



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Ανθρωπιστικών Σπουδών – Ενότητα 2

Ιστορική και φιλοσοφική εισαγωγή στην επιστημονική μέθοδο

Δημήτρης Κουτσογιάννης

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

(dk@itia.ntua.gr, <http://www.itia.ntua.gr/dk/>)

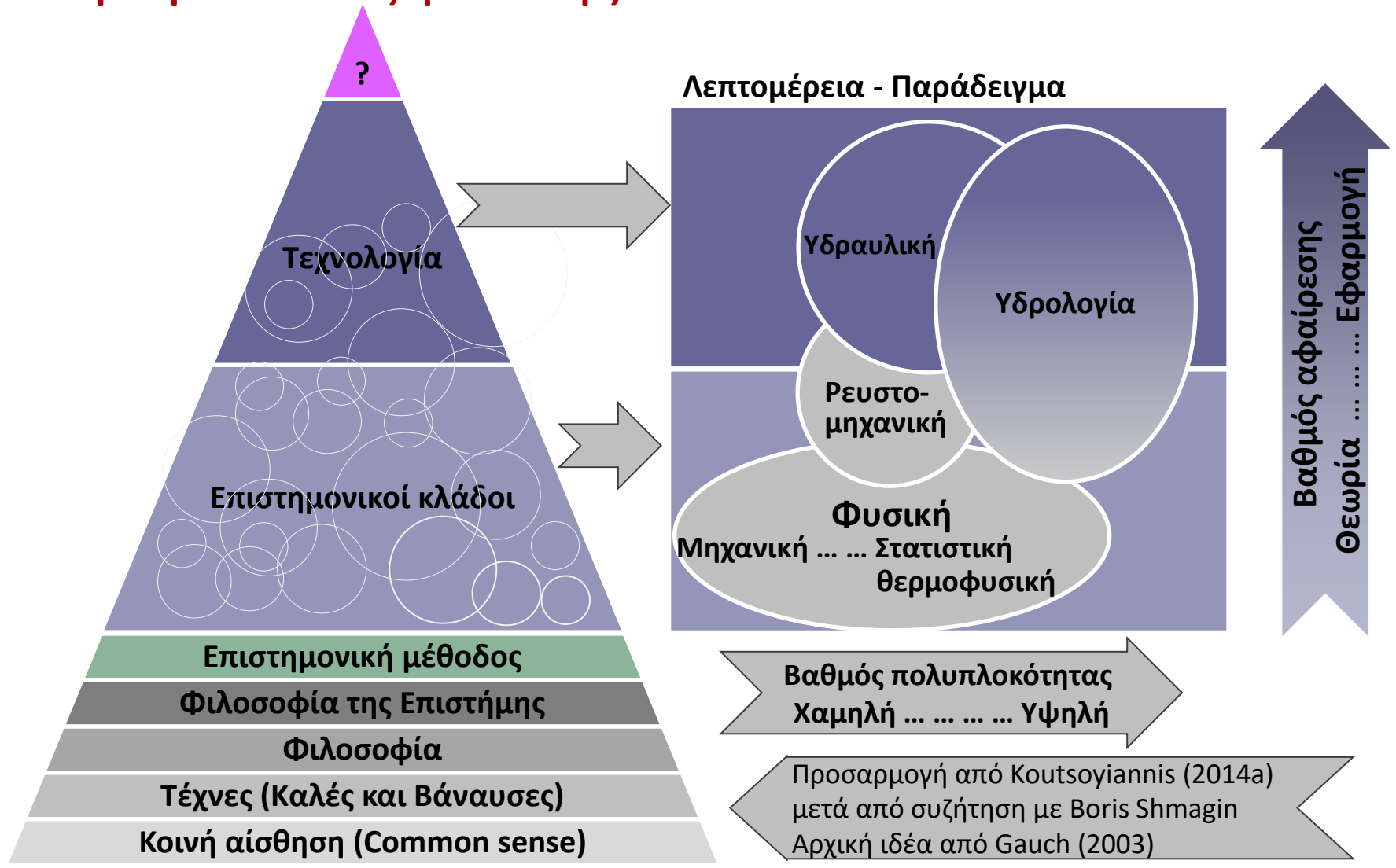
Σημειώσεις διαθέσιμες στο διαδίκτυο: <http://www.itia.ntua.gr/2019/>

Φιλοκαλοῦμέν τε γὰρ μετ' εὐτελείας
καὶ φιλοσοφοῦμεν ἄνευ μαλακίας

Επιτάφιος Περικλέους, Θουκυδίδης, 2.40.1

... ἢ τουλάχιστον το προσπαθούμε...

