

**11ο Θερινό Οικολογικό Πανεπιστήμιο**

**Ύδρα, Ιούλιος 2009**

# **Υδρομετεωρολογικά ζητήματα στην αρχαία επιστήμη και φιλοσοφία**

**Δημήτρης Κουτσογιάννης, Νίκος Μαμάσης &  
Άρης Τέγος**

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



# Εισαγωγή

- Γενικά θεωρείται ότι οι πιο θεμελιώδεις υδρολογικές και μετεωρολογικές αρχές διατυπώθηκαν από τον 16ο αιώνα και ύστερα:
  - Οι Leonardo da Vinci και Bernard Palissy διατύπωσαν την έννοια του υδρολογικού κύκλου το 16<sup>ο</sup> αιώνα.
  - Ο Pierre Perrault (1611?-1680), γάλλος δικηγόρος και συγγραφέας, στη μελέτη του *De l'origine des fontaines* (1674) έδειξε ότι η βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής του Σηκουάνα επαρκεί για να τροφοδοτήσει την απορροή του, που είναι μόνο το 1/6 της βροχόπτωσης.
  - Ο Edme Mariotte (1620?-1684), γάλλος φυσικός και ιερέας, μέτρησε την ταχύτητα και τη διατομή και υπολόγισε την παροχή του Σηκουάνα.
  - Ο Edmund Halley (1656-1742), άγγλος αστρονόμος, γεωφυσικός, μαθηματικός, μετεωρολόγος και φυσικός, έδειξε ότι η εξάτμιση από τη Μεσόγειο είναι αρκετή για να τροφοδοτήσει την απορροή των ποταμών που εκρέουν σε αυτή.

# Εισαγωγή (συνέχεια...)

- Παραδοσιακά θεωρείται πως οι παλαιότεροι, συμπεριλαμβανομένων των ελλήνων, είχαν παρανοήσει 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).*

*«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).*

# Εισαγωγή (συνέχεια...)

- 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).
- Όμως είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ιστορία των επιστημών, και πρέπει να σκιαγραφούμε 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.

# Σύγχρονο γνωσιολογικό υπόβαθρο

# Η σημερινή γνώση για τον υδρολογικό κύκλο



Το αυθεντικό διάγραμμα δεν περιέχει αριθμητικά δεδομένα, ενώ η όλη εικόνα περιέχει παραπλανητικά στοιχεία. Ποιά;

Πηγές: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>, <http://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/660/>

# Ενεργειακή τροφοδοσία του υδρολογικού κύκλου

**ΔΙΑΣΤΗΜΑ**

← ΒΡΑΧΕΑ ΚΥΜΑΤΑ →

← ΜΑΚΡΑ ΚΥΜΑΤΑ →

Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία

100

Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Εξερχόμενη ακτινοβολία βραχέων και μακρών κυμάτων

100

6

20

4

6

64

**ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

Απορρόφηση από το O<sub>3</sub>

Απορρόφηση απ' τα σύννεφα

Απορρόφηση από τους υδατμούς και τη σκόνη

Διάχυση απ' την ατμόσφαιρα

Ανάκλαση απ' τα σύννεφα

Ανάκλαση απ' την επιφάνεια

Απορρόφηση και εκπομπή απ' τα αέρια θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O κ.ά.)



Απορρόφηση και εκπομπή απ' τα σύννεφα

Ροή αισθητής θερμότητας (αγωγή, κατακόρυφη μεταφορά)

Ροή λανθάνουσας θερμότητας (εξάτμιση, διαπνοή)

51

117

111

96

7

23

**ΩΚΕΑΝΟΙ, ΕΔΑΦΟΣ**

Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας απ' την επιφάνεια

Εκπομπή μακρών κυμάτων απ' την επιφάνεια

Απορρόφηση μακρών κυμάτων απ' την επιφάνεια

# Παράξενες ιδιότητες του νερού

- Αφθονία στην επιφάνεια του πλανήτη:
  - $1340 \times 10^6 \text{ km}^3$  (96.5% αλμυρό)
  - κατάληψη του 70% της επιφάνειας της γης
- Ταυτόχρονη παρουσία του στις τρεις φάσεις (στερεό – υγρό – αέριο).
- Συμπεριφορά στις αλλαγές φάσης
  - Πυκνότητα πάγου = 91.7% της πυκνότητας του νερού με συνέπειες:
    - Ο πάγος δεν βυθίζεται
    - Γεωλογικές διεργασίες
    - Κίνδυνοι για υδραυλικά έργα
- Μεγάλη θερμοχωρητικότητα
  - Κλιματικός θερμοστάτης της γης (ωκεανοί)
  - Σταθεροποίηση της θερμοκρασίας των βιολογικών οργανισμών
  - Αποτελεσματικό μέσο κατάσβεσης πυρκαγιών

