

# Υδρομετεωρολογικά ζητήματα στην αρχαία ελληνική επιστήμη και φιλοσοφία\*

Δημήτρης Κουτσογιάννης, Νίκος Μαμάσης και Άρης Τέγος

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

**Περίληψη** Σε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς παρουσιάζονται τεχνολογικές εφαρμογές που στόχο έχουν την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Στον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό, όμως, εμφανίσθηκε το μοναδικό φαινόμενο, αυτές οι τεχνολογικές ανάγκες να δώσουν το έναυσμα για την εξήγηση φυσικών φαινομένων και συμπεριφορών, οδηγώντας έτσι στη θεμελίωση της επιστήμης και της φιλοσοφίας. Ξεχωριστό ρόλο κατείχε η μελέτη των υδρομετεωρολογικών φαινομένων. Αυτή ξεκίνησε με τους Ίωνες φιλοσόφους τον έβδομο π.Χ. αιώνα, συνέχισε στην κλασική Αθήνα τον πέμπτο και τέταρτο π.Χ. αιώνα, και προχώρησε επεκτεινόμενη σε ολόκληρο τον ελληνικό κόσμο, μέχρι το τέλος των ελληνιστικών χρόνων, έως την κατάκτηση της Ελλάδας από τους Ρωμαίους. Πολλές από τις θεωρίες των αρχαίων ελλήνων θεωρούνται λανθασμένες σύμφωνα με τη σύγχρονη θεώρηση. Παρ' όλ' αυτά, πολλά στοιχεία στις ερμηνείες που έδωσαν οι έλληνες φιλόσοφοι για τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, όπως η εξάτμιση και η υγροποίηση του ατμού, η δημιουργία των νεφών, το χαλάζι, η χιονόπτωση και η βροχόπτωση, και ο υδρολογικός κύκλος στο σύνολό του, εντυπωσιάζουν ακόμα και σήμερα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά θεωρείται ότι οι πιο θεμελιώδεις υδρολογικές και μετεωρολογικές αρχές διατυπώθηκαν μετά τον 16<sup>ο</sup> αιώνα (από τους Palissy, Perrault, Mariotte, Halley, και άλλους), και πως οι παλαιότεροι, συμπεριλαμβανομένων των Ελλήνων, είχαν παρανοήσει αρκετά τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα. Είναι σύνηθες να διαβάζουμε σε σύγχρονα γραπτά ισχυρισμούς σαν τους ακόλουθους:

*«Μέχρι και τον δέκατο έβδομο αιώνα ήταν γενικά παραδεκτό πως το νερό των πηγών δεν προερχόταν από τη βροχή ... Οι αρχαίοι έλληνες φιλόσοφοι ... υπέθεταν ότι το θαλάσσιο νερό, που διοχετεύονταν κάτω από τα βουνά μέσω υπογείων διαύλων, δημιουργούσε τις πηγές. ... Ο Αριστοτέλης υπέθετε ότι εισέρχεται αέρας σε σκοτεινά και ψυχρά σπήλαια κάτω από τα βουνά, και εκεί συμπυκνώνεται σε νερό, και συντελεί στη δημιουργία των πηγών.» (Todd, 1959).*

*«... Στις αρχές του δέκατου έβδομου αιώνα, πολλοί πίστευαν, ακολουθώντας κατ' ουσία τους αρχαίους Έλληνες, πως το θαλάσσιο νερό πλημμύριζε μεγάλα σπήλαια στο εσωτερικό της γης, και ανέβαινε μέχρι την επιφάνεια των βουνών, με κάποιες περίεργες διαδικασίες.» (Price, 1985).*

---

\*Μετάφραση της Άννας Πατρικίου από το αγγλικό πρωτότυπο με τίτλο «Logical and illogical exegeses of hydrometeorological phenomena in ancient Greece» δημοσιεύτηκε στο *Water Science and Technology: Water Supply*, 7 (1), 13–22, 2007. Η εικονογράφηση έγινε από το Μάνο Χριστοφάκη.

*«Στην πραγματικότητα, η γέννηση της μετεωρολογίας ως γνήσιας φυσικής επιστήμης, δεν συνέβη, παρά μόνο μετά την εφεύρεση των μετεωρολογικών οργάνων ... κατά το τέλος του δεκάτου έκτου αιώνα ...» (Ahrens, 1993).*

Όλ' αυτά, όμως, συνθέτουν μια ανακριβή εικόνα της εξέλιξης της επιστήμης, δεδομένου, για παράδειγμα, ότι ακόμα και ο όρος 'μετεωρολογία' είναι τουλάχιστον τόσο παλιός, όσο και τα κείμενα του Πλάτωνα (Φαίδρος, 270,α). Από την άλλη μεριά, η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ιστορία των επιστημών, και ότι θα πρέπει να σκιαγραφήσουμε πιστά την εξέλιξη τους, αναγνωρίζοντας τη συμβολή καθενός. Η σύγχρονη επιστημονική θεώρηση έχει προοδεύσει (αν και αρκετά φαινόμενα δεν έχουν ακόμα πλήρως κατανοηθεί μέχρι σήμερα) αλλά όχι ανεξάρτητα από τις αρχαίες επιστημονικές απόψεις. Η μελέτη της αρχαίας επιστήμης είναι χρήσιμη, γιατί αποκαλύπτει ότι η σκέψη και η λογική, που ήταν τα βασικά εργαλεία των αρχαίων φιλοσόφων (σε αντίθεση με τα σημερινά μοντέλα και τα προγράμματα των υπολογιστών), μπορούν να εδραιώσουν μια θεώρηση του κόσμου με ειρμό, που μερικές φορές η σαφήνεια του είναι θαυμαστή ακόμα και σήμερα (αν και κάποιες άλλες φορές οι απόψεις είναι ανακόλουθες σύμφωνα με τη σύγχρονη γνώση). Είναι χρήσιμη, επίσης, γιατί φωτίζει τη συνέχεια της ανάπτυξης της επιστήμης, καθώς είναι γνωστό ότι οι απόψεις των αρχαίων Ελλήνων είχαν μια μεγάλη συνεισφορά στα αρχικά στάδια της σύγχρονης επιστήμης, μετά την Αναγέννηση.