Η θέση της Επιστημονικής Μεθόδου στην πυραμίδα της γνώσης



Περιεχόμενα

■ Μέρος Α	Θεμελίωση και υποδομή	5
■ Μέρος Β	Η εξέλιξη των ιδεών στη σύγχρονη επιστήμη	13
■ Μέρος Γ	Σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης	20
■ Μέρος Δ	Η επιστημονική μέθοδος	28
■	Θέματα για συζήτηση	42
■	Αναφορές	48

Μέρος Α

Θεμελίωση και υποδομή

Η θεμελίωση στην κοινή αίσθηση (common sense)

- Ο όρος *κοινή αίσθηση* έχει εισαχθεί από τον Αριστοτέλη:
 - *τῶν δὲ κοινῶν ἤδη ἔχομεν αἴσθησιν κοινήν, οὐ κατὰ συμβεβηκός (Περὶ Ψυχῆς, Βιβλίο III, Κεφ. Α, 425a27).*
- Μετέπειτα φιλόσοφοι, ιδίως στωικοί, χρησιμοποιούν συναφείς όρους όπως *κοινή έννοια*, *κοινός νους* (Επίκτητος, *Διατριβαί*, III.vi.8), *κοινονοημοσύνη* (Μάρκος Αυρήλιος, *Τὰ εἰς ἑαυτόν*, 1.16). Ειδικότερα ο Επίκτητος διευκρινίζει:
 - *Πυθομένου δέ τινος, τί ἔστιν ὁ κοινός νοῦς, ὡσπερ, φησίν, κοινή τις ἀκοή λέγοιτ' ἂν ἢ μόνον φωνῶν διακριτική, ἢ δὲ τῶν φθόγγων οὐκέτι κοινή, ἀλλὰ τεχνική, οὕτως ἔστί τινα, ἃ οἱ μὴ παντάπασιν διεστραμμένοι τῶν ἀνθρώπων κατὰ τὰς κοινὰς ἀφορμὰς ὀρῶσιν. ἢ τοιαύτη κατάστασις κοινός νοῦς καλεῖται.*
- Οι όροι μεταφέρθηκαν αδιακρίτως στα λατινικά ως *sensus communis*, όρος που χρησιμοποιήθηκε ἔτσι και από τον Καρτέσιο, ο οποίος εισήγαγε και τον διακριτό γαλλικό όρο *bon sens*.
- Πολύ αργότερα επικράτησε στα αγγλικά ο όρος *common sense* χωρίς ιδιαίτερες νοηματικές διακρίσεις. Το γενικό νόημα είναι «πρακτική κρίση» ή «στοιχειώδης διανοητικός εξοπλισμός ενός κανονικού ανθρώπου».
- Ενδιαφέρουσα κριτική στην έννοια του κοινού νου (ιταλικά: *senso comune*) ἔκανε ο μαρξιστής Ιταλός φιλόσοφος και πολιτικός Antonio Gramsci (στα *Τετράδια Φυλακής*), θεωρώντας τον ως ετερογενές σύνολο πεποιθήσεων που επιβάλλονται από την ηγεμονική κουλτούρα (διανόηση) στους υποτελείς.