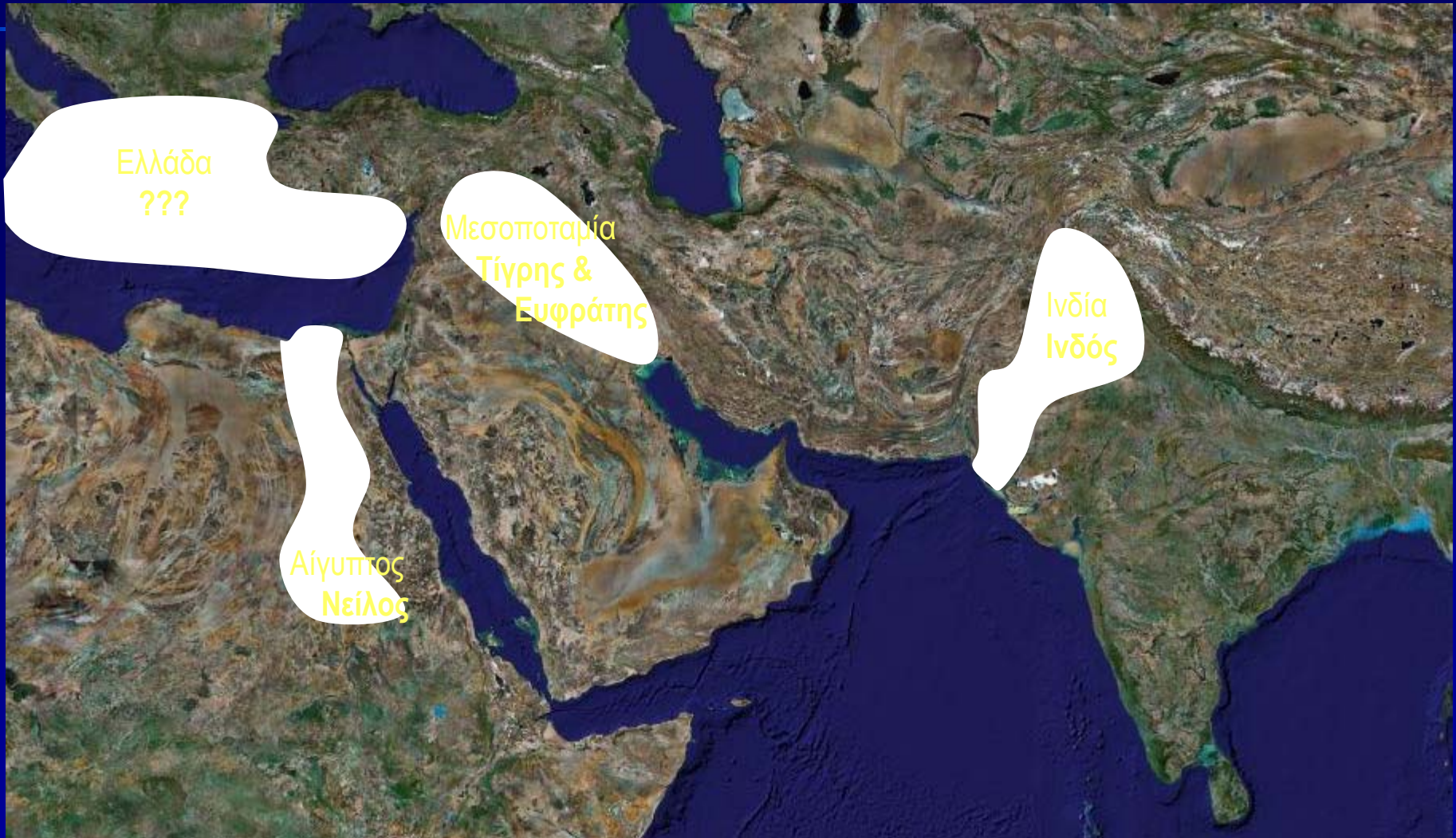


# Παράξενες ιδιότητες του νερού (2)

- Μεγάλη ειδική λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης
  - Αποτελεσματικός εναλλάκτης θερμότητας
  - Καθοριστικός παράγοντας στην ανταλλαγή ενέργειας
- Αποτελεσματικός διαλύτης
  - Ρυθμιστής της κυκλοφορίας πολλών ουσιών στην υδρόγειο (π.χ. CO<sub>2</sub>)
  - Γεωμορφολογικός ρυθμιστής (π.χ. διάβρωση ασβεστολίθων)
  - Ελιξίριο ζωής
  - Καθαριστικό υγρό
- Μικρή συνεκτικότητα
  - Γρήγορη κίνηση στην επιφάνεια της γης
- Επιφανειακή τάση
  - Τριχοειδή φαινόμενα

