σαράντα παράθυρα του τρούλου δεν εξυπηρετούσαν αποκλειστικά τον φωτισμό του εσωτερικού, αλλά συνέβαλλαν και στη στατική συμπεριφορά της κατασκευής. Σύμφωνα με τον Τούρκο καθηγητή Αχμέτ Τσακμάκ, είναι πιθανό ο Ανθέμιος να είχε πραγματοποιήσει πειράματα προσομοίωσης σεισμών και να είχε επιλέξει τη χρήση ελαφρών πλίνθων και εύκαμπτου κονιάματος αντί της πέτρας, επιλογή που σήμερα θεωρείται ιδιαίτερα εύστοχη από την άποψη της αντισεισμικής μηχανικής (Θεοδοσίου & Δανέζης, 2010, σ. 218-219)

3.6 Αστρολογία

Η αστρολογία εξακολούθησε να καλλιεργείται κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο ως κληρονομιά της ελληνιστικής και ύστερης αρχαίας επιστημονικής παράδοσης. Παρά τις σημαντικές μεταβολές που επέφερε η επικράτηση του χριστιανισμού στο πνευματικό και θρησκευτικό περιβάλλον της αυτοκρατορίας, οι αστρολογικές πρακτικές και τα σχετικά συγγράμματα δεν εξαφανίστηκαν. Αντίθετα, η μεγάλη παρουσία αστρολογικού υλικού στη βυζαντινή χειρόγραφη παράδοση καταδεικνύει τη μακρά επιβίωση και διάδοσή του. Όπως επισημαίνει η Anne Tihon, η αστρολογία ασκούνταν σε όλη τη διάρκεια της βυζαντινής ιστορίας, ενώ η στάση τόσο της αυτοκρατορικής εξουσίας όσο και της Εκκλησίας απέναντί της δεν ήταν πάντοτε ενιαία, αλλά κυμαινόταν μεταξύ αυστηρής καταδίκης και σχετικής ανοχής (Tihon, 2009, σ. 421).

Η στενή σχέση της αστρολογίας με την αστρονομία είναι απαραίτητη για την κατανόηση της θέσης της στη βυζαντινή επιστημονική παράδοση. Οι δύο περιοχές δεν ταυτίζονταν, αν και χρησιμοποιούσαν κοινές μαθηματικές και αστρονομικές γνώσεις. Η Tihon τονίζει ότι, σε αντίθεση με μια διαδεδομένη αντίληψη, οι μορφωμένοι Βυζαντινοί δεν συγχέουν την αστρονομία με την αστρολογία. Η πρώτη είχε θεωρητικό και υπολογιστικό χαρακτήρα, ενώ η δεύτερη αξιοποιούσε τα αστρονομικά δεδομένα για πρακτικές ερμηνείες και προβλέψεις (Tihon, 2009, σ. 421).

Η εξάρτηση της αστρολογίας από την αστρονομία φαίνεται ιδιαίτερα στην κατάρτιση του ωροσκοπίου. Για τη δημιουργία ενός αστρολογικού θέματος απαιτούνταν η γνώση των θέσεων του Ήλιου, της Σελήνης και των πέντε γνωστών πλανητών, καθώς και των δώδεκα αστρολογικών «τόπων». Τα δεδομένα αυτά ήταν κατ' αρχάς αστρονομικά και απαιτούσαν τη χρήση αστρονομικών πινάκων και υπολογιστικών μεθόδων. Στη συνέχεια, όμως, χρησιμοποιούνταν από τον αστρολόγο ως βάση για προβλέψεις και ερμηνείες. Για τον λόγο αυτό, ακόμη και τα σωζόμενα αστρολογικά κείμενα αποτελούν πολύτιμη πηγή για την ιστορία της βυζαντινής αστρονομίας, καθώς συχνά διατηρούν πληροφορίες για τους πίνακες και τις υπολογιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν (Tihon, 2009, σ. 421).

Οι βασικές πηγές της πρώιμης βυζαντινής αστρολογίας προέρχονταν σε μεγάλο βαθμό από την αρχαιότερη ελληνική παράδοση. Μεταξύ των συγγραφέων που εξακολούθησαν να αποτελούν σημεία αναφοράς συγκαταλέγονταν ο Κλαύδιος Πτολεμαίος, ο Βέττιος Ουάλης, ο Δωρόθεος ο Σιδώνιος, ο Παύλος ο Αλεξανδρεύς, ο Ιουλιανός ο Λαοδικεύς και ο Ηφαιστίων ο Θηβαίος (Tihon,

2009, σ. 421). Η παρουσία αυτών των συγγραφέων στη μεταγενέστερη βυζαντινή παράδοση δείχνει ότι η αστρολογία των πρώτων βυζαντινών αιώνων αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό μέσα από τη διατήρηση, τον σχολιασμό και την επαναχρησιμοποίηση παλαιότερου ελληνιστικού υλικού.

Ο Παύλος ο Αλεξανδρεύς δραστηριοποιήθηκε κατά τον 4ο αιώνα. Το αστρολογικό του εγχειρίδιο, γνωστό ως *Εισαγωγικά*, αποτέλεσε σημαντικό έργο της ύστερης αρχαίας αστρολογικής παράδοσης. Η διάρκεια της επιρροής του φαίνεται από το γεγονός ότι ακόμη γύρω στο 564, στην Αλεξάνδρεια, ο Ολυμπιόδωρος δίδασκε και σχολίαζε το έργο του Παύλου (Tihon, 2009, σ. 421). Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή καταδεικνύει ότι η αστρολογική γραμματεία δεν διατηρούνταν απλώς στα χειρόγραφα, αλλά αποτελούσε αντικείμενο οργανωμένης διδασκαλίας και σχολιασμού.

Σημαντικός εκπρόσωπος της ίδιας παράδοσης υπήρξε ο Ηφαιστίων ο Θηβαίος, ο οποίος δραστηριοποιήθηκε γύρω στις αρχές του 5ου αιώνα. Το έργο του εντάσσεται στη μακρά παράδοση συγκέντρωσης και συστηματοποίησης παλαιότερων αστρολογικών γνώσεων. Η συμπερίληψή του από την Tihon μεταξύ των κυριότερων αρχαίων πηγών των Βυζαντινών αστρολόγων δείχνει τη διάρκεια της επιρροής του και τη σημασία του για τη μετάδοση της ελληνιστικής αστρολογίας στη βυζαντινή περίοδο (Tihon, 2009, σ. 421).

Η επιβίωση της αστρολογίας κατά τον 6ο αιώνα είναι εμφανής και στην περίπτωση του Ιωάννη Λαυρέντιου Λυδού, λογίου και αξιωματούχου της εποχής του Ιουστινιανού. Παρά τις απαγορεύσεις που είχαν θεσπιστεί επί Ιουστινιανού, τα έργα του Λυδού *Περί διοσημειών* και *Περί μηνών* περιλαμβάνουν αστρολογικά στοιχεία (Tihon, 2009, σ. 421). Η περίπτωση αυτή φανερώνει την αντιφατική θέση της αστρολογίας στη βυζαντινή κοινωνία: μπορούσε να αποτελεί αντικείμενο επίσημης απαγόρευσης και ταυτόχρονα να εξακολουθεί να επιβιώνει μέσα στη λόγια γραμματεία.

Ανάλογη συνέχεια παρατηρείται στον 7ο αιώνα, όταν ο Ρητόριος συνέταξε συλλογή βασισμένη σε παλαιότερους αστρολόγους. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι οι λόγιοι συγκέντρωναν, ταξινομούσαν και σχολίαζαν την προγενέστερη παράδοση, εξασφαλίζοντας την επιβίωσή της στους επόμενους αιώνες (Tihon, 2009, σ. 421–422).

Η έκταση της αστρολογικής πρακτικής κατά την περίοδο αυτή επιβεβαιώνεται επίσης από τη διατήρηση πολλών ωροσκοπίων του 5ου και 6ου αιώνα. Τα τεκμήρια αυτά αποδεικνύουν, πέρα από το θεωρητικό ενδιαφέρον για την αστρολογία, την πραγματική εφαρμογή αστρονομικών υπολογισμών για την κατάρτιση αστρολογικών θεμάτων (Tihon, 2009, σ. 422).

Η θέση της αστρολογίας απέναντι στον χριστιανισμό παρέμεινε, ωστόσο, προβληματική. Η αποδοχή της ιδέας ότι οι ουράνιες κινήσεις καθορίζουν αναγκαστικά τις ανθρώπινες πράξεις μπορούσε να έρθει σε σύγκρουση με χριστιανικές αντιλήψεις περί θείας πρόνοιας και ανθρώπινης ελευθερίας. Έτσι, παρά τη συνέχιση της αστρολογικής πρακτικής και της σχετικής γραμματείας, εμφανίζονται παράλληλα έντονες απορρίψεις της. Χαρακτηριστικά, η Tihon αναφέρει ότι τον 8ο αιώνα ο Ιωάννης Δαμασκηνός καταδίκασε ρητά την αστρολογία, γεγονός που δείχνει ότι η αντιπαράθεση συνεχίστηκε και μετά τα όρια της πρωτοβυζαντινής περιόδου (Tihon, 2009, σ. 422).

Συνολικά, η αστρολογία κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε απλώς ως ταυτόσημη με την αστρονομία ούτε αποκλειστικά ως περιθωριακή μαντική πρακτική.

Εξαρτιόταν από την αστρονομία για τα μαθηματικά και παρατηρησιακά δεδομένα, ενώ παράλληλα διατηρούσε τον προγνωστικό και ερμηνευτικό της χαρακτήρα. Η συνέχιση της χρήσης έργων του Πτολεμαίου, του Παύλου Αλεξανδρέως και του Ηφαιστίωνα, η διδασκαλία και ο σχολιασμός τους, καθώς και η διατήρηση ωροσκοπίων, αποδεικνύουν τη συνέχεια της αρχαίας αστρολογικής παράδοσης στους πρώτους βυζαντινούς αιώνες. Η συνέχεια αυτή, όμως, εξελίχθηκε μέσα σε ένα νέο χριστιανικό περιβάλλον, στο οποίο η αστρολογία μπορούσε άλλοτε να γίνεται ανεκτή και άλλοτε να υπόκειται σε αυστηρή κριτική ή απαγόρευση.

Κεφάλαιο 4^ο

Μεσοβυζαντινή Περίοδος (610-1024)

4.1 Η Αναβίωση των Μαθηματικών Επιστημών κατά τη Μακεδονική Αναγέννηση

Η περίοδος που συνήθως συνδέεται με τη λεγόμενη Μακεδονική Αναγέννηση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες φάσεις αναζωογόνησης της βυζαντινής παιδείας. Από τον 9ο αιώνα και εξής παρατηρείται ανανεωμένο ενδιαφέρον για την αρχαία ελληνική γραμματεία, τη φιλοσοφία και τις μαθηματικές επιστήμες. Στον χώρο των μαθηματικών και της αστρονομίας, η σημασία της περιόδου δεν έγκειται τόσο στη διατύπωση νέων θεωριών όσο στην αναζωπύρωση της διδασκαλίας, στη συστηματική μελέτη των αρχαίων επιστημονικών συγγραμμάτων και, κυρίως, στη διάσωση και αντιγραφή σημαντικών μαθηματικών και αστρονομικών χειρόγραφων. Κεντρική μορφή αυτής της αναβίωσης υπήρξε ο Λέων ο Μαθηματικός ή Φιλόσοφος, ο οποίος κατέλαβε εξέχουσα θέση στην πνευματική ζωή της Κωνσταντινούπολης κατά τον 9ο αιώνα. Η δράση του συνδέεται τόσο με τη διδασκαλία όσο και με τη διατήρηση της αρχαίας μαθηματικής παράδοσης. Σύμφωνα με τον Vogel, το 863 ο καίσαρας Βάρδας τοποθέτησε τον Λέοντα επικεφαλής του εκπαιδευτικού ιδρύματος που οργανώθηκε στο ανάκτορο της Μαγναύρας. Εκεί, ως «επικεφαλής των φιλοσόφων», δίδασκε φιλοσοφία και τα αντικείμενα του *Quadrivium*, έχοντας συνεργάτες που ειδικεύονταν σε επιμέρους μαθηματικούς κλάδους: ο μαθητής του Θεόδωρος δίδασκε γεωμετρία και ο Θεοδήγιος αστρονομία (Vogel, 1967, σ. 270).

Η περίπτωση του Λέοντος αποκαλύπτει ότι η αναβίωση των μαθηματικών κατά τον 9ο αιώνα δεν περιοριζόταν σε μια γενική επιστροφή προς την κλασική παιδεία, αλλά περιλάμβανε συγκεκριμένη διδασκαλία μαθηματικών και αστρονομικών αντικειμένων. Ανάμεσα σε όσους παρακολούθησαν τη διδασκαλία του πάνω στον Ευκλείδη συγκαταλέγονταν ο Αρέθας, μετέπειτα επίσκοπος Καισαρείας, και ο Κωνσταντίνος, ο μετέπειτα Κύριλλος, απόστολος των Σλάβων (Vogel, 1967, σ. 270). Η πληροφορία αυτή είναι ενδεικτική του κύρους που είχε αρχίσει να αποκτά εκ νέου η μαθηματική εκπαίδευση στην Κωνσταντινούπολη.

Ακόμη σημαντικότερη ήταν η συμβολή του Λέοντος και του κύκλου του στη διατήρηση των έργων των αρχαίων μαθηματικών και αστρονόμων. Ο Vogel θεωρεί την εποχή του καθοριστική για τη δημιουργία χειρόγραφων που αποτέλεσαν κρίσιμους κρίκους στη μετάδοση της αρχαίας επιστημονικής γραμματείας. Κατά τον 9ο αιώνα αντιγράφηκαν, μεταξύ άλλων, κείμενα του Ευκλείδη, του Διοφάντου και του Απολλωνίου, καθώς και τρία χειρόγραφα της *Μαθηματικής Συντάξεως* του Πτολεμαίου. Παράλληλα, ο Λέων φρόντισε για τη συγκέντρωση των σωζόμενων έργων του Αρχιμήδη, δημιουργώντας μια συλλογή που αργότερα διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη μετάδοση του έργου αυτού στη Δύση (Vogel, 1967, σ. 270).

Η αντιγραφή των αρχαίων κειμένων δεν πρέπει να θεωρείται απλώς παθητική αναπαραγωγή μιας παλαιότερης γνώσης. Σε αρκετές περιπτώσεις τα χειρόγραφα συνοδεύονταν από σχόλια και σημειώσεις, ενώ η ίδια η επιλογή, η αντιγραφή και η διδασκαλία συγκεκριμένων έργων προϋπέθεταν ενεργό ενδιαφέρον για το περιεχόμενό τους. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και το χειρόγραφο του Ευκλείδη του 888, το οποίο αργότερα βρέθηκε στην κατοχή του Αρέθα και έφερε δικές του σημειώσεις (Vogel, 1967, σ. 270).

Η αναζωογόνηση των επιστημονικών σπουδών συνεχίστηκε και κατά τον 10ο αιώνα. Ο Vogel επισημαίνει ότι τόσο ο Βασίλειος Α΄ όσο και, ακόμη περισσότερο, ο Λέων ΣΤ΄ έδειξαν ενδιαφέρον για την παιδεία, ενώ ιδιαίτερη σημασία απέκτησε η βασιλεία του Κωνσταντίνου Ζ΄ Πορφυρογέννητου. Ο αυτοκράτορας ενδιαφέρθηκε προσωπικά για τα μαθηματικά, την αστρονομία και τη μουσική, ενίσχυσε τις τέχνες και τις επιστήμες και προώθησε τη δραστηριότητα λογίων και διδασκάλων. Παράλληλα, το ενδιαφέρον του για εγκυκλοπαιδικές συλλογές και συγκεντρώσεις αποσπασμάτων συνέβαλε ευρύτερα και στη διατήρηση της μαθηματικής γνώσης (Vogel, 1967, σ. 271).

Η εικόνα αυτή ενισχύεται από τον αριθμό των επιστημονικών χειρόγραφων που χρονολογούνται στον 10ο αιώνα. Ο Vogel αναφέρει χειρόγραφα του Ευκλείδη, του Ευτόκιου, του Πτολεμαίου και του Νικόμαχου, καθώς και το περίφημο παλίμψηστο του Αρχιμήδη. Η ύπαρξή τους δείχνει ότι τα μαθηματικά έργα εξακολουθούσαν να μελετώνται και να αναζητούνται, και ότι η αναβίωση των επιστημών δεν ήταν ένα περιστασιακό φαινόμενο αλλά είχε αποκτήσει μεγαλύτερη διάρκεια (Vogel, 1967, σ. 271).

Η πορεία αυτή δεν υπήρξε, ωστόσο, απολύτως γραμμική. Μετά τον θάνατο του Κωνσταντίνου Ζ΄ το 959, ο Vogel διαπιστώνει ότι για περίπου έναν αιώνα η αυτοκρατορική υποστήριξη προς τις επιστημονικές σπουδές περιορίστηκε. Η κάμψη αυτή δεν σήμαινε την εξαφάνιση της μαθηματικής παιδείας. Ιδιώτες δάσκαλοι και εκκλησιαστικές σχολές συνέχισαν να διδάσκουν τα βασικά αντικείμενα του εκπαιδευτικού προγράμματος, γεγονός που μαρτυρεί και η ύπαρξη ανώνυμου *Quadrivium* που χρονολογείται στο 1008 (Vogel, 1967, σ. 271–272).

Νέα ώθηση στις μαθηματικές σπουδές δόθηκε στα μέσα του 11ου αιώνα, όταν ο Κωνσταντίνος Θ΄ Μονομάχος αναδιοργάνωσε το 1045 την ανώτερη εκπαίδευση στην Κωνσταντινούπολη, ιδρύοντας σχολές νομικής και φιλοσοφίας. Επικεφαλής της φιλοσοφικής σχολής τοποθετήθηκε ο Μιχαήλ Ψελλός, ο οποίος δίδασκε όχι μόνο φιλοσοφία και τα αντικείμενα του *Trivium*, αλλά και τις επιστήμες του *Quadrivium*. Για τον Ψελλό, τα μαθηματικά συνέδεαν τον αισθητό κόσμο και τις αφηρημένες ιδέες και είχαν επομένως ουσιαστική θέση στη φιλοσοφική εκπαίδευση (Vogel, 1967, σ. 272).

Η δραστηριότητα του Ψελλού παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και για την ιστορία της αστρονομίας. Ανάμεσα στα σωζόμενα έργα του περιλαμβάνεται πραγματεία για τις κινήσεις του Ήλιου και της Σελήνης, τις εκλείψεις και τον υπολογισμό του Πάσχα. Παράλληλα ασχολήθηκε με τη θεωρία των αριθμών, τη γεωμετρία, τον Νικόμαχο και τη μαθηματική ορολογία του Διοφάντου (Vogel, 1967, σ. 272). Η περίπτωση του Ψελλού δείχνει ότι η αναζωογόνηση των μαθηματικών επιστημών που είχε αρχίσει τον 9ο αιώνα εξακολούθησε, με διακυμάνσεις, και στον 11ο αιώνα.

Η Μακεδονική Αναγέννηση, επομένως, δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως περίοδος ριζικής επιστημονικής καινοτομίας με τη νεότερη έννοια του όρου. Στην πραγματικότητα, επανάφερε τη μαθηματική εκπαίδευση, τη συστηματική μελέτη των αρχαίων επιστημονικών συγγραφέων και τη διάσωση της χειρόγραφης παράδοσης. Ο Λέων ο Μαθηματικός και ο κύκλος του αποτέλεσαν κεντρικούς φορείς αυτής της διαδικασίας, ενώ η μεταγενέστερη δραστηριότητα του Κωνσταντίνου Ζ΄ και του Μιχαήλ Ψελλού επιβεβαιώνει ότι τα μαθηματικά και η αστρονομία παρέμειναν ενεργά στοιχεία της ανώτερης βυζαντινής παιδείας. Η αναβίωση αυτή δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη των μαθηματικών και αστρονομικών σπουδών στους επόμενους αιώνες.

4.2 Η Παιδεία

Η παιδεία κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο αποτέλεσε έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες διατήρησης και εξέλιξης της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης. Παρά τις πολιτικές και στρατιωτικές δυσκολίες που αντιμετώπισε η αυτοκρατορία, η εκπαίδευση εξακολούθησε να κατέχει εξέχουσα θέση στη βυζαντινή κοινωνία. Η διδασκαλία των μαθηματικών και των επιστημών ήταν κυρίαρχο μέλημα, κάτι που προφανώς βοήθησε στη διατήρηση της αστρονομικής γνώσης και των έργων των αρχαίων Ελλήνων επιστημόνων.

Κατά την εποχή του Ηρακλείου διακρίθηκε ο Στέφανος ο Αλεξανδρεύς, λόγιος και μαθηματικός που κλήθηκε από την Αλεξάνδρεια στην Κωνσταντινούπολη για να αναλάβει τη διεύθυνση του Πανδιδασκτηρίου. Συνέβαλε στην αναδιοργάνωση της ανώτερης εκπαίδευσης και στη διατήρηση της ελληνικής επιστημονικής παράδοσης. Στο Πανδιδασκτήριο διδάσκονταν φιλοσοφία, μαθηματικά, αστρονομία και άλλες επιστήμες, ενώ η διδασκαλία βασιζόταν σε κείμενα της αρχαίας ελληνικής γραμματείας.

Οι δύο πρώτοι αιώνες μετά τον Ηράκλειο υπήρξαν δύσκολοι για την πνευματική ζωή του Βυζαντίου εξαιτίας των πολέμων και της γενικότερης πολιτικής αστάθειας. Ωστόσο, ακόμη και μέσα σε αυτές τις συνθήκες, η εκπαίδευση δεν εξαφανίστηκε. Στις πόλεις συνέχισαν να λειτουργούν σχολές, ενώ οι λόγιοι εξακολουθούσαν να μελετούν τα έργα των αρχαίων συγγραφέων. Παράλληλα, η Εκκλησία διατήρησε σημαντικό ρόλο στη μόρφωση, ιδίως μέσω των μοναστηριακών σχολών και της αντιγραφής χειρόγραφων.

Κατά τη διάρκεια της Μακεδονικής Αναγέννησης, από τον 9ο έως τον 11ο αιώνα, η βυζαντινή παιδεία γνώρισε σημαντική άνθηση, ενώ παράλληλα επανήλθε το ενδιαφέρον για την αρχαία ελληνική γραμματεία και τις θετικές επιστήμες. Σε αυτό βοήθησε ο καίσαρας Βάρδας, ο οποίος ίδρυσε τη σχολή της Μαγναύρας στην Κωνσταντινούπολη. Διευθυντής της σχολής ανέλαβε ο Λέων ο Φιλόσοφος ή Λέων ο Μαθηματικός.

Η σχολή της Μαγναύρας αποτέλεσε σημαντικό κέντρο διδασκαλίας των μαθηματικών, της γεωμετρίας, της αστρονομίας και της φιλοσοφίας. Ο Λέων ο Μαθηματικός δίδαξε επιστήμες βασισμένες τόσο στην αρχαία ελληνική γνώση όσο και στις νεότερες επιστημονικές εξελίξεις. Η συμβολή του επηρέασε άμεσα την αναβίωση των μαθηματικών επιστημών στο Βυζάντιο, ενώ παράλληλα αποδίδεται σε αυτόν η δημιουργία μηχανικών και αστρονομικών οργάνων. Η δράση του συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο.

Σημαντική υπήρξε επίσης η ανάπτυξη της αντιγραφής και διάσωσης χειρόγραφων. Οι Βυζαντινοί λόγιοι αντέγραφαν, συστηματικά, έργα αρχαίων συγγραφέων, συμβάλλοντας αποφασιστικά στη

διάσωση της ελληνικής επιστημονικής παράδοσης. Μέσα από τα χειρόγραφα διατηρήθηκαν έργα μαθηματικών, γεωγράφων και αστρονόμων, όπως του Ευκλείδη, του Πτολεμαίου και του Αριστοτέλη. Οι βιβλιοθήκες και τα scriptoria των μοναστηριών αποτέλεσαν σημαντικά κέντρα διατήρησης της γνώσης.

Η διδασκαλία των μαθηματικών κατείχε κεντρική θέση στη βυζαντινή εκπαίδευση. Οι μαθητές διδάσκονταν αριθμητική, γεωμετρία και στοιχεία άλγεβρας. Η αριθμητική περιλάμβανε πράξεις, κλάσματα και θεωρία αριθμών, ενώ η γεωμετρία βασιζόταν κυρίως στα έργα του Ευκλείδη και του Ήρωνα. Οι μαθηματικές γνώσεις είχαν πρακτικές εφαρμογές στη φορολογία, στην αρχιτεκτονική, στην εμπορική δραστηριότητα και στην αστρονομία.

Μεγάλη σημασία δόθηκε και στη διδασκαλία της αστρονομίας. Οι Βυζαντινοί λόγιοι μελετούσαν τα έργα του Κλαύδιου Πτολεμαίου και χρησιμοποιούσαν αστρονομικούς πίνακες για τον υπολογισμό των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων. Η αστρονομία θεωρούνταν απαραίτητη τόσο για τη χρονομέτρηση όσο και για τον υπολογισμό του εκκλησιαστικού ημερολογίου και των κινητών εορτών. Παράλληλα, συνδεόταν στενά με τη γεωγραφία και τη ναυσιπλοΐα.

Κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο διδάσκονταν επίσης φυσικές επιστήμες, όπως η φυσική, η μετεωρολογία και η οπτική. Η διδασκαλία βασιζόταν κυρίως στα έργα του Αριστοτέλη και άλλων αρχαίων συγγραφέων. Οι Βυζαντινοί λόγιοι ασχολήθηκαν με ζητήματα που αφορούσαν τη φύση του φωτός, τα καιρικά φαινόμενα, τους κομήτες και τις εκλείψεις. Η μελέτη των φυσικών φαινομένων αποδεικνύει ότι η βυζαντινή παιδεία δεν περιοριζόταν στη θεολογία αλλά περιλάμβανε και ουσιαστική επιστημονική έρευνα.

Από όσα αναφέρονται παραπάνω, επανερχόμαστε στο συμπέρασμα ότι το Βυζάντιο υπήρξε βασικός φορέας διατήρησης και μετάδοσης της αρχαίας ελληνικής επιστήμης. Μέσα από τις σχολές, τις βιβλιοθήκες και τη συστηματική αντιγραφή χειρόγραφων, οι Βυζαντινοί λόγιοι κατόρθωσαν να διασώσουν σημαντικό μέρος της αρχαίας γνώσης και να το μεταδώσουν τόσο στον αραβικό όσο και στον δυτικοευρωπαϊκό κόσμο.