Η γέννηση της φιλοσοφίας στην αρχαία Ελλάδα

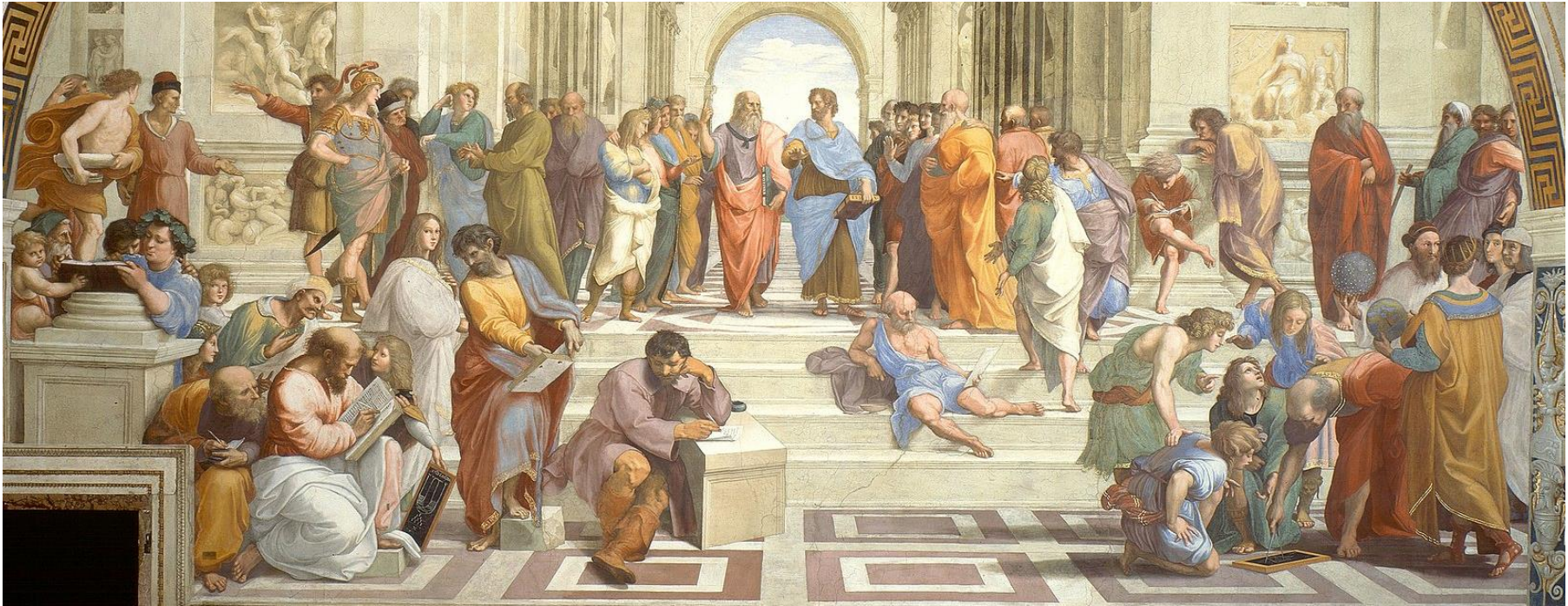
- Κατά τον 7^ο και 6^ο αιώνα π.Χ. έδρασαν οι επτά σοφοί με πρώτο χρονικά τον Θαλή, ο οποίος θεωρείται πατέρας της φιλοσοφίας και της επιστήμης.
- Οι όροι *φιλοσοφία* και *φιλόσοφος* παραδίδεται ότι πρωτοχρησιμοποιήθηκαν από τον Πυθαγόρα:
 - [...] *raros esse quosdam, qui ceteris omnibus pro nihilo habitis rerum naturam studiose intuerentur; hos se appellare sapientiae studiosos—id est enim philosophos—; et ut illic liberalissimum esset spectare nihil sibi adquirentem, sic in vita longe omnibus studiis contemplationem rerum cognitionemque praestare. Nec vero Pythagoras nominis solum inventor, sed rerum etiam ipsarum amplificator fuit* (Cicero, *Tusculanae Disputationes* 5.9-10).
 - Φιλοσοφίαν δὲ πρῶτος ὠνόμασε Πυθαγόρας καὶ ἑαυτὸν φιλόσοφον [...]· μηδένα γὰρ εἶναι σοφὸν [ἄνθρωπον] ἀλλ' ἢ θεόν (Διογένης Λαέρτιος, *Βίοι καὶ γνῶμαι τῶν ἐν φιλοσοφίᾳ εὐδοκιμησάντων*, A.12).
 - Παρὰ Πυθαγόρου οὖν λεγόμενος οὗτος ὁ ὀρισμὸς τέλειος πᾶσα γὰρ φιλοσοφία φιλία σοφίας, καὶ πᾶσα ἔφεσις σοφίας (σοφίαν ἀκουόντων ἡμῶν τήν τῶν αὐλῶν γνῶσιν) φιλοσοφία ἐστίν (Ἡλίας, *Προλεγόμενα σὺν Θεῷ τῆς φιλοσοφίας*, 9.7).
- Σχέση με την αλήθεια:
 - [Γλαύκων:] τοὺς δὲ ἀληθινούς [φιλοσόφους], ἔφη, τίνας λέγεις; [Σωκράτης:] τοὺς τῆς ἀληθείας, ἣν δ' ἐγώ, φιλοθεάμονας (Πλάτων, *Πολιτεία* 475e).
 - ὀρθῶς δ' ἔχει καὶ τὸ καλεῖσθαι τὴν φιλοσοφίαν ἐπιστήμην τῆς ἀληθείας. θεωρητικῆς μὲν γὰρ τέλος ἀλήθεια πρακτικῆς δ' ἔργον (Αριστοτέλης, *Μετὰ τὰ φυσικά*, α, 993b.19).
- Σχέση με την ιστορία:
 - παιδεία ἄρα ἐστίν ἡ ἔντευξις τῶν ἡθῶν. τοῦτο καὶ Θουκυδίδης ἔοικεν λέγειν, περὶ ἱστορίας λέγων, ὅτι καὶ ἱστορία φιλοσοφία ἐστίν ἐκ παραδειγμάτων (Διονύσιος ο Αλικαρνασσεύς, *Ρητορική*, 11.2).

Κλάδοι της φιλοσοφίας

Κλάδος	Κύρια ερωτήματα
Μεταφυσική (Οντολογία)	Τι είναι πραγματικό; Υπάρχει διάκριση πνευματικού και υλικού κόσμου; Υπάρχει νόημα ή σκοπός στο σύμπαν ή στη ζωή;
Επιστημολογία	Τι είναι γνώση; Πώς παράγεται ή αποκτάται; Ποια είναι η φύση της γνώσης; Υπάρχουν όρια στη γνώση; Τι είναι αλήθεια;
Λογική	Πώς επιχειρηματολογούμε; Πώς συμπεραίνουμε; Ποια είναι η εγκυρότητα των συμπερασμάτων; Πώς επικοινωνούμε τα επιχειρήματα και τα συμπεράσματά μας;
Αξιολογία (Ηθική και Αισθητική)	Ποιες είναι οι ηθικές και οι αισθητικές αξίες και γιατί είναι σημαντικές; Τι είναι σωστό και λάθος, δίκαιο και άδικο, ηθικό και ανήθικο; Πώς πρέπει να ζούμε και τι σημαίνει «πρέπει»; (Ηθική) Τι είναι ωραίο; Πώς κρίνουμε την αισθητική αξία αυτών που βλέπουμε, ακούμε και αγγίζουμε; (Αισθητική)

Σημείωση: Υπάρχουν πολλές διαφορετικές ταξινομήσεις των κλάδων της φιλοσοφίας. Η ταξινόμηση και οι κλάδοι που δίνονται εδώ έχουν βασιστεί κυρίως στα βιβλία των Ornstein and Levine (2008) και Niiniluoto et al. (2004).