# **Γενικό ιστορικό και λογικό υπόβαθρο**

# Αρχαίοι πολιτισμοί που προηγήθηκαν



- Οι προηγούμενοι μεγάλοι πολιτισμοί άνθισαν στις πεδιάδες μεγάλων ποταμών (αφθονία νερού)
- Η Ελλάδα δεν έχει μεγάλους ποταμούς (σπανιότητα νερού)



# Η αφθονία είναι παράδεισος;

Ο Αδάμ και η Εύα περνούσαν ωραία στον παράδεισο (Εδέμ) ένα μέρος που όλα τα αγαθά αφθονούσαν—και το **νερό**.

Όμως εκδιώχτηκαν απ' αυτό το ωραίο μέρος, ως τιμωρία γιατί η Εύα δεν μπορούσε να αντισταθεί στο αγαθό του δέντρου της **γνώσης**.



Εικόνες του καλλιτέχνη Tommy Christopher Canning, <http://www.art-of-divinemeracy.co.uk/Creatio.htm>

# Η σπανιότητα του νερού και ο μύθος της φιλονικίας Αθηνάς-Ποσειδώνα για την Αθήνα

- Για να διαλέξουν προστάτη της πόλης τους οι Αθηναίοι οργάνωσαν διαγωνισμό ανάμεσα σε δύο θεούς: την Αθηνά (θεά της σοφίας) και τον Ποσειδώνα (θεό των υδάτων).
- Ο Ποσειδών πρόσφερε αφθονία πηγαίου νερού.
- Η Αθηνά πρόσφερε το ελαιόδεντρο και μια εξήγηση γιατί θα ήταν σοφότερο να το διαλέξουν.
- Οι Αθηναίοι προτίμησαν τη σοφία.

- Η σπανιότητα μπορεί να μην είναι τιμωρία (όπως στη βιβλική ιστορία)—αλλά επιλογή.
- Η σοφία μπορεί να είναι ισχυρότερη από την αφθονία.



# Κύρια ερωτήματα

- Τι είναι παράδεισος;
  - Αφθονία (που να μη χρειάζεται προσπάθεια);
  - ή
  - Σπανιότητα (που πυροδοτεί τη γνώση, τη σοφία και την πρόοδο);
- Τι ρόλο έπαιξαν το νερό και τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα στη γέννηση της επιστήμης;

# Μυθολογίας συνέχεια...

Ερυθρόμορφο Αττικό αγγείο του **6ου αιώνα π.Χ.** που απεικονίζει τη μάχη του Ηρακλή ενάντια στον Αχελώο



Ο Αχελώος είναι ο μεγαλύτερος σε παροχή ποταμός της Ελλάδας

Το νόημα της νίκης του Ηρακλή, όπως απομυθοποιήθηκε από τον ιστορικό **Διόδωρο το Σικελιώτη** (~ 90-30 π.Χ.) και το γεωγράφο **Στράβωνα** (~ 64 π.Χ.-24 μ.Χ.), σχετίζεται με τη διευθέτηση του ποταμού και την κατασκευή αναχωμάτων για τον περιορισμό της μετακινούμενης κοίτης του.



# Μυθολογία και τέχνη—στο διηνεκές

Λεπτομέρεια από ανάγλυφο στον Πύργο των Ανέμων της Αθήνας, (2ος ή 1ος αιώνας π.Χ.): Καικίας, ο Βόρειο-ανατολικός άνεμος, με θυρεό με χαλαζόκοκκους



Αν και στην ιστορική εξέλιξη του αρχαιοελληνικού πολιτισμού, μέχρι τον 2<sup>ο</sup> ή 1<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. (δηλαδή το τέλος της Ελληνιστικής περιόδου), είχαν αναπτυχθεί πιο επιστημονικές θεωρήσεις, οι μυθολογικές απόψεις και οι συμβολισμοί παρέμειναν δημοφιλείς, ιδιαίτερα σαν έμπνευση για τις τέχνες.