4.3 Οι Σοφοί και οι Αστρονόμοι της Μεσοβυζαντινής Περιόδου

Κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο, από την εποχή του Ηρακλείου έως τη Μακεδονική δυναστεία, οι μαθηματικές επιστήμες και η αστρονομία συνεχίζουν να ελκύουν τους σύγχρονους λόγιους και επιστήμονες. Οι πολιτικές και στρατιωτικές δυσκολίες που αντιμετώπιζε η αυτοκρατορία δεν διέκοψαν την εξέλιξη της πνευματικής ζωής. Στην εποχή του Ηρακλείου ξεχωρίζει η μορφή του Στεφάνου του Αλεξανδρέως, λόγιου, φιλοσόφου και μαθηματικού, ο οποίος κλήθηκε από την Αλεξάνδρεια στην Κωνσταντινούπολη για να αναλάβει τη διεύθυνση του Πανδιδακτηρίου. Ο Στέφανος υπήρξε βαθύς γνώστης της αριστοτελικής και νεοπλατωνικής φιλοσοφίας, ενώ μελέτησε αρκετά μαθηματικά, αστρονομία και αλχημεία. Στα έργα του περιλαμβάνονται σχόλια πάνω στον Αριστοτέλη και μελέτες σχετικές με αστρονομικά φαινόμενα.

Στις αρχές του 7ου αιώνα δραστηριοποιείται ο Στέφανος ο Αλεξανδρέας. Σύμφωνα με την Tihon, το έργο του αποτελεί την πρώτη κυρίως βυζαντινή πραγματεία αστρονομίας. Ο Στέφανος, ένας από τους τελευταίους εκπροσώπους της αλεξανδρινής σχολής, φαίνεται ότι κλήθηκε στην Κωνσταντινούπολη από τον αυτοκράτορα Ηράκλειο λίγο πριν από την αραβική κατάκτηση της Αλεξάνδρειας. Συνέγραψε εγχειρίδιο αστρονομίας βασισμένο στο *Μικρό Σχόλιο* του Θέωνα στους *Πρόχειρους Κανόνες* του Πτολεμαίου, εξηγώντας τη χρήση των αστρονομικών πινάκων με συγκεκριμένα παραδείγματα (Tihon, 2009, σ. 393).

Ο Στέφανος συμβολίζει τη μετάβαση της αλεξανδρινής επιστημονικής κληρονομιάς στο βυζαντινό περιβάλλον της Κωνσταντινούπολης. Η πτολεμαϊκή αστρονομία, τα σχόλια του Θέωνα και οι μαθηματικές μέθοδοι που είχαν καλλιεργηθεί επί αιώνες στην Αλεξάνδρεια δεν εξαφανίστηκαν με την πολιτική παρακμή της πόλης, αλλά ενσωματώθηκαν στη μεταγενέστερη βυζαντινή επιστημονική παράδοση.

Ο Στέφανος ο Αλεξανδρεύς φαίνεται ότι διατηρούσε έντονο ενδιαφέρον και για την αστρολογία, η οποία εκείνη την εποχή συνδεόταν στενά με την αστρονομία. Παράλληλα, ασχολήθηκε με την αλχημεία και τη μελέτη των φυσικών σωμάτων, γεγονός που δείχνει ότι οι επιστήμονες της εποχής αντιμετώπιζαν τη φύση ως ενιαίο πεδίο έρευνας. Η επιστημονική του δραστηριότητα αποτέλεσε συνδυαστικό κρίκο μεταξύ πρωτοβυζαντινής και μεσοβυζαντινής περιόδου.

Μία άλλη σημαντική μορφή ήταν αυτή του Θεόδωρου του Ταρσού (602–690), ο οποίος σπούδασε φιλοσοφία, μαθηματικά και αστρονομία στην Αθήνα και αργότερα ανέλαβε σημαντικό εκκλησιαστικό ρόλο στη Δύση ως αρχιεπίσκοπος του Canterbury. Ο Θεόδωρος μετέφερε γνώσεις ελληνικής επιστήμης και παιδείας στη δυτική Ευρώπη και θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους φορείς διάδοσης της ελληνικής αστρονομικής γνώσης στον δυτικό κόσμο κατά τον πρώιμο Μεσαίωνα.

Κατά την ίδια περίοδο, ο Ιωάννης ο Δαμασκηνός (676–754), αν και κυρίως θεολόγος, ασχολήθηκε με ζητήματα φυσικής φιλοσοφίας και αστρονομίας. Στα έργα του περιλαμβάνονται αναφορές σε φυσικά φαινόμενα, στην κίνηση των ουράνιων σωμάτων και στη μετεωρολογία. Ο Ιωάννης επιχείρησε να συνδυάσει τη χριστιανική θεολογία με στοιχεία της αρχαίας ελληνικής φιλοσοφίας και επιστήμης.

Σημαντικές μορφές της εποχής υπήρξαν επίσης ο Θεόφιλος ο Αστρονόμος, καθώς και οι μαθητές του Λέοντα, Θεόδωρος και Θεοδήγιος, οι οποίοι δίδαξαν γεωμετρία και αστρονομία στη σχολή της Μαγναύρας. Είναι φανερό ότι η διδασκαλία των θετικών επιστημών είχε αποκτήσει σταθερή θέση στη βυζαντινή εκπαίδευση ήδη πριν από τη Μακεδονική Αναγέννηση.

Η συνολική εικόνα της περιόδου δείχνει ότι το Βυζάντιο υπήρξε σημαντικό κέντρο διατήρησης και εξέλιξης της αστρονομικής γνώσης. Οι Βυζαντινοί λόγιοι δεν περιορίστηκαν μόνο στη διαφύλαξη της αρχαίας παράδοσης, αλλά συνέβαλαν και στη δημιουργική αξιοποίησή της, συνδέοντας την αστρονομία με τα μαθηματικά, τη φιλοσοφία και την τεχνολογία. Μέσα από τη διδασκαλία, τη συγγραφή έργων και τη διάσωση χειρόγραφων, διατήρησαν ζωντανή την ελληνική επιστημονική κληρονομιά και την μετέδωσαν στους μεταγενέστερους πολιτισμούς.

Ο Λέων ο Μαθηματικός

Κατά τον 9ο αιώνα κορυφαία μορφή της βυζαντινής επιστήμης υπήρξε ο Λέων ο Φιλόσοφος ή Λέων ο Μαθηματικός (790–869). Φαίνεται να γεννήθηκε στην Κωνσταντινούπολη, όπου αργότερα σπούδασε και δίδαξε φιλοσοφία, μαθηματικά, αστρονομία και γεωμετρία. Υπήρξε διευθυντής της σχολής της Μαγναύρας, η οποία εξελίχθηκε σε σημαντικό πνευματικό κέντρο της αυτοκρατορίας.

Ο Λέων ο Μαθηματικός διακρίθηκε για τις αστρονομικές του γνώσεις. Ασχολήθηκε με τη μελέτη των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων και χρησιμοποίησε αστρονομικές παρατηρήσεις για τον υπολογισμό του χρόνου και των εποχών. Παράλληλα, φαίνεται ότι συνέγραψε έργα σχετικά με

την αστρολογία, τις εκλείψεις και τη χρήση αστρονομικών πινάκων. Η επιστημονική του δραστηριότητα αποδεικνύει ότι στο Βυζάντιο η αστρονομία συνέχιζε να θεωρείται βασικός κλάδος των μαθηματικών επιστημών.

Από την άλλη, αξιοσημείωτη ήταν και η τεχνολογική δραστηριότητα του Λέοντα. Σε αυτόν αποδίδεται η κατασκευή ενός συστήματος οπτικού τηλεγράφου ή ωρολογίου επικοινωνίας, το οποίο χρησιμοποιούσε φωτεινά σήματα για τη μετάδοση πληροφοριών από τα ανατολικά σύνορα έως την Κωνσταντινούπολη. Το σύστημα αυτό θεωρείται μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εφαρμογές της βυζαντινής επιστήμης και αποδεικνύει τη στενή σχέση θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής.

Ο Λέων έδειξε επίσης μεγάλο ενδιαφέρον για τη διάσωση και αντιγραφή των έργων των αρχαίων Ελλήνων μαθηματικών και αστρονόμων. Φρόντισε να συγκεντρώσει χειρόγραφα έργων του Ευκλείδη, του Πτολεμαίου και άλλων επιστημόνων, συμβάλλοντας αποφασιστικά στη διατήρηση της αρχαίας επιστημονικής γνώσης. Η δραστηριότητά του αυτή υπήρξε καθοριστική για τη μεταγενέστερη διάδοση της ελληνικής επιστήμης τόσο στον αραβικό κόσμο όσο και στη Δυτική Ευρώπη.

Ο P. Lemerle εικάζει ότι ο Λέων κατασκεύασε τον περίφημο «οπτικό τηλεγράφο». Το σύστημα αυτό αποτελούνταν από εννέα φρυκτωρίες, τοποθετημένες σε αποστάσεις περίπου 100 μέτρων μεταξύ τους, με αφετηρία το φρούριο Λούλου στα βόρεια της Ταρσού και τελικό σταθμό την Κωνσταντινούπολη. Οι φρυκτωρίες χρησιμοποιούνταν ήδη στο Βυζάντιο. Ο Λέων, όμως, καινοτόμησε με την εγκατάσταση δύο συγχρονισμένων ρολογιών – τα οποία πιθανότατα κατασκεύασε ο ίδιος – στην πρώτη και την τελευταία φρυκτωρία. Με τον τρόπο αυτό, η χρονική στιγμή εκπομπής της φλόγας αντιστοιχούσε σε διαφορετικό μήνυμα. Καθένα από τα ρολόγια στις ακραίες φρυκτωρίες είχε χωριστεί σε δώδεκα ώρες. Καθεμία από αυτές τις δώδεκα ώρες είχε συνδεθεί με ένα ξεχωριστό μήνυμα. Ο Ψευδοσυμεών παραθέτει ενδεικτικά ορισμένα από τα μηνύματα αυτά. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι η μετάδοση κατά την πρώτη ώρα σήμαινε αραβική εισβολή, κατά τη δεύτερη κήρυξη πολέμου και κατά την τρίτη πυρκαγιά σε ρωμαϊκό έδαφος. Ζήτημα που παραμένει αδιευκρίνιστο στη σύγχρονη έρευνα είναι το κατά πόσον η μετάδοση των μηνυμάτων πραγματοποιούνταν και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το σύστημα αυτό αποδείχθηκε εξαιρετικά αποτελεσματικό, καθώς, σύμφωνα με τον Κωνσταντίνο Ζ΄ Πορφυρογέννητο, το αυτοκρατορικό παλάτι μπορούσε να πληροφορηθεί την κατάσταση στα σύνορα μέσα σε χρονικό διάστημα περίπου μίας ώρας και να προβεί στις αναγκαίες ενέργειες.

Επίσης, αρκετοί χρονογράφοι αναφέρουν ότι ο Λέοντας κατασκεύασε τα αυτόματα όργανα γύρω από το θρόνο στη μεγάλη αίθουσα υποδοχής της Μαγναύρας (Τζωρτζίκα Ε., 2013). Πρόκειται για έναν χρυσό πλάτανο, στου οποίου τα κλαδιά υπήρχαν πουλιά που κελαηδούσαν, και τέσσερα ζώα που αντιπροσώπευαν τη βυζαντινή αυτοκρατορία: δύο λιοντάρια και δύο γύπες που είχαν τη δυνατότητα να ανασηκώνονται και να μουγκρίζουν.

Ακόμη, υπάρχουν μαρτυρίες για προγνωστικές ικανότητες του Λέοντος. Αυτές δεν προέρχονταν από παραφυσικές ή μαγικές πρακτικές, αλλά ήταν αποτελέσματα επιστημονικής έρευνας των αστρικών κινήσεων. Μια από αυτές τις προγνώσεις σχετίζεται με έναν σεισμό. Κατά τη λειτουργία για την γιορτή του Αγίου Πολυεύκτου και καθώς βρίσκονταν εντός της εκκλησίας μαζί με άλλους, προκλήθηκε σεισμός για τον οποίο ο Λέοντας τους προειδοποίησε. Δυστυχώς, όσοι δεν τον έλαβαν σοβαρά υπόψιν έχασαν τη ζωή τους. Ο Λέων και μερικοί ακόμη στάθηκαν κάτω από έναν κίονα της εκκλησίας, ο οποίος λόγω της αρχιτεκτονικής του ήταν αδύνατο να καταρρεύσει, και σώθηκαν.

Τέλος, ο Λέων φαίνεται να ασχολήθηκε και με την ιατρική. Την περίοδο αυτή υπήρξε πληθώρα ιατρικών χειρόγραφων και δεν ήταν δυνατόν μια τέτοια «ανήσυχη προσωπικότητα» να μη βάλει το λιθαράκι της. Μελετώντας χειρόγραφα με τις γνώσεις των προγενέστερων, κατέληξε στη συγγραφή δύο επιτομών ιατρικού περιεχομένου. Οι δύο επιτομές διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, γεγονός που δημιούργησε αμφιβολίες για την αυθεντικότητα του συγγραφέα. Η πρώτη, με τίτλο «Σύνοψις ιατρική», διακρίνεται σε επτά βιβλία που στηρίζονται στο έργο του Ιπποκράτη και του Γαληνού. Τα βιβλία αναφέρονται σε εμπύρετες καταστάσεις, ασθένειες της κεφαλής, παθήσεις των οφθαλμών, του λαιμού, της και μύτης και των αυτιών, ασθένειες πεπτικής οδού, του ουροποιητικού και γεννητικού συστήματος αλλά και δερματικές ασθένειες. Περιέχει συμπτώματα και θεραπεία για κάθε ασθένεια, όμως με εξαιρετική συντομία. Έτσι, η σπουδαιότητα του έργου αμφισβητείται από κάποιους, οι οποίοι το χαρακτηρίζουν ως μια «τηλεγραφική περιγραφή συμπτωμάτων και ασθενειών» (Τζωρτζίκα Ε., 2013). Πάντως, σε κάθε περίπτωση, με το έργο αυτό μεταλαμπαδεύτηκαν οι προ υπάρχουσες γνώσεις σε επόμενες γενιές. Για τη δεύτερη επιτομή, δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες. Έχει τίτλο «Σύνοψις εις τήν φύσιν τῶν ἀνθρώπων» και διασώθηκε μόνο σε ένα χειρόγραφο, τον κώδικα Escorialensis Φ – ΙΙΙ – 7. Το χειρόγραφο αυτό χρονολογείται τον 13^ο αιώνα, σύμφωνα με τον Robert Renehan. Σήμερα, βρίσκεται στη Βιβλιοθήκη του Εσκοριάλ, στη Μαδρίτη.

Κεφάλαιο 5^ο

Υστεροβυζαντινή Περίοδος (1204-1453)

5.1 Μαθηματικά κατά την Υστεροβυζαντινή Περίοδο

Κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο, κυρίως από τον 13^ο έως τον 15^ο αιώνα, τα μαθηματικά γνώρισαν σημαντική ανάπτυξη στο πλαίσιο της λεγόμενης Παλαιολόγειας Αναγέννησης. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ανανεωμένο ενδιαφέρον για τις θετικές επιστήμες, την επανεξέταση των αρχαίων ελληνικών μαθηματικών κειμένων και την παραγωγή νέων έργων αριθμητικής και γεωμετρίας. Οι Βυζαντινοί λόγιοι δεν περιορίστηκαν μόνο στη διατήρηση της αρχαίας γνώσης αλλά προχώρησαν και σε πρωτότυπες συνθέσεις και εφαρμογές των μαθηματικών επιστημών.

Μία από τις σημαντικότερες μορφές της εποχής υπήρξε ο Μανουήλ Μοσχόπουλος (1265–1315), λόγιος, σχολιαστής και μαθηματικός από την Κρήτη. Υπήρξε μαθητής και στενός συνεργάτης του Μαξίμου Πλανούδη, από τον οποίο επηρεάστηκε ως προς την αγάπη για τις θετικές επιστήμες και κυρίως τα μαθηματικά. Ο Μοσχόπουλος ασχολήθηκε τόσο με τη φιλολογία όσο και με τη μαθηματική επιστήμη, γράφοντας έργα που συνέβαλαν σημαντικά στη διάδοση της ελληνικής γνώσης στο Βυζάντιο αλλά και στη Δύση.

Το έργο του σχετικά με τα «μαγικά τετράγωνα», το οποίο φέρει τον τίτλο *Παράδοσις εις την εύρεσιν των τετραγώνων αριθμών*, ήταν ένα από τα κυριότερα. Σε αυτό ο Μοσχόπουλος παρουσίασε μεθόδους κατασκευής μαγικών τετραγώνων, δηλαδή αριθμητικών πινάκων στους οποίους το άθροισμα των αριθμών σε κάθε γραμμή, στήλη και διαγώνιο παραμένει σταθερό. Τα μαγικά τετράγωνα αποτελούσαν σύνθετες αριθμητικές κατασκευές και μαρτυρούν υψηλό επίπεδο γνώσεων αριθμητικής και συνδυαστικής σκέψης. Ο ίδιος φαίνεται ότι επηρεάστηκε από αραβικές

μαθηματικές παραδόσεις, γεγονός που αποδεικνύει τις επιστημονικές επαφές του Βυζαντίου με την Ανατολή.

Ο Μοσχόπουλος ασχολήθηκε επίσης με την επεξεργασία και τον σχολιασμό των *Αριθμητικών* του Διόφαντου, καθώς και με τα έργα του δασκάλου του Μαξίμου Πλανούδη. Η ενασχόλησή του με τα έργα της αρχαίας ελληνικής μαθηματικής παράδοσης συνέβαλε στη διατήρηση και διάδοση της διαφορικής και αλγεβρικής σκέψης της αρχαιότητας. Παράλληλα, τα έργα του χρησιμοποιήθηκαν και από μεταγενέστερους δυτικούς λογίους, κυρίως μετά τη μετάβασή του στην Ιταλία.

Εξίσου σημαντική μορφή της υστεροβυζαντινής μαθηματικής παράδοσης υπήρξε ο Νικόλαος Αρτάβασδος Ραβδάς, μαθηματικός από τη Σμύρνη, ο οποίος έζησε κατά τον 13ο και 14ο αιώνα. Ο Ραβδάς συνέγραψε δύο σημαντικές πραγματείες αριθμητικής, στις οποίες παρουσίαζε πρακτικές μεθόδους υπολογισμών, τεχνικές λογιστικής και αριθμητικά προβλήματα. Τα έργα του αποκαλύπτουν ότι η μαθηματική εκπαίδευση στο ύστερο Βυζάντιο είχε έντονο πρακτικό χαρακτήρα και συνδεόταν με τις ανάγκες της καθημερινής ζωής, του εμπορίου και της διοίκησης. Στην πρώτη του πραγματεία ο Ραβδάς παρείχε οδηγίες για την εκτέλεση των τεσσάρων βασικών αριθμητικών πράξεων, για τη χρήση κλασμάτων και δεκαδικών αριθμών, καθώς και για μεθόδους δακτυλομετρίας, δηλαδή υπολογισμών με τα δάχτυλα. Η παρουσία τέτοιων πρακτικών δείχνει ότι τα μαθηματικά δεν αποτελούσαν αποκλειστικά θεωρητική επιστήμη αλλά είχαν και σαφείς εφαρμογές στην καθημερινότητα.

Στη δεύτερη πραγματεία του, με τίτλο *Πολιτική λογαριασμών μέθοδος*, ο Ραβδάς ασχολήθηκε με πρακτικά προβλήματα αριθμητικής και μεθόδους υπολογισμού τετραγωνικών ριζών. Αυτή η εργασία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ιστορία των μαθηματικών, καθώς παρουσιάζει συστηματική εφαρμογή πρακτικής αριθμητικής και λογιστικής μεθοδολογίας.

Η μαθηματική δραστηριότητα της υστεροβυζαντινής περιόδου συνδέεται άμεσα με τη γενικότερη πνευματική αναγέννηση της εποχής των Παλαιοιολόγων. Οι λόγιοι επιδόθηκαν στη μελέτη, αντιγραφή και σχολιασμό των έργων των αρχαίων Ελλήνων μαθηματικών, όπως του Ευκλείδη και του Διόφαντου, ενώ παράλληλα δέχθηκαν επιδράσεις από την αραβική επιστήμη. Η αλληλεπίδραση αυτή συνέβαλε στη διαμόρφωση ενός πολύ δυναμικού επιστημονικού περιβάλλοντος, στο οποίο τα μαθηματικά συνδέονταν στενά με την αστρονομία, τη φιλοσοφία και τις πρακτικές εφαρμογές της τεχνολογίας.

5.2 Η Αραβοπερσική Επίδραση στη Βυζαντινή Αστρονομία

Η εξέλιξη της βυζαντινής αστρονομίας κατά τους τελευταίους αιώνες της αυτοκρατορίας δεν μπορεί να κατανοηθεί επαρκώς χωρίς τη μελέτη των σχέσεων του Βυζαντίου με τις επιστημονικές παραδόσεις της Ανατολής. Παρότι η βυζαντινή αστρονομία παρέμεινε θεμελιωμένη στην αρχαία ελληνική και κυρίως στην πτολεμαϊκή παράδοση, από τα τέλη του 13ου αιώνα και εξής παρατηρείται εντονότερη εισαγωγή νέων αστρονομικών δεδομένων και υπολογιστικών μεθόδων. Η Κατσιάμπουρα επισημαίνει ότι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της ύστερης βυζαντινής περιόδου ήταν αφενός η αύξηση της παραγωγής αστρονομικών έργων και αφετέρου η είσοδος στην Κωνσταντινούπολη διαφορετικών αστρονομικών παραδόσεων από την Ανατολή και τη Δύση (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Η πτολεμαϊκή παράδοση εξακολουθούσε να αποτελεί τη βασική θεωρητική αφετηρία της βυζαντινής αστρονομίας. Κυρίαρχο ρόλο είχαν η *Μαθηματική Σύνταξις* ή *Αλμαγέστη*, οι

Πρόχειροι Κανόνες του Πτολεμαίου και τα σχετικά σχόλια του Θέωνα του Αλεξανδρέως. Ωστόσο, κατά την Παλαιοιολόγια περίοδο έγινε αισθητή η ανάγκη ανανέωσης των παλαιότερων αστρονομικών δεδομένων, γεγονός που ευνόησε την αποδοχή νέων υπολογιστικών μεθόδων και πινάκων προερχόμενων από άλλες επιστημονικές παραδόσεις (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282). Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να θεωρηθεί ως απότομη εγκατάλειψη της αρχαίας παράδοσης. Αντίθετα, σύμφωνα με τον Πάσχο, ήδη από τον 11ο έως τον 13ο αιώνα οι Βυζαντινοί λόγιοι άρχισαν να αμφισβητούν τα αρχαία επιστημονικά κείμενα και να εισάγουν τροποποιήσεις σε παλαιότερα θεωρήματα και αστρονομικά μοντέλα (Paschos, 1998, σ. 2).

Η περσική-ισλαμική αστρονομική παράδοση επηρέασε έντονα. Κατά τον 13ο αιώνα, στον χώρο της μογγολικής Περσίας λειτουργούσαν σημαντικά κέντρα αστρονομικής έρευνας, όπως τα παρατηρητήρια της Μαραγκέ και της Ταυρίδας. Μέσω εμπορικών και διπλωματικών σχέσεων, αλλά και με την αυτοκρατορία της Τραπεζούντας να λειτουργεί ως ενδιάμεσος σταθμός, οι Βυζαντινοί λόγιοι ήρθαν σε επαφή με έργα και μεθόδους της περσικής αστρονομίας (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Κομβική μορφή στη μετάδοση αυτών των γνώσεων υπήρξε ο Γρηγόριος Χιονιάδης. Ο Χιονιάδης ταξίδεψε στην Ταυρίδα και μελέτησε κοντά στον Shams al-Din al-Bukhari. Σύμφωνα με την Κατσιάμπουρα, μετέφρασε στα ελληνικά σειρά αραβικών και περσικών αστρονομικών κειμένων, μεταξύ των οποίων το *Zij as-Sanjari*, το *Zij al-Ala'i* και οδηγίες του Πέρση αστρονόμου Shams Bukhari. Μέσω της δραστηριότητάς του, σημαντικό μέρος της περσικής αστρονομικής παράδοσης έγινε προσβάσιμο στους ελληνόφωνους λογίους του ύστερου Βυζαντίου (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Η σημασία αυτής της μεταφοράς γνώσης γίνεται σαφέστερη μέσα από τη μελέτη των ίδιων των αστρονομικών μοντέλων που συνδέονται με τον Χιονιάδη. Ο Paschos εξετάζει ένα ανώνυμο βυζαντινό αστρονομικό κείμενο, το οποίο χρονολογείται περίπου στο 1280 και έχει αποδοθεί από τον David Pingree στον Γρηγόριο Χιονιάδη. Το κείμενο σώζεται σε τρία χειρόγραφα, δύο στη Βιβλιοθήκη του Βατικανού και ένα στη Λαυρεντιανή Βιβλιοθήκη της Φλωρεντίας, και περιλαμβάνει αριθμητικές παραμέτρους και διαγράμματα που επιτρέπουν την ανακατασκευή των αστρονομικών μοντέλων. Ο Paschos συνδέει το περιεχόμενό του με την επαφή του Χιονιάδη με την περσική και αραβική αστρονομία κατά τα ταξίδια του στην Τραπεζούντα και την Ταυρίδα (Paschos, 1998, σ. 2).

Η αραβοπερσική επίδραση δεν περιορίστηκε, επομένως, στη μετάφραση κειμένων και στην εισαγωγή νέων αστρονομικών πινάκων, αλλά επεκτάθηκε και στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μαθηματικών και γεωμετρικών μεθόδων. Για παράδειγμα η γεωμετρική κατασκευή, που είναι σήμερα γνωστή ως *Tusi-couple*, ήταν μια μέθοδος, η οποία συνδέεται με τον Πέρση αστρονόμο Nasir al-Din al-Tusi και παρήγαγε ευθύγραμμη κίνηση μέσω του συνδυασμού δύο ομαλών κυκλικών κινήσεων: ένας μικρότερος κύκλος, με ακτίνα ίση με το μισό της ακτίνας ενός μεγαλύτερου κύκλου, περιστρέφεται στο εσωτερικό του με διπλάσια γωνιακή ταχύτητα και προς την αντίθετη φορά, με αποτέλεσμα ένα σημείο της περιφέρειάς του να κινείται κατά μήκος μιας διαμέτρου του μεγαλύτερου κύκλου. Ο Πάσχος επισημαίνει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε τόσο από τον al-Tusi όσο και από τον Χιονιάδη, γεγονός που αποτελεί συγκεκριμένο παράδειγμα μεταφοράς μαθηματικών τεχνικών από την περσική στη βυζαντινή αστρονομική παράδοση (Paschos, 1998, σ. 9).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε και στο μοντέλο της Σελήνης. Οι αστρονόμοι επιχειρούσαν να ερμηνεύσουν τις παρατηρούμενες ανωμαλίες της σεληνιακής κίνησης, οι οποίες καθιστούσαν αναγκαία τη χρήση περισσότερο σύνθετων γεωμετρικών μοντέλων. Σύμφωνα με τον Paschos, τα μοντέλα του al-Tusi και του Χιονιάδη παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες. Περιλαμβάνουν έναν φέροντα κύκλο, δύο επικύκλους (κύκλους που το κέντρο τους βρίσκεται πάνω στην περιφέρεια άλλου κύκλου) που σχηματίζουν το *Tusi-couple* και έναν πρόσθετο επίκυκλο για την αναπαράσταση της ανώμαλης κίνησης της Σελήνης. Παρά τις επιμέρους διαφοροποιήσεις τους, η ομοιότητα των δύο μοντέλων καταδεικνύει ότι οι ανατολικές μαθηματικές μέθοδοι δεν παρέμειναν ξένες προς τη βυζαντινή επιστημονική πρακτική, αλλά μπορούσαν να ενσωματωθούν σε αυτήν και να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων αστρονομικών προβλημάτων (Paschos, 1998, σ. 11).