Φιλοσοφικές σχολές: Η «Σχολή της Αθήνας» (Τοιχογραφία του Ραφαήλ στο Αποστολικό Παλάτι του Βατικανό)



Κουίζ: Αναγνωρίστε τους: Πλάτωνα, Αριστοτέλη, Σωκράτη, Διογένη, Ηράκλειτο, Παρμενίδη, Υπατία, Πυθαγόρα, Επίκουρο, Ευκλείδη, Κλαύδιο Πτολεμαίο.

Φιλοσοφικές σχολές στην αρχαιότητα

ΑΙΩΝΕΣ	ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ	ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ	ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ
6 ^{ος}	<p>ΙΩΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ: Αναξίμανδρος (610-547) Αναξίμανης (585-528) Ηράκλειτος (576-480)</p> <p>ΠΥΘΑΓΟΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ: Πυθαγόρας (570-496) Φιλόλαος</p> <p>ΕΛΕΑΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ: Ξενοφάνης (580-500) Παρμενίδης (520-;) Ζήνων ο Ελεάτης (490-;)</p>	<p>Θαλής: εμπειρική γεωμετρία και μετεωρολογία. <i>Αναξίμανδρος</i>, γνώμων (;) - ιδέα περί της κυκλικότητας της γης. <i>Πυθαγόρας</i>: μαθηματικά, ακουστική.</p>	<p>ΕΛΛΑΔΑ: αρχιτεκτονική και γλυπτική. - αρχές της δραματικής τέχνης. - λυρική τέχνη.</p>	<p>753-509: ΡΩΜΗ: βασιλεία. 604-561: Ναβουχοδονόσωρ (ηγέτης Βαβυλώνας). 550-529: Κύρος (ηγέτης Περσών). 509: δημοκρατία στη Ρώμη.</p>
5 ^{ος}	<p>ΣΟΦΙΣΤΕΣ: Πρωταγόρας Γοργίας Ιππίας Πρόδοκος</p> <p>Αναξαγόρας (500-428)</p> <p>Εμπεδοκλής (483-424)</p> <p>ΑΤΟΜΙΣΜΟΣ: Λεύκιππος (περ. 450) Δημόκριτος (460;-371;)</p> <p>ΣΩΚΡΑΤΗΣ (470-399)</p> <p>ΜΕΓΑΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Ευκλείδης (450-340)</p> <p>ΚΥΝΙΚΟΙ: Αντισθένης Διογένης ... (435-;)</p> <p>ΚΥΡΗΝΑΪΚΗ ΣΧ.: Αρίστιππος</p>	<p><i>Αναξαγόρας</i>: θεωρία περί της σελήνης και των εκλείψεων. <i>Εμπεδοκλής</i>: τα 4 ριζώματα. <i>Δημόκριτος</i>: γεωμετρία, φυσικές επιστήμες.</p> <p><i>Ιπποκράτης</i>: ιατρική.</p>	<p>ΠΕΡΣΙΑ: παλάτι Περσέπολης. ΕΛΛΑΔΑ: οι μεγάλοι τραγικοί. - Ο ΑΙΩΝΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΚΛΗ: Φειδίας: ο Παρθενώνας (447-338) - απόγειο της ελληνικής λογοτεχνίας.</p>	<p>490: ΕΛΛΑΔΑ: 1^{ος} πόλεμος κατά των Μήδων. 450: ΡΩΜΗ: νόμος των 12 πινάκων. 440-429: ΑΘΗΝΑ: ΠΕΡΙΚΛΗΣ. 431-404: Πελοποννησιακός πόλεμος- συνθηκολόγηση των Αθηνών.</p>
4 ^{ος}	<p>ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ (384-322) ΠΕΡΙΠΑΤΗΤΙΚΟΙ: ...Θεόφραστος</p> <p>ΑΚΑΔΗΜΙΑ: Εύδοξος Σπεύσιππος ...Ξενοκράτης Πολέμων</p> <p>ΠΛΑΤΩΝ (427-347)</p> <p>ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΣ: Πύρρων (360-270) ...Κλεάνθης</p> <p>ΣΤΙΛΠΩΝ (380-300)</p> <p>ΣΤΩΙΚΙΣΜΟΣ: Ζήνων (336-264) ...Κλεάνθης</p> <p>ΕΠΙΚΟΥΡΕΙΟΙ: Επίκουρος (341-270)</p>	<p><i>Εύδοξος</i>: μαθηματικά. <i>Βέροσε</i>, αστρονομία. <i>Ιερόφιλος και Ερασίστρατος</i>: ανατομία ανθρώπινου σώματος.</p>	<p>ΣΟΥΣΙΑ: παλάτι στα Απάδανα. ΕΛΛΑΔΑ: ναυαγρίες. - Δημοσθένης, ρήτορας. - Πραξιτέλης, γλύπτης.</p>	<p>399: η δίκη του Σωκράτη. 387: κατάληψη της Ρώμης από τους Γαλάτες. 360: Φίλιππος, βασιλιάς της Μακεδονίας. 336-323: ΜΕΓΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ</p>