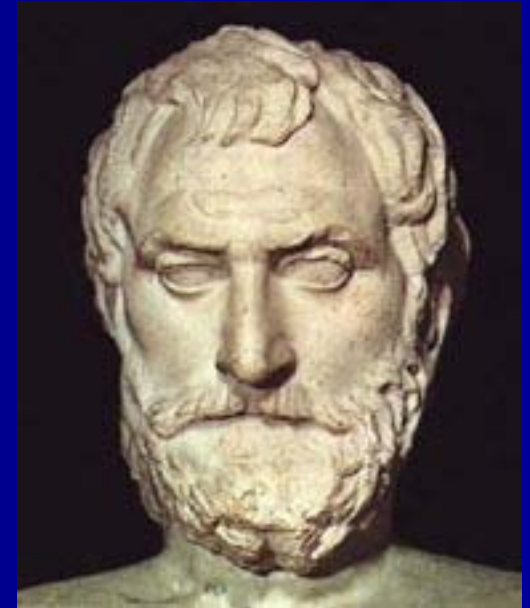
# **Οι Έλληνες φιλόσοφοι και η γέννηση της επιστήμης**

# Η γέννηση και ανάπτυξη της φιλοσοφίας και της επιστήμης

- Περί το 600 π.Χ. γεννήθηκε στην Ιωνία μια νέα προσέγγιση για την κατανόηση της φύσης. Αυτή απέρριπτε τις μεταφυσικές εξηγήσεις, όπως εκφράζονταν στη μυθολογία και τα επικά ποιήματα (κυρίως στην Ιλιάδα και την Οδύσσεια του Ομήρου), και προσπαθούσε να δώσει φυσικές εξηγήσεις στα φυσικά φαινόμενα.
- Κυρίαρχη θέση στη φυσική φιλοσοφία και επιστήμη που γεννήθηκε έχουν τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα.
- Η φιλοσοφία και η επιστήμη αναπτύχθηκαν περισσότερο στην κλασική Αθήνα τον 5<sup>ο</sup> και τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., σχηματίζοντας ένα γνωσιολογικό σώμα που θα κυριαρχούσε για σχεδόν 2000 χρόνια.
- Ωστόσο, στην ελληνιστική περίοδο (~ 4<sup>ος</sup>-1<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) οι επιστημονικές θεωρήσεις ήταν πολύ πιο προχωρημένες και εγγύτερες στη μοντέρνα επιστήμη.

# Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.)

- Ήταν ένας από τους επτά σοφούς της Ελλάδας και ο ιδρυτής της Ιωνικής φιλοσοφίας (σύμφωνα με πολλούς ο πατέρας της φιλοσοφίας και της επιστήμης).
- Διατύπωσε τη θεωρία ότι το νερό ήταν η βασική ουσία του κόσμου.
- Πραγματοποίησε την εκτροπή του ποταμού Άλη (για να βοηθήσει τη στρατιά του Κροίσου, βασιλιά της Λυδίας, σε μια μάχη ενάντια στη στρατιά του Κύρου, βασιλιά της Περσίας· Ηρόδοτου Ιστορίαι, Κλειώ, 75), κάτι που υπογραμμίζει το σύνδεσμο της τεχνολογίας με την επιστήμη.
- 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), αποδίδοντάς το (εσφαλμένα) στο καθεστώς των ανέμων. Το γεγονός ότι τοποθέτησε το «αίνιγμα» ως επιστημονικό υδρολογικό πρόβλημα μπορεί να δικαιολογήσει το χαρακτηρισμό του ως του πρώτου υδρολόγου στην ιστορία και υπογραμμίζει τη σημασία της υδρολογίας στα πρώτα στάδια της επιστήμης.



# Αναξίμανδρος (~ 610-547 π.Χ.)

- Θεωρείται ο διάδοχος του Θαλή και είναι ο πρώτος που τόλμησε να γράψει ένα βιβλίο «Περί Φύσεως» που δεν βασιζόταν στη μυθολογία ή τη θρησκεία (Θεμίστιος, *or.* 36, σ. 317), το οποίο δυστυχώς έχει χαθεί.
- Κατανόησε τη σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και εξάτμισης:  
*«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).



# Αναξιμένης (585-525 π.Χ.)

- Υπήρξε μαθητής του Αναξίμανδρου και επινόησε λογικές εξηγήσεις για το σχηματισμό των νεφών, της βροχόπτωσης, και της χαλαζόπτωσης:

*«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).*

- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η θεωρία του για τη δημιουργία των ανέμων:

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

- Επίσης, αποπειράθηκε να ερμηνεύσει τον σχηματισμό της ίριδας (του ουράνιου τόξου) και της αστραπής (χωρίς τη θεική μεσολάβηση).