Η περίπτωση του Χιονιάδη δείχνει, συνεπώς, ότι η βυζαντινή επιστήμη δεν αποτελούσε κλειστό και αυτόρκες σύστημα. Αντίθετα, κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο παρατηρείται έντονη διαπολιτισμική ανταλλαγή, μέσα στην οποία η πτολεμαϊκή παράδοση συνυπήρχε με νέα περσικά και ισλαμικά στοιχεία. Η εισαγωγή ξένων αστρονομικών έργων, ωστόσο, δεν έγινε χωρίς αντιδράσεις. Η Κατσιάμπουρα σημειώνει ότι στο Βυζάντιο υπήρχε γενικότερη δυσπιστία απέναντι σε οτιδήποτε συνδεόταν με τον μουσουλμανικό κόσμο· χαρακτηριστικά, η μακρά παραμονή του Χιονιάδη στην Περσία τον υποχρέωσε να συντάξει *Ομολογία Πίστεως*, ώστε να υπερασπιστεί την ορθόδοξη ταυτότητά του (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 284).

Σημαντικός υπήρξε επίσης ο ρόλος του Γεωργίου Χρυσόκοκκη, ο οποίος σπούδασε αστρονομία στην Τραπεζούντα και περίπου το 1347 συνέγραψε την *Είσαγωγή εις την Σύνταξιν τῶν Περσῶν*. Το έργο γνώρισε μεγάλη διάδοση τόσο στη Βυζαντινή Αυτοκρατορία όσο και αργότερα στη Δύση, ενώ η ύπαρξη πολυάριθμων χειρόγραφων αντιγράφων μαρτυρεί τη σημαντική απήχυσή του. Η Κατσιάμπουρα θεωρεί ότι με το έργο αυτό ο Χρυσόκοκκης συνέβαλε ουσιαστικά στην εισαγωγή της περσικής αστρονομίας στο Βυζάντιο του 14ου αιώνα και στη διάδοσή της προς τη Δύση (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Η *Είσαγωγή εις την Σύνταξιν τῶν Περσῶν* περιλάμβανε αστρονομικούς πίνακες και κεφάλαια σχετικά με ημερολογιακά ζητήματα, την κίνηση του Ηλίου, της Σελήνης και των πέντε γνωστών πλανητών, καθώς και τον υπολογισμό ηλιακών και σεληνιακών εκλείψεων. Οι σχετικές μέθοδοι μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο για αστρονομικούς και αστρολογικούς υπολογισμούς όσο και για ημερολογιακά ζητήματα, όπως ο προσδιορισμός της ημερομηνίας του Πάσχα (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Η εισαγωγή της περσικής αστρονομίας δεν σήμαινε, ωστόσο, ότι εγκαταλείφθηκε η πτολεμαϊκή παράδοση. Ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης, παρά το γεγονός ότι παρέμενε προσανατολισμένος προς τον Πτολεμαίο, γνώριζε και αξιοποιούσε στοιχεία της περσικής αστρονομίας με σκοπό τη σύγκριση των δύο συστημάτων. Στο έργο του παρουσίασε τόσο τα βασικά στοιχεία της πτολεμαϊκής αστρονομίας όσο και την περσική παράδοση, επιδιώκοντας να καταστήσει σαφέστερες τις μεταξύ τους διαφορές (Κατσιάμπουρα, 2010, σσ. 283–284).

Επομένως, η υστεροβυζαντινή αστρονομία δεν χαρακτηρίζεται από απλή αντικατάσταση της ελληνικής παράδοσης από ανατολικές επιδράσεις. Αντιθέτως, διαμορφώθηκε ένα περιβάλλον στο οποίο διαφορετικές επιστημονικές παραδόσεις μπορούσαν να συνυπάρχουν, να συγκρίνονται και να ανταγωνίζονται. Η ίδια η Κατσιάμπουρα διακρίνει στην Κωνσταντινούπολη τρεις κύριες αστρονομικές κατευθύνσεις: την πτολεμαϊκή, την περσική και τη δυτική, γεγονός που

καταδεικνύει την πολυμορφία της επιστημονικής ζωής κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο (Κατσιαμπουρα, 2010, σ. 282).

Η συνύπαρξη αυτή δεν ήταν πάντοτε αρμονική. Η εισαγωγή νέων παραδόσεων προκάλεσε επιστημονικές και ιδεολογικές αντιπαραθέσεις. Ο Θεόδωρος Μετοχίτης, για παράδειγμα, θεωρούσε ότι η λύση στα προβλήματα της αστρονομίας έπρεπε να αναζητηθεί κυρίως μέσα από την ορθή μελέτη της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης και αντιμετώπιζε με επιφύλαξη τις περσικές και άλλες ανατολικές επιδράσεις. Η αντιπαράθεση αυτή δείχνει ότι η πρόσληψη της ξένης επιστημονικής γνώσης αποτελούσε όχι μόνο επιστημονικό αλλά και ιδεολογικό ζήτημα (Κατσιαμπουρα, 2010, σ. 284).

Συνολικά, η αραβοπερσική επίδραση στη βυζαντινή αστρονομία υπήρξε σημαντική για την ανανέωση της μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης κατά τους τελευταίους αιώνες της αυτοκρατορίας. Η μεταφορά κειμένων, πινάκων και υπολογιστικών μεθόδων από την Ανατολή δεν κατήργησε το πτολεμαϊκό υπόβαθρο της βυζαντινής επιστήμης, αλλά το έφερε σε επαφή με νέες επιστημονικές παραδόσεις. Όπως συνοψίζει ο Paschos, περσικά και αραβικά αστρονομικά έργα μεταφέρθηκαν στο Βυζάντιο, μεταφράστηκαν στα ελληνικά και ενσωματώθηκαν στην υπάρχουσα επιστημονική γνώση. Οι νέες μέθοδοι μελετήθηκαν από τους Βυζαντινούς αστρονόμους και προσαρμόστηκαν στη δική τους επιστημονική παράδοση, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τις τροποποιήσεις των μοντέλων για την κίνηση της Σελήνης και του Ερμή. Έτσι, το ύστερο Βυζάντιο αναδεικνύεται όχι μόνο ως χώρος διατήρησης της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας, αλλά και ως πεδίο συνάντησης, σύγκρισης και επεξεργασίας διαφορετικών επιστημονικών παραδόσεων.

5.3 Γεώργιος Παχυμέρης: Το *Quadrivium* και η μαθηματική θεμελίωση της αστρονομίας

Σημαντικό ρόλο στη μαθηματική και επιστημονική παράδοση της υστεροβυζαντινής περιόδου κατέχει ο Γεώργιος Παχυμέρης και το έργο του *Quadrivium*. Η σημασία του συγκεκριμένου έργου για τη μελέτη της βυζαντινής αστρονομίας έγκειται, μεταξύ άλλων, στο γεγονός ότι επιτρέπει να εξεταστεί στην πράξη η οργανική σχέση της αστρονομίας με τις υπόλοιπες μαθηματικές επιστήμες. Η αστρονομική πραγματεία καταλαμβάνει το τελευταίο μέρος του έργου, μετά την αριθμητική, τη μουσική και τη γεωμετρία, και εκτείνεται στις σελίδες 329–454 της κριτικής έκδοσης (Pachymère, 1940, σσ. 329–454).

Η διάταξη αυτή αποκτά μεγάλη σημασία στο πλαίσιο του *quadrivium*, καθώς η αστρονομία δεν παρουσιάζεται αποκομμένη από τη μαθηματική γνώση που προηγείται. Αντίθετα, στο αστρονομικό τμήμα του έργου ο Παχυμέρης αξιοποιεί συστηματικά γεωμετρικές κατασκευές και αριθμητικούς υπολογισμούς, προκειμένου να προχωρήσει από τη μαθηματική θεωρία στην εξέταση συγκεκριμένων αστρονομικών ζητημάτων. Με τον τρόπο αυτό, το *Quadrivium* προσφέρει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της στενής σχέσης μεταξύ γεωμετρίας, αριθμητικής και αστρονομίας στη βυζαντινή μαθηματική παράδοση (Pachymère, 1940, σσ. 415–425).

Ο Παχυμέρης ασχολήθηκε εκτενώς με τις γεωμετρικές ιδιότητες του κύκλου και, κυρίως, με τον υπολογισμό των χορδών. Στα κεφάλαια που προηγούνται της μετάβασης σε ζητήματα σφαιρικής αστρονομίας, αναπτύσσονται διαδοχικές γεωμετρικές αποδείξεις και αριθμητικοί υπολογισμοί, μέσω των οποίων υπολογίζονται τα μήκη των χορδών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα τόξα κύκλου. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση γνωστών γεωμετρικών σχημάτων και σχέσεων, καθώς και τη διαδοχική σύνθεση ή διαίρεση τόξων, ώστε να προκύψουν χορδές που αντιστοιχούν σε μικρότερες περιφέρειες (Pachymère, 1940, σσ. 426–439).

Στην ενότητα αυτή, οι χορδές δεν αντιμετωπίζονται απλώς ως αφηρημένο γεωμετρικό ζήτημα. Η δυνατότητα αντιστοίχισης ενός τόξου κύκλου προς την ευθεία που το υποτείνει αποτελεί βασικό υπολογιστικό εργαλείο της πτολεμαϊκής μαθηματικής παράδοσης. Ο Παχυμέρης παρουσιάζει τη σχετική διαδικασία αναλυτικά, συνδυάζοντας τη γεωμετρική απόδειξη με αριθμητικούς υπολογισμούς. Ιδιαίτερη σημασία έχει η προσπάθεια προσδιορισμού χορδών για ολοένα μικρότερες περιφέρειες, μέχρι τον υπολογισμό της ευθείας που υποτείνει περιφέρεια μίας μοίρας και ακόμη μικρότερα τμήματα αυτής (Pachymère, 1940, σσ. 440–447).

Η διαδικασία αυτή συνδέεται άμεσα με τη χρήση του εξηκονταδικού συστήματος. Ο Παχυμέρης εκφράζει τα αριθμητικά αποτελέσματα σε μοίρες και λεπτότερες εξηκονταδικές υποδιαιρέσεις, γεγονός που επιτρέπει την προσέγγιση μεγεθών τα οποία δεν μπορούν να αποδοθούν ακριβώς με απλούς ακέραιους αριθμούς. Οι γεωμετρικές κατασκευές μετατρέπονται επομένως σε αριθμητικά αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περαιτέρω υπολογισμούς. Η σύνδεση γεωμετρικής απόδειξης και αριθμητικής προσέγγισης φαίνεται εντονότερα στο τέλος της σχετικής ανάπτυξης, όπου ο Παχυμέρης συνοψίζει τον τρόπο με τον οποίο οι περιφέρειες και οι αντίστοιχες ευθείες μπορούν να υπολογίζονται με διαδοχικές διχοτομήσεις και συνθέσεις (Pachymère, 1940, σσ. 443–448).

Μετά την ολοκλήρωση της πραγματείας για τις ευθείες του κύκλου, το ενδιαφέρον μεταφέρεται σε σαφέστερα αστρονομικά προβλήματα. Ο Παχυμέρης εξετάζει τη σχέση του μέγιστου κύκλου με την περιφέρεια μεταξύ των πόλων, τη σχέση του ζωδιακού με τον ισημερινό και την απόσταση των τροπικών από αυτόν. Η κλίση του ζωδιακού αποτελεί βασικό στοιχείο της ανάπτυξης, καθώς συνδέεται με τη γεωμετρική διάταξη των κύκλων της ουράνιας σφαίρας και με την περιγραφή των ουράνιων φαινομένων (Pachymère, 1940, σσ. 448–449). Στο ίδιο πλαίσιο, ο Παχυμέρης περνά από την καθαρή γεωμετρία του κύκλου στη γεωμετρία της ουράνιας σφαίρας. Εξετάζει τον ισημερινό, τον ορίζοντα, τον μεσημβρινό και τους πόλους της σφαίρας και εξηγεί ότι η σχέση των κύκλων αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με τον τόπο παρατήρησης. Η «έγκλισις» της σφαίρας συνδέεται με τη θέση του ισημερινού ως προς τον ορίζοντα, ενώ η γεωμετρική αυτή σχέση χρησιμοποιείται για την κατανόηση των διαφορών που παρουσιάζουν τα ουράνια φαινόμενα σε διαφορετικές περιοχές της γης (Pachymère, 1940, σσ. 449–450).

Ο Παχυμέρης επικαλείται ρητά τον Πτολεμαίο κατά την εξέταση ζητημάτων που αφορούν τις γεωγραφικές διαφοροποιήσεις των αστρονομικών φαινομένων και τη διάρκεια της ημέρας. Αναφέρεται, μεταξύ άλλων, σε συγκεκριμένες περιοχές και στη διαφορετική σχέση τους προς τον ισημερινό, συνδέοντας τη γεωγραφική θέση με τη διάρκεια της μεγαλύτερης ημέρας και με την εμφάνιση του Ήλιου ως προς τον ορίζοντα και τον μεσημβρινό (Pachymère, 1940, σσ. 450–451). Η αναφορά αυτή είναι σημαντική, διότι δείχνει ότι η πτολεμαϊκή παράδοση δεν αποτελεί απλώς ένα μακρινό θεωρητικό υπόβαθρο του έργου. Ο Πτολεμαίος χρησιμοποιείται ως συγκεκριμένο σημείο αναφοράς για μαθηματικές και αστρονομικές γνώσεις τις οποίες ο Παχυμέρης επιλέγει να παρουσιάσει συνοπτικά. Παράλληλα, όμως, ο ίδιος ο συγγραφέας καθιστά σαφές ότι δεν επιδιώκει την εξαντλητική παρουσίαση του σχετικού επιστημονικού υλικού. Προς το τέλος της ενότητας δηλώνει ότι η ανάπτυξη των θεμάτων γίνεται στον βαθμό που επιτρέπει η έκταση και ο σκοπός του υπομνήματός του, ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια ορισμένη κατανόηση των μαθηματικών επιστημών (Pachymère, 1940, σ. 451).

Η δήλωση αυτή ενισχύει την κατανόηση του παιδαγωγικού χαρακτήρα του *Quadrivium*. Ο Παχυμέρης δεν φαίνεται να αποβλέπει στη δημιουργία μιας εξαντλητικής πραγματείας που θα αντικαθιστούσε τα μεγάλα έργα της αρχαίας μαθηματικής και αστρονομικής παράδοσης. Αντίθετα, επιλέγει, οργανώνει και παρουσιάζει το υλικό σε έκταση ανάλογη με τον σκοπό του

έργου του. Υπό αυτή την έννοια, το *Quadrivium* μπορεί να θεωρηθεί ως μαρτυρία όχι μόνο για τη διατήρηση της αρχαίας επιστημονικής γνώσης, αλλά και για τη διδακτική αναδιοργάνωσή της στο πλαίσιο της υστεροβυζαντινής μαθηματικής παιδείας (Pachymère, 1940, σ. 451).

Η μαθηματική κατεύθυνση του έργου γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανής στις τελευταίες σελίδες της πραγματείας. Εκεί ο Παχυμέρης επιστρέφει σε πρόβλημα υπολογισμού τετραγωνικής

πλευράς και παρουσιάζει γεωμετρική και αριθμητική διαδικασία για την προσέγγιση της ζητούμενης τιμής. Η μέθοδος βασίζεται στη διάσπαση τετραγωνικών χωρίων και στην αριθμητική επεξεργασία των υπολοίπων με εξηκονταδικές υποδιαίρεσεις (Pachymère, 1940, σσ. 452–454).

Στη σελίδα 454 η διαδικασία γενικεύεται. Ο Παχυμέρης εξηγεί ότι, όταν ζητείται η τετραγωνική πλευρά ενός αριθμού, είτε ρητού είτε άρρητου, λαμβάνεται αρχικά η πλευρά του πλησιέστερου τετραγωνικού αριθμού και στη συνέχεια το υπόλοιπο αναλύεται διαδοχικά σε πρώτα και δεύτερα εξηκοστά. Με επαναλαμβανόμενες πράξεις προκύπτει ολοένα ακριβέστερη προσέγγιση της ζητούμενης πλευράς (Pachymère, 1940, σ. 454). Η παρουσία της διαδικασίας αυτής στο τέλος της αστρονομικής πραγματείας υπογραμμίζει για ακόμη μία φορά τη στενή σύνδεση της αστρονομικής παιδείας με τη γεωμετρική και αριθμητική κατάρτιση.

Η συμβολή του Παχυμέρη δεν χρειάζεται να αξιολογηθεί αποκλειστικά με κριτήριο την παραγωγή μιας νέας αστρονομικής θεωρίας. Η πρωτογενής πηγή που εξετάστηκε δεν επαρκεί από μόνη της για έναν τέτοιο ισχυρισμό. Τεκμηριώνει, όμως, με σαφήνεια την ενεργό χρήση της μαθηματικής παράδοσης: γεωμετρικές αποδείξεις, υπολογισμούς χορδών, εξηκονταδικές αριθμητικές διαδικασίες και εφαρμογή των μαθηματικών στη μελέτη της ουράνιας σφαίρας (Pachymère, 1940, σσ. 426–454). Η σημασία του έργου έγκειται επομένως και στον τρόπο με τον οποίο η προγενέστερη επιστημονική γνώση οργανώνεται και καθίσταται διαθέσιμη για μελέτη και διδασκαλία.

5.4 Οι Μεγάλοι Αστρονόμοι της Βυζαντινής Περιόδου

5.4.1 Μανουήλ Βρυέννιος

Ο Μανουήλ Βρυέννιος υπήρξε μία από τις σημαντικότερες προσωπικότητες της βυζαντινής επιστήμης κατά τον 13ο και τις αρχές του 14ου αιώνα. Διακρίθηκε ως αστρονόμος, μαθηματικός και θεωρητικός της μουσικής, αναπτύσσοντας έντονη πνευματική δραστηριότητα στην Κωνσταντινούπολη και συμβάλλοντας ουσιαστικά στη διατήρηση και διάδοση της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης.

Η μεγαλύτερη φήμη του οφείλεται στο έργο του Περί μουσικής ή Αρμονικών βιβλία τρία, το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θεωρητικά συγγράμματα για τη βυζαντινή μουσική. Μέσα από αυτό επιχειρεί να τεκμηριώσει τη συνέχεια της βυζαντινής μουσικής παράδοσης με την αρχαιοελληνική μουσική θεωρία, αξιοποιώντας τις απόψεις και τις διδασκαλίες αρχαίων Ελλήνων και Αλεξανδρινών φιλοσόφων, μαθηματικών και μουσικών. Το έργο του άσκησε σημαντική επιρροή στους μεταγενέστερους μελετητές της εκκλησιαστικής μουσικής και αποτέλεσε βασικό σημείο αναφοράς για τη θεωρητική προσέγγιση της βυζαντινής μουσικής.

Παρά τη μεγάλη σημασία του έργου αυτού, ορισμένοι σύγχρονοι ερευνητές επισημαίνουν ότι ο Βρυέννιος δεν αναφέρεται στη «χειρονομία» και στους μουσικούς «χαρακτήρες», στοιχεία

ιδιαίτερα σημαντικά για τη βυζαντινή μουσική σημειογραφία. Η απουσία αυτών των αναφορών έχει οδηγήσει στην υπόθεση ότι είτε γνώριζε κυρίως τη θεωρητική πλευρά της μουσικής, χωρίς να είναι εξοικειωμένος με την πρακτική της εκκλησιαστικής ψαλτικής, είτε είχε συγγράψει και άλλα έργα σχετικά με το αντικείμενο, τα οποία δεν διασώθηκαν.

Παράλληλα με τη μουσική θεωρία, ο Βρυέννιος ασχολήθηκε συστηματικά με τα μαθηματικά και την αστρονομία. Η ενασχόλησή του με την πυθαγόρεια τετρακτύ μαρτυρεί το ενδιαφέρον του για τις μαθηματικές αρχές που διέπουν την αρμονία και τη δομή του κόσμου. Συνέγραψε σχόλια σε έργα του Ευκλείδη και του Κλαύδιου Πτολεμαίου, ενώ έγραψε και την πραγματεία Σφαιρικά τινά και εποπτικά, η οποία αποδεικνύει τη βαθιά γνώση του στη σφαιρική αστρονομία και στα αντίστοιχα μαθηματικά. Οι μελέτες αυτές αναδεικνύουν τον Βρυέννιο ως έναν από τους σημαντικότερους εκπροσώπους της βυζαντινής μαθηματικής και αστρονομικής παράδοσης.

Το ενδιαφέρον του για την αστρονομία επιβεβαιώνεται και από την αλληλογραφία που διατηρούσε με τον διακεκριμένο λόγιο και αστρονόμο Μάξιμο Πλανούδη, μέσω της οποίας αντάλλασσαν απόψεις για ζητήματα μαθηματικών και ουράνιας επιστήμης. Η συνεργασία αυτή μαρτυρεί τη στενή επικοινωνία των σημαντικότερων Βυζαντινών λογίων της εποχής και τη διαρκή προσπάθειά τους να προωθήσουν την επιστημονική γνώση.

Η συμβολή του Βρυέννιου στην αστρονομία έχει αναγνωριστεί και από τη σύγχρονη έρευνα. Ο ιστορικός της επιστήμης Fr. Fuchs τον χαρακτηρίζει αξιόλογο και ιδιαίτερα ικανό αστρονόμο, θεωρώντας ότι συνέβαλε ουσιαστικά στην αναζωογόνηση και την πρόοδο της βυζαντινής αστρονομίας κατά τον 14ο αιώνα. Παράλληλα, η διδασκαλία του επηρέασε σημαντικούς μεταγενέστερους λογίους, με σημαντικότερο τον Θεόδωρο Μετοχίτη, ο οποίος συνέχισε και ανέπτυξε τη μαθηματική και αστρονομική παράδοση που εκείνος είχε καλλιεργήσει.

5.4.2 Θεόδωρος Μετοχίτης και η Αναβίωση της Μαθηματικής Αστρονομίας

Ο Θεόδωρος Μετοχίτης γεννήθηκε το 1260 στη Νίκαια της Βιθυνίας. Αφού ολοκλήρωσε εκεί την εγκύκλια εκπαίδευσή του, εγκαταστάθηκε στην Κωνσταντινούπολη, όπου συνέχισε τις σπουδές του και ανέπτυξε έντονη πνευματική και πολιτική δραστηριότητα. Διακρίθηκε για την πολυμαθειά του και ασχολήθηκε, μεταξύ άλλων, με τη ρητορική, τη φιλοσοφία και τις μαθηματικές επιστήμες.

Ασχολήθηκε με την αστρονομία και συνετέλεσε στην αναβίωση της μαθηματικής αστρονομίας στο ύστερο Βυζάντιο. Η Κατσιάμπουρα τον χαρακτηρίζει ως θεμελιώδη εκπρόσωπο της πτολεμαϊκής αστρονομικής παράδοσης στην Κωνσταντινούπολη. Ο Μετοχίτης μελέτησε συστηματικά τον Κλαύδιο Πτολεμαίο, καθώς και προγενέστερους μαθηματικούς και αστρονόμους, όπως τον Θέωνα και τον Απολλώνιο τον Περγαίο, επιχειρώντας να επαναφέρει την αρχαία ελληνική μαθηματική αστρονομία στο επίκεντρο της επιστημονικής μελέτης (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Από τα έργα του οφείλουμε να αναφέρουμε τα εξής: την *Εισαγωγή στην Αλμαγέστη* και την *Στοιχείωσις ἐπὶ τῇ ἀστρονομικῇ ἐπιστῇμῃ*. Στα έργα αυτά επιχειρήσε να συνδυάσει τη θεωρητική αστρονομία του Πτολεμαίου, όπως αυτή παρουσιάζόταν στην *Αλμαγέστη*, με τις περισσότερες πρακτικές και υπολογιστικές εφαρμογές των *Προχείρων Κανόνων* και των σχολίων του Θέωνα του Αλεξανδρέως. Προσπάθησε να κάνει την αστρονομία περισσότερο προσιτή στους αναγνώστες. (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Για τον Μετοχίτη, η κατανόηση του φυσικού κόσμου απαιτούσε τόσο τη γνώση της αρχαίας ελληνικής επιστήμης όσο και την παρατήρηση των φυσικών φαινομένων. Η φύση βρισκόταν σε συνεχή μεταβολή και ο άνθρωπος μπορούσε, μέσω της παρατήρησης και της μαθηματικής γνώσης, να αναζητήσει τους νόμους που βρίσκονται πίσω από τη φαινομενική αταξία των ουράνιων φαινομένων (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Η αντίληψη αυτή αναδεικνύει τον έντονα μαθηματικό χαρακτήρα της αστρονομίας στο έργο του. Η παρατήρηση από μόνη της δεν ήταν αρκετή. Έπρεπε να συνδυάζεται με τη μαθηματική επεξεργασία, ώστε να ερμηνεύονται οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων και να αποκαλύπτεται η τάξη που τις διέπει.

Ο Μετοχίτης καταπιάστηκε και με τις εκλείψεις. Η Κατσιάμπουρα συνδέει το ενδιαφέρον του για την πρόβλεψη των εκλείψεων με τη γενικότερη πεποίθησή του ότι τα φυσικά φαινόμενα μπορούσαν να γίνουν αντικείμενο ορθολογικής διερεύνησης μέσω της παρατήρησης και των μαθηματικών. Η στάση αυτή τον έφερνε παράλληλα αντιμέτωπο με ορισμένες θεοκρατικές αντιλήψεις της εποχής του και ενίσχυε τον περισσότερο κοσμικό προσανατολισμό της επιστημονικής του σκέψης (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Η επίδραση της αστρονομικής δραστηριότητας του Μετοχίτη υπήρξε σημαντική. Σύμφωνα με μαρτυρία που παραθέτει η Κατσιάμπουρα, το ενδιαφέρον που προκάλεσε η αστρονομία στην Κωνσταντινούπολη εξαπλώθηκε «σαν πυρκαγιά», δημιουργώντας έναν κύκλο λογίων που συνέχισαν τη μελέτη της. Ανάμεσά τους ξεχωρίζει ο Νικηφόρος Γρηγοράς, ο οποίος μελέτησε επίσης τα πτολεμαϊκά έργα και ασχολήθηκε ιδιαίτερα με ημερολογιακά και αστρονομικά ζητήματα (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 282).