3 ^{ος}	<p>Αριστοτένης ...Στράτων</p> <p>ΝΕΑ ΑΚΑΔΗΜΙΑ: Αρκεσίλαος (315-241)</p> <p>Τίμων</p> <p>Χρυσίππος (280-206)</p> <p>Μητρόδωρος Έρμαρχος</p>	<p>ΕΥΚΛΕΙΔΗΣ: η Γεωμετρία. <i>Αρίσταρχος ο Σάμιος</i>: αστρονομία. ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ: η Μηχανική.</p>	<p>Ο ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΝΙΣΜΟΣ: - Θεόκριτος, λυρικός ποιητής. - φάρος Αλεξανδρείας (285). - σχολή της Περγάμου (γλυπτ.)</p>	<p>300: ΡΩΜΗ: ισότητα πατρικίων-πληθίων. 264-146: Καρχηδονιακοί πόλεμοι. 202: λατρεία της Κυβέλης στη Ρώμη.</p>
2 ^{ος}	<p>Κριτόλαος</p> <p>Καρνεάδης (214-129)</p> <p>Φίλων ο Λαρισιαίος ...Αντίοχος ο Ασκαλωνίτης</p> <p>Παναίτιος (180-110)</p> <p>Ποσειδώνιος</p> <p>Απολλόδωρος</p> <p>Φιλόδημος</p>	<p><i>Ερατοσθένης</i>: μαθηματικά, γεωγραφία</p> <p>ΙΠΠΑΡΧΟΣ: αστρονομία και μαθηματικά, η Τριγωνομετρία. <i>Κτησίβιος</i>: υδραυλικό όργανο.</p>	<p>- Πολύβιος, ιστορικός. ΡΩΜΗ: Ένιος τραγωδίες. - οι κωμωδιογράφοι.</p>	<p>184: Κάτων, κήνωρ. 146: η Ελλάδα γίνεται ρωμαϊκή επαρχία - ο ΕΛΛΗΝΙΣΜΟΣ. 133: αγροτικός νόμος (Γράχχοι).</p>
1 ^{ος} π.Χ.	<p>Ανδρόνικος ο Ρόδιος</p> <p>Κικέρων (106-43)</p> <p>Λουκρήτιος (96-53)</p> <p>ΝΕΟΠΛΑΤΩΝΙΣΜΟΣ:</p>	<p>ΣΤΡΑΒΩΝ: η Γεωγραφία. <i>Κέλσος</i>, γιατρός.</p>	<p>- Λουκρήτιος, Κικέρων. Ο ΑΙΩΝΑΣ ΤΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ: Οράτιος, Βιργίλιος: εξωραϊσμός της Ρώμης.</p>	<p>- 83: υπατεία Κικέρωνος. - 44: δολοφονία του Καίσαρα. - 27: ο Αύγουστος αυτοκράτωρ.</p>
1-300 μ.Χ.	<p>Αλέξανδρος ο Αφροδισιεύς</p> <p>Φίλων ο Ιουδαίος (30 π.Χ. - 50 μ.Χ.)</p> <p>Πλωτίνος (205-270) Πορφύριος (233-304)</p> <p>Ιάμβλιχος (283-333)</p>	<p><i>Πλίνιος ο πρεσβύτερος</i>: φυσική ιστορία. <i>Ηρων</i>: μηχανικός. ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΣ: αστρονομία, γεωκεντρικό σύστημα. Γαληνός, γιατρός.</p>	<p>ΕΛΛΑΔΑ: Πλούταρχος. - Λουκιανός. - Διογένης Λαέρτιος, Βίοι φιλοσόφων.</p>	<p>161-180 μ.Χ.: ο Μάρκος Αυρήλιος, αυτοκράτωρ. Ο ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΣΜΟΣ: - διωκόμενος (303-311: εποχή των μαρτύρων). - αποκαθιστάμενος (325: σύνοδος Νικαίας).</p>
300-530 μ.Χ.	<p>Πρόκλος (412-485)</p> <p>ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ: Αυγουστίνος (354-430)</p> <p>To 529 ο Ιουστινιανός κλείνει τις Φιλοσοφικές Σχολές της Αθήνας.</p>	<p>Ξεκίνημα της Αλχημείας. 385: ιουλιανό ημερολόγιο. Διόφαντος: απαρχή της Άλγεβρας. <i>Pappus</i>, γεωμέτρης.</p>	<p>ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ: οι Πατέρες της Εκκλησίας. 350: αμβροσιανό μέλος. Βασιλική αρχιτεκτονική. <i>Βοήθιος, Consolatio philosoph.</i></p>	<p>- κρατική θρησκεία (το 394 ο Θεοδοσίος κλείνει τους ειδωλολατρικούς ναούς). 415: δολοφονία της Υπατίας. ΟΙ ΜΕΓΑΛΕΣ ΕΠΙΔΡΟΜΕΣ.</p>