# Ξενοφάνης ο Κολοφώνιος (570-480 π.Χ.)

- Ο 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*

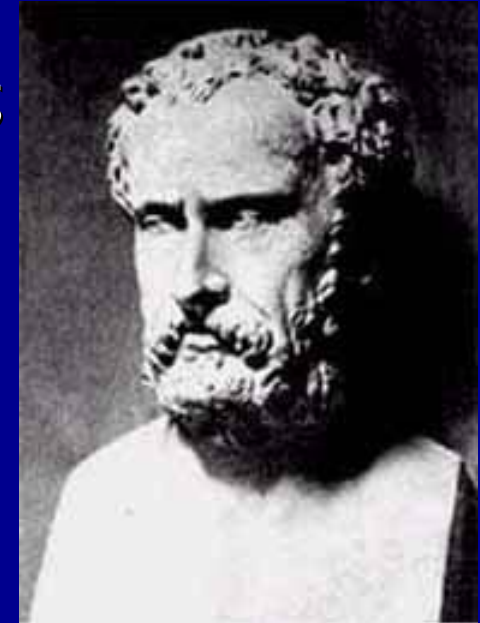
*Αφού χωρίς τη μεγάλη θάλασσα, δεν θα  
υπήρχε ο άνεμος*

*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).



# Αναξαγόρας ο Κλαζομένιος (500-428 π.Χ.)

- Θεωρείται ο 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.
- Θεώρησε ότι οι διαφορές στην πυκνότητα του αέρα, που προκαλούνται από τη θερμότητα του ήλιου, ήταν υπεύθυνες για τη δημιουργία των ανέμων (Γεωργούλης, 1957).
- Εξήγησε το ουράνιο τόξο (ίριδα, που προηγουμένως είχε προσωποποιηθεί στην ομώνυμη θεότητα):  
*«Ίριδα καλούμε την αντανάκλαση της λάμψης του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στα νέφη».*
- Προσπάθησε να ερμηνεύσει το παράδοξο των πλημμυρών του 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 χρονική καθυστέρηση.\*
- Καθώς έζησε κυρίως στην Αθήνα, μεταλαμπάδευσε τις ιδέες των Ιώνων φιλοσόφων στους Αθηναίους μαθητές του, μεταξύ των οποίων οι Περικλής, Ευριπίδης, Σοφοκλής και Ηρόδοτος.



\* Ο Ηρόδοτος (ΙστορίαΙ, Ευτέρπη) που εξιστορεί αυτήν και τις προηγούμενες ερμηνείες, δεν φαίνεται να τις ενστερνίζεται· επί πλέον, φαίνεται πως έχει μια καλή κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών.

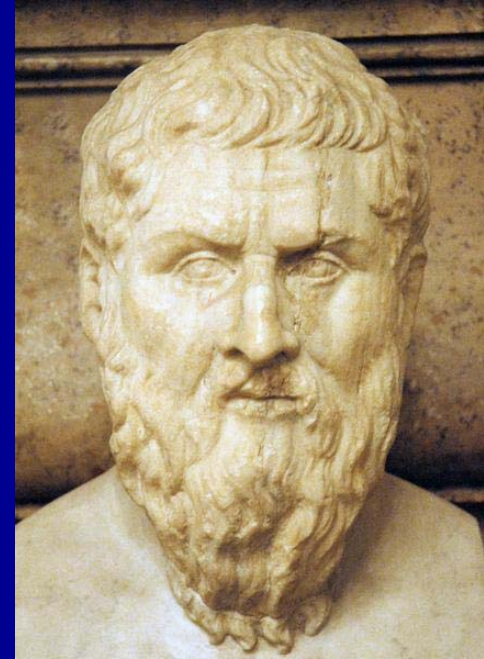


# Η κλασική Αθήνα

# Πλάτων (~ 427-347 π.Χ.)

- Είναι ο ιδρυτής της Ακαδημίας της Αθήνας και άσκησε μεγάλη επιρροή σε όλη την ιστορία της φιλοσοφίας. Η προσφορά του 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) να είναι υπεύθυνο για τις παραπλανητικές απόψεις της σημερινής εποχής για τις αρχαίες επιστημονικές μεθόδους:

*«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' ... Όθεν, κατεβαίνουν πάλι κάτω στη γη ... και **κυλούν πάλι στα Τάρταρα**» (Φαίδων 14.112· από μετάφραση του H.N. Fowler).*



# Πλάτων (συνέχεια ...)

- 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 Β. Jowett).