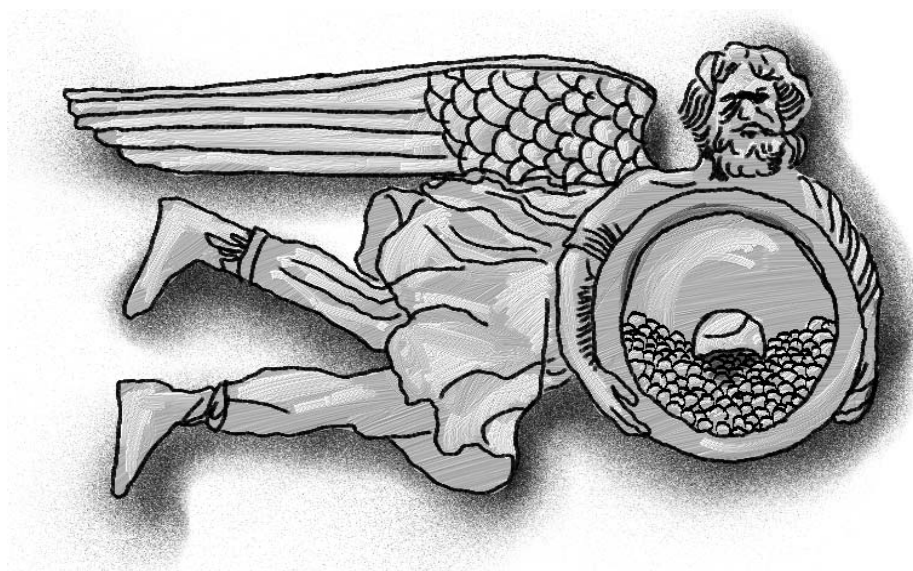
Η αξιοποίηση των φυσικών πόρων, του ήλιου, του ανέμου, του νερού, απασχολούσε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς, και έδινε έναυσμα στην πρόοδο τους, με εφευρέσεις και τεχνολογικές εφαρμογές. Τα επιτεύγματα αυτά βοήθησαν τις αρχαίες κοινωνίες να διαχειριστούν το δυναμικό του ανέμου για τα ιστιοφόρα τους, να αξιοποιήσουν τα αποθέματα νερού για ύδρευση και άρδευση, να εκμεταλλευτούν την ηλιακή ενέργεια χωροθετώντας τα κτήρια με τον κατάλληλο προσανατολισμό. Τέτοιου είδους τεχνολογικές εφαρμογές, υποδηλώνουν σίγουρα κάποια γνώση για τη φύση. Παρ' όλ' αυτά, κατά τα πρώτα στάδια των πολιτισμών, οι εξηγήσεις που δίνονταν ήταν υπερφυσικές, δηλαδή μυθολογικές. Στην αρχαία Ελλάδα, ο αγώνας του ανθρώπινου γένους να δαμάσει τη φύση, έχει αποτυπωθεί σε μια πλούσια μυθολογία, που έφτασε έως εμάς με κείμενα και αντικείμενα τέχνης. Για παράδειγμα, υπάρχουν διάφοροι μύθοι για τον Ηρακλή, που συμβολίζουν τον αγώνα ενάντια στην καταστροφική δύναμη του νερού. Ο μύθος που απεικονίζεται στην Εικ. 1, έχει να κάνει με τον αγώνα του Ηρακλή ενάντια στον Αχελώο. Ο Αχελώος, ο ποταμός της Ελλάδας με τη μεγαλύτερη απορροή, στη μυθολογία ήταν γιος θεού, του θεού της θάλασσας Ποσειδώνα. Ο Αχελώος τελικά ηττήθηκε από τον Ηρακλή. Ο μύθος, όπως επεξηγήθηκε αργότερα από τον ιστορικό Διόδωρο τον Σικελιώτη και τον γεωγράφο Στράβωνα, αναφέρεται στην εκσκαφή καναλιών και την κατασκευή αναχωμάτων, για να περιοριστεί η μετακινούμενη κοίτη του Αχελώου.

Με την πρόοδο της Τεχνολογίας, εμφανίστηκε μια νέα ανάγκη, η ανάγκη να εξηγηθούν με νόμους της φυσικής τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα που διέπουν τους φυσικούς πόρους. Στην αρχαία Ελλάδα είχαν προταθεί διάφορες θεωρίες, σε ένα πλαίσιο που διήρκεσε πάνω από έξι αιώνες (από την αρχαϊκή έως τη ρωμαϊκή περίοδο), κατά τους οποίους υπήρξε πνευματική άνθηση. Σε αυτό το περιβάλλον θεωρείται ότι γεννήθηκαν η φιλοσοφία και η επιστήμη, καθώς και οι δυο εμφανίστηκαν τότε για πρώτη φορά στον κόσμο (Krutwig Sagredo, 2006). Μελετώντας τα κείμενα εκείνης της περιόδου, ο ερευνητής συναντά μια

μεγάλη ποικιλία απόψεων σε μορφή μυθολογική, ποιητική, θρησκευτική, συμβολική, φιλοσοφική, και επιστημονική. Είναι ενδιαφέρον πως οι μυθολογικές απόψεις και οι συμβολισμοί ήταν δημοφιλείς ακόμα και στα τελευταία στάδια αυτής της περιόδου (ιδιαίτερα σαν έμπνευση για τις τέχνες), αν και είχαν ήδη αναπτυχθεί πιο επιστημονικές θεωρήσεις (Εικ. 2).



**Εικόνα 1.** Η μάχη του Ηρακλή με τον Αχελώο (απεικόνιση από ένα ερυθρόμορφο αττικό αγγείο του 6<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., που φυλάσσεται στο Βρετανικό Μουσείο).



**Εικόνα 2.** Ο Καικίας, ο Βόρειο-ανατολικός άνεμος, που φέρει ένα θυρεό με χαλαζόκοκκους (απεικόνιση από ένα ανάγλυφο στον Πύργο των Ανέμων της Αθήνας, μνημείο του 2<sup>ου</sup> ή του 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ.).