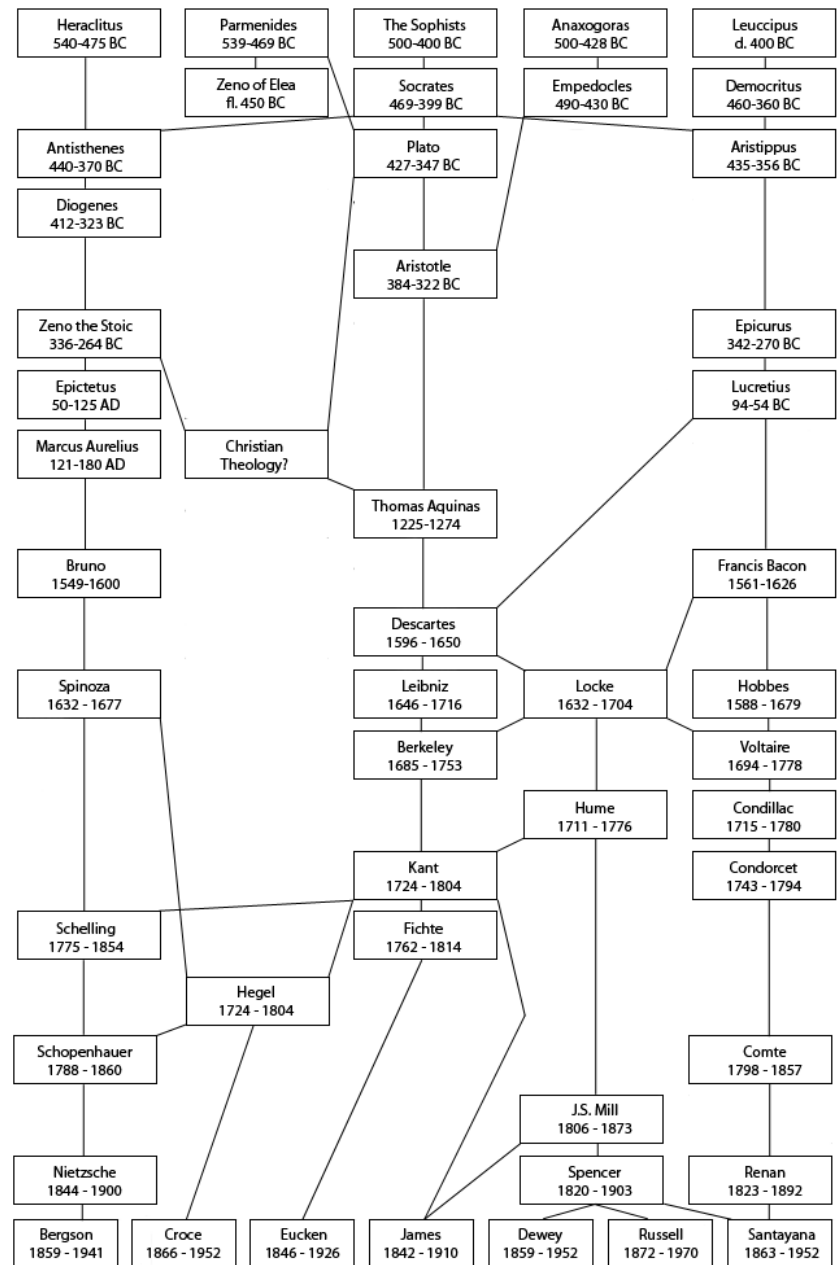
Πηγή:
Cuvillier (1963).

Σημειώσεις:
Βλ. στο ίδιο και τις μετέπειτα φιλοσοφικές σχολές.

Ο Ευκλείδης (ο Αλεξανδρινός, της γεωμετρίας) δεν πρέπει να συγχέεται με τον Ευκλείδη τον Μεγαρέα.