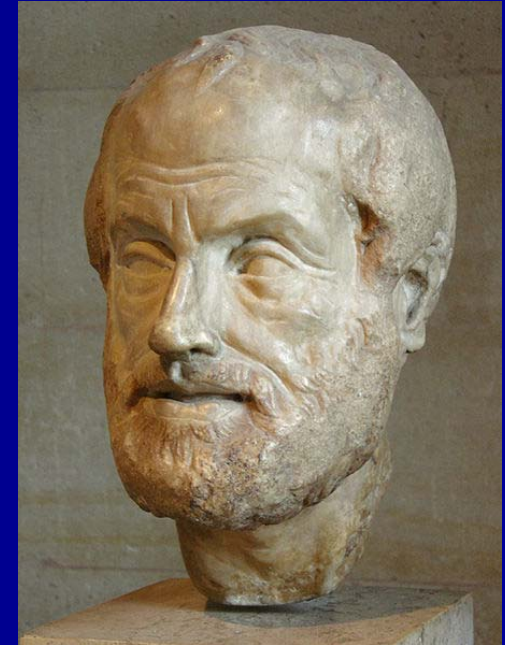
# Αριστοτέλης (384-328 π.Χ.)

- Ο 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. 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, 355a 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 πρωύτερα 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).*



# Αριστοτέλης (συνέχεια...)

- Στα κείμενα του Αριστοτέλη περιέχεται επίσης μια εντυπωσιακή αντίληψη για τις μεταμορφώσεις που υφίσταται η γη. Συγκεκριμένα, διερωτάται αν η έκταση της γης ελαττώθηκε, συγκρινόμενη με την έκταση της θάλασσας. Ο Αριστοτέλης πιστεύει ότι μακροχρόνια όλα αλλάζουν και φαίνεται να έχει κατανοήσει την αλλαγή περισσότερο απ' όσο την κατανοούμε σήμερα:

*«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).*

# Θεόφραστος (372-287 π.Χ.)

- Όντας ο διάδοχος του Αριστοτέλη στην Περιπατητική Σχολή, υιοθέτησε και προώθησε, ακόμα και διορθωσε, τις θεωρίες του δασκάλου του για το σχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εξαιτίας της συμπύκνωσης και της ψύξης των υδρατμών.
- Κατανόησε τη φύση του ανέμου:  
*«Η κίνηση του αέρα είναι άνεμος»* (παρατίθεται από τον Brutsaert, 1982, σ. 16),  
καθώς 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.).

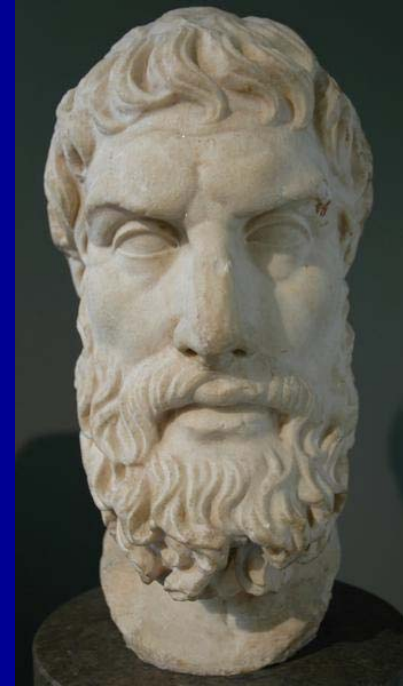


**Ελληνιστική περίοδος**

# Επίκουρος (341-270 π.Χ.)

- Ο ιδρυτής της σχολής των Επικουρείων («Κήπος», με μαθητές και γυναίκες και σκλάβους), είναι από τους πιο εξέχοντες πολεμικούς των προκαταλήψεων στην ιστορία και αντιπροσωπεύει μια παρέκκλιση από τους άλλους μεγάλους φιλοσόφους.
- Παρ' όλ' αυτά, διατήρησε κάποιες από τις ιδέες των παλαιότερων. Όπως ο Λεύκιππος (στο πρώτο μισό του 5ου 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 συγκρούονται στον άδειο χώρο (το κενό).
- Όμως θεωρούσε αυτές τις κινήσεις τυχαίες παρά τακτικές, εκφράζοντας έτσι μια διαφορετική άποψη από τον ντετερμινισμό του Λεύκιππου και του Δημόκριτου, και πιο σύμφωνη με τον ιντετερμινισμό του Ηράκλειτου (περίπου 535-475 π.Χ.). Η άποψη αυτή επέτρεψε να αναπτυχθεί η έννοια της ελεύθερης βούλησης: Θεοί υπάρχουν, αλλά δεν παρεμβαίνουν στα φυσικά φαινόμενα ή στις ανθρώπινες υποθέσεις.
- 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** ... 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).*





# Επίκουρος (341-270 π.Χ.)

- Μερικές απόψεις του για τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, παρουσιάζονται στην ίδια 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 πραγματι σε άλλες περιπτώσεις, όταν για παράδειγμα βλέπουμε από απόσταση τη σύγκρουση δύο αντικειμένων» (ibid.).