Παράλληλα, ο Μετοχίτης υπήρξε ένθερμος υποστηρικτής της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης. Η στάση του απέναντι στις περσικές και ισλαμικές επιδράσεις ήταν σαφώς επιφυλακτική. Σε αντίθεση με άλλους βυζαντινούς λογίους, οι οποίοι στράφηκαν προς περσικούς πίνακες και υπολογιστικές μεθόδους για την ανανέωση της αστρονομίας, ο Μετοχίτης θεωρούσε ότι η λύση στα προβλήματα της επιστήμης μπορούσε να αναζητηθεί κυρίως μέσα στην ίδια την αρχαία ελληνική κληρονομιά. Η Κατσιάμπουρα επισημαίνει ότι ο Μετοχίτης απέρριπτε την ανάγκη προσφυγής σε περσικές, ινδικές και άλλες ξένες παραδόσεις, υποστηρίζοντας τη συνέχεια των Βυζαντινών με την αρχαία ελληνική επιστήμη (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 284).

Η θέση αυτή φανερώνει ότι η αναβίωση της αστρονομίας κατά την Παλαιολόγεια περίοδο δεν ακολούθησε μία ενιαία κατεύθυνση. Από τη μία πλευρά υπήρχαν λόγιοι, όπως ο Χιονιάδης και αργότερα ο Χρυσόκοκκης, οι οποίοι αξιοποιούσαν περσικές αστρονομικές γνώσεις. Από την άλλη, ο Μετοχίτης αντιπροσώπευε μια ισχυρή πτολεμαϊκή κατεύθυνση, σύμφωνα με την οποία η ανανέωση της αστρονομικής επιστήμης έπρεπε να προέλθει πρωτίστως από τη βαθύτερη κατανόηση του συνόλου της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής γραμματείας. Έτσι, η συμβολή του δεν περιορίζεται στην παραγωγή αστρονομικών έργων, αλλά συνδέεται με μια ευρύτερη προσπάθεια αναβίωσης της μαθηματικής αστρονομίας και επανασύνδεσης της βυζαντινής επιστήμης με την αρχαία ελληνική παράδοση.

5.4.3 Νικηφόρος Γρηγοράς και το Ζήτημα της Ημερολογιακής Μεταρρύθμισης

Ο Νικηφόρος Γρηγοράς συγκαταλέγεται στις σημαντικότερες προσωπικότητες της ύστερης βυζαντινής διανόησης και αποτελεί έναν από τους κυριότερους εκπροσώπους της Παλαιολόγειας Αναγέννησης. Μαθητής του Θεόδωρου Μετοχίτη, διακρίθηκε ως ιστορικός, θεολόγος, φιλόσοφος και φιλόλογος. Μέσα σε όλα αυτά, καταπιάστηκε και με την αστρονομία. Η συμβολή του στον συγκεκριμένο τομέα υπήρξε καθοριστική, καθώς συνέβαλε ουσιαστικά στην αναζωογόνηση της βυζαντινής αστρονομικής παράδοσης και στην ανανέωση του ενδιαφέροντος για τις μαθηματικές επιστήμες.

Γεννήθηκε στην Ηράκλεια του Πόντου, όπου έλαβε την πρώτη του μόρφωση, και αργότερα εγκαταστάθηκε στην Κωνσταντινούπολη. Εκεί εντάχθηκε στους λόγιους κύκλους της αυλής και ανέπτυξε πλούσια συγγραφική δραστηριότητα, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και φιλολογικών θεμάτων. Αν και τα καθαρά μαθηματικά έργα του είναι περιορισμένα, το αστρονομικό του έργο είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο και αποδεικνύει το υψηλό επίπεδο των γνώσεών του στην πτολεμαϊκή αστρονομία.

Αξίζει να αναφερθούμε στις πραγματείες του για τον αστρολάβο, στις οποίες δεν περιορίζεται στην περιγραφή του οργάνου αλλά εξετάζει και τη θεωρητική βάση της κατασκευής και της λειτουργίας του. Αξιοποιώντας την παράδοση του Κλαυδίου Πτολεμαίου, του Συνέσιου Κυρήνης, του Αμμώνιου και του Ιωάννη Φιλόπονου, ο Γρηγοράς επιχείρησε να βελτιώσει το όργανο, δημιουργώντας μια περισσότερο εξελιγμένη μορφή επιπεδόσφαιρου που βασιζόταν στη στερεογραφική προβολή. Με το όργανο αυτό ήταν δυνατός ο ακριβέστερος προσδιορισμός της θέσης των ουράνιων σωμάτων, καθώς και η επίλυση διαφόρων αστρονομικών προβλημάτων. Η προσέγγισή του θεωρείται πρωτότυπη για τα δεδομένα της εποχής και μαρτυρεί τη δημιουργική αξιοποίηση της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής παράδοσης (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 500).

Ανάλογη ήταν και η επίδρασή του στον υπολογισμό των ηλιακών και σεληνιακών εκλείψεων. Με βάση το πτολεμαϊκό σύστημα και αξιοποιώντας τις προσωπικές του παρατηρήσεις, πραγματοποίησε νέους υπολογισμούς για παλαιότερες εκλείψεις, ενώ προέβλεψε με αξιοσημείωτη ακρίβεια εκλείψεις που επρόκειτο να συμβούν κατά την εποχή του. Η πιο γνωστή είναι η πρόβλεψή του για την ολική έκλειψη Ηλίου της 16ης Ιουλίου 1330, καθώς και για δύο σεληνιακές εκλείψεις του ίδιου έτους, γεγονός που καταδεικνύει το υψηλό επίπεδο της μαθηματικής και αστρονομικής του κατάρτισης. Οι επιτυχίες αυτές προβλέψεις ενίσχυσαν σημαντικά το κύρος του ως αστρονόμου και αναγνωρίστηκαν από μεταγενέστερους ιστορικούς της βυζαντινής επιστήμης (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 501).

Η σημαντικότερη, ωστόσο, συμβολή του Γρηγορά εντοπίζεται στην προσπάθειά του να διορθώσει το Ιουλιανό ημερολόγιο και, κατ' επέκταση, τον τρόπο υπολογισμού της ημερομηνίας του Πάσχα. Μελετώντας τη διάρκεια του τροπικού έτους, διαπίστωσε ότι το ημερολόγιο εμφάνιζε σταδιακή απόκλιση από την πραγματική στιγμή της εαρινής ισημερίας. Η απόκλιση αυτή επηρέαζε και τον προσδιορισμό της πρώτης πανσελήνου μετά την ισημερία, από την οποία εξαρτιόταν ο εορτασμός του Πάσχα. Για τον λόγο αυτό πρότεινε τη μεταρρύθμιση του ημερολογίου, παρουσιάζοντας το σχέδιό του στον αυτοκράτορα Ανδρόνικο Β' Παλαιολόγο το 1324. Παρότι οι επιστημονικές του διαπιστώσεις έγιναν αποδεκτές, η πρόταση δεν εφαρμόστηκε, καθώς επικράτησε ο φόβος ότι μια τέτοια αλλαγή θα προκαλούσε αντιδράσεις και θα διατάρασσε την εκκλησιαστική ενότητα. Η πρόταση του Γρηγορά προηγήθηκε κατά περισσότερο από δύο

αιώνες της Γρηγοριανής μεταρρύθμισης του ημερολογίου, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της προσπάθειάς του (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 502).

Το ζήτημα της ημερολογιακής μεταρρύθμισης συνδεόταν άμεσα με ένα ευρύτερο αστρονομικό πρόβλημα, εκείνο της ακριβούς μέτρησης του έτους και της μετάπτωσης των ισημεριών. Ο Πάσχος επισημαίνει ότι οι διαφορετικές τιμές που είχαν υπολογιστεί για τη μετάπτωση από τους αρχαίους, τους Άραβες και τους Βυζαντινούς αστρονόμους οδηγούσαν αντίστοιχα σε διαφορετικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια του έτους. Καθώς η συσσωρευόμενη απόκλιση καθιστούσε αναγκαία τη διόρθωση του Ιουλιανού ημερολογίου, ο Γρηγοράς αναγνώρισε το πρόβλημα και πρότεινε σχετική μεταρρύθμιση ήδη κατά τον 14ο αιώνα. Σύμφωνα με τον Πάσχο, η πρότασή του δεν υιοθετήθηκε, επειδή υπήρχε φόβος ότι η αλλαγή του ημερολογίου θα μπορούσε να προκαλέσει θρησκευτικές αναταραχές. Με τον τρόπο αυτό, η πρόταση του Γρηγορά εντάσσεται σε μια μακρότερη παράδοση αστρονομικών μετρήσεων και υπολογισμών, στην οποία η ακρίβεια των παρατηρήσεων είχε άμεσες πρακτικές συνέπειες για τη μέτρηση του χρόνου και τη διαμόρφωση του ημερολογίου (Paschos, 1998).

Η σύγκριση των αριθμητικών τιμών που παραθέτει ο Πάσχος ενισχύει την εικόνα αυτή. Στον σχετικό πίνακα καταγράφονται διαφορετικές εκτιμήσεις της μετάπτωσης των ισημεριών από τον Πτολεμαίο, Άραβες και Βυζαντινούς αστρονόμους, μεταξύ των οποίων ο Γρηγόριος Χιονιάδης και ο Νικηφόρος Γρηγοράς. Η παρουσία του Γρηγορά σε αυτή τη διαχρονική σειρά μετρήσεων δείχνει ότι η ημερολογιακή του πρόταση δεν αποτελούσε ένα απομονωμένο πρακτικό ζήτημα, αλλά συνδεόταν με τη συνεχή προσπάθεια για ακριβέστερο προσδιορισμό των αστρονομικών μεγεθών (Paschos, 1998).

Παρά την ενασχόλησή του με την αστρονομία, ο Γρηγοράς διατηρούσε επιφυλακτική στάση απέναντι στην αστρολογία. Όπως και ο δάσκαλός του Θεόδωρος Μετοχίτης, απέρριπτε τις αστρολογικές αντιλήψεις που απέδιδαν στα άστρα καθοριστική επίδραση στη μοίρα του ανθρώπου. Αναγνώριζε ότι ορισμένα ουράνια σώματα, όπως η Σελήνη, μπορούσαν να επηρεάζουν φυσικά φαινόμενα, χωρίς όμως να αποδέχεται την αστρομαντική ερμηνεία των ουράνιων κινήσεων. Η θέση αυτή αντανακλά τη διάκριση ανάμεσα στη μαθηματική αστρονομία και την αστρολογία, η οποία χαρακτηρίζει μεγάλο μέρος της λόγιας βυζαντινής παράδοσης.

Το έργο του Νικηφόρου Γρηγορά αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της ανανέωσης που γνώρισε η βυζαντινή αστρονομία κατά την Παλαιολόγεια περίοδο. Μέσα από τη μελέτη της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, την ανάπτυξη αστρονομικών οργάνων, τους υπολογισμούς εκλείψεων και, κυρίως, την πρότασή του για τη μεταρρύθμιση του ημερολογίου, ανέδειξε τη στενή σχέση ανάμεσα στη μαθηματική αστρονομία, την παρατήρηση και τις πρακτικές ανάγκες της βυζαντινής κοινωνίας. Η περίπτωση του Γρηγορά δείχνει ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν περιοριζόταν στη διατήρηση και τον σχολιασμό της αρχαίας γνώσης, αλλά μπορούσε να οδηγήσει και στον εντοπισμό πραγματικών προβλημάτων που απαιτούσαν νέες λύσεις.

5.4.4 Γρηγόριος Χιονιάδης

Ο Γρηγόριος Χιονιάδης (ή Χωνιάδης) υπήρξε επίσκοπος Ταυρίδας, καθώς και διακεκριμένος ιατρός, μαθηματικός και αστρονόμος. Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μορφές της βυζαντινής αστρονομίας κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο, κυρίως λόγω του καθοριστικού ρόλου που διαδραμάτισε στη μεταφορά της περσικής και ισλαμικής αστρονομικής γνώσης προς τον βυζαντινό κόσμο. Η μακρόχρονη παραμονή του στην Ταυρίδα της Περσίας, στο σημερινό

Ιράν, του επέτρεψε να έρθει σε άμεση επαφή με την ανατολική επιστημονική παράδοση και να αποκτήσει σημαντικές γνώσεις, κυρίως στον τομέα της μαθηματικής αστρονομίας.

Οι πληροφορίες που διαθέτουμε για τη ζωή του είναι περιορισμένες. Πιθανολογείται ότι καταγόταν από την Κωνσταντινούπολη, όπου φαίνεται ότι πραγματοποίησε και τις πρώτες του σπουδές. Περί το 1295 χειροτονήθηκε ιερέας και, έπειτα από σύντομη διαμονή στην Τραπεζούντα, πιθανότατα με πρωτοβουλία του αυτοκράτορα της περιοχής, ταξίδεψε στην Περσία. Η μετάβασή του πραγματοποιήθηκε σε μια περίοδο κατά την οποία στην περιοχή της μογγολικής Περσίας είχε αναπτυχθεί σημαντική αστρονομική δραστηριότητα, με επίκεντρο μεταξύ άλλων τη Μαραγκέ και την Ταυρίδα. Οι επαφές του Βυζαντίου με την περιοχή διευκολύνονταν από τις εμπορικές και διπλωματικές σχέσεις, ενώ η Τραπεζούντα λειτουργούσε ως σημαντικός ενδιάμεσος σταθμός για τη μετάδοση της επιστημονικής γνώσης (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283). Κατά την παραμονή του στην Ταυρίδα, ο Χιονιάδης μαθήτευσε κοντά σε σημαντικούς εκπροσώπους της περσικής αστρονομικής παράδοσης. Ειδικότερα, η Κατσιάμπουρα αναφέρει ότι σπούδασε κοντά στον Shams al-Din al-Bukhari, γεγονός που του επέτρεψε να γνωρίσει από κοντά τις αστρονομικές και υπολογιστικές μεθόδους που είχαν αναπτυχθεί στην περιοχή (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Γύρω στο 1300 επέστρεψε στην Τραπεζούντα, μεταφέροντας μαζί του περσικά αστρονομικά συγγράμματα. Τα έργα αυτά τα μελέτησε σε βάθος και συνέβαλε στη μεταφορά του περιεχομένου τους στον ελληνόφωνο επιστημονικό κόσμο. Λίγο αργότερα, το 1301 ή το 1302, εγκαταστάθηκε ξανά στην Κωνσταντινούπολη, όπου δίδαξε αστρονομία από το 1302 έως το 1305, μεταδίδοντας στους μαθητές του τις γνώσεις που είχε αποκτήσει στην Περσία. Το 1305 αναδείχθηκε επίσκοπος Ταυρίδας. Παράλληλα, θεωρείται ένας από τους πρωτεργάτες της Ανώτερης Σχολής Θετικών Επιστημών της Τραπεζούντας, στην οποία δίδαξε επί σειρά ετών και συνδέθηκε στενά με την αυτοκρατορική αυλή (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 522).

Ιδιαίτερα σημαντική υπήρξε η μεταφραστική δραστηριότητα του Χιονιάδη. Μετέφρασε στα ελληνικά σειρά περσικών και αραβικών αστρονομικών κειμένων, καθιστώντας προσιτές στους Βυζαντινούς λογίους γνώσεις και υπολογιστικές μεθόδους που είχαν αναπτυχθεί στον ισλαμικό κόσμο. Η Κατσιάμπουρα αναφέρει συγκεκριμένα μεταξύ των μεταφράσεών του το *Zij as-Sanjari*, το *Zij al-Ala'i*, καθώς και οδηγίες του Shams Bukhari. Οι μεταφράσεις αυτές περιήλθαν αργότερα στα χέρια ενός μοναχού με το όνομα Μανουήλ στην Τραπεζούντα, ο οποίος ενδεχομένως συνδέεται με το *Αλμανάκ της Τραπεζούντας* του 1336 (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Παράλληλα, αφιέρωσε χρόνο στη μελέτη και στην κατασκευή του αστρολάβου. Σε χειρόγραφό του, το οποίο χρονολογείται πριν από το 1308, παρουσιάζεται η σεληνιακή θεωρία του Ναζίρ αλ-Ντιν αλ-Τουσί, καθώς και η γνωστή μαθηματική διάταξη που επιτρέπει τη σύνθεση κυκλικών κινήσεων για την παραγωγή ευθύγραμμης παλινδρομικής κίνησης. Η διάταξη αυτή αναπτύχθηκε στο πλαίσιο των προσπαθειών αναθεώρησης επιμέρους στοιχείων του πτολεμαϊκού αστρονομικού συστήματος. Στον Χιονιάδη αποδίδεται επίσης σημαντικός ρόλος στη μετάδοση περσικών αστρονομικών πινάκων και σχετικών υπολογιστικών μεθόδων στον βυζαντινό κόσμο (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 522).

Ο Χιονιάδης με τη δράση του οδήγησε στη μεταφορά της περσικής αστρονομικής γνώσης στο Βυζάντιο και στην επαφή της πτολεμαϊκής παράδοσης με τις περσικές και ισλαμικές αστρονομικές μεθόδους. Στο έργο του περιλαμβάνονται επιστολές, αστρονομικοί πίνακες και μεταφράσεις περσικών συγγραμμάτων, ενώ σε αυτόν αποδίδεται και η πραγματεία *Περί σχημάτων των αστερών*, αν και η πατρότητά της έχει αμφισβητηθεί (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010,

σ. 522). Εξέχουσα θέση έχει η *Ομολογία Πίστεως*, η σύνταξη της οποίας συνδέεται με τις αμφιβολίες που προκάλεσε η μακρόχρονη παραμονή του στην Περσία σχετικά με τις θρησκευτικές του πεποιθήσεις (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 284).

Η επίδρασή του υπήρξε αισθητή και στις επόμενες γενιές, όπως μαρτυρεί η διάδοση της περσικής αστρονομίας στο έργο του Γεωργίου Χρυσόκοκκη (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283). Συνολικά, η περίπτωση του Χιονιάδη αναδεικνύει τον διαπολιτισμικό χαρακτήρα της υστεροβυζαντινής αστρονομίας.

5.4.5 Γεώργιος Χρυσοκόκκης

Ο αστρονόμος, μαθηματικός, ιατρός και γεωγράφος Γεώργιος Χρυσοκόκκης συγκαταλέγεται στους μεγάλους θετικούς επιστήμονες του ύστερου Βυζαντίου. Γεννήθηκε περίπου το 1335 στην Τραπεζούντα, αν και υπάρχουν ενδείξεις ότι η οικογένειά του καταγόταν από την Κωνσταντινούπολη. Η επιστημονική του δραστηριότητα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς συνδέεται άμεσα με τη διάδοση της περσικής αστρονομικής παράδοσης στον βυζαντινό κόσμο.

Το ενδιαφέρον του επικεντρώθηκε κυρίως στα περσικά μαθηματικά και στην αστρονομία. Πρώτος δάσκαλός του ήταν ο λόγιος μοναχός Μανουήλ από την Τραπεζούντα, ο οποίος τον εισήγαγε στην περσική επιστημονική παράδοση. Σύμφωνα με την Κατσιάμπουρα, τα περσικά και αραβικά αστρονομικά κείμενα που είχε μεταφράσει ο Γρηγόριος Χιονιάδης περιήλθαν στον μοναχό Μανουήλ στην Τραπεζούντα, κοντά στον οποίο σπούδασε αργότερα αστρονομία ο Χρυσόκοκκης (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283). Έτσι, δημιουργείται μια αλυσίδα μετάδοσης της αστρονομικής γνώσης από την Περσία μέσω του Χιονιάδη και της Τραπεζούντας προς τη μεταγενέστερη βυζαντινή αστρονομία.

Σπουδαιότερο αστρονομικό έργο του Χρυσοκόκκη θεωρείται η *Είσαγωγή εις την Σύνταξιν τῶν Περσῶν*, γνωστή και ως *Εξήγησις εις την Σύνταξιν τῶν Περσῶν*, με πλήρη τίτλο *Του σοφωτάτου ιατροῦ κυροῦ Γεωργίου του Χρυσοκόκκη εξήγησις εις την Σύνταξιν τῶν Περσῶν, εκτεθείσα προς τον αὐτοῦ ἀδελφόν κύρον Ἰωάννην τον Χαρσανίτην*. Το έργο χρονολογείται περίπου στο 1347 και αποτελεί ακόμη ένα βήμα για την ενσωμάτωσης της περσικής μαθηματικής αστρονομίας στη βυζαντινή επιστημονική παράδοση. Η Κατσιάμπουρα το χαρακτηρίζει ως ένα από τα γνωστότερα αστρονομικά έργα του 14ου αιώνα (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Το έργο αποτελείται από πρόλογο, πενήντα ένα κεφάλαια και ένα σύνολο αστρονομικών πινάκων. Το περιεχόμενό του καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων της μαθηματικής αστρονομίας, όπως ημερολογιακούς υπολογισμούς, την κίνηση του Ήλιου και της Σελήνης, τις κινήσεις των πέντε γνωστών πλανητών, καθώς και τον υπολογισμό ηλιακών και σεληνιακών εκλείψεων. Οι υπολογιστικές μέθοδοι που παρουσιάζονται μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε πρακτικά ημερολογιακά ζητήματα και συνδέονταν ακόμη και με τον προσδιορισμό της ημερομηνίας του Πάσχα (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283).

Σχετικά με την προέλευση των αστρονομικών πινάκων, η *Σύνταξις τῶν Περσῶν* συνδέεται με το Ζιζ ι-Ιλχανί του Ναζίρ αλ-Ντιν αλ-Τουσί (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 525). Όμως, η προέλευση είναι ζήτημα για το οποίο δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία στη σχετική βιβλιογραφία. Οι αστρονομικοί πίνακες του Χρυσοκόκκη αξιοποιήθηκαν αργότερα και από τον Θεόδωρο Μελιτηνιώτη, ο οποίος ασχολήθηκε συστηματικά τόσο με την πολεμαϊκή όσο και με την περσική αστρονομική παράδοση. Στο έργο του παρουσίασε τις δύο παραδόσεις και επιχείρησε να

συγκρίνει τις διαφορετικές μεθόδους τους. Η παρουσία της περσικής αστρονομίας στο έργο του Μελιτηνιώτη αποτελεί έτσι ένδειξη της ευρύτερης διάδοσης που είχαν αποκτήσει οι ανατολικές αστρονομικές μέθοδοι στο Βυζάντιο κατά τον 14ο αιώνα (Κατσιάμπουρα, 2010, σσ. 283–284).

Ωστόσο, η αξιοποίηση των περσικών μεθόδων δεν ήταν απαλλαγμένη από προβλήματα. Ο Χρυσόκοκκης φαίνεται ότι δεν είχε πάντοτε στη διάθεσή του τις απαραίτητες επεξηγήσεις για την ορθή χρήση των πινάκων, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ορισμένα μεθοδολογικά σφάλματα στους υπολογισμούς του. Η Κατσιάμπουρα αναφέρει χαρακτηριστικά περιπτώσεις στις οποίες τα αποτελέσματα που προέκυπταν από τη χρήση των περσικών πινάκων παρουσίαζαν μεγαλύτερες αποκλίσεις από εκείνα που προέκυπταν από τις μεθόδους του Πτολεμαίου (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283). Τα σφάλματα αυτά πέρασαν και στο έργο του Μελιτηνιώτη, παρά την κριτική που ο τελευταίος ασκούσε σε ορισμένες πτυχές της πτολεμαϊκής αστρονομίας.

Η συγγραφική δραστηριότητα του Χρυσόκοκκη δεν περιορίστηκε στη *Σύνταξιν τῶν Περσῶν*. Συνέγραψε ακόμη την *Πρόχειρον παράδοσιν εις τους περσικούς κανόνες της αστρονομίας*, καθώς και μικρότερες πραγματείες, όπως οι *Πώς ο της σελήνης ευρίσκεται κύκλος*, *Πώς ο του ηλίου ευρίσκεται κύκλος* και *Κανόνιον του ημεροευρεσίου*. Τα έργα αυτά δείχνουν το ενδιαφέρον του για την πρακτική και υπολογιστική πλευρά της αστρονομίας.

Η μεγάλη απήχηση του έργου του αποδεικνύεται και από τη χειρόγραφη παράδοσή του. Η Κατσιάμπουρα επισημαίνει ότι η *Σύνταξις τῶν Περσῶν* διαδόθηκε ευρέως και ότι σώζεται σε σημαντικό αριθμό χειρόγραφων. Η κυκλοφορία του δεν περιορίστηκε στο Βυζάντιο, αλλά επεκτάθηκε και στη Δύση, γεγονός που καθιστά τον Χρυσόκοκκη σημαντικό κρίκο όχι μόνο για την εισαγωγή της περσικής αστρονομίας στον βυζαντινό χώρο αλλά και για την περαιτέρω διάδοσή της (Κατσιάμπουρα, 2010, σ. 283). Τα περισσότερα από τα έργα του διασώζονται σήμερα σε χειρόγραφα που φυλάσσονται σε ευρωπαϊκές βιβλιοθήκες, μεταξύ άλλων στο Παρίσι, στη Μαδρίτη και στην Αμβροσιανή Βιβλιοθήκη του Μιλάνου.

Εκτός από την ενασχόλησή του με την αστρονομία και τα μαθηματικά, ο Χρυσόκοκκης ασχολήθηκε και με τη γεωγραφία. Ανάμεσα στα έργα του συγκαταλέγονται οι πραγματείες *Περί επωνυμίας πόλεων και τόπων* και *Κανόνια του μήκους και του πλάτους επισήμων πόλεων*, οι οποίες αποδεικνύουν το ευρύ φάσμα των επιστημονικών του ενδιαφερόντων.

Κατά την ίδια περίοδο κυκλοφορούσε επίσης ελληνική μετάφραση και διασκευή περσικού αστρονομικού έργου του Shams al-Din al-Bukhari. Η ταυτότητα του μεταφραστή παραμένει αντικείμενο συζήτησης, καθώς το έργο έχει αποδοθεί είτε στον Γρηγόριο Χιονιάδη είτε στον Γεώργιο Χρυσόκοκκη (Δανέζης & Θεοδοσίου, 2010, σ. 525). Η πληροφορία αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της έντονης μεταφραστικής δραστηριότητας που χαρακτήρισε την πρόσληψη της περσικής αστρονομίας στο ύστερο Βυζάντιο.

Ο Γεώργιος Χρυσόκοκκης μπορεί να θεωρηθεί σημαντικός φορέας της περσικής αστρονομικής παράδοσης στο Βυζάντιο. Μέσω της μαθητείας του στην Τραπεζούντα, της συγγραφικής του δραστηριότητας και κυρίως της *Συντάξεως τῶν Περσῶν*, συνέβαλε στην ενσωμάτωση περσικών αστρονομικών πινάκων και υπολογιστικών μεθόδων στη βυζαντινή επιστήμη. Η μεγάλη διάδοση του έργου του φανερώνει παράλληλα ότι η υστεροβυζαντινή αστρονομία δεν αποτελούσε ένα κλειστό σύστημα προσκολλημένο αποκλειστικά στην αρχαία παράδοση, αλλά ένα πεδίο στο οποίο διαφορετικές επιστημονικές παραδόσεις μπορούσαν να συναντηθούν, να συγκριθούν και να αλληλεπιδράσουν.