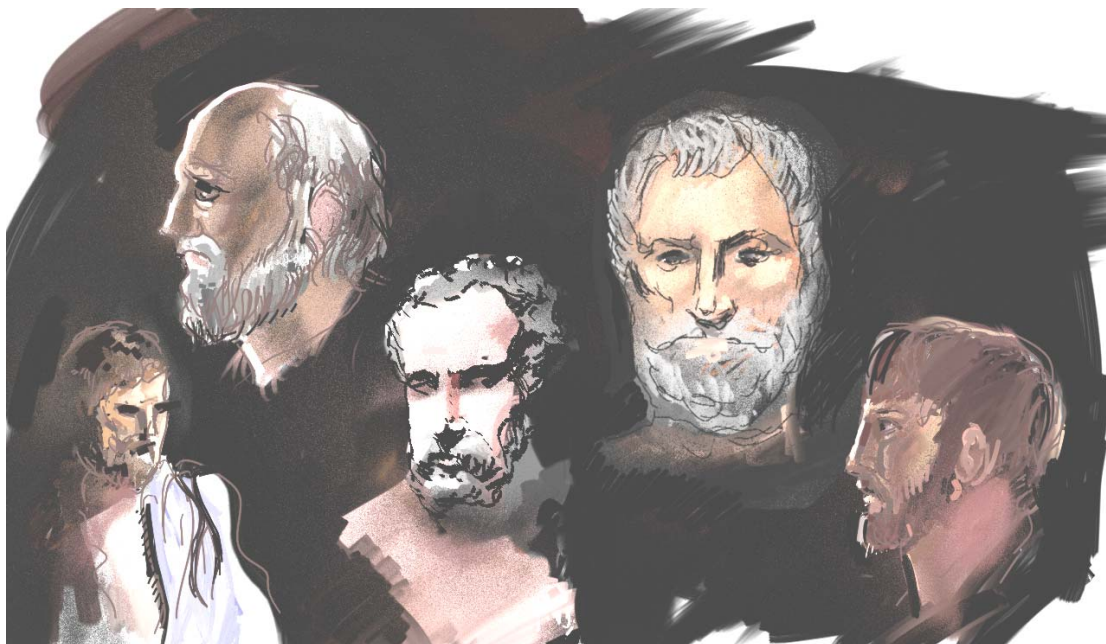
Αν και κληρονομήσαμε αρκετά από τα αυθεντικά κείμενα του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού, το μεγαλύτερο μέρος τους έχει χαθεί. Το κείμενο που ακολουθεί επικεντρώνεται στις απόψεις τις σχετικές με υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, προερχόμενες από γνήσια ελληνικά κείμενα ή μαρτυρίες άλλων ελλήνων ή ρωμαίων συγγραφέων, που λογικά θα είχαν πρόσβαση στα αυθεντικά κείμενα. Οι επόμενες τρεις ενότητες αναφέρονται στις τρεις φάσεις της αρχαίας ελληνικής φιλοσοφίας: την αρχαϊκή, με επίκεντρο την Ιωνία, την κλασική, με επίκεντρο την Αθήνα, και την ελληνιστική.

## Η ΙΩΝΙΑ ΚΑΙ Η ΓΕΝΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Αν και οι τεχνολογικές εφαρμογές που αφορούν τους υδατικούς πόρους, άρχισαν στην Ελλάδα πριν από το 2000 π.Χ., στον Μινωικό και Μυκηναϊκό πολιτισμό (Koutsoyiannis and Angelakis, 2003), οι πρώτες επιστημονικές απόψεις σχετικές με τα φαινόμενα αυτά διατυπώθηκαν περί το 600 π.Χ. Οι Έλληνες φιλόσοφοι της Ιωνίας (εικ. 3) απέρριψαν τις μεταφυσικές προσεγγίσεις που εκφράζονταν στα επικά ποιήματα (κυρίως στην Ιλιάδα και την Οδύσσεια του Ομήρου), και ερμήνευσαν πολλά φυσικά φαινόμενα με επιστημονικό τρόπο.

Ο Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.), ένας από τους επτά σοφούς της Ελλάδας, ήταν ο ιδρυτής της Ιωνικής φιλοσοφίας (και σύμφωνα με πολλούς ο πατέρας της φιλοσοφίας και της επιστήμης). Ο Θαλής διατύπωσε τη θεωρία ότι το νερό ήταν η βασική ουσία του κόσμου. Το ενδιαφέρον είναι, ότι στα επιτεύγματα του περιλαμβάνονται και τεχνολογικά, υπογραμμίζοντας το δεσμό της τεχνολογίας με τη φιλοσοφία, ήδη από τη γέννηση της τελευταίας. Σύμφωνα με τον ιστορικό Ηρόδοτο (480-430 π.Χ. Ιστορία, Κλειώ, 75) πραγματοποίησε την εκτροπή του ποταμού Άλη, για να βοηθήσει τη στρατιά του Κροΐσου (βασιλιά της Λυδίας) σε μια μάχη ενάντια στη στρατιά του Κύρου (βασιλιά της Περσίας). Επίσης, ο Θαλής επεχείρησε να εξηγήσει το υδρολογικό 'παράδοξο' των πλημμυρών του ποταμού Νείλου. Το γεγονός ότι οι πλημμύρες στο Νείλο συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν η βροχόπτωση στην Αίγυπτο είναι ελάχιστη, αποτελούσε ένα αίνιγμα για τους αρχαίους Έλληνες, ακόμα και πριν από την εποχή του Θαλή. Είχαν δοθεί μυθολογικές εξηγήσεις, για παράδειγμα από τον Όμηρο, ότι ο Νείλος προέρχεται από τον Ωκεανό, ένα μυθικό ποταμό που βρίσκεται στον Ουρανό. Ο Θαλής είδε το αίνιγμα αυτό ως επιστημονικό πρόβλημα, θεωρώντας πως οι βόρειοι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή το χειμώνα, δεν επιτρέπουν στο ποτάμι να ξεχειλίζει. Κατά τη διάρκεια του θέρους, που κοπάζουν οι άνεμοι, ο ποταμός υπερχειλίζει (Ηρόδοτος, Ιστορία, Ευτέρπη, 20). Η εξήγηση προφανώς είναι λανθασμένη (οι Έλληνες δεν γνώριζαν τότε την ύπαρξη θερινών τροπικών καταιγίδων). Αλλά αυτό που είναι πιο σημαντικό από μια ορθή εξήγηση του φαινομένου, είναι το γεγονός ότι τέθηκε το ερώτημα ως επιστημονικό πρόβλημα. Από την άποψη αυτή, ο Θαλής μπορεί να θεωρηθεί ο πρώτος υδρολόγος στην ιστορία. Και αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της υδρολογίας στα πρώτα στάδια της επιστήμης.

Ο Αναξίμανδρος (περίπου 610-547 π.Χ.) από τη Μίλητο, διάδοχος του Θαλή, είναι ο πρώτος που τόλμησε να γράψει ένα βιβλίο «Περί Φύσεως», που δεν βασιζόταν στη μυθολογία ή τη θρησκεία (Θεμιστίος, ορ. 36, σ. 317) που δυστυχώς όμως έχει χαθεί. Κατανόησε τη σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και εξάτμισης:



**Εικόνα 3.** Οι Ίωνες φιλόσοφοι. Από αριστερά στα δεξιά: Αναξίμανδρος, Αναξαγόρας, Ξενοφάνης, Θαλής, Αναξίμενης (αναπαράσταση βασισμένη σε αρχαία γλυπτά).