# Άλλοι φιλόσοφοι της ελληνοιστικής περιόδου

- Από τη σχολή των Στωικών, ο Ποσειδώνιος (~ 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 Ελληνοιστική 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 (~ 325-265 π.Χ.), τον Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.) και τον Απολλώνιο (περίπου 262-190 π.Χ.),
  - της μοντέρνας αστρονομίας από τον Αρίσταρχο τον Σάμιο (310-230 π.Χ.) και τον Ερατοσθένη (267-194 π.Χ.),
  - της υδροστατικής από τον Αρχιμήδη (πρβλ. 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).

# Ἡρων ο Αλεξανδρεὺς (~ 150 π.Χ. ἢ 10-70 μ.Χ.)

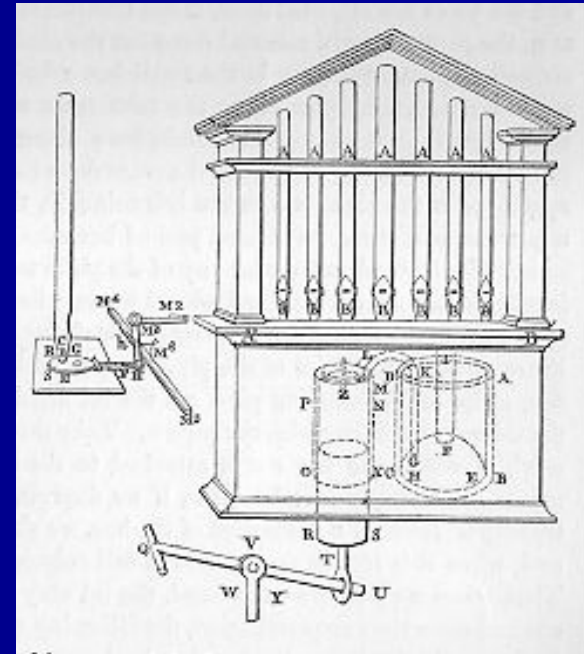
- Συνδύαζε θεωρητικὴ γνώση και τεχνολογική εφευρετικότητα. Μεταξύ των εφευρέσεων του είναι ο σίφωνας και το πιο γνωστό μια ατμομηχανή (στοβιλομηχανή)—σχεδόν 2000 χρόνια πριν τη βιομηχανική επανάσταση.
- Στην πραγματεία του Ἐνευματικά' θεμελίωσε αρκετές έννοιες φυσικής με ερμηνείες αποδεκτές ως σήμερα, όπως την πίεση (την πίεση του αέρα, την πίεση του νερού, και τη σχέση των δύο), την ταχύτητα ροῆς και την παροχή. Είναι εντυπωσιακές οι απόψεις του, και η πολύ σύγχρονη πειραματική του μέθοδος:

*« 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 άορατα. 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.»*



# Ἡρώνας Πνευματικά (συνέχεια...)

«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 **γεμίζει 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» (από μετάφραση του B. Woodcroft).

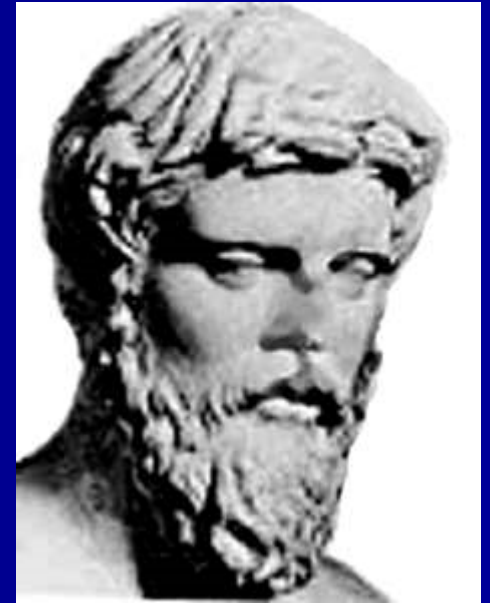


**Επίλογος**

# Η διατύπωση επιστημονικών θεωριών χρειάζεται θάρρος...

... όπως υποδεικνύεται από τον Πλούταρχο (~ 46-122 μ.Χ.):