Κεφάλαιο 6^ο

Αστρονομικά Όργανα και Χρονομέτρηση στο Βυζάντιο

Η βυζαντινή αστρονομία δεν περιοριζόταν αποκλειστικά στη θεωρητική μελέτη των αρχαίων κειμένων και στη φιλοσοφική ερμηνεία του κόσμου. Παρά τον έντονο φιλολογικό χαρακτήρα της βυζαντινής λογιοσύνης, η αστρονομία διατηρούσε και ουσιαστική πρακτική διάσταση, η οποία συνδεόταν με τη χρονομέτρηση, τη σύνταξη ημερολογίων, τον υπολογισμό εκλείψεων, τον προσδιορισμό του Πάσχα και τη γενικότερη οργάνωση του εκκλησιαστικού και πολιτικού χρόνου. Για τον λόγο αυτό, η χρήση μαθηματικών μεθόδων, αστρονομικών πινάκων και ειδικών οργάνων παρέμεινε σημαντικό στοιχείο της βυζαντινής επιστημονικής παράδοσης.

Η πρακτική αστρονομία στηριζόταν πρωτίστως στην πτολεμαϊκή παράδοση και ιδιαίτερα στη χρήση αστρονομικών πινάκων. Οι πίνακες αυτοί επέτρεπαν τον υπολογισμό της θέσης του Ηλίου, της Σελήνης και των πλανητών, καθώς και την πρόβλεψη ουράνιων φαινομένων. Η σημασία τους ήταν ιδιαίτερα μεγάλη, διότι η βυζαντινή αστρονομία λειτουργούσε σε μεγάλο βαθμό ως υπολογιστική επιστήμη. Η δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού του χρόνου είχε άμεσες συνέπειες όχι μόνο για την επιστήμη αλλά και για τη λειτουργία της Εκκλησίας και της κρατικής διοίκησης. Ιδιαίτερη σημασία κατείχε ο υπολογισμός του Πάσχα και των κινητών εορτών. Το λεγόμενο *computus*, δηλαδή το σύστημα υπολογισμού της ημερομηνίας του Πάσχα, απαιτούσε συνδυασμό αστρονομικών και μαθηματικών γνώσεων. Η παρακολούθηση των σεληνιακών κύκλων και η σχέση τους με το ηλιακό ημερολόγιο αποτελούσαν αντικείμενο συστηματικής μελέτης ήδη από την ύστερη αρχαιότητα. Στο Βυζάντιο, η ανάγκη για ενιαίο εκκλησιαστικό ημερολόγιο διατήρησε ζωντανό το ενδιαφέρον για τη μαθηματική αστρονομία ακόμη και σε περιόδους περιορισμένης επιστημονικής παραγωγής.

Η σημασία των ημερολογιακών υπολογισμών φαίνεται ιδιαίτερα στην περίπτωση του Νικηφόρου Γρηγορά, ο οποίος τον 14ο αιώνα πρότεινε μεταρρύθμιση του Ιουλιανού ημερολογίου προκειμένου να διορθωθεί η σταδιακή απόκλιση του ημερολογιακού έτους από το τροπικό έτος. Η πρότασή του, αν και δεν υιοθετήθηκε από τη βυζαντινή Εκκλησία, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι καταδεικνύει ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν περιοριζόταν στην παθητική αποδοχή παλαιότερων συστημάτων αλλά συνέχιζε να αντιμετωπίζει πρακτικά προβλήματα χρονομέτρησης και αστρονομικής ακρίβειας.

Εξίσου σημαντική υπήρξε η χρήση αστρονομικών οργάνων. Αν και ελάχιστα βυζαντινά όργανα έχουν διασωθεί, οι γραπτές πηγές αποδεικνύουν ότι οι Βυζαντινοί γνώριζαν και χρησιμοποιούσαν όργανα όπως ο αστρολάβος, οι ουράνιες σφαίρες και τα ηλιακά ρολόγια. Ο αστρολάβος υπήρξε ένα από τα σημαντικότερα αστρονομικά όργανα της μεσαιωνικής επιστήμης. Μέσω αυτού μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις του ύψους των άστρων, να υπολογιστεί η ώρα της ημέρας και να προσδιοριστούν ουράνιες θέσεις. Η χρήση του απαιτούσε γνώσεις γεωμετρίας και σφαιρικής αστρονομίας, γεγονός που αποδεικνύει τη στενή σχέση θεωρητικής και πρακτικής γνώσης στη βυζαντινή επιστήμη.

Η βυζαντινή γνώση του αστρολάβου συνδεόταν τόσο με την ελληνική παράδοση όσο και με τις επαφές με τον αραβικό κόσμο. Η ισλαμική αστρονομία είχε εξελίξει σημαντικά τη χρήση αστρονομικών οργάνων και είχε αναπτύξει νέες τεχνικές παρατήρησης και υπολογισμού. Μέσα από μεταφράσεις και επιστημονικές επαφές, ιδιαίτερα κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο, ορισμένες από αυτές τις γνώσεις πέρασαν και στο Βυζάντιο. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η

βυζαντινή αστρονομία δεν εξελισσόταν απομονωμένα αλλά συμμετείχε σε ευρύτερο δίκτυο ανταλλαγής επιστημονικών ιδεών.

Η σφαιρική αστρονομία αποτελούσε επίσης σημαντικό τμήμα της βυζαντινής επιστημονικής παιδείας. Η μελέτη της ουράνιας σφαίρας, των ζωδιακών κύκλων και των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων απαιτούσε γεωμετρική σκέψη και μαθηματική κατάρτιση. Η σύνδεση αστρονομίας και γεωμετρίας διατηρήθηκε σε όλη τη διάρκεια της βυζαντινής περιόδου και αποτυπώνεται τόσο στα εκπαιδευτικά εγχειρίδια όσο και στα αστρονομικά σχόλια.

Παράλληλα, η βυζαντινή αστρονομία διατήρησε στενή σχέση με την αστρολογία. Οι αστρονομικοί πίνακες και οι υπολογισμοί χρησιμοποιούνταν συχνά και για αστρολογικούς σκοπούς, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον απόλυτο διαχωρισμό των δύο πεδίων. Η Εκκλησία αντιμετώπιζε με επιφυλακτικότητα τις μαντικές διαστάσεις της αστρολογίας, ωστόσο η πρακτική χρήση αστρονομικών υπολογισμών παρέμενε αποδεκτή όταν συνδεόταν με τη χρονομέτρηση, το ημερολόγιο και τη μελέτη της θείας δημιουργίας. Η διπλή αυτή λειτουργία της αστρονομίας αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της βυζαντινής επιστημονικής σκέψης.

Η πρακτική διάσταση της βυζαντινής αστρονομίας αποδεικνύει ότι οι μαθηματικές επιστήμες δεν αποτελούσαν απλώς αφηρημένο θεωρητικό πεδίο. Η χρήση οργάνων, οι υπολογιστικές μέθοδοι και οι ημερολογιακές εφαρμογές δείχνουν ότι η αστρονομία διατηρούσε ενεργό ρόλο στην πνευματική και κοινωνική ζωή της αυτοκρατορίας. Παρότι το Βυζάντιο δεν ανέπτυξε μεγάλα παρατηρητήρια αντίστοιχα με εκείνα του ισλαμικού κόσμου, συνέχισε να καλλιεργεί μαθηματικές και αστρονομικές γνώσεις που επέτρεψαν τη διατήρηση και μετάδοση της ελληνικής επιστημονικής παράδοσης.

Συνολικά, τα αστρονομικά όργανα και οι υπολογιστικές μέθοδοι καταδεικνύουν ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν ήταν αποκλειστικά φιλολογική ή θεωρητική. Αντίθετα, συνδύαζε τη μαθηματική ανάλυση, την πρακτική εφαρμογή και τη φιλοσοφική ερμηνεία του κόσμου. Η σύνθεση αυτή αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της βυζαντινής επιστήμης και εξηγεί γιατί η αστρονομία παρέμεινε σημαντικό τμήμα της ανώτερης παιδείας μέχρι τους τελευταίους αιώνες της αυτοκρατορίας.

6.1 Τεχνικές Μέτρησης Χρόνου

Οι τεχνικές μέτρησης του χρόνου στο Βυζάντιο παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς αποκαλύπτουν τόσο τη συνέχεια της ελληνιστικής επιστημονικής παράδοσης όσο και την εξέλιξη της βυζαντινής τεχνολογίας. Η χρονομέτρηση κατά τη βυζαντινή περίοδο δεν ήταν ενιαία ούτε στατική, αλλά διαφοροποιήθηκε ανάλογα με τις ιστορικές περιόδους και τις τεχνολογικές επιρροές που δέχθηκε η αυτοκρατορία. Σύμφωνα με τη σχετική έρευνα, μπορούν να διακριθούν τρεις βασικές φάσεις εξέλιξης: η πρώτη, από τον 4ο έως τον 8ο αιώνα, όπου κυριαρχεί ακόμη η επίδραση της ελληνιστικής και ρωμαϊκής επιστήμης· η δεύτερη, από τον 8ο έως τον 10ο αιώνα, κατά την οποία παρατηρείται αλληλεπίδραση με την αραβική επιστήμη· και η τρίτη, από τον 11ο έως τον 15ο αιώνα, που χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ανάπτυξη των επιστημονικών κλάδων και έντονη τεχνολογική πρόοδο, περίοδος που έχει συνδεθεί με την «Παλαιολόγεια Αναγέννηση».

Οι πρώτες τεχνικές μέτρησης του χρόνου ήταν σχετικά απλές και βασίζονταν κυρίως σε φυσικά φαινόμενα ή σε καθημερινές πρακτικές. Μία από τις αρχαιότερες μεθόδους ήταν η χρήση

καιόμενων κεριών. Η τεχνική αυτή βασιζόταν στην ομοιόμορφη καύση του κεριού, το οποίο συχνά έφερε διαβαθμίσεις ώστε να υπολογίζεται η παρέλευση συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων. Ο βασιλιάς Αλφρέδος ο Μέγας (849-899), χρησιμοποιούσε έξι κεριά μήκους 12 ιντσών το καθένα. Καθώς 3 ίντσες σηματοδοτούσαν μία ώρα, κάθε κεριό καιγόταν σε 4 ώρες και έτσι χώρισε το 24ώρο σε 6 τετράωρα (Λάζος, 2005, σ. 39). Η μέθοδος αυτή φαίνεται ότι ήταν γνωστή και στην Ανατολή και συνδέεται με ευρύτερες πρακτικές χρονομέτρησης που χρησιμοποιούνταν και στο Βυζάντιο.

Παρόμοια λογική ακολουθούσε και η τεχνική της καύσης ράβδων από εύφλεκτο υλικό, ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Κίνα και στην Ιαπωνία. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνταν ραβδιά ή φυτίλια χωρισμένα σε ίσα τμήματα με κόμπους ή χαράξεις. Καθώς η φωτιά προχωρούσε σταδιακά, γινόταν δυνατός ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας που είχε περάσει. Η χρήση τέτοιων πρακτικών αποδεικνύει ότι η μέτρηση του χρόνου στηριζόταν συχνά σε εμπειρικές και πρακτικές μεθόδους, οι οποίες δεν απαιτούσαν πολύπλοκους μηχανισμούς (Λάζος, 2005, σ.40).



Εικόνα 1. Κινεζικό πυρο-ρολόι για τη μέτρηση του χρόνου

Μία ακόμη χαρακτηριστική μέθοδος ήταν ο υπολογισμός του χρόνου μέσω της απαγγελίας προσευχών ή αναγνώσεων ιερών κειμένων. Η πρακτική αυτή αποδίδεται στον Άγιο Αυγουστίνο του Canterbury, ο οποίος χρησιμοποιούσε την ανάγνωση συγκεκριμένων αποσπασμάτων από το Ψαλτήρι για να προσδιορίσει την ώρα της πρωινής προσευχής. Η τεχνική αυτή συνδεόταν άμεσα με τη μοναστική ζωή και τις καθημερινές θρησκευτικές υποχρεώσεις, δηλαδή η χρονομέτρηση χρειάστηκε και στη θρησκευτική ζωή (Λάζος, 2005, σ.40)

Παρά την απλότητά τους, οι παραπάνω μέθοδοι παρουσίαζαν σημαντικά προβλήματα ακρίβειας. Η μέτρηση του χρόνου επηρεαζόταν από ποικίλους εξωτερικούς παράγοντες, όπως η ποιότητα των κεριών, ο τρόπος καύσης, οι καιρικές συνθήκες ή ακόμη και η ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα, το παγωμένο νερό μπορούσε να καταστήσει άχρηστες τις κλεψύδρες, ενώ η συννεφιά περιόριζε τη λειτουργία των ηλιακών ρολογιών. Οι δυσκολίες αυτές οδήγησαν στη σταδιακή ανάπτυξη πιο σύνθετων και εξελιγμένων μηχανισμών μέτρησης του χρόνου.

Στο Βυζάντιο συναντώνται επίσης σημαντικά όργανα και μηχανισμοί χρονομέτρησης, τα οποία αποδεικνύουν το υψηλό επίπεδο της βυζαντινής τεχνολογίας. Ανάμεσά τους ξεχωρίζουν τα ηλιακά ρολόγια, οι κλεψύδρες, τα ωρολόγια με άμμο και κυρίως τα σύνθετα μηχανικά ρολόγια. Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί η αναφορά σε βυζαντινά μηχανικά ρολόγια ήδη από πρώιμες περιόδους, γεγονός που αμφισβητεί την άποψη ότι οι μηχανικοί αυτοί μηχανισμοί αποτελούσαν αποκλειστικά δυτικοευρωπαϊκή εφεύρεση. Παράλληλα, αναφέρονται εξελιγμένα υδραυλικά

ρολόγια, όπως εκείνα που αποδίδονται στη Γάζα ή στον Λέοντα τον Φιλόσοφο, καθώς και όργανα όπως ο αστρολάβος και το «μαθηματικό κόσμημα». Συμπεραίνουμε ότι η βυζαντινή τεχνολογία συνέχισε δημιουργικά την ελληνιστική επιστημονική παράδοση και συνέβαλε ουσιαστικά στην εξέλιξη της επιστήμης της χρονομέτρησης

6.2 Ο Αστρολάβος



Εικόνα 2 Βυζαντινός αστρολάβος από χαλκό, 11^{ος} αιώνας. Βρίσκεται στο Μουσείο της Μπρέσια.

Ο αστρολάβος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά όργανα της αρχαιότητας και του Βυζαντίου, συνδέοντας άμεσα τα μαθηματικά, την αστρονομία και τη μηχανική τεχνολογία. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο αστρονομικό όργανο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ώρας, την παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων, τη μέτρηση υψών και γωνιών, καθώς και για διάφορους αστρονομικούς και γεωγραφικούς υπολογισμούς. Η σημασία του υπήρξε τόσο μεγάλη, ώστε θεωρείται μία από τις σημαντικότερες ελληνικές επιστημονικές εφευρέσεις που διατηρήθηκαν και εξελίχθηκαν κατά τη βυζαντινή περίοδο.

Η προέλευση του αστρολάβου αποτέλεσε αντικείμενο έντονης επιστημονικής συζήτησης. Αν και κατά καιρούς αποδόθηκε σε διάφορους αρχαίους επιστήμονες, όπως ο Εύδοξος, ο Ίππαρχος ή ο Πτολεμαίος, η σύγχρονη έρευνα συγκλίνει στην άποψη ότι το όργανο αναπτύχθηκε σταδιακά μέσα στο πλαίσιο της ελληνιστικής επιστήμης (Λάζος, 2005, σ.81). Η μέθοδος που επέτρεπε την αναπαράσταση της ουράνιας σφαίρας πάνω σε επίπεδη επιφάνεια. Η ανάπτυξη της μεθόδου αυτής κατέστησε δυνατή την κατασκευή φορητών αστρονομικών οργάνων μεγάλης ακρίβειας.

Κατά την ελληνιστική περίοδο διαμορφώθηκαν οι βασικές αρχές λειτουργίας του αστρολάβου, ενώ στο Βυζάντιο το όργανο εξελίχθηκε περαιτέρω τόσο ως προς τη θεωρητική του τεκμηρίωση όσο και ως προς την πρακτική κατασκευή του. Οι Βυζαντινοί λόγιοι δεν περιορίστηκαν στη διατήρηση της αρχαίας γνώσης, αλλά συνέβαλαν ενεργά στην ανάπτυξη και διάδοση του οργάνου. Η χρήση του αστρολάβου συνδέθηκε όχι μόνο με την αστρονομία αλλά και με τη

μέτρηση του χρόνου, καθώς μπορούσε να λειτουργήσει ως ένα είδος πολύπλοκου αστρονομικού ρολογιού.

Από τους πρώτους σημαντικούς μελετητές του αστρολάβου υπήρξε ο Συνέσιος Κυρηναίος (370–413 μ.Χ.), φιλόσοφος και μαθηματικός, ο οποίος φαίνεται ότι κατασκεύασε και περιέγραψε αστρολάβο βασισμένο στις αρχές της πτολεμαϊκής αστρονομίας. Το έργο του θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη μορφή και τη χρήση του οργάνου κατά την ύστερη αρχαιότητα. Ο Συνέσιος αναφέρεται στη χρήση μεταλλικών δίσκων, χαραγμένων αστρονομικών κύκλων και κινητών τμημάτων που επέτρεπαν την πραγματοποίηση υπολογισμών σχετικών με τις κινήσεις των άστρων.

Σημαντική υπήρξε επίσης η συμβολή του Αμμωνίου του Φιλοσόφου κατά τον 6ο αιώνα. Το έργο του θεωρείται από τα αρχαιότερα σωζόμενα ελληνικά κείμενα που αφορούν αποκλειστικά τον αστρολάβο. Μέσα από τις περιγραφές του αποκαλύπτεται το υψηλό επίπεδο αστρονομικών και μαθηματικών γνώσεων της εποχής, καθώς και η στενή σχέση θεωρίας και τεχνολογικής εφαρμογής. Το γεγονός ότι το έργο του διασώθηκε και μελετήθηκε σε μεταγενέστερες περιόδους δείχνει τη διαχρονική σημασία του οργάνου στη βυζαντινή επιστημονική παράδοση (Λάζος, 2005, σ.87).

Κατά τον 6ο αιώνα έδρασε και ο Ιωάννης Φιλόπονος, ενός από τους σημαντικότερους επιστήμονες της ύστερης αρχαιότητας. Ο Φιλόπονος συνέγραψε το πρώτο πλήρες και σαφές έργο για τη χρήση και κατασκευή του αστρολάβου, τα μέρη του οργάνου και τις εφαρμογές του. Ιδιαίτερη έμφαση δινόταν στη χάραξη των γεωμετρικών κύκλων, στους υπολογισμούς των αστρονομικών θέσεων και στις πρακτικές δυνατότητες του οργάνου. Οι ιδέες του σχετικά με την κίνηση, την ορμή και την αδράνεια ήταν πρωτοποριακές και από αρκετούς χαρακτηρίστηκαν ανώτερες από αυτές του Κοπέρνικου και του Γαλιλαίου (Λάζος, 2005, σ.88-89).

Το ενδιαφέρον για τον αστρολάβο αναζωπυρώθηκε κατά την περίοδο της Παλαιολόγειας Αναγέννησης, από τον 13ο έως τον 15ο αιώνα. Κατά την εποχή αυτή παρατηρείται αυξημένη ενασχόληση με τις μαθηματικές και αστρονομικές επιστήμες, ενώ εμφανίζονται νέα συγγράμματα και μεταφράσεις σχετικές με το όργανο. Ο αστρολάβος χρησιμοποιήθηκε τόσο για αστρονομικές παρατηρήσεις όσο και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, αποδεικνύοντας τη σημαντική θέση που κατείχε στις βυζαντινές επιστημονικές σπουδές.

6.3 Ο Γνώμονας

Ο γνώμονας ήταν ένα από τα απλούστερα αλλά και σημαντικότερα αστρονομικά όργανα της αρχαιότητας. Ως γεωμετρικό εργαλείο είχε τη μορφή ορθογωνίου τριγώνου και χρησιμοποιούνταν αρχικά για τη χάραξη κάθετων ευθειών και ορθών γωνιών. Στην αστρονομική του εφαρμογή, η υποτείνουσα του τριγώνου λειτουργούσε ως στύλος, ο οποίος τοποθετούνταν έτσι ώστε να σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, δηλαδή να είναι παράλληλος προς τον άξονα περιστροφής της Γης. Η παρακολούθηση της σκιάς που δημιουργούσε ο Ήλιος και των μεταβολών τόσο στη θέση όσο και στο μήκος της επέτρεπε τον υπολογισμό της διάρκειας της ημέρας, καθώς και τον προσδιορισμό των ωρών με αρκετή ακρίβεια (Βούρα Σ., 2023, σσ. 12).

Αρχικά, ο γνώμονας χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την παρατήρηση των ηλιοστασίων και των

ισημεριών, δηλαδή των σημαντικότερων σημείων του ετήσιου ηλιακού κύκλου. Από τη μεταβολή του μήκους της σκιάς του κατά το ηλιακό μεσημέρι ήταν δυνατό να προσδιοριστούν οι ημέρες των τροπών του Ήλιου. Κατά το θερινό ηλιοστάσιο, όταν ο Ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της ετήσιας φαινόμενης πορείας του στον ουρανό για το βόρειο ημισφαίριο, η μεσημβρινή σκιά του γνώμονα αποκτά το μικρότερο μήκος της. Αντίθετα, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, όταν ο Ήλιος εμφανίζεται στο χαμηλότερο σημείο της πορείας του, η σκιά του γνώμονα γίνεται η μεγαλύτερη. Η παρατήρηση αυτών των μεταβολών επέτρεπε τον ακριβή προσδιορισμό των εποχικών μεταβολών και τη διάκριση των σημαντικότερων χρονικών στιγμών του έτους.

Οι δυνατότητες του γνώμονα δεν περιορίζονταν μόνο στην παρατήρηση των ηλιοστασίων. Το όργανο χρησιμοποιήθηκε επίσης για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου, τον καθορισμό του τοπικού μεσημβρινού, τον υπολογισμό του αληθούς ηλιακού χρόνου, καθώς και για τον προσανατολισμό μέσω του εντοπισμού των τεσσάρων σημείων του ορίζοντα. Για τον λόγο αυτό αποτέλεσε ένα από τα βασικότερα αστρονομικά όργανα της αρχαιότητας, συνδυάζοντας απλή κατασκευή με σημαντικές πρακτικές εφαρμογές.

Η χρήση του γνώμονα συνδέεται με σημαντικές μορφές της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, όπως ο Αναξίμανδρος ο Μιλήσιος, ο Πυθέας ο Μασσαλιώτης, ο Αρχιμήδης και ο Ίππαρχος. Σύμφωνα με τον Ευσέβιο Καισαρείας, στο έργο *Ευαγγελική Προπαρασκευή*, ο Αναξίμανδρος θεωρείται ο πρώτος που κατασκεύασε και αξιοποίησε τον γνώμονα για τον προσδιορισμό των εποχών, των ηλιοστασίων, των ισημεριών και των ωρών της ημέρας. Αναφορές στη χρήση του οργάνου συναντώνται επίσης στον Πρόκλο, ο οποίος στα σχόλιά του στα *Στοιχεία* του Ευκλείδη αναφέρεται στον γνώμονα ως μέσο μέτρησης του χρόνου.

Η διατήρηση σχετικών αναφορών σε βυζαντινά έργα υποδηλώνει ότι η χρήση του γνώμονα δεν εγκαταλείφθηκε κατά τη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου. Αντίθετα, οι μαρτυρίες αυτές δείχνουν ότι το όργανο συνέχισε να αξιοποιείται τόσο για αστρονομικές παρατηρήσεις όσο και για τη μέτρηση του χρόνου, αποτελώντας χαρακτηριστικό παράδειγμα της συνέχειας της αρχαιοελληνικής αστρονομικής παράδοσης στο βυζαντινό επιστημονικό περιβάλλον.

6.4 Ηλιακά Ρολόγια

Τα αρχαιότερα γνωστά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του χρόνου με τη βοήθεια του Ήλιου ήταν οι οβελίσκοι, δηλαδή κατακόρυφοι λίθινοι στύλοι μεγάλου ύψους, οι οποίοι εμφανίζονται ήδη από το 3500 π.Χ. Η χρήση τους υπήρξε διαδεδομένη σε πολλούς αρχαίους πολιτισμούς, γεγονός που τους καθιστά όργανα παγκόσμιας εμβέλειας. Η λειτουργία τους βασιζόταν στην ίδια αρχή με εκείνη των γνωμών, δηλαδή στην παρατήρηση της σκιάς που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία (Βούρα Σ., 2023, σ.13).

Από αυτήν την αρχή εξελίχθηκαν τα ηλιακά ρολόγια, γνωστά και ως σκιαθηρικά, επειδή προσδιορίζουν την ώρα μέσω της μεταβολής της σκιάς που προκαλεί ο Ήλιος. Ηλιακά ρολόγια κατασκεύασαν διάφοροι λαοί, όπως οι Αιγύπτιοι, οι Βαβυλώνιοι και οι Κινέζοι, ενώ σχετικές αναφορές συναντώνται και στην Παλαιά Διαθήκη, όπου περιγράφονται όργανα αντίστοιχου τύπου με εκείνα των Αιγυπτίων και των Βαβυλωνίων.

Η ουσιαστική επιστημονική εξέλιξη των ηλιακών ωρολογίων αποδίδεται στους Αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι διατύπωσαν και εφάρμοσαν τις απαραίτητες μαθηματικές και αστρονομικές

αρχές για την κατασκευή ιδιαίτερα ακριβών οργάνων, των οποίων οι επιφάνειες δεν περιορίζονταν μόνο στο επίπεδο σχήμα (Rossi, Russo & Russo, 2009, σσ. 29–31).

Ανάλογα με τις διαστάσεις και τον τρόπο κατασκευής τους, τα ηλιακά ρολόγια διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: στα σταθερά (στατικά) και στα φορητά.

6.4.α. Σταθερά Ηλιακά Ωρολόγια

Τα σταθερά ηλιακά ωρολόγια κατασκευάζονταν συνήθως από λίθο ή μάρμαρο διαφορετικής ποιότητας και τοποθετούνταν μόνιμα σε σταθερή βάση. Αποτελούνταν από την ωρολογόπλακα, δηλαδή την επιφάνεια πάνω στην οποία χαράσσονταν οι ενδείξεις του χρόνου, και από έναν μεταλλικό γνώμονα, συνήθως κατασκευασμένο από σίδηρο ή μπρούντζο. Ο γνώμονας ήταν στερεωμένος στην πλάκα με κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα περιστροφής της Γης, δείχνοντας προς τον βορρά. Η γωνία που σχημάτιζε με τον ορίζοντα ήταν ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα κάθε σταθερό ηλιακό ρολόι να λειτουργεί με ακρίβεια μόνο στον τόπο για τον οποίο είχε σχεδιαστεί ή σε περιοχές που βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό (Βούρα Σ., 2023, σσ.14).