*«Η βροχή παράγεται από την εξάτμιση (ατμίδα) που στέλνεται προς τα πάνω από τη γη, λόγω του ηλίου» (Ιππόλυτος ref. I 6, 1-7-D. 559 W. 10).*

Επίσης, αποπειράθηκε να ερμηνεύσει τη γένεση των ανέμων και των κεραυνών (Seneca, Nat. Qu., II 18).

Ο Αναξίμενης (585-525 π.Χ.) από τη Μίλητο, μαθητής του Αναξίμανδρου, επινόησε λογικές εξηγήσεις για τον σχηματισμό των νεφών, της βροχόπτωσης, και της χαλαζόπτωσης. Σύμφωνα με αυτόν:

*«Το χαλάζι παράγεται όταν κατερχόμενο το νερό από τα νέφη παγώσει· το χιόνι παράγεται όταν το νερό στα πιο διάβρεκτα σύννεφα παγώσει» (Hippolytus ref. I 7, 1-D. 560 W. 11).*

Επίσης, αποπειράθηκε να ερμηνεύσει τον σχηματισμό της ίριδας (του ουράνιου τόξου) και της αστραπής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η θεωρία του Αναξίμενη για τη δημιουργία των ανέμων:

*«Προκαλούνται όταν μειώνεται η πυκνότητα του αέρα, έτσι καθίσταται ελαφρός και αρχίζει να κινείται» (ibid.).*

Ο Ξενοφάνης ο Κολοφώνιος (570-480 π.Χ.) φιλόσοφος, ποιητής, και ταξιδευτής (πιθανά ο ιδρυτής της Ελεατικής φιλοσοφικής σχολής) φαίνεται πως είναι ο πρώτος που ολοκλήρωσε την έννοια του υδρολογικού κύκλου:

*«Η θάλασσα είναι η πηγή του ύδατος και του ανέμου/ Αφού χωρίς τη μεγάλη θάλασσα, δεν θα υπήρχε ο άνεμος/ Ούτε ρεύματα ποταμών, ούτε βροχή από ψηλά/ Μα η μεγάλη θάλασσα είναι ο γεννήτορας των νεφών, των ανέμων, και των ποταμών» (Ξενοφάνης B 30, από τη Stanford Encyclopedia of Philosophy).*

Η διδασκαλία του φιλόσοφου Αναξαγόρα του Κλαζομένιου (500-428 π.Χ.) είχε μεγάλη απήχηση· καθώς έζησε κυρίως στην Αθήνα, μεταλαμπάδευσε τις ιδέες των Ιώνων φιλοσόφων στους Αθηναίους, μεταξύ των οποίων ο πολιτικός Περικλής, που ήταν μαθητής του, οι δραματουργοί Ευριπίδης και Σοφοκλής, και ο ιστορικός Ηρόδοτος. Ως φυσικός φιλόσοφος και ιδρυτής της πειραματικής έρευνας, αποσαφήνισε την έννοια του υδρολογικού κύκλου, και μελέτησε διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα (ανέμους, καταιγίδες), δεχόμενος σε γενικές γραμμές τις ερμηνείες του Αναξιμένη. Συγκεκριμένα, θεώρησε ότι οι διαφορές στην πυκνότητα του αέρα, που προκαλούνται από τη θερμότητα του ήλιου, ήταν υπεύθυνες για τη δημιουργία των ανέμων (Γεωργούλης, 1957). Επίσης εξήγησε το ουράνιο τόξο (ίριδα, που προηγουμένως είχε προσωποποιηθεί στην ομώνυμη θεότητα):

*«Ιριδα καλούμε την αντανάκλαση της λάμψης του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στα νέφη».*

Τελικά, προσπάθησε να ερμηνεύσει το παράδοξο των πλημμυρών του ποταμού Νείλου, προτείνοντας την υπόθεση πως το χιόνι που λιώνει την άνοιξη στα όρη της Αιθιοπίας, προκαλεί θερινές πλημμύρες στην περιοχή του Δέλτα του Νείλου, με μια χρονική καθυστέρηση. Ο Ηρόδοτος (Ιστορία, Ευτέρπη) που εξιστορεί αυτήν και τις προηγούμενες ερμηνείες, δεν φαίνεται να τις ενστερνίζεται· επί πλέον, φαίνεται πως έχει μια καλή κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών.

## ΚΛΑΣΙΚΗ ΑΘΗΝΑ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο Αναξαγόρας θεωρείται ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των φιλοσόφων της Ιωνίας και της Αθήνας (εικ. 4). Ιδρυτής της Αθηναϊκής φιλοσοφίας θεωρείται ο Σωκράτης (περίπου 470-399 π.Χ.). Ο Σωκράτης δεν άφησε δικά του γραπτά· παρ' όλ' αυτά ο μαθητής του Πλάτων (περίπου 427-347 π.Χ.) μετέφερε απόψεις του δασκάλου του στους *Διαλόγους* του, στους οποίους ο Σωκράτης είναι συχνά πρωταγωνιστής.



**Εικόνα 4.** Αθηναίοι φιλόσοφοι (από αριστερά προς δεξιά: Θεόφραστος, Αριστοτέλης, Αριστοτέλης, Πλάτων, Επίκουρος (αναπαράσταση βασισμένη σε γνωστά γλυπτά).

Ο Πλάτων, ιδρυτής της Ακαδημίας της Αθήνας, άσκησε μεγάλη επιρροή σε όλη την ιστορία της φιλοσοφίας. Η προσφορά του Πλάτωνα στη μεταφυσική, επιστημολογία, πολιτική, και ηθική, είναι σημαντικότερη από την προσφορά του στη φυσική φιλοσοφία. Ίσως το ακόλουθο απόσπασμα (που αποδίδεται από τον Πλάτωνα στο Σωκράτη, και είναι επηρεασμένο από τα έπη του Ομήρου), από τον διάλογο ‘Φαίδων’, να είναι υπεύθυνο για τις παραπλανητικές απόψεις της σημερινής εποχής για τις αρχαίες επιστημονικές μεθόδους, όπως προαναφέρθηκε στην Εισαγωγή:

*«Ένα από τα χάσματα της γης είναι μεγαλύτερο από τα άλλα και διατρυπά ολόκληρη τη γη· σε αυτό αναφέρεται ο Όμηρος όταν λέει ‘Πολύ μακριά, η χαμηλότερη άβυσσος κάτω από τη γη’ και που σε άλλα σημεία αυτός, καθώς και άλλοι ποιητές, ονομάζουν Τάρταρα. Γιατί όλοι οι ποταμοί συρρέουν σε αυτό το χάσμα και ξεπηδούν και πάλι από αυτό, και ο καθένας έχει τη φύση του τόπου στον οποίο κυλά. ... Και όταν το νερό αποτραβιέται στη περιοχή που εμείς αποκαλούμε χαμηλότερη, ρέει στους εκεί ποταμούς και τους γεμίζει, σαν να αντλείται· και όταν αφήνει εκείνη την περιοχή και γυρίζει στη δική μας μεριά, γεμίζει εδώ τους ποταμούς· ... Όταν, κατεβαίνουν πάλι κάτω στη γη ... και κυλούν πάλι στα Τάρταρα» (Φαίδων 14.112· από μετάφραση του H.N. Fowler).*

Ωστόσο, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη πως το κύριο θέμα του Πλάτωνα στον Φαίδωνα είναι η αθανασία της ψυχής, δηλαδή κάτι άσχετο με τα φυσικά φαινόμενα, και επομένως το πιο πάνω απόσπασμα μπορεί να έχει συμβολικό νόημα. Άλλα κείμενα του Πλάτωνα προσφέρουν υδρολογικές απόψεις με μεγαλύτερη συνέπεια, για παράδειγμα στον Κριτία:

*Η γη δρέπει το όφελος από την ετήσια βροχή, όχι μόνο άμεσα αφήνοντας να χαθεί το νερό που ρέει από τη γυμνή γη στη θάλασσα, αλλά, κρατώντας ένα άφθονο απόθεμα σε όλα τα μέρη, και το παραλαμβάνει μέσα της και το αποθησαυρίζει στο πυκνό αργιλικό έδαφος ... προσφέροντας παντού άφθονες πηγές και ποτάμια» (Κριτίας, 111d· από μετάφραση του B. Jowett).*

Ο Αριστοτέλης (384-328 π.Χ.) ήταν μαθητής του Πλάτωνα, αλλά οι θεωρίες του επηρεάστηκαν και από τους Ίωνες φιλοσόφους. Η περίφημη πραγματεία του ‘Μετεωρολογικά’ ήταν μια μεγάλη συνεισφορά στην υδρομετεωρολογία. Αν και πολλές από τις απόψεις του είναι λανθασμένες, ο Αριστοτέλης διατύπωσε με σωστό τρόπο τον υδρολογικό κύκλο. Κατανόησε τις αλλαγές φάσης του νερού και την ανταλλαγή ενέργειας που απαιτείται γι’ αυτές:

*«... ο ήλιος προκαλεί την άνοδο της υγρασίας· αυτό είναι όμοιο με ό,τι συμβαίνει όταν το νερό ζεσταίνεται στη φωτιά» (Μετεωρολογικά, II.2, 355<sup>a</sup> 15).*

*«Ο ατμός που ψύχεται, λόγω έλλειψης θερμότητας στην περιοχή όπου ευρίσκεται, συμπυκνώνεται και μετατρέπεται από αέριο σε νερό· και αφού δημιουργηθεί το νερό με αυτόν τον τρόπο, πέφτει κάτω πάλι προς τη γη. Η ‘αναθυμίαση’ του νερού είναι ατμός και η συμπύκνωση του αέρα σε νερό είναι σύννεφο» (ibid., I.9, 346b 30).*

Αναγνώρισε επίσης την αρχή της διατήρησης της μάζας στον υδρολογικό κύκλο:

*«Κατά συνέπεια, η θάλασσα δεν θα στεγνώσει ποτέ· αφού το νερό που ανέβηκε προς τα πάνω πρωτότερα θα γυρίσει σ’ αυτήν· κι αν αυτό συνέβη κάποτε, θα πρέπει να δεχτούμε την επαναληπτική εμφάνισή του» (ibid, II. 3, 356b 26).*

*«Ακόμα κι αν δεν επιστρέφει πίσω η ίδια ποσότητα κάθε χρόνο ή σε μια δεδομένη περιοχή, ωστόσο σε μια ορισμένη χρονική περίοδο η συνολική ποσότητα που αφαιρέθηκε θα επιστρέψει» (ibid., II, 2, 355a 26).*

Μια εντυπωσιακή αντίληψη για τις μεταμορφώσεις που υφίσταται η γη, περιέχεται επίσης στα κείμενα του Αριστοτέλη. Συγκεκριμένα, διερωτάται αν η έκταση της γης ελαττώθηκε, συγκρινόμενη με την έκταση της θάλασσας. Ο Αριστοτέλης πιστεύει ότι μακροχρόνια όλα αλλάζουν:

*«Τα ίδια μέρη της γης δεν μένουν πάντα υγρά ή ξηρά, μα αλλάζουν εξαρτώμενα από το σχηματισμό ή την εξαφάνιση των ποταμών. Και έτσι η σχέση της ξηράς με τη θάλασσα αλλάζει, και ένα μέρος δεν παραμένει πάντα γη ή θάλασσα όλο το χρόνο, αλλά εκεί όπου ήταν ξηρά γίνεται θάλασσα, και εκεί όπου τώρα είναι θάλασσα, μια μέρα θα γίνει ξηρά» (ibid., I.14, 351a 19).*

*«... ούτε ο Ταναΐς [ο ποταμός Δον στη Ρωσία] ούτε ο Νείλος κυλούσαν για πάντα, αλλά η περιοχή στην οποία τώρα ρέουν ήταν κάποτε άνυδρη· γιατί η ζωή τους έχει όρια, μα ο χρόνος δεν έχει... Αλλά αν οι ποταμοί σχηματίζονται και εξαφανίζονται και δεν ήταν πάντα τα ίδια μέρη σκεπασμένα από το νερό, ανάλογα κι η θάλασσα θα πρέπει ν' αλλάζει. Και αν η θάλασσα υποχωρεί σε ένα μέρος και προωθείται σε ένα άλλο, είναι φανερό πως δεν είναι πάντα τα ίδια σημεία της υψηλίου θάλασσα ή ξηρά, αλλά όλα αλλάζουν με το πέρασμα του χρόνου (ibid., I.14, 353a 16).*

Ο διάδοχος του Αριστοτέλη στην Περιπατητική Σχολή, ο φιλόσοφος Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) υιοθέτησε και προώθησε, ακόμα και διόρθωσε, τις θεωρίες του δασκάλου του για το σχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εξαιτίας της συμπύκνωσης και της ψύξης των υδρατμών. Κατανόησε επίσης τη φύση του ανέμου:

*«Η κίνηση του αέρα είναι άνεμος» (παρατίθεται από τον Brutsaert, 1982, σ. 16),*

και τη σχέση του με τη δημιουργία των νεφών, όπως και το ρόλο της ορογραφίας σε αυτές. Επιπλέον κατανόησε τους μηχανισμούς της εξάτμισης, και ειδικότερα το πόσο επηρεάζεται αυτή από τον άνεμο:

*«Ο λόγος που οι άνεμοι, οι οποίοι είναι ψυχροί, στεγνώνουν [το έδαφος] πιο γρήγορα από ότι ο ήλιος, που είναι θερμός, και οι ψυχρότεροι άνεμοι πιο πολύ, πρέπει να είναι διότι δημιουργούν ατμό και τον μετακινούν ... ενώ ο ήλιος αφήνει αμετακίνητο τον ατμό» (ibid.).*

Τα αποσπάσματα αυτά αποτελούν ένδειξη της σημασίας που έδινε η κλασική Αθήνα στην κατανόηση των μετεωρολογικών και υδρολογικών φαινομένων. Μπορούμε να υποθέσουμε πως οι συζητήσεις αυτών των θεμάτων θα ήταν ζωνχές και θα επηρεάζονταν από προλήψεις. Έτσι έντονα εκδηλώνονται στο θεατρικό έργο 'Νεφέλαι' του κωμωδιογράφου Αριστοφάνη (περίπου 448-385 π.Χ.). Ο πρωταγωνιστής του έργου Στρεψιάδης, Αθηναίος πολίτης, γίνεται μαθητής του Σωκράτη. Ο ακόλουθος διάλογος μεταξύ των δύο, αποκαλύπτει ότι οι Αθηναίοι δυσκολεύονταν να αποδεχτούν τις αρχές της φυσικής ως αιτίες των φαινομένων, και ήταν έτοιμοι να μεταπλάσσουν αυτές τις αρχές, σε νέου τύπου θεότητες:

*Σωκ: Ποιος Δίας; Μη χωρατεύεις. Δεν υπάρχει κανένας Δίας.*

*Στρεψ: Μα τι λες; Τότε ποιος βρέχει; Αυτό πρώτα απ' όλα να μου εξηγήσεις.*



*Σωκ: Στα σίγουρα. Θα στο διδάξω με ακαταμάχητα στοιχεία. Έλα τώρα, τον έχεις δει ποτέ κάπου να βρέχει χωρίς Σύννεφα; Κι όμως θα έπρεπε να βρέχει με ζαστεριά, κι αυτά να λείπουν.*

*Στρεψ: Μα τον Απόλλωνα, στ' αλήθεια ορθά το αποδεικνύεις με αυτή σου την επιχειρηματολογία. Κι όμως, πριν απ' αυτό, πραγματικά νόμιζα πως ο Δίας προκαλεί τη βροχή. Αλλά πες μου ποιος είναι που προκαλεί τους κεραυνούς; Αυτό με κάνει να τρέμω.*

*Σωκ: Αυτά, καθώς κυλούν, κάνουν τους κεραυνούς.*

*Στρεψ: Με ποιο τρόπο; παράτολμε άνθρωπε!*

*Σωκ: Όταν γεμίσουν με πολύ νερό, και ωθούνται και παρασύρονται πιο πέρα, καθώς απαιρητήτως ορμούν προς τα κάτω όταν γεμίσουν με βροχή, τότε πέφτουν βαριά το ένα πάνω στ' άλλο και σκάνε και κτυπάνε.*

*Στρεψ: Ποιος είναι που τα ωθεί και τα παρασύρει πιο πέρα; Δεν είν' ο Δίας;*

*Σωκ: Καθόλου, αλλά ο αιθερικός Στρόβιλος.*

*Στρεψ: Ο Στρόβιλος; Είχε διαφύγει της προσοχής μου ότι δεν υπάρχει ο Δίας, και ότι βασιλεύει τώρα ο Στρόβιλος στη θέση του. Αλλά ακόμη δεν μου έχεις διδάξει τίποτε σχετικά με τη βροντή και τον κεραυνό.*

*Σωκ: Μα δεν με άκουσες που είπα ότι τα Σύννεφα, όταν γεμίσουν υγρασία, προσκρούουν το ένα στο άλλο και βροντούν λόγω της πυκνότητάς τους; (Νεφέλαι, 356, από μετάφραση του W.J. Hickie).*

## ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Στην Ελληνιστική περίοδο, αναπτύχθηκαν πολλές διαφορετικές σχολές σκέψης στον ελληνικό κόσμο, μεταξύ των οποίων ξεχώρισαν οι Σκεπτικοί, οι Στωικοί, και οι Επικούρειοι. Αυτή η τελευταία σχολή, η οποία καινοτόμησε δεχόμενη για μαθητές και γυναίκες και σκλάβους, ήταν αυτή που διερεύνησε πιο πολύ τη φύση και τα φυσικά φαινόμενα. Ο ιδρυτής της Επίκουρος (341-270 π.Χ.), που επίσης έζησε στην Αθήνα, αντιπροσώπευε μια παρέκκλιση από τους άλλους σύγχρονους και παλαιότερους μεγάλους φιλοσόφους. Παρ' όλ' αυτά, διατήρησε κάποιες από τις ιδέες των παλαιότερων. Όπως ο Λεύκιππος (στο πρώτο μισό του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα) και ο Δημόκριτος (περίπου 450-370 π.Χ.), ήταν 'ατομιστής', δηλαδή πίστευε πως τα βασικά συστατικά που απαρτίζουν τον κόσμο είναι τα άτομα, που ίπτανται και συγκρούονται μέσα στον άδειο χώρο (το κενό). Θεωρούσε αυτές τις κινήσεις τυχαίες μάλλον παρά τακτικές, εκφράζοντας έτσι μια διαφορετική άποψη από τον ντετερμινισμό του Λεύκιππου και του Δημόκριτου, και πιο σύμφωνη με τον ντετερμινισμό του Ηράκλειτου (περίπου 535-475 π.Χ.). Η νέα αυτή άποψη επέτρεψε να αναπτυχθεί η έννοια της ελεύθερης βούλησης: σύμφωνα με τον Επίκουρο, οι Θεοί υπάρχουν, αλλά δεν παρεμβαίνουν στα φυσικά φαινόμενα ή στις ανθρώπινες υποθέσεις. Οι προχωρημένες του ιδέες παρανοήθηκαν από πολλούς μεταγενέστερα (αλλά ακόμα και στις μέρες μας): με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την ιδέα του 'ηδονισμού', που σήμερα έχει ένα αρνητικό νόημα, διαφορετικό από αυτό της διδασκαλίας του Επίκουρου.