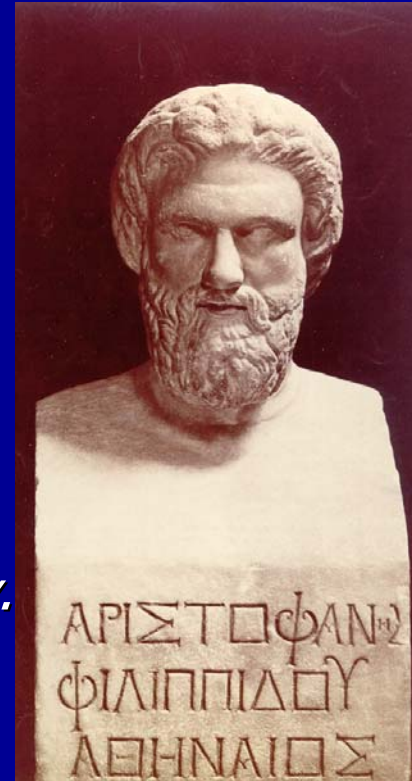
*«Ο Αναξαγόρας ήταν ο πρώτος που έθεσε γραπτώς, πιο ξεκάθαρα και πιο **ευθαρσώς** απ' όλους, την εξήγηση για τη λαμπρότητα και τη σκίαση της σελήνης ... Διότι εκείνες τις μέρες **αρνούνταν να ανεχθούν τους φυσικούς επιστήμονες** και τους παρατηρητές των άστρων, όπως ονομάζονταν, που αποτολμούσαν να διαλύουν 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)



... και όπως αποδεικνύεται από την ιστορία του Επίκουρου, εναντίον του οποίου (και των θεωριών του) εκτοξεύτηκαν διάφορες κατηγορίες, μερικές από τις οποίες (μαζί με τις παρανοήσεις των θεωριών του) επιβιώνουν ως σήμερα—ενώ τα γραπτά του δεν επιβίωσαν.

# Η κατανόηση και η αποδοχή των επιστημονικών θεωριών δεν είναι εύκολη ...

- ... όπως σατιρίζεται από τον Αριστοφάνη (~ 448-385 π.Χ.) στην κωμωδία του *Νεφέλαι* :
- Σωκράτης: Ποιος Δίας; Μη χωρατεύεις.  
**Δεν υπάρχει κανένας Δίας.**
  - Στρεψιάδης: 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 ξαστεριά, 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!



# Αριστοφάνους *Νεφέλαι* (συνέχεια...)

- *Σωκ: Όταν γεμίσουν με πολύ νερό, και ωθούνται και παρασύρονται πιο πέρα, καθώς απαραίτητως 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).*



# Πηγές

## Αναφορές

- 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 'Ηλιος, Αθήνα, 1957.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

## Εικόνες

- Αναξαγόρας: [www.on.br/site\\_edu\\_dist\\_2006/site/conteudo/modulo1/2-cosmologia-grega/cosmologia-grega.html](http://www.on.br/site_edu_dist_2006/site/conteudo/modulo1/2-cosmologia-grega/cosmologia-grega.html)
- Αναξίμανδρος: <http://www.hypatia-lovers.com/AncientGreeks/Section04.html>
- Αναξίμενης: [en.wikipedia.org/wiki/Image:Anaximenes.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Anaximenes.png)
- Αριστοτέλης: [http://simple.wikipedia.org/wiki/Image:Aristoteles\\_Louvre.jpg](http://simple.wikipedia.org/wiki/Image:Aristoteles_Louvre.jpg)
- Αριστοφάνης: [www.phil.uni-erlangen.de/~p1altar/photo\\_html/portraet/griechisch/dichter/aristophanes/aristo1.JPG](http://www.phil.uni-erlangen.de/~p1altar/photo_html/portraet/griechisch/dichter/aristophanes/aristo1.JPG)
- Απτικό αγγείο: Βρετανικό Μουσείο
- Επίκουρος: [www.livius.org/a/1/greeks/epicurus.JPG](http://www.livius.org/a/1/greeks/epicurus.JPG)
- Θαλής: [en.wikipedia.org/wiki/Image:ThalesofMiletus.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:ThalesofMiletus.jpg)
- Ξενοφάνης: <http://www.crystalinks.com/xenophanes.jpg>
- Πλάτων: [http://www.livius.org/a/1/greeks/plato\\_cm.JPG](http://www.livius.org/a/1/greeks/plato_cm.JPG)
- Πλούταρχος: [www.mlahanas.de/Greeks/Bios/Plutarch.html](http://www.mlahanas.de/Greeks/Bios/Plutarch.html)
- Πύργος Ανέμων: [www.stoa.org/athens/sites/romagora/source/p06059.html](http://www.stoa.org/athens/sites/romagora/source/p06059.html)