Στην επιφάνεια της ωρολογόπλακας χαράσσονταν οι ωρικές γραμμές, οι οποίες ξεκινούσαν από το σημείο στήριξης του γνώμονα και επέτρεπαν τον προσδιορισμό της ώρας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παράλληλα, υπήρχαν χαραγμένες καμπύλες που αντιστοιχούσαν στη φαινόμενη πορεία του Ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο, καθώς και κατά τις ισημερίες. Με τη βοήθεια αυτών των καμπυλών μπορούσε να προσδιοριστεί και η εποχή του έτους, με αποτέλεσμα το ηλιακό ρολόι να λειτουργεί ταυτόχρονα και ως ημερολόγιο.

Τα σταθερά ηλιακά ωρολόγια ταξινομούνταν είτε ανάλογα με το σχήμα της ωρολογόπλακας είτε σύμφωνα με τον προσανατολισμό της. Ως προς το σχήμα διακρίνονταν σε επίπεδα, κυλινδρικά, κωνικά και σφαιρικά. Ως προς τον προσανατολισμό τους διακρίνονταν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Ισημερινά ηλιακά ωρολόγια**, στα οποία η ωρολογόπλακα ήταν παράλληλη προς το ισημερινό επίπεδο της Γης και αποτελούσαν τον απλούστερο τύπο.
- **Οριζόντια ηλιακά ωρολόγια**, όπου η ωρολογόπλακα ήταν τοποθετημένη σε οριζόντιο επίπεδο.
- **Κατακόρυφα ηλιακά ωρολόγια**, στα οποία η ωρολογόπλακα ήταν κατακόρυφη και συνήθως ενσωματωνόταν στις όψεις ή στους τοίχους κτιρίων.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω τύπων ήταν ότι ο γνώμονας παρέμενε πάντοτε παράλληλος προς τον άξονα περιστροφής της Γης.

Οι πρώτες αναφορές για την κατασκευή ηλιακών ωρολογίων στον ελληνικό χώρο συνδέονται με τον Αναξίμανδρο τον Μιλήσιο, ο οποίος θεωρείται από πολλούς ο πρώτος Έλληνας δημιουργός τέτοιων οργάνων γύρω στο 560 π.Χ. Σύμφωνα με τον Ρωμαίο συγγραφέα Πλίνιο, η κατασκευή ηλιακών ρολογιών αποδίδεται επίσης στον Αναξιμένη στη Σπάρτη και στον Φερεκύδη τον Σύριο κατά τον 5ο αιώνα π.Χ. Παράλληλα, ο Δημόκριτος συνέγραψε πραγματεία σχετικά με την κατασκευή ενός σφαιρικού ηλιακού ρολογιού, το οποίο αποτελούνταν από ένα κοίλο ημισφαίριο με γνώμονα τοποθετημένο στο κέντρο του.

Σημαντική υπήρξε και η συμβολή πολλών ακόμη Ελλήνων αστρονόμων και μαθηματικών στην εξέλιξη των ηλιακών ωρολογίων. Ανάμεσά τους συγκαταλέγονται ο Εύδοξος ο Κνίδιος (409–356 π.Χ.), ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310–250 π.Χ.) και ο Απολλώνιος ο Περγαίος (261–191 ή 179 π.Χ.), οι οποίοι συνέβαλαν τόσο στη μελέτη της μέτρησης του χρόνου όσο και στη βελτίωση της κατασκευής των ηλιακών ρολογιών.

Κατά τον 3ο αιώνα π.Χ. η τεχνολογία των ηλιακών ωρολογίων είχε φτάσει σε ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο ανάπτυξης. Την περίοδο αυτή εμφανίστηκαν τα πρώτα κωνικά ηλιακά ρολόγια, των οποίων η επινόηση αποδίδεται στον Διονυσόδωρο από την Καύνο. Όπως αναφέρουν ο

Βιτρούβιος και αργότερα ο Εύτοκος, ο Διονυσόδωρος κατόρθωσε να επιλύσει το μαθηματικό πρόβλημα της διαίρεσης της σφαίρας σε τμήματα καθορισμένης αναλογίας, γεγονός που επέτρεψε την ανάπτυξη αυτού του νέου τύπου ηλιακού ρολογιού.

Κατά την ύστερη αρχαιότητα και ιδιαίτερα στη μεσαιωνική Δυτική Ευρώπη, η χρήση των ηλιακών ωρολογίων γνώρισε μεγάλη διάδοση, ακόμη και σε περιοχές με περιορισμένη ηλιοφάνεια, όπως η Αγγλία. Αντίθετα, στη Βυζαντινή Ελλάδα, όπου οι κλιματικές συνθήκες ευνοούσαν τη λειτουργία τους σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, έχουν καταγραφεί μόλις έντεκα σταθερά ηλιακά ρολόγια. Τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται χαραγμένα σε βυζαντινούς ναούς και ανήκουν στον κατακόρυφο τύπο. Ωστόσο, μόνο δύο θεωρείται με βεβαιότητα ότι κατασκευάστηκαν ταυτόχρονα με τους ναούς, ενώ για τα υπόλοιπα δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο να προστέθηκαν σε μεταγενέστερες περιόδους.

Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι τα βυζαντινά ηλιακά ωρολόγια κατασκευάστηκαν κυρίως σε περιοχές της Ελλάδας που βρέθηκαν υπό δυτική κυριαρχία κατά τον Μεσαίωνα και πιθανότατα δημιουργήθηκαν από τους ίδιους τους Δυτικούς κατακτητές. Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι σε σημαντικά βυζαντινά κέντρα, όπως η Κωνσταντινούπολη, η Θεσσαλονίκη, η Άρτα και ο Μυστράς, όπου δεν υπήρξε αντίστοιχη δυτική παρουσία, δεν έχουν εντοπιστεί ηλιακά ωρολόγια σε ναούς. Αντίθετα, στη μεσαιωνική Δύση ήταν συνηθισμένη πρακτική η τοποθέτηση ηλιακών ρολογιών στις εξωτερικές επιφάνειες εκκλησιών.

Η περιορισμένη παρουσία ηλιακών ωρολογίων στους βυζαντινούς ναούς πιθανόν να σχετίζεται με τη διαφορετική αντίληψη για τον χρόνο που επικρατούσε στην ορθόδοξη Ανατολή σε σύγκριση με τη λατινική Δύση. Σύμφωνα με αυτήν την ερμηνεία, η μέτρηση του χρόνου μέσω του Ήλιου, ο οποίος είχε συνδεθεί με προχριστιανικές λατρείες, ίσως θεωρούνταν ακατάλληλη για έναν ιερό χώρο. Επιπλέον, ο ορθόδοξος ναός αντιμετωπιζόταν ως χώρος όπου κυριαρχεί η έννοια της αιωνιότητας και όχι της ανθρώπινης χρονικής μέτρησης, γεγονός που ενδεχομένως εξηγεί την απουσία ηλιακών ρολογιών από τους περισσότερους βυζαντινούς ναούς.



Εικόνα 3. Μαρμάρινο ηλιακό ρολόι, κωνικού τύπου. Ύψος: 0.32 μ., μήκος: 0.385 μ. Σώζεται σχεδόν ολόκληρο, συγκολλημένο από δύο τμήματα. Ο υπολογισμός της ώρας γινόταν με τις ακτίνες του ήλιου που έπεφταν στην κωνική επιφάνεια του ρολογιού, σχηματίζοντας κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ίση με τη γωνία που σχηματίζει ο ισημερινός με τον ορίζοντα του τόπου. (Μπαρλαμπάς, 2017)

6.4.β Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια

Τα φορητά ηλιακά ωρολόγια ήταν μικρών διαστάσεων και συνήθως κατασκευάζονταν από μπρούντζο, ώστε να είναι ανθεκτικά αλλά και εύκολα στη μεταφορά. Χάρη στο μικρό τους μέγεθος, μπορούσαν να συνοδεύουν τον κάτοχό τους στα ταξίδια του, αποτελώντας πρακτικά όργανα για τον προσδιορισμό του χρόνου. Παρότι εμφανίζονταν ως απλές κατασκευές, ο σχεδιασμός τους στηριζόταν σε πολύπλοκους μαθηματικούς και αστρονομικούς υπολογισμούς, γεγονός που αποδεικνύει το υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας που απαιτούσε η κατασκευή τους.

Οι γνώσεις που διαθέτουμε σήμερα για τα φορητά ηλιακά ωρολόγια προέρχονται τόσο από τα σωζόμενα αρχαιολογικά ευρήματα όσο και από τις περιγραφές του Βιτρούβιου, ο οποίος τα διακρίνει σε τρεις βασικές κατηγορίες.

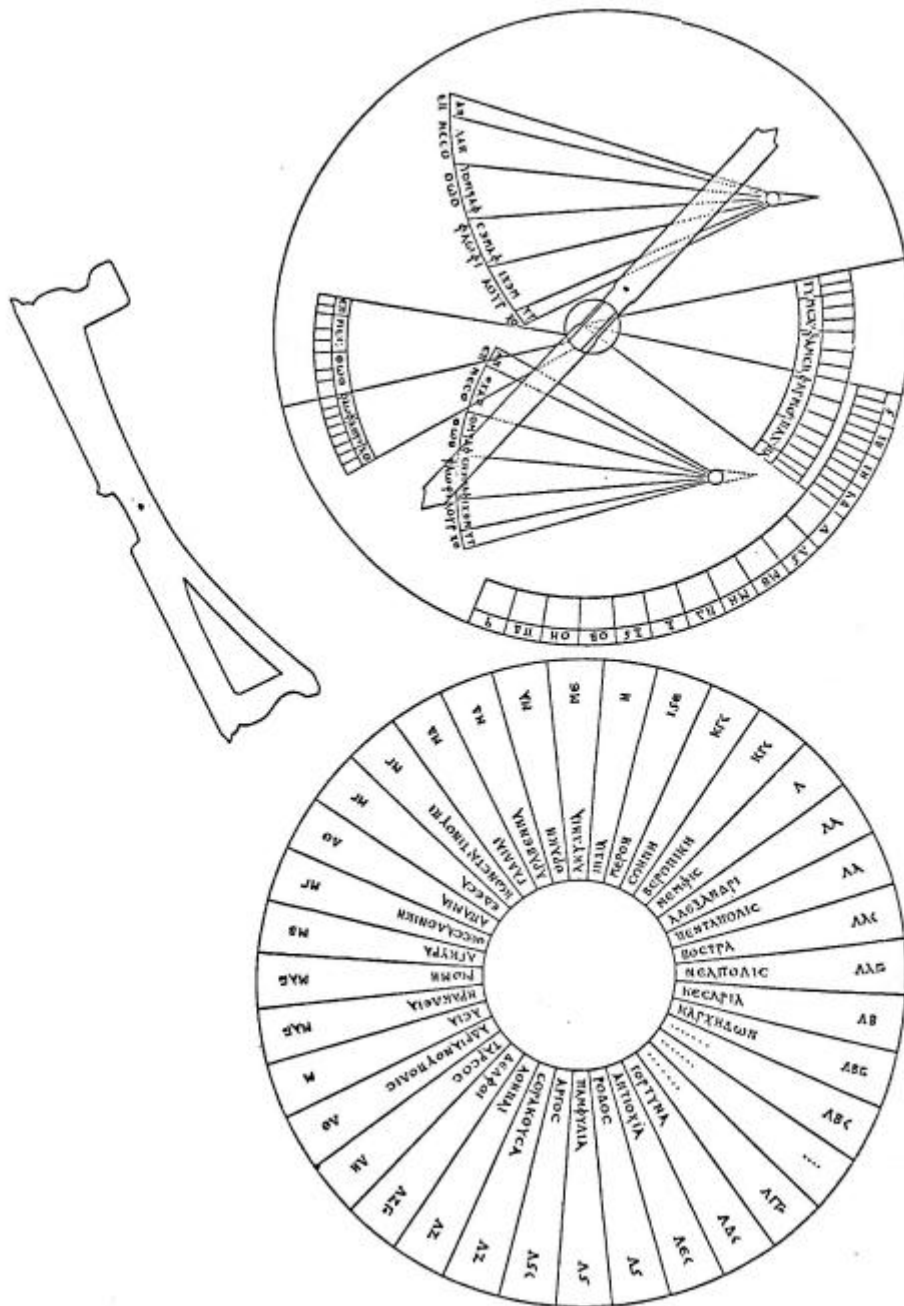
Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα «Viatoria Pensilia», τα οποία θεωρείται ότι ήταν κρεμαστά ηλιακά ωρολόγια, σχεδιασμένα να λειτουργούν σε συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος.

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα «προς τα ιστορούμενα», τα οποία είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται σε περισσότερα από ένα γεωγραφικά πλάτη, καθώς διέθεταν περισσότερες από μία ωρολογόπλακες. Η επινόηση αυτού του τύπου αποδίδεται στον Παρμενίωνα, ο οποίος έζησε περίπου το 280 π.Χ.

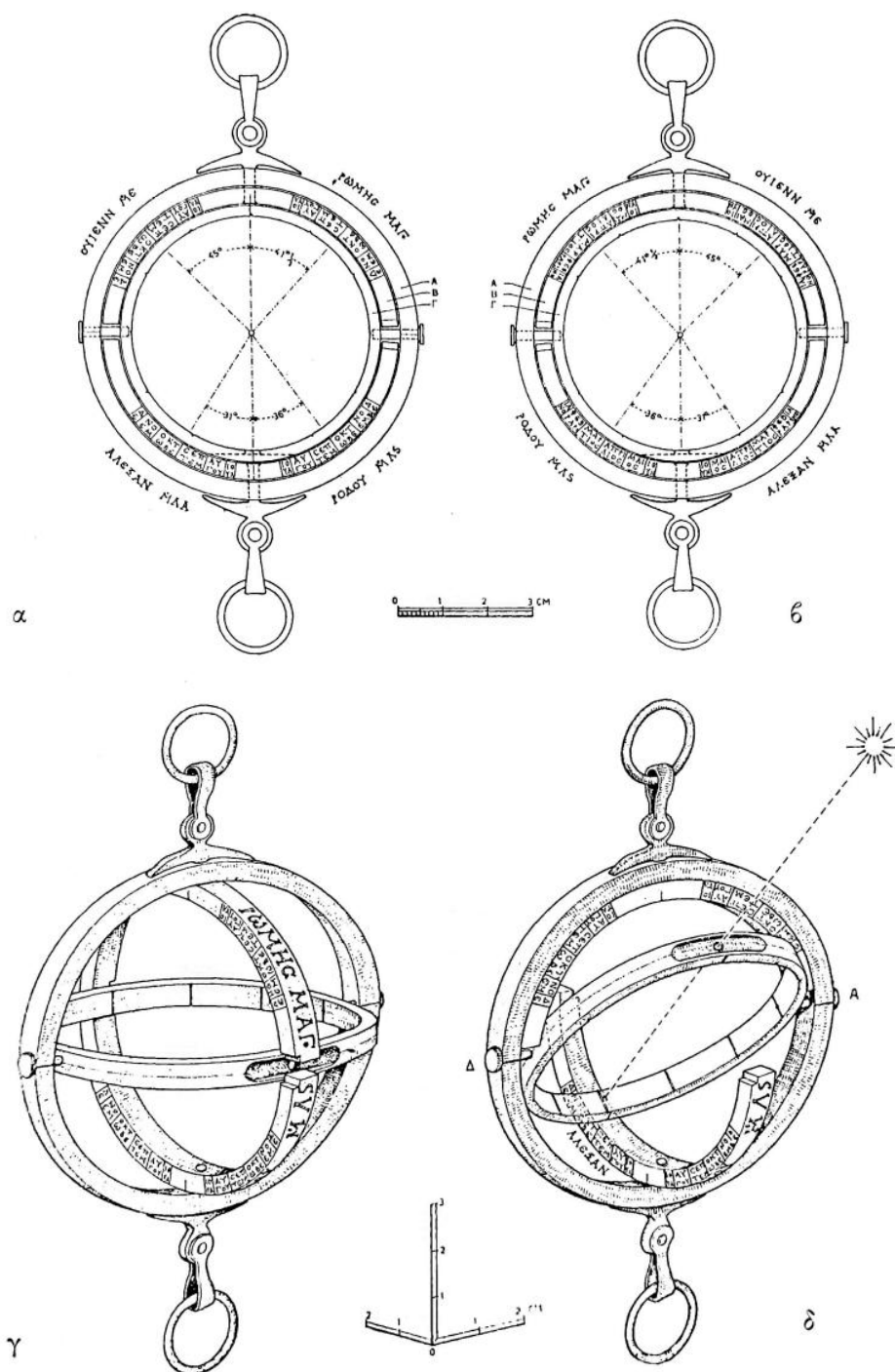
Τέλος, στην κατηγορία «προς παν κλίμα» ανήκαν τα πλέον εξελιγμένα φορητά ηλιακά ωρολόγια. Με την κατάλληλη ρύθμιση μπορούσαν να λειτουργούν σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος, επιτρέποντας όχι μόνο τον προσδιορισμό της ώρας αλλά και τον εντοπισμό της διεύθυνσης του τοπικού μεσημβρινού (Βούρα Σ., 2023, σσ. 16)

Ανάμεσα στα σημαντικότερα παραδείγματα συγκαταλέγεται το ρολόι Tischendorf, το οποίο βρέθηκε στη Μέμφιδα και φέρει ελληνικές επιγραφές. Το όργανο αυτό θεωρείται εξαιρετικά σημαντικό, καθώς συνδυάζει γεωγραφικές και αστρονομικές πληροφορίες με μηχανισμούς μέτρησης του χρόνου. Αντίστοιχα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το ηλιακό ρολόι της Αφροδισιάδας, το οποίο χρονολογείται πιθανώς στον 3ο αιώνα μ.Χ. και περιλαμβάνει ενδείξεις γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι τα ηλιακά ρολόγια δεν περιορίζονταν μόνο στη χρονομέτρηση αλλά λειτουργούσαν και ως επιστημονικά όργανα αστρονομικών και γεωγραφικών υπολογισμών.

Ξεχωριστή θέση κατέχει το ηλιακό ρολόι των Φιλίππων, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1965 κατά τη διάρκεια ανασκαφών. Πρόκειται για ένα σύνθετο όργανο, αποτελούμενο από δακτυλίους και περιστρεφόμενους μηχανισμούς, που επέτρεπαν όχι μόνο τη μέτρηση της ώρας αλλά και τον υπολογισμό γεωγραφικών πλατών, αζιμούθιων και άλλων αστρονομικών δεδομένων. Η πολυπλοκότητα του μηχανισμού αυτού δείχνει το υψηλό επίπεδο τεχνικής και μαθηματικής γνώσης που είχε αναπτυχθεί στον βυζαντινό κόσμο και αποκαλύπτει τη στενή σύνδεση της αστρονομίας με την τεχνολογία της χρονομέτρησης.



Εικόνα 4. Φορητό βυζαντινό ηλιακό ρολόι με ελληνικές επιγραφές, γνωστό και ως «Ρολόι Tischendorf».



Εικόνα 5. Αναπαράσταση του χάλκινου φορητού ρολογιού των Φιλιππίνων. Σε κατάσταση αποθήκευσης (α-β), με ανεπτυγμένους τους δακτυλίους και ημιδακτύλιους (γ) και σε λειτουργία (δ).

6.5 Μηχανικά Ωρολόγια

Τα μηχανικά ρολόγια αποτελούν μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις της μεσαιωνικής περιόδου και συνδέονται άμεσα με την πρόοδο της αστρονομίας και της μηχανικής. Η παραδοσιακή άποψη της δυτικής ιστοριογραφίας υποστήριζε ότι τα πρώτα μηχανικά ρολόγια εμφανίστηκαν στη Δυτική Ευρώπη κατά τον 14ο αιώνα. Ωστόσο, οι βυζαντινές πηγές και οι σχετικές μελέτες δείχνουν ότι ήδη από τον 10ο αιώνα υπήρχαν στο Βυζάντιο μηχανισμοί χρονομέτρησης με χαρακτηριστικά που παραπέμπουν σε μηχανικά ρολόγια. Οι πληροφορίες αυτές αποδεικνύουν ότι η βυζαντινή τεχνολογία συνέχισε και εξέλιξε την ελληνιστική μηχανική παράδοση.

Σημαντικές πληροφορίες για τα βυζαντινά ωρολόγια παρέχει ο Φαίδων Κουκουλές, ο οποίος αναφέρει ότι στις βυζαντινές οικίες και στα μοναστήρια χρησιμοποιούνταν διάφορα είδη ρολογιών, μεταξύ των οποίων ηλιακά ρολόγια, μεταλλικά ωρολόγια και μηχανικές κλεψύδρες. Παράλληλα, πηγές όπως ο Γρηγόριος Νύσσης κάνουν λόγο για «ωροσκοπικά θαύματα» από χαλκό και νερό, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη εξελιγμένων υδραυλικών ή μηχανικών κατασκευών. Ο Κωνσταντίνος Πορφυρογέννητος αναφέρει επίσης μικρά αργυρά και χάλκινα ωρολόγια που χρησιμοποιούνταν για τη μέτρηση των νυχτερινών ωρών, ενώ ο Λέων ο Διάκονος σημειώνει ότι κατά την εποχή του Νικηφόρου Φωκά υπήρχαν μεταλλικά ρολόγια που σήμαιναν τις ώρες. Οι μαρτυρίες αυτές έχουν μεγάλη σημασία, καθώς προϋποθέτουν την ύπαρξη μηχανισμών παραγωγής ήχου και συστημάτων αυτοματισμού (Λάζος, 2005, σ. 71-72)

Η εξέλιξη των μηχανικών ρολογιών συνδέεται στενά με τα υδραυλικά ρολόγια της αρχαιότητας και της ελληνιστικής περιόδου. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ήδη αναπτύξει σύνθετες κλεψύδρες και αυτοματοποιημένους μηχανισμούς που λειτουργούσαν με τη ροή του νερού. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούσαν πλωτήρες, τροχαλίες και δείκτες για τη μέτρηση του χρόνου και αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη πιο πολύπλοκων μηχανισμών. Σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν επίσης οι αστρονομικοί μηχανισμοί, όπως τα πλανητάρια και οι κινούμενοι αστρικοί χάρτες, οι οποίοι απαιτούσαν υψηλή τεχνογνωσία στην κατασκευή γραναζιών και μηχανικών συστημάτων.

Το βασικό χαρακτηριστικό του μηχανικού ρολογιού ήταν η χρήση οδοντωτών τροχών και μηχανισμού διαφυγής. Η κίνηση παραγόταν από ένα βάρος που κατέβαινε σταδιακά και μεταδιδόταν μέσω ενός συστήματος γραναζιών. Ο μηχανισμός διαφυγής ρύθμιζε την ταχύτητα περιστροφής και επέτρεπε την περιοδική κίνηση των δεικτών. Παράλληλα, χρησιμοποιούνταν σύστημα αντιστάθμισης, το οποίο συνέβαλλε στη σταθερότητα της λειτουργίας (Λάζος X., 2005, σσ. 75) Αν και οι μηχανισμοί αυτοί θεωρούνται χαρακτηριστικό της δυτικής μεσαιωνικής τεχνολογίας, οι βυζαντινές αναφορές υποδηλώνουν ότι αντίστοιχες κατασκευές υπήρχαν ήδη νωρίτερα στην Ανατολή.

Κατά τον 14ο και 15ο αιώνα τα μηχανικά ρολόγια διαδόθηκαν ευρύτερα στην Ευρώπη και τοποθετήθηκαν σε δημόσια κτίρια, μοναστήρια και πύργους. Η χρήση τους συνέβαλε στη σταδιακή καθιέρωση των ίσων ωρών και στην αντικατάσταση του παλαιότερου συστήματος των άνισων ωρών που χρησιμοποιούνταν στο εκκλησιαστικό τυπικό. Η διάσπαση της ώρας σε λεπτά και δευτερόλεπτα αποτέλεσε σημαντικό βήμα για την ακριβέστερη επιστημονική μέτρηση του χρόνου και άνοιξε τον δρόμο για την ανάπτυξη της φυσικής και της μηχανικής κατά τους επόμενους αιώνες.

Η έκταση της ενασχόλησης με την «ώρα» φαίνεται από το θεσμό των «ωρολόγων», δηλαδή των υπαλλήλων που ήταν υπεύθυνοι για τη ρύθμιση και τη συντήρηση των ρολογιών στα

αυτοκρατορικά ανάκτορα (Λάζος Χ., 2005, σσ. 77). Η ύπαρξη ειδικών τεχνικών για τη λειτουργία των ωρολογίων υποδηλώνει ότι επρόκειτο για πολύπλοκους μηχανισμούς που απαιτούσαν εξειδικευμένη γνώση. Παράλληλα, αναφέρεται και το «Κτίριον του Ωρολογίου» κοντά στην Αγία Σοφία, το οποίο σύμφωνα με ορισμένους μελετητές ίσως αποτελούσε είτε χώρο συγκέντρωσης διαφόρων ρολογιών είτε ένα μεγάλο μηχανικό ωρολόγιο. Οι αναφορές αυτές ενισχύουν την άποψη ότι η βυζαντινή κοινωνία είχε καταφέρει να έχει στη διάθεσή της προχωρημένη τεχνολογία χρονομέτρησης.

Αξίζει να αναφέρουμε το περίφημο ρολόι της Γάζας, το οποίο περιγράφεται ως ένα πολυσύνθετο μηχανικό κατασκεύασμα με κινούμενες μορφές και αυτοματισμούς. Σημαντικό επίτευγμα της βυζαντινής μηχανικής και αποδεικνύει ότι οι Βυζαντινοί είχαν αναπτύξει μηχανικές κατασκευές εξαιρετικής πολυπλοκότητας ήδη από τους πρώτους μεταχριστιανικούς αιώνες. Παρόμοιες κατασκευές αποδίδονται και στον Λέοντα τον Φιλόσοφο, ο οποίος είχε εγκαταστήσει μηχανικά συστήματα και αυτοματισμούς στην Κωνσταντινούπολη.

Η διάδοση της τεχνογνωσίας των μηχανικών ρολογιών στη Δυτική Ευρώπη φαίνεται ότι πραγματοποιήθηκε μέσω των επαφών της Δύσης με το Βυζάντιο και τον αραβικό κόσμο. Οι Βυζαντινοί αυτοκράτορες συνήθιζαν να προσφέρουν τεχνολογικά επιτεύγματα ως διπλωματικά δώρα, ενώ η μετάφραση ελληνικών επιστημονικών κειμένων στα λατινικά συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των σχετικών γνώσεων.