Είναι εντυπωσιακές οι επιστημολογικές του απόψεις, που θα μπορούσαν να σταθούν σε μια σύγχρονη ακαδημαϊκή συζήτηση, όπως δείχνει για παράδειγμα το ακόλουθο απόσπασμα (πρβλ. τη σύγχρονη αντίληψη της θεωρίας των Πάντων):

*«Δεν είναι καλό να επιθυμούμε ό,τι είναι αδύνατο, και να πασχίζουμε να διατυπώσουμε μια ενιαία θεωρία των πάντων· ανάλογα, δεν θα έπρεπε εδώ να υιοθετήσουμε τη μέθοδο, που ακολουθήσαμε στις έρευνες μας για την ηθική, ή για τη λύση των προβλημάτων της φυσικής φιλοσοφίας ... Δεν μπορούμε να λειτουργούμε με τον ίδιο τρόπο αναφορικά με τα ουράνια φαινόμενα· αυτά μπορεί να εξαρτώνται από ποικίλες διαφορετικές αιτίες και είναι δυνατό να δώσουμε πολλές διαφορετικές επεξηγήσεις στο ζήτημα που συμφωνούν εξ ίσου με την εντύπωση που έχουμε από τις αισθήσεις μας. ... Εκτός αυτού, δεν τίθεται εδώ το ζήτημα για μια συλλογιστική πάνω σε νέες αρχές, και τη διατύπωση νέων κανόνων για την εκ των προτέρων ερμηνεία της φύσης· για μας ο μόνος οδηγός που ακολουθούμε είναι τα ίδια τα φαινόμενα» (Επιστολή στον Πυθοκλή, που αναφέρει ο Διογένης ο Λαέρτιος, από μετάφραση του C.D. Yonge).*

Μερικές απόψεις του για τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, παρουσιάζονται στην ίδια αυτή επιστολή προς τον Πυθοκλή:

*«Όταν τα σύννεφα συγκρούονται μεταξύ τους ή υπόκεινται σε κάποιο μετασχηματισμό, παράγουν νεροποντές· και οι παρατεταμένες βροχές προκαλούνται από την κίνηση των νεφών όταν μεταφέρονται μέσω του αέρα» (ibid.).*

*«Τα νέφη είναι δυνατόν να έχουν σχηματιστεί από τον αέρα που συμπυκνώθηκε κάτω από την πίεση των ανέμων, ή από την επενέργεια ατόμων απομονωμένων στα άκρα, ή από εκπομπές από τη γη και τα νερά, ή από άλλες αιτίες...» (ibid.).*

Επίσης μελέτησε και προσπάθησε να δώσει εξηγήσεις για τις θύελλες, το χαλάζι, το χιόνι, την πάχνη, τον παγετό, το ουράνιο τόξο, την αστραπή και τη βροντή· για τη χρονική υστέρηση των δύο λέει:

*«... ίσως, τα δύο φαινόμενα να συμβαίνουν ταυτόχρονα, αλλά η αστραπή φτάνει σε μας πιο γρήγορα παρά ο θόρυβος του κεραυνού, όπως έχει παρατηρηθεί πράγματι σε άλλες περιπτώσεις, όταν για παράδειγμα βλέπουμε από απόσταση τη σύγκρουση δύο αντικειμένων» (ibid.).*

Από τη σχολή των Στωικών, ο Ποσειδώνιος (περίπου 135-51 π.Χ.) είναι ο γνωστότερος για τις μελέτες του στα μετεωρολογικά φαινόμενα. Μεταξύ των γραπτών του, που χάθηκαν όλα πλην ελάχιστων αποσπασμάτων, είναι οι πραγματείες 'Περί μετεωρολογίας' και 'Περί μετεώρων'. Γνωρίζουμε ότι μελέτησε τα νέφη, την ομίχλη, τον άνεμο, τη βροχή, τον παγετό, το χαλάζι, την ίριδα και την αστραπή, ακολουθώντας πιστά τις διδασκαλίες του Αριστοτέλη.

Στην Ελληνιστική περίοδο η επιστήμη εμφανίζεται να έχει πιο αυστηρή βάση, να πλησιάζει πιο πολύ στη σημερινή της έννοια. Για το λόγο αυτό, σ' αυτή την περίοδο μπορούμε να αποδώσουμε την ίδρυση των μοντέρνων μαθηματικών από τον Ευκλείδη (περίπου 325-265 π.Χ.), τον Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.) και τον Απολλώνιο (περίπου 262-190 π.Χ.), και της μοντέρνας αστρονομίας από τον Αρίσταρχο τον Σάμιο (310-230 π.Χ.) και τον Ερατοσθένη (267-194 π.Χ.). Ο Αρχιμήδης θεωρείται επίσης φυσικός και μηχανικός, και ιδρυτής της υδροστατικής. Καθιέρωσε τη φερώνυμη αρχή, ότι ένα σώμα βυθιζόμενο σε ένα υγρό, υπόκειται σε μια δύναμη προς τα άνω (άνωση) ίση με το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού.

Ένας ακόμη διάσημος μαθηματικός, φυσικός και μηχανικός των τελευταίων χρόνων της Ελληνιστικής περιόδου, είναι ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (έζησε περίπου το 150 π.Χ., κατ' άλλους από 10-70 μ.Χ.). Στην πραγματεία του 'Πνευματικά' θεμελίωσε αρκετές έννοιες φυσικής με ερμηνείες αποδεκτές ως σήμερα, όπως την πίεση (την πίεση του αέρα, την πίεση του νερού, και τη σχέση των δύο), την ταχύτητα ροής και την παροχή. Είναι εντυπωσιακές οι απόψεις του, και η πολύ σύγχρονη πειραματική του μέθοδος, όπως αποκαλύπτεται στο εξής απόσπασμα:



**Εικόνα 5.** Η ατμομηχανή του Ήωνα.

*«Τα δοχεία που στους περισσότερους ανθρώπους φαίνονται άδεια δεν είναι άδεια, όπως αυτοί υποθέτουν, μα γεμάτα αέρα. Τώρα ο αέρας, σύμφωνα με αυτά που λένε όσοι ασχολούνται με τη φυσική, αποτελείται από σωματίδια μικροσκοπικά και ελαφρά, και κατά μεγάλο μέρος αόρατα. Αν, λοιπόν, χύσουμε νερό σε ένα φαινομενικά άδειο δοχείο, ο αέρας θα εγκαταλείψει το δοχείο σε ανάλογη ποσότητα με το νερό που εισέρχεται σε αυτό. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε από το ακόλουθο πείραμα. Αν αναποδογυρίσουμε το φαινομενικά άδειο δοχείο, και, διατηρώντας το προσεκτικά κατακόρυφο, το πιέσουμε προς τα κάτω στο νερό, το νερό δεν θα εισέλθει σ' αυτό αν και είναι πλήρως βυθισμένο· έτσι αποδεικνύεται ότι ο αέρας, όντας ύλη, και έχοντας ο ίδιος γεμίσει όλο το χώρο του δοχείου, δεν επιτρέπει στο νερό να εισέλθει. Τώρα, αν τρυπήσουμε τον πυθμένα του δοχείου, το νερό θα εισέλθει από το στόμιο, αλλά ο αέρας θα διαφύγει από την τρύπα ... Επομένως θα πρέπει να συμπεράνουμε πως ο αέρας είναι ύλη. Ο αέρας όταν τεθεί σε κίνηση γίνεται άνεμος (διότι ο άνεμος δεν είναι τίποτ' άλλο παρά αέρας σε κίνηση) και αν, όταν ο πυθμένας του δοχείου έχει διατρηθεί και εισέρχεται το νερό, τοποθετήσουμε το*

*χέρι πάνω στην τρύπα, θα νιώσουμε τον αέρα που διαφεύγει απ' το δοχείο ... Δεν πρέπει λοιπόν να υποτεθεί ότι υπάρχει στη φύση ένα ξεκάθαρο και συνεχές κενό, αλλά αυτό κατανέμεται σε μικρές ποσότητες στον αέρα, τα υγρά και όλα τα άλλα σώματα ... Οι άνεμοι παράγονται από υπέρμετρη 'αναθυμίαση' όταν ο αέρας διαταράσσεται και αραιώνει, και θέτει σε κίνηση τις γειτονικές αέριες μάζες. Αυτή η κίνηση του αέρα, παρ' όλ' αυτά, δεν έχει παντού την ίδια ταχύτητα: είναι πιο βίαιη στην περιοχή της 'αναθυμιάσης', εκεί όπου η κίνηση ξεκινά» (Πνευματικά, από μετάφραση του B. Woodcroft).*

Ο Ήρων είχε την ικανότητα να μετατρέπει την θεωρητική γνώση του σε τεχνολογικά εφευρήματα. Έτσι, περιγράφει στα γραπτά του πολλά επινοήματα και μηχανισμούς που εφεύρε, μεταξύ των οποίων το απλούστερο είναι ο σίφοντας και το πιο γνωστό είναι μια ατμομηχανή (στοβιλομηχανή), η πρώτη καταγραμμένη μηχανή που εκμεταλλεύεται τη δύναμη του ατμού (Εικ. 5), που δημιουργήθηκε σχεδόν δύο χιλιάδες χρόνια πριν από τη βιομηχανική επανάσταση.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τεχνολογικές εφαρμογές που στοχεύουν στην αξιοποίηση των φυσικών πηγών, εμφανίζονται σε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς. Αυτό που είναι μοναδικό στον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό είναι το γεγονός ότι οι τεχνολογικές ανάγκες πυροδότησαν φυσικά θεμελιωμένες εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων, επιτρέποντας έτσι την ίδρυση της φιλοσοφίας και της επιστήμης. Ξεχωριστό ρόλο κατείχε η μελέτη των υδρομετεωρολογικών φαινομένων. Πολλές από τις θεωρίες που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού, είναι λανθασμένες σύμφωνα με τη σύγχρονη γνώση. Εν τούτοις, υπάρχουν πολλά εντυπωσιακά στοιχεία στις ελληνικές επεξηγήσεις και ερμηνείες των διαφόρων υδρομετεωρολογικών διεργασιών, όπως της εξάτμισης και της υγροποίησης των υδρατμών, της δημιουργίας των νεφών, της χαλαζόπτωσης, της χιονόπτωσης και της βροχόπτωσης, και του όλου υδρολογικού κύκλου. Φυσικά, στο τελευταίο στάδιο αυτού του πολιτισμού, την Ελληνιστική περίοδο, οι θεωρίες ήταν πιο εξελιγμένες, πλησιέστερες στη σύγχρονη επιστήμη, όπως την εννοούμε σήμερα, και αποκαλύπτουν πληρέστερη κατανόηση της φυσικής.

Όπως και σήμερα, και τότε χρειαζόταν σθένος για τη διατύπωση νέων επιστημονικών θεωριών. Όπως υποδεικνύεται από τον Πλούταρχο:

*«Ο Αναξαγόρας ήταν ο πρώτος που έθεσε γραπτώς, πιο ξεκάθαρα και πιο ευθαρσώς απ' όλους, την εξήγηση για τη λαμπρότητα και τη σκίαση της σελήνης ... Διότι εκείνες τις μέρες αρνούσαν να ανεχθούν τους φυσικούς επιστήμονες και τους παρατηρητές των άστρων, όπως ονομάζονταν, που αποτολμούσαν να διαλύουν τη θεότητα κομματιάζοντάς τη σε παράλογες αιτίες, τυφλές δυνάμεις, και αναγκαίες ιδιότητες. Εξ αιτίας αυτού ο Πρωταγόρας εξορίστηκε, και ο Αναξαγόρας φυλακίστηκε και με δυσκολία διασώθηκε από τον Περικλή» (Πλουτάρχου Βίοι Παράλληλοι: Νικίας, 23· από μετάφραση του I. Velikovsky).*

**ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Ahrens, C. D., *Essentials of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere*, West Publishing, Minneapolis, 1993.
- Brutsaert, W., *Evaporation into the Atmosphere*, Reidel, Dordrecht, 1982.
- Koutsoyiannis, D., and A. N. Angelakis, Hydrologic and hydraulic science and technology in ancient Greece, *The Encyclopedia of Water Science*, Dekker, New York, 415-417, 2003.
- Krutwig Sagredo, F. C., *El Milagro Griego*, Ελληνική Έκδοση: Εκδοτική Θεσσαλονίκης, 2006.
- Price, M., *Introducing Groundwater*, Allen & Unwin, London, 1985.
- Todd, D. K., *Groundwater Hydrology*, Wiley, New York-London, 1959.
- Γεωργούλης, Κ. Δ., Αναξαγόρας, λήμμα στο *Νεώτερον Εγκυκλοπαιδικόν Λεξικόν "Ηλίου"*, τόμος 2, σσ. 680-688, Εγκυκλοπαιδική Επιθεώρηση Ήλιος, Αθήνα, 1957.