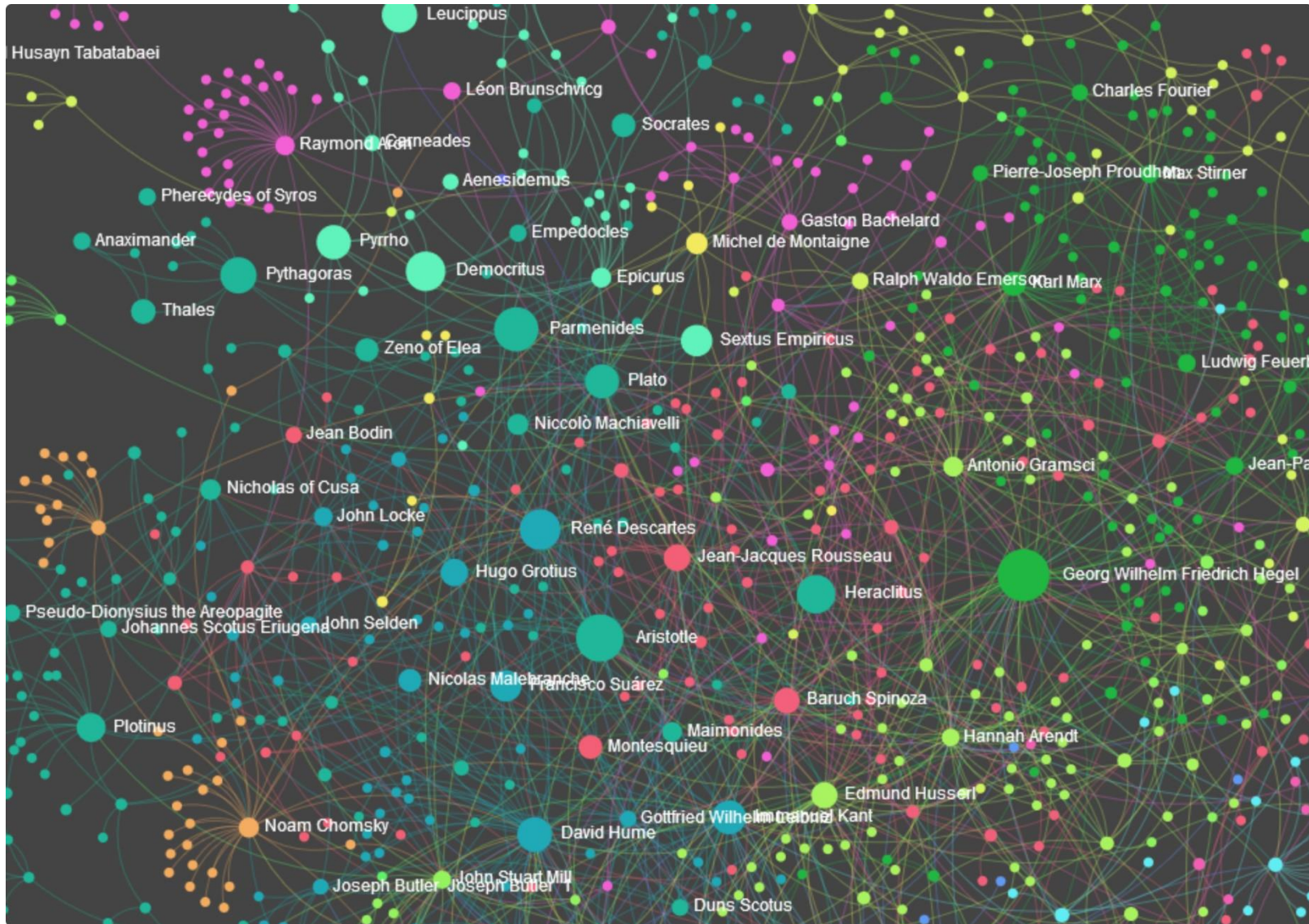
Σχετικά με τις απαντήσεις των παλιότερων και σύγχρονων σχολών σε επιστημολογικά ερωτήματα βλ. Chalmers (1982).

Το διαχρονικό «δίκτυο» των φιλοσόφων: Κύριες μορφές μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα



Αυθεντικό γράφημα του Durant (1926).
Διαδικτυακή πηγή γραφήματος:
<https://tigerpapers.net/2012/05/07/will-durant-and-the-story-of-philosophy/>

Το διαχρονικό «δίκτυο» των φιλοσόφων συνολικά



Πηγή
διαδραστικού
γραφήματος:
<http://www.designandanalytics.com/philosophers-gephi/>

Βλ. επίσης:
<http://www.coppelia.io/2012/06/graphing-the-history-of-philosophy/>

<http://www.designandanalytics.com/philosophers-gephi/>

Μέρος Β

Η εξέλιξη των ιδεών στη σύγχρονη
επιστήμη

Το ωρολογιακό μηχανιστικό σύμπαν

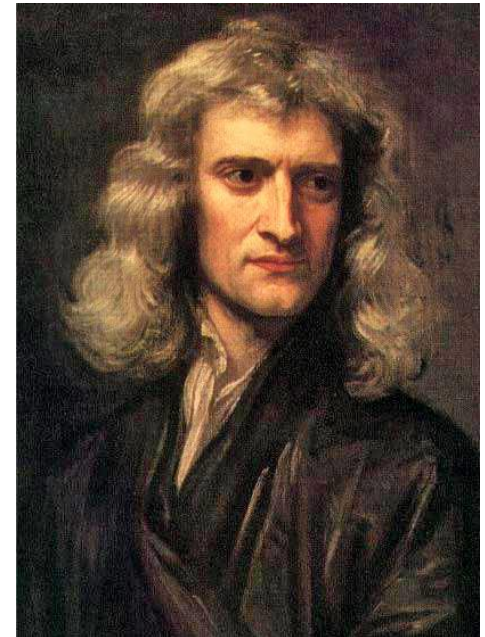
- Ο Κέπλερ (1571-1630), ο Γαλιλαίος (1564-1642) και ο Καρτέσιος (1596-1650) εισήγαγαν μαθηματικές έννοιες και μεθόδους στη φυσική φιλοσοφία, η οποία εξελίχθηκε σε αυτό που σήμερα λέμε επιστήμη.
- Εισηγήγαν επίσης την ιδέα ενός σύμπαντος που λειτουργεί σαν ωρολογιακός μηχανισμός. Καθιέρωσαν έτσι τη φιλοσοφική ιδέα του ντετερμινισμού (αιτιοκρατίας), που εξακολουθεί να είναι ευρέως αποδεκτή στους επιστήμονες.
- Ο ντετερμινισμός τελειοποιήθηκε από τον Γάλλο μαθηματικό και αστρονόμο Λαπλάς (1749-1827). Αυτό έχει αποτυπωθεί στην έννοια του *δαίμονα του Λαπλάς*, μια υποθετική οντότητα που, γνωρίζοντας την ακριβή θέση και ορμή κάθε ατόμου στο σύμπαν σήμερα, μπορεί να συναγάγει με ακρίβεια το μέλλον και το παρελθόν χρησιμοποιώντας νόμους του Νεύτωνα.
- Σύμφωνα με τη ντετερμινιστική σκέψη, οι ρίζες της αβεβαιότητας για το μέλλον είναι υποκειμενικές, δηλαδή προκύπτουν από το γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε ακριβώς το παρόν ή δεν έχουμε αρκετά καλές μεθόδους και μοντέλα. Είναι λοιπόν θέμα χρόνου να εξαλείψουμε την αβεβαιότητα, με καλύτερα δεδομένα και καλύτερα μοντέλα.