Ξεχωριστή μορφή της περιόδου αυτής υπήρξε ο Νικηφόρος Γρηγοράς (1295–1361), ένας από τους σημαντικότερους βυζαντινούς λογίους και αστρονόμους. Ο Γρηγοράς ασχολήθηκε συστηματικά με την αστρονομία και συνέγραψε έργα σχετικά με τον αστρολάβο, τη χρήση του και τη γεωμετρική του κατασκευή. Παράλληλα, φαίνεται ότι επιχείρησε να συνδυάσει τη θεωρητική γνώση με πρακτικές εφαρμογές, παρουσιάζοντας οδηγίες για την κατασκευή και αξιοποίηση του οργάνου. Οι εργασίες του αποτελούν σημαντική πηγή για τη μελέτη της βυζαντινής αστρονομίας και της επιστημονικής μεθοδολογίας της εποχής.

Σημαντική υπήρξε επίσης η συμβολή του Ισαάκ Αργυρού (1310–1372), ο οποίος συνέγραψε έργα για την κατασκευή και χρήση του αστρολάβου. Τα κείμενά του περιλάμβαναν οδηγίες σχετικά με τη χάραξη των γεωμετρικών γραμμών, τη χρήση των μεταλλικών δίσκων και την πραγματοποίηση αστρονομικών υπολογισμών.

Η επίδραση του αστρολάβου υπήρξε καθοριστική τόσο στον βυζαντινό όσο και στον αραβικό και δυτικοευρωπαϊκό κόσμο. Μέσω των μεταφράσεων ελληνικών επιστημονικών έργων στα αραβικά και αργότερα στα λατινικά, η γνώση σχετικά με τον αστρολάβο διαδόθηκε ευρύτατα και συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της μεσαιωνικής αστρονομίας. Το όργανο αποτέλεσε βασικό εργαλείο για αστρονόμους, ναυτικούς και μαθηματικούς.

6.6 Το Βυζαντινό Ρολόι – Ημερολόγιο

Το βυζαντινό ρολόι-ημερολόγιο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά και αστρονομικά επιτεύγματα της βυζαντινής επιστήμης. Το ενδιαφέρον για το όργανο αυτό αναζωπυρώθηκε μετά την ανακάλυψη τεσσάρων χάλκινων τμημάτων του σε παλαιοπωλείο του Λιβάνου το 1980. Οι ερευνητές J.V. Field και M. T. Wright μελέτησαν τα ευρήματα και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι επρόκειτο για ένα σύνθετο βυζαντινό αστρονομικό όργανο, το οποίο ονόμασαν «βυζαντινό ηλιακό ρολόι-ημερολόγιο» (Λάζος X, 2005, σσ. 152). Το εύρημα θεωρήθηκε εξαιρετικά σημαντικό, καθώς παρουσιάζει εντυπωσιακές ομοιότητες με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων.

Το όργανο φαίνεται ότι λειτουργούσε ως φορητό αστρονομικό ημερολόγιο και υπολογιστικός μηχανισμός. Η κατασκευή του βασιζόταν σε χάλκινους δίσκους, γρανάζια και κινητά μέρη, τα οποία επέτρεπαν την πραγματοποίηση αστρονομικών υπολογισμών με μεγάλη ακρίβεια. Οι ερευνητές υποστήριζαν ότι η τεχνολογία του παρουσιάζει συγγένεια τόσο με τα ελληνιστικά αστρονομικά όργανα όσο και με μεταγενέστερους βυζαντινούς μηχανισμούς.

Η χρονολόγηση του οργάνου πραγματοποιήθηκε κυρίως μέσω των γεωγραφικών ενδείξεων που ήταν χαραγμένες πάνω στα σωζόμενα τμήματά του. Οι επιγραφές περιλάμβαναν ονόματα πόλεων και γεωγραφικά πλάτη, όπως η Κωνσταντινούπολη, η Αθήνα, η Ρώμη και η Αλεξάνδρεια. Με βάση τα στοιχεία αυτά, οι μελετητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το όργανο κατασκευάστηκε πιθανότατα μεταξύ 479 και 534 μ.Χ. (Λάζος, 2005, σ.157), πιθανώς σε περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου ή της ίδιας της Κωνσταντινούπολης. Η χρήση ελληνικών επιγραφών και η τεχνική κατασκευής ενισχύουν την άποψη ότι πρόκειται για προϊόν βυζαντινής τεχνολογίας.

Το ρολόι-ημερολόγιο αποτελούνταν από δίσκους με χαραγμένες κλίμακες, γεωγραφικές ενδείξεις και κινητούς μηχανισμούς. Στην περιφέρειά του υπήρχαν διαβαθμίσεις που αντιστοιχούσαν στους μήνες και στις ημέρες, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο λεγόμενος «κύκλος της εβδομάδας». Ο κύκλος αυτός περιλάμβανε τις επτά ημέρες της εβδομάδας και τους αντίστοιχους πλανήτες ή ουράνιες θεότητες που συνδέονταν με αυτές, σύμφωνα με την αρχαία αστρονομική παράδοση. Οι ονομασίες των ημερών —Ήλιος, Σελήνη, Άρης, Ερμής, Δίας, Αφροδίτη και Κρόνος— φανερώνουν τη στενή σχέση της χρονομέτρησης με την ελληνική αστρονομία και την πλανητική θεωρία (Λάζος, 2005, σ.164).

Η λειτουργία του μηχανισμού βασιζόταν σε σύστημα γραναζιών και αξόνων, τα οποία επέτρεπαν την περιστροφή των δίσκων και τη μεταβολή των ενδείξεων. Οι μελετητές υπέθεσαν ότι το όργανο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο για τον προσδιορισμό του χρόνου όσο και για αστρονομικούς υπολογισμούς σχετικούς με τις κινήσεις του Ήλιου και της Σελήνης. Παράλληλα, φαίνεται ότι είχε τη δυνατότητα να προσαρμόζεται σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, στοιχείο που μαρτυρεί υψηλό επίπεδο μαθηματικής και αστρονομικής γνώσης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η σχέση του βυζαντινού ρολογιού-ημερολογίου με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων. Οι ομοιότητες ως προς τη χρήση γραναζιών, τη διάταξη των δίσκων και τον υπολογισμό αστρονομικών κύκλων υποδηλώνουν ότι υπήρχε μια μακρά τεχνολογική παράδοση που ξεκινούσε από την ελληνιστική περίοδο και συνέχιζε να εξελίσσεται στο Βυζάντιο.

Το βυζαντινό ρολόι-ημερολόγιο παρουσιάζει επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τη σχέση επιστήμης και καθημερινής ζωής. Η χρήση ημερολογιακών και αστρονομικών ενδείξεων δείχνει ότι το όργανο δεν εξυπηρετούσε μόνο θεωρητικούς υπολογισμούς αλλά και πρακτικές ανάγκες, όπως η μέτρηση του χρόνου, η οργάνωση των ημερών και ο προσδιορισμός εορτών ή αστρονομικών φαινομένων. Έτσι, το όργανο αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της εφαρμογής των μαθηματικών και της αστρονομίας στην καθημερινή ζωή του βυζαντινού κόσμου. Η μελέτη του βυζαντινού ρολογιού-ημερολογίου συνέβαλε ουσιαστικά στην αναθεώρηση της άποψης ότι στο Βυζάντιο δεν υπήρχε τεχνολογική πρόοδος. Αντίθετα, το όργανο αποδεικνύει ότι η βυζαντινή επιστήμη διατήρησε και ανέπτυξε σύνθετες μηχανικές και αστρονομικές γνώσεις, οι οποίες επηρέασαν τόσο τον αραβικό όσο και τον δυτικοευρωπαϊκό κόσμο.



Εικόνα 5. *Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο
μπροστά όψη*



Εικόνα 6. *Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο
πίσω όψη*

6.7 Το Πρόβλημα του Καθορισμού της Ημερομηνίας του Πάσχα

Ο υπολογισμός της ημερομηνίας του Πάσχα αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα σημεία συνάντησης της αστρονομίας, των μαθηματικών και της εκκλησιαστικής ζωής στο Βυζάντιο. Δεν επρόκειτο για μια απλή λειτουργική λεπτομέρεια, αλλά για ένα πρόβλημα που απαιτούσε συνδυασμό ηλιακών και σεληνιακών κύκλων, αριθμητικών διαδικασιών και ημερολογιακών υπολογισμών. Η σημασία του ζητήματος υπερέβαινε τη θεωρητική αστρονομία, καθώς από την ημερομηνία του Πάσχα εξαρτιόταν ολόκληρος ο κύκλος των κινητών εορτών της Εκκλησίας.

Η βασική δυσκολία προερχόταν από το γεγονός ότι το Πάσχα είναι κινητή εορτή και ο καθορισμός του προϋποθέτει τον συνδυασμό του ηλιακού και του σεληνιακού χρόνου. Στο εκκλησιαστικό ημερολόγιο έπρεπε να συσχετιστούν η εαρινή ισημερία, η πασχάλια πανσέληνος και η Κυριακή που ακολουθεί. Έτσι, το ζήτημα εντασσόταν άμεσα στο πεδίο της μαθηματικής

αστρονομίας, αφού απαιτούσε τον προσδιορισμό της θέσης του Ήλιου και της Σελήνης και τη χρήση επαναλαμβανόμενων αριθμητικών κύκλων.

Καθοριστικός υπήρξε ο δεκαεννεαετής σεληνιακός κύκλος, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως βασικό εργαλείο για την αντιστοίχιση των σεληνιακών φάσεων με το ηλιακό ημερολόγιο. Η χρήση τέτοιων κύκλων επέτρεπε τον υπολογισμό της ημερομηνίας του Πάσχα χωρίς να απαιτείται κάθε φορά άμεση αστρονομική παρατήρηση. Ωστόσο, οι κύκλοι αυτοί ήταν προσεγγιστικοί και, με την πάροδο του χρόνου, μπορούσαν να δημιουργούν αποκλίσεις ανάμεσα στον υπολογισμένο και στον πραγματικό ουρανό.

Η σημασία του πασχάλιου υπολογισμού για την ανάπτυξη της βυζαντινής αστρονομίας επιβεβαιώνεται και από την Anne Tihon, η οποία θεωρεί το πρόβλημα του καθορισμού της ημερομηνίας του Πάσχα έναν από τους σημαντικούς παράγοντες που ενίσχυσαν το ενδιαφέρον των Βυζαντινών για την αστρονομία (Tihon, 2009, σ. 411). Η ανάγκη επίλυσης ενός εκκλησιαστικού προβλήματος λειτούργησε επομένως ως κίνητρο για τη μελέτη του Ήλιου, της Σελήνης, των συζυγιών και των αστρονομικών πινάκων.

Η πρακτική και αριθμητική διάσταση του υπολογισμού φαίνεται και σε έργα όπως οι αριθμητικές επιστολές του Νικολάου Ραβδά. Στη δεύτερη επιστολή του, μετά από μεθόδους πράξεων με κλάσματα και εξαγωγής τετραγωνικής ρίζας, περιλαμβάνεται διαδικασία για τον υπολογισμό της ημερομηνίας του Πάσχα. Η παρουσία του πασχάλιου υπολογισμού δίπλα σε καθαρά αριθμητικές τεχνικές δείχνει ότι αντιμετωπιζόταν ως συγκεκριμένο μαθηματικό πρόβλημα και όχι μόνο ως θεολογικό ή λειτουργικό ζήτημα (Tihon, 2009, σ. 390).

Η σύνδεση του πασχάλιου υπολογισμού με τη μαθηματική αστρονομία γίνεται ακόμη σαφέστερη κατά τον 14ο αιώνα. Ο Νικηφόρος Γρηγοράς και ο Βαρλαάμ ο Καλαβρός ασχολήθηκαν με το ζήτημα της μεταρρύθμισης του υπολογισμού της ημερομηνίας του Πάσχα, έχοντας ήδη αναπτύξει σημαντική δραστηριότητα στους υπολογισμούς εκλείψεων με βάση την *Αλμαγέστη* και τους *Πρόχειρους Κανόνες* του Πτολεμαίου. Η Tihon σημειώνει ότι και οι δύο διαπίστωσαν προβλήματα στην παραδοσιακή χρονομέτρηση, χωρίς όμως να καταλήξουν στην ίδια πρόταση για την αντιμετώπισή τους (Tihon, 2009, σ. 399–400).

Το ζήτημα σχετιζόταν καταρχάς με την ακριβή διάρκεια του τροπικού έτους. Ο Γρηγοράς θεωρούσε ότι η πτολεμαϊκή τιμή για το ηλιακό έτος δεν ήταν απολύτως ακριβής και φαίνεται ότι πρότεινε διορθωμένη τιμή, αν και η σχετική χειρόγραφη παράδοση δεν είναι απολύτως ασφαλής. Ο Βαρλαάμ, από την πλευρά του, επισήμανε επιπλέον την ανακρίβεια του δεκαεννεαετούς σεληνοηλιακού κύκλου. Έτσι, οι δύο λόγιοι συμφωνούσαν ως προς την ύπαρξη πραγματικού αστρονομικού προβλήματος, αλλά διαφωνούσαν ως προς τις συνέπειες που έπρεπε να έχει αυτή η διαπίστωση για το εκκλησιαστικό ημερολόγιο (Tihon, 2009, σ. 400).

Ο Γρηγοράς υποστήριζε την ανάγκη μεταρρύθμισης, ενώ ο Βαρλαάμ την απέρριψε, θεωρώντας ότι μια τέτοια αλλαγή μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στην Ορθόδοξη Εκκλησία. Η αντιπαράθεση αυτή είναι αρκετά αποκαλυπτική: η μαθηματική και αστρονομική ακρίβεια δεν αποτελούσε το μοναδικό κριτήριο λήψης απόφασης. Η εφαρμογή μιας επιστημονικά τεκμηριωμένης διόρθωσης έπρεπε να σταθμιστεί σε σχέση με τις εκκλησιαστικές και κοινωνικές συνέπειες που θα μπορούσε να προκαλέσει.

Ακόμη συστηματικότερα ασχολήθηκε με το πρόβλημα ο Ισαάκ Αργυρός. Η Tihon αναφέρει ότι συνέγραψε πραγματεία για την ημερομηνία του Πάσχα, η οποία αρχίζει με έκθεση των ηλιακών και σεληνιακών κύκλων και συνεχίζει με ζητήματα σχετικά με την αρχή του έτους και τη διόρθωση του παραδοσιακού πασχάλιου υπολογισμού (Tihon, 2009, σ. 406). Ο Αργυρός εντόπιζε δύο κύριες αιτίες ανακρίβειας: αφενός τον δεκαεννεαετή σεληνιακό κύκλο και αφετέρου την τιμή που χρησιμοποιούνταν για τη διάρκεια του ηλιακού έτους.

Η μεθοδολογία του Αργυρού είναι αξιοσημείωτη, επειδή δεν περιορίζεται στην επανάληψη παλαιότερων κανόνων. Αμφισβητεί την ακρίβεια της πτολεμαϊκής τιμής για τη διάρκεια του έτους, αναφέρεται σε περσικούς αστρονομικούς πίνακες και στηρίζεται και σε δική του παρατήρηση του θερινού ηλιοστασίου. Με βάση αυτά τα δεδομένα προτείνει διαφορετική τιμή και καταλήγει σε διαφορετική θέση για την εαρινή ισημερία (Tihon, 2009, σ. 406). Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι δείχνει ότι η βυζαντινή αντιμετώπιση του πασχάλιου προβλήματος μπορούσε να συνδυάζει παλαιότερη πτολεμαϊκή γνώση, νεότερα ξένα αστρονομικά δεδομένα και προσωπική παρατήρηση.

Η σχέση ανάμεσα στον πασχάλιο υπολογισμό και την αστρονομία γίνεται ακόμη πιο σαφής στα έργα του ίδιου του Αργυρού για τον Ήλιο και τη Σελήνη. Περί το 1368 προσαρμόζει πτολεμαϊκούς πίνακες στο βυζαντινό ημερολογιακό πλαίσιο και στον μεσημβρινό της Κωνσταντινούπολης. Οι πίνακες αυτοί αφορούν κυρίως τον Ήλιο και τη Σελήνη και αποσκοπούν στη διευκόλυνση του υπολογισμού των συζυγιών, δηλαδή των συνόδων και αντιθέσεών τους, επειδή αυτές ήταν ιδιαίτερα σημαντικές για τον καθορισμό της ημερομηνίας του Πάσχα (Tihon, 2009, σ. 405). Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι το πρόβλημα της ημερομηνίας του Πάσχα λειτουργούσε ως πεδίο πρακτικής εφαρμογής της μαθηματικής αστρονομίας.

Συνολικά, η προσπάθεια του καθορισμού της ημερομηνίας του Πάσχα επιβεβαιώνει την εφαρμοσμένη διάσταση της βυζαντινής μαθηματικής αστρονομίας. Η ανάγκη υπολογισμού της εορτής απαιτούσε αριθμητικούς κανόνες, ηλιακούς και σεληνιακούς κύκλους, χρήση αστρονομικών πινάκων και, σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρήσεις και διορθώσεις παλαιότερων παραμέτρων. Παράλληλα, οι συζητήσεις του Γρηγορά, του Βαρλαάμ και του Αργυρού δείχνουν ότι η επιστημονική ακρίβεια δεν μπορούσε να αποσυνδεθεί από τις ανάγκες και τις ευαισθησίες της Εκκλησίας. Ο πασχάλιος υπολογισμός υπήρξε έτσι ένας χώρος όπου η αριθμητική, η αστρονομία, η ημερολογιακή θεωρία και η εκκλησιαστική πρακτική συναντήθηκαν με σαφή τρόπο.

Κεφάλαιο 7^ο

Αστρονομία, Αστρολογία και Χριστιανική Κοσμοθεωρία στο Βυζάντιο

Η ιστορία της βυζαντινής αστρονομίας δεν μπορεί να κατανοηθεί επαρκώς μόνο μέσα από την εξέλιξη των αστρονομικών θεωριών, των μαθηματικών μεθόδων ή των αστρονομικών παρατηρήσεων. Η ανάπτυξη της πραγματοποιήθηκε σε ένα πολιτισμικό περιβάλλον όπου η επιστημονική γνώση, η φιλοσοφία και η χριστιανική θεολογία αλληλεπιδρούσαν διαρκώς, διαμορφώνοντας έναν ιδιαίτερο τρόπο κατανόησης του κόσμου και της θέσης του ανθρώπου μέσα σε αυτόν. Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη του ουρανού δεν αποτελούσε μόνο αντικείμενο μαθηματικής έρευνας, αλλά συνδεόταν και με ευρύτερα φιλοσοφικά και θεολογικά ερωτήματα.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η σχέση της αστρονομίας με την αστρολογία. Παρότι η σύγχρονη επιστήμη τις αντιμετωπίζει ως διακριτά γνωστικά πεδία, στο Βυζάντιο οι δύο κλάδοι μοιράζονταν κοινές μαθηματικές μεθόδους και χρησιμοποιούσαν τα ίδια υπολογιστικά εργαλεία, γεγονός που καθιστά δυσχερή την εφαρμογή σύγχρονων διαχωρισμών στη μεσαιωνική επιστήμη. Παράλληλα, η στάση της Εκκλησίας απέναντι στην αστρονομία και την αστρολογία υπήρξε περισσότερο σύνθετη από όσο θεωρούσε η παλαιότερη ιστοριογραφία, καθώς η αποδοχή ή η απόρριψη μιας πρακτικής εξαρτιόταν κυρίως από τη συμβατότητά της με τη χριστιανική θεολογία και όχι από τον βαθμό της μαθηματικής της ακρίβειας.

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τη θέση της αστρονομίας μέσα στη χριστιανική κοσμοθεωρία, τις πρακτικές λειτουργίες που επιτέλεσε στη βυζαντινή κοινωνία και τη σύνθετη σχέση της με την αστρολογία. Μέσα από αυτή την προσέγγιση αναδεικνύεται ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν υπήρξε απλώς συνέχεια της αρχαιοελληνικής επιστήμης, αλλά ένα δυναμικό γνωστικό πεδίο, στο οποίο η μαθηματική σκέψη, η θεολογική σκέψη και οι πολιτισμικές ανταλλαγές αλληλεπιδράσαν δημιουργικά.

7.1 Η Χριστιανική Κοσμοθεωρία και η Θέση της Αστρονομίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η Βυζαντινή αστρονομία επηρεαζόταν από τη φιλοσοφία, τα μαθηματικά και τη θρησκεία. Η μελέτη του ουρανού δεν αντιμετωπιζόταν αποκλειστικά ως τεχνική ή μαθηματική δραστηριότητα, αλλά ως μέσο κατανόησης της τάξης που διέπει τη δημιουργία. Για τον λόγο αυτό, η ιστορία της βυζαντινής αστρονομίας δεν μπορεί να ερμηνευθεί ανεξάρτητα από τη χριστιανική κοσμοθεωρία, η οποία διαμόρφωσε το πλαίσιο μέσα στο οποίο οι λόγιοι προσέγγιζαν τη φύση και τα ουράνια φαινόμενα.

Η βυζαντινή αντίληψη για τον κόσμο βασιζόταν στη βιβλική διδασκαλία περί δημιουργίας, εμπλουτισμένη όμως με στοιχεία της ελληνικής φιλοσοφικής παράδοσης. Η Δημιουργία θεωρούνταν αποτέλεσμα της θείας βούλησης και χαρακτηριζόταν από αρμονία, κανονικότητα και λογική τάξη. Η σταθερότητα της φυσικής τάξης δεν ερχόταν σε αντίθεση με την πίστη στον Θεό. Αντίθετα, αποτελούσε ένδειξη της σοφίας του Δημιουργού. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη των ουράνιων κινήσεων μπορούσε να θεωρηθεί τρόπος προσέγγισης της θείας σοφίας και όχι αμφισβήτηση της θεολογικής διδασκαλίας.

Η στάση αυτή διαμορφώθηκε ήδη από τους Πατέρες της Εκκλησίας. Ο Μέγας Βασίλειος, στις ομιλίες του *Εἰς τὴν Ἑξαήμερον*, χρησιμοποιεί τη φύση ως αφετηρία θεολογικού στοχασμού, επισημαίνοντας ότι η παρατήρηση του ουρανού οδηγεί τον άνθρωπο στη συνειδητοποίηση της σοφίας του Δημιουργού. Αντίστοιχα, ο Ιωάννης ο Δαμασκηνός, αξιοποιώντας στοιχεία της

αρχαίας φυσικής φιλοσοφίας, θεωρεί ότι οι φυσικές διαδικασίες αποτελούν μέρος της θείας οικονομίας και δεν λειτουργούν ανεξάρτητα από αυτή. Η αποδοχή πολλών στοιχείων της ελληνικής φυσικής και κοσμολογίας δεν σήμαινε άκριτη υιοθέτηση της αρχαίας φιλοσοφίας. Οι Βυζαντινοί λόγιοι προσαρμόζουν την ελληνική επιστημονική παράδοση σε ένα χριστιανικό ερμηνευτικό πλαίσιο, στο οποίο η φύση παραμένει δημιούργημα του Θεού και όχι αυθύπαρκτη πραγματικότητα.

Στο ίδιο πλαίσιο εντάσσεται και η διατήρηση της πτολεμαϊκής αστρονομίας. Το γεωκεντρικό σύστημα του Πτολεμαίου εξακολούθησε να αποτελεί τη βάση της βυζαντινής αστρονομικής διδασκαλίας όχι μόνο λόγω του υψηλού μαθηματικού του επιπέδου αλλά και επειδή μπορούσε να συνδυαστεί χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες με τη χριστιανική εικόνα του κόσμου.

Η αποδοχή της αστρονομίας συνδεόταν επίσης με τον έντονα μαθηματικό χαρακτήρα της. Ως μία από τις τέσσερις μαθηματικές επιστήμες του *quadrivium*, η αστρονομία αποτελούσε βασικό στοιχείο της ανώτερης εκπαίδευσης και καλλιεργούσε δεξιότητες που θεωρούνταν απαραίτητες για κάθε λόγιο. Η ενασχόληση με τους αστρονομικούς υπολογισμούς δεν αποσκοπούσε μόνο στην ερμηνεία του ουρανού, αλλά και στην ακριβή μέτρηση του χρόνου και την πρόβλεψη ουράνιων φαινομένων. Η μαθηματική της φύση την καθιστούσε αποδεκτή ακόμη και σε εκκλησιαστικούς κύκλους, εφόσον δεν συνδεόταν με αντιλήψεις που περιόριζαν την ανθρώπινη ελευθερία ή απέδιδαν στα άστρα τον καθορισμό της ανθρώπινης μοίρας.

Η σύγχρονη ιστορία της επιστήμης έχει πλέον εγκαταλείψει την παλαιότερη αντίληψη ότι η θεολογία αποτέλεσε αναγκαστικά εμπόδιο για την ανάπτυξη των φυσικών επιστημών στο Βυζάντιο. Αντίθετα, η βυζαντινή περίπτωση δείχνει ότι η μαθηματική αστρονομία μπορούσε να αναπτυχθεί μέσα σε ένα χριστιανικό κοσμοείδωλο, το οποίο προσέδιδε ιδιαίτερο νόημα στη μελέτη του ουρανού. Η θεωρητική αυτή αποδοχή της αστρονομίας εκδηλώθηκε και στην πράξη, τόσο στη λειτουργική ζωή της Εκκλησίας όσο και στην εκπαίδευση και την επιστημονική δραστηριότητα των ύστερων βυζαντινών χρόνων, όπως θα φανεί στην επόμενη ενότητα.

7.2 Η Αστρονομία στην Υπηρεσία της Εκκλησίας και της Βυζαντινής Παιδείας

Η αποδοχή της αστρονομίας στο Βυζάντιο δεν οφειλόταν μόνο στη συμβατότητά της με τη χριστιανική κοσμοθεωρία, αλλά και στη σημαντική πρακτική της χρησιμότητα. Η αστρονομική γνώση εξυπηρετούσε συγκεκριμένες ανάγκες τόσο της Εκκλησίας όσο και της εκπαίδευσης, γεγονός που συνέβαλε στη διατήρηση και τη συνεχή καλλιέργεια της επιστήμης σε ολόκληρη τη βυζαντινή περίοδο. Η αστρονομία δεν αποτελούσε ένα αφηρημένο θεωρητικό αντικείμενο, αλλά συνδεόταν με τον υπολογισμό του χρόνου, τη σύνταξη ημερολογίων, την πρόβλεψη εκλείψεων και, κυρίως, τον καθορισμό της ημερομηνίας του Πάσχα.

Ήδη από την Α΄ Οικουμενική Σύνοδο (325), η κοινή τέλεση του Πάσχα αποτελούσε βασική προϋπόθεση για τη διαφύλαξη της ενότητας της Εκκλησίας. Η εφαρμογή του κανόνα για τον προσδιορισμό της ημερομηνίας του προϋπέθετε τον ακριβή υπολογισμό της εαρινής ισημερίας και της πρώτης πανσελήνου που ακολουθούσε, διαδικασία η οποία απαιτούσε αξιόπιστες αστρονομικές γνώσεις και μαθηματικούς υπολογισμούς. Η ανάγκη αυτή διατήρησε ζωντανό το ενδιαφέρον για τη μαθηματική αστρονομία ακόμη και σε περιόδους κατά τις οποίες άλλοι τομείς της φυσικής φιλοσοφίας παρουσίαζαν μικρότερη ανάπτυξη. Για τους Βυζαντινούς λογίους, η ακρίβεια των αστρονομικών πινάκων δεν αποτελούσε μόνο επιστημονικό ζητούμενο αλλά και εκκλησιαστική αναγκαιότητα.

Η σημασία του υπολογισμού του Πάσχα αναδεικνύεται αρκετά κατά την Παλαιολόγια περίοδο. Οι αυξανόμενες αποκλίσεις των παλαιότερων αστρονομικών πινάκων προκάλεσαν προβληματισμό σχετικά με την ακρίβεια του προσδιορισμού της εαρινής ισημερίας και των σεληνιακών κύκλων. Ο Νικηφόρος Γρηγοράς πρότεινε ήδη στις αρχές του 14ου αιώνα τη μεταρρύθμιση του ημερολογιακού υπολογισμού, επισημαίνοντας ότι οι χρησιμοποιούμενες αστρονομικές παράμετροι δεν ανταποκρίνονταν πλέον στις πραγματικές ουράνιες κινήσεις. Λίγα χρόνια αργότερα, ο Βαρλαάμ ο Καλαβρός επανέφερε το ίδιο ζήτημα, αν και υποστήριξε τη διατήρηση της καθιερωμένης πρακτικής προκειμένου να αποφευχθούν εκκλησιαστικές αναταράξεις. Αντίστοιχες επισημάνσεις διατύπωσε και ο Ισαάκ Αργυρός, χωρίς όμως να οδηγηθούν σε ουσιαστική μεταρρύθμιση του ημερολογιακού συστήματος.

Οι συζητήσεις αυτές αποκαλύπτουν ότι η βυζαντινή αστρονομία δεν περιοριζόταν στη διατήρηση της αρχαίας γνώσης, αλλά επιχειρούσε να αντιμετωπίσει συγκεκριμένα επιστημονικά προβλήματα. Η αξιολόγηση της ακρίβειας των αστρονομικών πινάκων, η σύγκριση διαφορετικών υπολογιστικών μεθόδων και η αναζήτηση ακριβέστερων παρατηρησιακών δεδομένων αποτελούσαν αντικείμενα ουσιαστικής επιστημονικής ενασχόλησης. Οι λόγιοι της Παλαιολόγιας περιόδου δεν λειτουργούσαν απλώς ως αντιγραφείς της αρχαίας παράδοσης, αλλά ως ενεργοί μελετητές που επιδίωκαν να βελτιώσουν τα διαθέσιμα αστρονομικά εργαλεία και να προσαρμόσουν τους υπολογισμούς στις πραγματικές ουράνιες κινήσεις.

Η προσπάθεια αυτή συνδέθηκε στενά με την αξιοποίηση επιστημονικής γνώσης διαφορετικής πολιτισμικής προέλευσης. Κατά τον 14ο και τον 15ο αιώνα, οι Βυζαντινοί αστρονόμοι στράφηκαν στη χρήση περσικών, αραβικών και εβραϊκών αστρονομικών πινάκων, καθώς διαπίστωναν ότι οι παραδοσιακοί πτολεμαϊκοί πίνακες παρουσίαζαν πλέον σημαντικές αποκλίσεις. Η επιλογή νέων υπολογιστικών εργαλείων δεν υπαγορεύθηκε από πολιτισμικά ή θρησκευτικά κριτήρια, αλλά από την επιδίωξη μεγαλύτερης ακρίβειας στις αστρονομικές προβλέψεις.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του Μιχαήλ Χρυσοκόκη, ο οποίος γύρω στο 1435 προσαρμόζει στα ελληνικά το εβραϊκό αστρονομικό έργο *Six Wings* του Immanuel Bonfils. Στον πρόλογό του δικαιολογεί τη χρήση ενός εβραϊκού επιστημονικού έργου παρομοιάζοντας τον λόγο με τη μέλισσα που συλλέγει το ωφέλιμο νέκταρ από κάθε άνθος. Η μεταφορά αυτή αποτυπώνει εύγλωττα τη στάση πολλών Βυζαντινών λογίων απέναντι στην επιστημονική γνώση: η αξία ενός αστρονομικού έργου κρινόταν κυρίως από την ακρίβεια και τη χρησιμότητά του και όχι από τη θρησκευτική ή πολιτισμική προέλευση του δημιουργού του.

Η ίδια τάση συνεχίστηκε με την προσαρμογή και άλλων εβραϊκών αστρονομικών πραγματειών από λογίους που ανήκαν στον ανώτερο κλήρο, όπως ο Μάρκος Ευγενικός και ο Ματθαίος Καμαριώτης. Το γεγονός ότι σημαντικοί εκκλησιαστικοί λόγιοι αξιοποιούσαν τέτοια έργα δείχνει ότι η Εκκλησία δεν αντιμετώπιζε αρνητικά την αστρονομική γνώση αυτή καθαυτή. Όταν αυτή υπηρετούσε την ακριβέστερη κατανόηση των ουράνιων φαινομένων και την ορθή τέλεση της εκκλησιαστικής ζωής, μπορούσε να ενσωματωθεί δημιουργικά στη βυζαντινή επιστημονική παράδοση.

Η εικόνα που προκύπτει από τη σύγχρονη έρευνα διαφέρει αισθητά από την παλαιότερη αντίληψη περί μιας στατικής και αποκλειστικά συντηρητικής βυζαντινής επιστήμης. Η βυζαντινή αστρονομία των τελευταίων αιώνων της αυτοκρατορίας χαρακτηρίζεται από επιστημονική κινητικότητα, διεθνείς ανταλλαγές γνώσεων και συνεχή προσπάθεια βελτίωσης των

υπολογιστικών μεθόδων. Η ανάγκη της Εκκλησίας για αξιόπιστους υπολογισμούς, σε συνδυασμό με την υψηλή θέση της αστρονομίας στη μαθηματική παιδεία, συνέβαλε στη διατήρηση ενός περιβάλλοντος μέσα στο οποίο η αρχαιοελληνική, η αραβική, η περσική και η εβραϊκή επιστημονική παράδοση μπορούσαν να αξιοποιηθούν δημιουργικά. Η περίπτωση του Βυζαντίου δείχνει ότι η συμβολή του δεν περιορίζεται στη διαφύλαξη της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής κληρονομιάς, αλλά εκτείνεται στην προσαρμογή, τον εμπλουτισμό και τη μετάδοσή της προς τον ύστερο μεσαιωνικό και τον αναγεννησιακό κόσμο.

7.3 Η Σχέση Αστρονομίας και Αστρολογίας στο Βυζάντιο

Η διάκριση ανάμεσα στην αστρονομία και την αστρολογία, όπως γίνεται αντιληπτή στη σύγχρονη επιστήμη, δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτούσια στη βυζαντινή πραγματικότητα. Η παλαιότερη ιστοριογραφία αντιμετώπιζε συχνά την αστρονομία ως επιστήμη και την αστρολογία ως δεισιδαιμονική πρακτική, παρουσιάζοντάς τες ως δύο απολύτως αντίθετα πεδία. Η σύγχρονη έρευνα, ωστόσο, έχει αναθεωρήσει αυτή την εικόνα, επισημαίνοντας ότι στο Βυζάντιο οι δύο κλάδοι συνδέονταν στενά, καθώς στηρίζονταν στην ίδια μαθηματική παράδοση και χρησιμοποιούσαν κοινά υπολογιστικά εργαλεία (Jones, 1996).

Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στην αστρονομία και την αστρολογία δεν εντοπιζόταν στις μεθόδους τους αλλά στον σκοπό για τον οποίο αυτές χρησιμοποιούνταν. Η αστρονομία επιδίωκε την περιγραφή και την πρόβλεψη των ουράνιων κινήσεων, ενώ η αστρολογία επιχειρούσε να αποδώσει στις κινήσεις αυτές ερμηνευτική σημασία για τον φυσικό κόσμο και την ανθρώπινη ζωή. Για την κατάρτιση ενός ωροσκοπίου απαιτούνταν ακριβής γνώση των θέσεων του Ήλιου, της Σελήνης και των πλανητών. Επομένως, η αστρολογία εξαρτιόταν άμεσα από τη μαθηματική αστρονομία. Η ανάπτυξη της ωροσκοπικής αστρολογίας προϋπέθετε την εξέλιξη αξιόπιστων αστρονομικών υπολογισμών, γεγονός που εξηγεί γιατί οι δύο κλάδοι παρέμειναν επί αιώνες στενά συνδεδεμένοι. Η ωροσκοπική αστρολογία αποτελεί μορφή αστρολογίας που στηρίζεται στην κατάρτιση ενός ωροσκοπίου, δηλαδή μιας γραφικής αναπαράστασης των θέσεων των ουράνιων σωμάτων σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και τόπο, με στόχο την ερμηνεία της

υποτιθέμενης επίδρασης της πλανητικής διάταξης στη ζωή και την πορεία ενός ατόμου ή ενός γεγονότος.

Η στενή αυτή σχέση αποτυπώνεται και στη βυζαντινή πνευματική ζωή. Αστρολογικά εγχειρίδια αντιγράφονταν συστηματικά, ωροσκοπία συντάσσονταν για ιδιώτες και μέλη της αυτοκρατορικής αυλής, ενώ αστρολογικές γνωματεύσεις ζητούνταν σε θέματα πολιτικής, ιατρικής και καθημερινής ζωής. Η διάδοση της αστρολογίας δεν περιοριζόταν στα λαϊκά στρώματα, αλλά εκτεινόταν και στους μορφωμένους κύκλους της αυτοκρατορίας, γεγονός που εξηγεί τον μεγάλο αριθμό αστρολογικών χειρόγραφων που διασώθηκαν. Η παρουσία της αστρολογίας στη βυζαντινή κοινωνία δείχνει ότι αποτελούσε μέρος της ευρύτερης λόγιας κουλτούρας και όχι ένα περιθωριακό φαινόμενο (Theodossiou, Manimanis, & Dimitrijević, 2012).

Η στενή σύνδεση των δύο πεδίων εξηγεί και τη σύνθετη στάση της Εκκλησίας απέναντι στην αστρολογία. Η κριτική των εκκλησιαστικών συγγραφέων δεν στρεφόταν κατά της μελέτης του ουρανού ούτε κατά της χρήσης μαθηματικών μεθόδων για την περιγραφή των ουράνιων κινήσεων. Αντιθέτως, αφορούσε την αντίληψη ότι οι κινήσεις των άστρων καθορίζουν αναγκαστικά τη ζωή και τις πράξεις των ανθρώπων. Μια τέτοια θέση θεωρήθηκε ασυμβίβαστη με τη χριστιανική διδασκαλία, επειδή αναιρούσε την ανθρώπινη ελευθερία και την ηθική ευθύνη. Για τον λόγο αυτό, οι Πατέρες της Εκκλησίας αποδέχονταν την κανονικότητα των ουράνιων

κινήσεων, αλλά απέρριπταν την ιδέα ότι τα άστρα επιβάλλουν την ανθρώπινη συμπεριφορά. Η αντίθεσή τους στρεφόταν κυρίως εναντίον της αποδοχής της ειμαρμένης και του αστρολογικού ντετερμινισμού, χωρίς να αμφισβητείται η αξία της αστρονομικής γνώσης (Theodossiou, 2012).

Η αλληλεξάρτηση αστρονομίας και αστρολογίας παρέμεινε εμφανής και κατά την Παλαιολόγεια περίοδο. Η εισαγωγή νέων περσικών, αραβικών και εβραϊκών αστρονομικών πινάκων αποσκοπούσε κυρίως στη βελτίωση της ακρίβειας των αστρονομικών υπολογισμών. Ωστόσο, η ίδια αυτή πρόοδος μπορούσε να αξιοποιηθεί και για την παραγωγή ακριβέστερων αστρολογικών ωροσκοπίων. Η εξέλιξη της μαθηματικής αστρονομίας είχε, επομένως, ως παράπλευρη συνέπεια και τη βελτίωση της αστρολογικής πρακτικής, γεγονός που καταδεικνύει τη στενή λειτουργική σχέση των δύο πεδίων.

Η περίπτωση του Βυζαντίου αναδεικνύει ότι ο σύγχρονος διαχωρισμός ανάμεσα στην αστρονομία και την αστρολογία δεν μπορεί να μεταφερθεί αυτούσιος στον μεσαιωνικό κόσμο. Οι δύο κλάδοι μοιράζονταν κοινή μαθηματική υποδομή, κοινά υπολογιστικά εργαλεία και, σε μεγάλο βαθμό, τους ίδιους φορείς της λόγιας παράδοσης. Η ουσιαστική διάκρισή τους δεν βρισκόταν στις μεθόδους τους, αλλά στον τρόπο ερμηνείας των ουράνιων φαινομένων και στη συμβατότητα των ερμηνειών αυτών με το χριστιανικό κοσμοείδωλο. Η σχέση αυτή αποτελεί μία από τις χαρακτηριστικότερες ιδιαιτερότητες της βυζαντινής επιστημονικής παράδοσης και συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι Βυζαντινοί αντιλαμβάνονταν τη θέση της επιστήμης μέσα στον κόσμο της πίστης.

Συμπεράσματα

Η μελέτη της βυζαντινής αστρονομίας και γενικότερα των μαθηματικών επιστημών στο Βυζάντιο οδηγεί σε αναθεώρηση παλαιότερων αντιλήψεων σχετικά με τον χαρακτήρα της μεσαιωνικής επιστήμης. Η εικόνα ενός Βυζαντίου πνευματικά στάσιμου και αποκομμένου από την επιστημονική δραστηριότητα της αρχαιότητας δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην ιστορική πραγματικότητα. Αντίθετα, η βυζαντινή αυτοκρατορία υπήρξε χώρος διατήρησης, επεξεργασίας, διδασκαλίας και μετάδοσης της αρχαιοελληνικής επιστημονικής παράδοσης επί περισσότερο από μία χιλιετία.

Η αστρονομία κατείχε εξέχουσα θέση στο βυζαντινό πνευματικό σύστημα, καθώς συνδεόταν τόσο με τις μαθηματικές επιστήμες όσο και με πρακτικές και θεολογικές ανάγκες. Η μελέτη του ουρανού δεν περιοριζόταν στην παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων, αλλά συνδεόταν με τον υπολογισμό του χρόνου, τη ρύθμιση του ημερολογίου, τον καθορισμό των εκκλησιαστικών εορτών και τη γενικότερη κατανόηση της κοσμικής τάξης. Στο πλαίσιο αυτό, η πτολεμαϊκή παράδοση αποτέλεσε το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο της βυζαντινής αστρονομίας, προσφέροντας ένα συνεκτικό μαθηματικό μοντέλο ερμηνείας του κόσμου.

Η προσκόλληση των Βυζαντινών στην αρχαία ελληνική επιστήμη δεν πρέπει να θεωρηθεί ένδειξη πνευματικής αδράνειας. Η βυζαντινή επιστημονική δραστηριότητα εκφράστηκε κυρίως μέσα από τη μελέτη, τον σχολιασμό, τη διόρθωση και τη συστηματοποίηση της ήδη υπάρχουσας γνώσης. Στο βυζαντινό μορφωτικό περιβάλλον, το σχόλιο και η ερμηνεία δεν αποτελούσαν δευτερεύουσες πνευματικές δραστηριότητες, αλλά βασικούς τρόπους παραγωγής και διατήρησης της γνώσης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία διασώθηκαν έργα θεμελιώδη για την ιστορία των μαθηματικών και της αστρονομίας, όπως τα συγγράμματα του Ευκλείδη και του Πτολεμαίου.

Παράλληλα, η βυζαντινή αστρονομία δεν εξελίχθηκε απομονωμένα. Η επαφή με την αραβική και περσική επιστημονική παράδοση, ιδίως κατά την υστεροβυζαντινή περίοδο, αποδεικνύει ότι το Βυζάντιο συμμετείχε ενεργά σε ευρύτερα δίκτυα ανταλλαγής γνώσης. Η εισαγωγή περσικών αστρονομικών πινάκων και νέων υπολογιστικών και γεωμετρικών μεθόδων από λογίους όπως ο Γρηγόριος Χιονιάδης και ο Γεώργιος Χρυσοκόκης δείχνει ότι η βυζαντινή επιστήμη μπορούσε να αφομοιώνει εξωτερικές επιδράσεις χωρίς να εγκαταλείπει το πτολεμαϊκό της υπόβαθρο. Περσικά και αραβικά αστρονομικά κείμενα μεταφέρθηκαν στο Βυζάντιο, μεταφράστηκαν στα ελληνικά και εντάχθηκαν στην υπάρχουσα επιστημονική παράδοση, συμβάλλοντας στη διάδοση νέων μεθόδων και στη βελτίωση επιμέρους αστρονομικών μοντέλων (Paschos, 1998). Η επιστημονική παράδοση του Βυζαντίου υπήρξε επομένως δυναμική και όχι στατική.

Η δυναμική αυτή γίνεται περισσότερο εμφανής κατά την Παλαιολόγεια Αναγέννηση, περίοδο κατά την οποία παρατηρείται σημαντική αναβίωση των μαθηματικών και αστρονομικών σπουδών. Λόγιοι όπως ο Θεόδωρος Μετοχίτης και ο Νικηφόρος Γρηγοράς επανέφεραν τη μαθηματική αστρονομία στο επίκεντρο της βυζαντινής λογιосύνης, ενώ η ενασχόλησή τους με την πτολεμαϊκή παράδοση αποκαλύπτει υψηλό επίπεδο θεωρητικής κατάρτισης. Η αναζωπύρωση αυτή δεν οδήγησε σε ανατροπή του γεωκεντρικού συστήματος, ωστόσο διατήρησε ενεργή τη μαθηματική αστρονομία σε μια εποχή έντονων πολιτικών και κοινωνικών κρίσεων.

Η σχέση επιστήμης και θεολογίας στο Βυζάντιο υπήρξε σύνθετη και δεν μπορεί να ερμηνευθεί αποκλειστικά ως σχέση σύγκρουσης. Η χριστιανική κοσμοθεωρία επηρέαζε βαθιά τον τρόπο κατανόησης του κόσμου, όμως η αστρονομία μπορούσε να γίνει αποδεκτή ως επιστήμη που αποκάλυπτε την αρμονία της θείας δημιουργίας. Αντίθετα, η αστρολογία αντιμετωπιζόταν συχνά με επιφυλάξεις, ειδικά όταν συνδεόταν με αντιλήψεις περί απόλυτης ειμαρμένης. Παρ' όλα αυτά, τα όρια μεταξύ αστρονομίας και αστρολογίας παρέμεναν συχνά ασαφή, γεγονός που αντανάκλα τον διαφορετικό χαρακτήρα της μεσαιωνικής επιστημονικής σκέψης σε σχέση με τις νεότερες αντιλήψεις.

Η ιστορική σημασία της βυζαντινής αστρονομίας φαίνεται περισσότερο από τη μετάδοση της

επιστημονικής γνώσης προς τη δυτική Ευρώπη. Το Βυζάντιο λειτούργησε ως κρίσιμος ενδιάμεσος κρίκος ανάμεσα στην αρχαιοελληνική, την ισλαμική και τη δυτικοευρωπαϊκή επιστημονική παράδοση. Μέσα από τη διατήρηση χειρόγραφων, τη διδασκαλία των μαθηματικών επιστημών και τη δράση λογίων που μετέφεραν ελληνικά κείμενα στη Δύση, η βυζαντινή αυτοκρατορία συνέβαλε ουσιαστικά στη διαμόρφωση του πνευματικού περιβάλλοντος της Αναγέννησης.

Συνεπώς, η βυζαντινή αστρονομία δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απλή επιβίωση της αρχαίας ελληνικής επιστήμης ούτε να αξιολογείται με αποκλειστικό κριτήριο τις μεταγενέστερες εξελίξεις της νεότερης επιστήμης. Η σημασία της έγκειται κυρίως στη διατήρηση της επιστημονικής συνέχειας και στη δυνατότητα προσαρμογής της γνώσης σε νέα θρησκευτικά, πολιτισμικά και εκπαιδευτικά πλαίσια. Το Βυζάντιο υπήρξε χώρος όπου η ελληνική μαθηματική παράδοση παρέμεινε ενεργή, επανεξετάστηκε και μεταδόθηκε σε διαφορετικούς πολιτισμούς.

Η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η ιστορία της επιστήμης δεν εξελίσσεται αποκλειστικά μέσω ριζικών επαναστάσεων και μεγάλων θεωρητικών ανατροπών. Η διατήρηση, η ερμηνεία, η διδασκαλία και η μετάδοση της γνώσης αποτελούν εξίσου ουσιαστικές διαδικασίες για τη μακροχρόνια εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η βυζαντινή αστρονομία κατέχει κομβική θέση στην ιστορία των μαθηματικών επιστημών, λειτουργώντας ως κρίσιμος σύνδεσμος ανάμεσα στην αρχαιότητα, τον ισλαμικό κόσμο και τη νεότερη ευρωπαϊκή επιστήμη.

Βιβλιογραφία

Βούρα Σ., (2023), *Τεχνολογία και Μηχανική στο Βυζάντιο*, Διπλωματική Μεταπτυχιακή εργασία.

Δανέζης, Μ., & Θεοδοσίου, Σ. (2010). *Στα χρόνια του Βυζαντίου*. Αθήνα: Διάυλος.

Λάζος, Χ. (2005). *Μηχανική και Τεχνολογία στο Βυζάντιο*. Αθήνα: Αίολος.

Νοβακόπουλος, Μ. (2018). *Γιατί ο Μεσαίωνας δεν ήταν σκοτεινή εποχή*, <https://www.antibaro.gr/article/18372>

Browning, R. (1992). *The Byzantine Empire*. Washington, DC: Catholic University of America Press.

De Grijs, R. (2024). *All roads lead to (New) Rome: Byzantine astronomy and geography in a rapidly changing world*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2407.16285>

Euclid. (1908). *The thirteen books of Euclid's Elements* (T. L. Heath, Trans.). Cambridge, University Press

Gianna Katsiampoura “Astronomy in Late Byzantine Era: the debate between the different traditions”, in Antoni Roca-Rosell (ed.), *The Circulation of Science and Technology. Proceedings of the 4th International Conference of the European Society for the History of Science (Barcelona, 18-20 November 2010)*, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, Barcelona 2012, pp. 281-287 (<http://taller.iec.cat/4iceshs/documentacio/P4ESHS.pdf>)

Gutas, D. (1998). *Greek thought, Arabic culture: The Graeco-Arabic translation movement in Baghdad and early Abbasid society*. London: Routledge.

Hegedus, T. (2007). *Early Christianity and ancient astrology*. Peter Lang

Kazhdan, A. P. (Ed.). (1991). *The Oxford dictionary of Byzantium* (Vols. 1–3). New York, NY: Oxford University Press.

Kotsakis D., “Astronomy and mathematical sciences in Byzantium”, στο Dragas G.D., *Aksum Thyateira*, Thyateira House, London 1985, σ. 227-233.

Lindberg, D. C. (1992). *The beginnings of Western science*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Megremi, A., & Christianidis, J. (2015). Theory of ratios in Nicomachus' *Arithmetica* and series of arithmetical problems in Pachymeres' *Quadrivium*: Reflections about a possible relationship. *SHS Web of Conferences*, 22, 00006.

Paschos, E. A. (1998). *Byzantine Astronomy from A.D. 1300*. Fermilab Technical Publications, DO-TH 98/18.

Pingree, D. (1997). *From astral omens to astrology: From Babylon to Bīkāner*. Istituto Italiano per l'Africa e l'Oriente.

Proclus. (1970). *A commentary on the first book of Euclid's Elements* (G. R. Morrow, Trans.). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ptolemy. (1998). *Ptolemy's Almagest* (G. J. Toomer, Trans.). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Saliba, G. (2007). *Islamic science and the making of the European Renaissance*. Cambridge, MA: MIT Press.

Theodossiou, E., Manimanis, V., & Dimitrijević, M. S. (2012). Astrology in the early Byzantine Empire and the anti-astrology stance of the Church Fathers. *European Journal of Science and Theology*, 8(2), 7–24

Theon of Alexandria. (n.d.). *Commentary on the Almagest*.

Tihon, A. (2009). Les sciences exactes à Byzance. *Byzantion*, 79, 380–434

Toomer, G. J. (1984). *Ptolemy's Almagest*. London: Duckworth.

Vogel, K. (1967). Byzantine science. In J. M. Hussey (Ed.), *The Cambridge Medieval History: Vol. IV, The Byzantine Empire, Part II: Government, Church and Civilisation* (pp. 264–305). Cambridge University Press.

Wilson, N. G. (1996). *Scholars of Byzantium*. London: Duckworth.

Πρωτογενείς Πηγές

Pachymère, G. (1940). *Quadrivium de Georges Pachymère ou Σύνταγμα τῶν τεσσάρων μαθημάτων, ἀριθμητικῆς, μουσικῆς, γεωμετρίας καὶ ἀστρονομίας*. P. Tannery (ed.), texte révisé et établi par E. Stéphanou. Studi e Testi 94. Città del Vaticano: Biblioteca Apostolica Vaticana.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Λάζος, Χ. (2005). *Μηχανική και Τεχνολογία στο Βυζάντιο*. Αθήνα: Αίολος. (σελ. 41)

Εικόνα 2. «Η μέτρηση του χρόνου στο Βυζάντιο», *Αρχαιολογία και Τέχνες*.
<https://www.archaiologia.gr/blog/issue/%CE%B7-%CE%BC%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%87%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%85-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%B2%CF%85%CE%B6%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BF/>

Εικόνα 3. Μπαρλαμπάς, Μ. (2017). *Αρχιτεκτονικά μέλη, ηλιακά ρολόγια και τοιχογραφία*. Στο Λ. Παλαιοκρασσά-Κόπιτσα (Επιμ.), *Παλαιόπολη Άνδρου: Τριάντα χρόνια ανασκαφικής έρευνας* (σσ. 129–135). Άνδρος.

Εικόνα 4. Λάζος, Χ. (2005). *Μηχανική και Τεχνολογία στο Βυζάντιο*. Αθήνα: Αίολος. (σελ. 58)

Εικόνα 5. Λάζος, Χ. (2005). *Ελληνες μαθηματικοί*. Αθήνα: Αίολος. (σελ. 67)

Εικόνα 6. Βούρα, Σ. (2023). *Τεχνολογία και μηχανική στο Βυζάντιο* [Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. (σελ.36)

Εικόνα 7. Βούρα, Σ. (2023). *Τεχνολογία και μηχανική στο Βυζάντιο* [Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. (σελ. 36)