Βλ. λεπτομερείς εξιστορήσεις στους Gower (1997) και Weinberg (2016).

Η επίγνωση του Νεύτωνα για το εύθραυστο σύμπαν (απόρριψη του ντετερμινισμού)

«Τώρα, με τη βοήθεια αυτών των Αρχών, όλα τα υλικά Πράγματα φαίνεται να έχουν συντεθεί από τα σκληρά και στερεά Σωματίδια που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα οποία συνδέθηκαν ποικιλοτρόπως στην πρώτη Δημιουργία υπό τη Συμβουλευτική ενός νοήμονα Παράγοντα. Γιατί συνέβη αυτός που τα δημιούργησε, να τα θέσει σε τάξη. Και αν αυτό έκανε, δεν είναι φιλοσοφημένο να αναζητήσουμε οποιαδήποτε άλλη Προέλευση του Κόσμου, ή να προσποιηθούμε ότι ο κόσμος μπορεί να προκύψει από το Χάος με βάση αποκλειστικά τους απλούς νόμους της φύσης. Αλλά αν κάποτε σχηματίστηκε, μπορεί να συνεχίσει με αυτούς τους Νόμους για πολλούς Αιώνες. Κι ενώ οι Κομήτες κινούνται σε πολύ έκκεντρες Σφαίρες σε όλες τις Θέσεις, η τυφλή Μοίρα δεν θα μπορούσε ποτέ να κάνει όλους τους Πλανήτες να κινούνται με τον ίδιο τρόπο σε ομόκεντρες Σφαίρες, εξαιρουμένων κάποιων ασήμαντων Ανωμαλιών που μπορεί να προέκυψαν από τις αμοιβαίες Δράσεις ανάμεσα σε Κομήτες και Πλανήτες, και που θα είχαν την τάση να αυξηθούν, έως ότου αυτό το όλο Σύστημα να χρειάζεται Αναμόρφωση. Μια τέτοια θαυμασία Ομοιομορφία στο Πλανητικό Σύστημα πρέπει να θεωρηθεί ως Επενέργεια Επιλογής» (Newton, *Opticks*, Query 31).

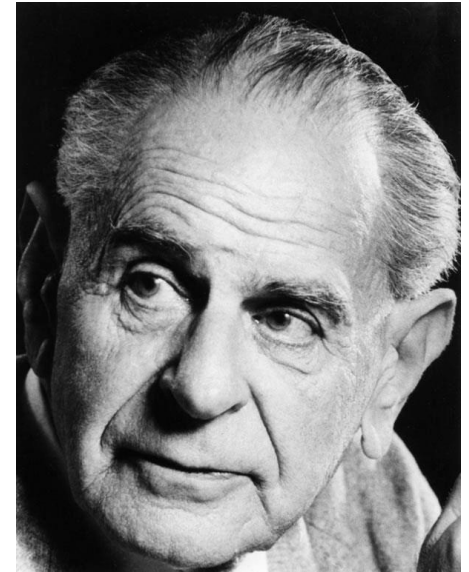
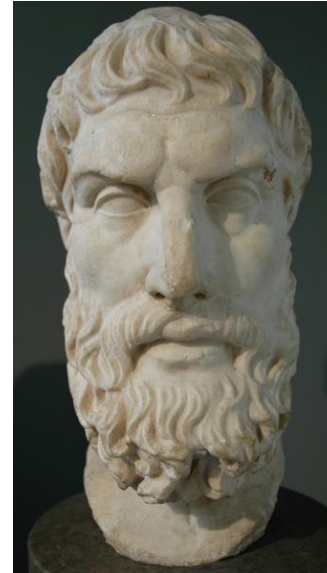
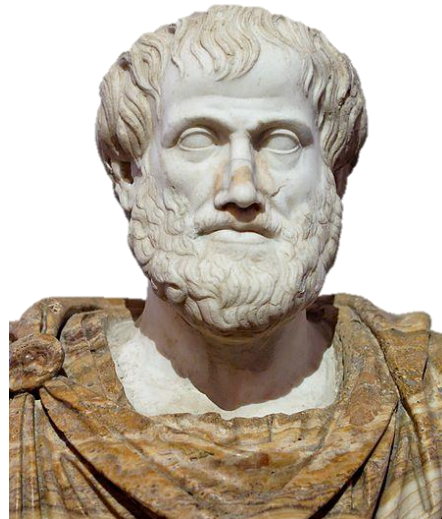
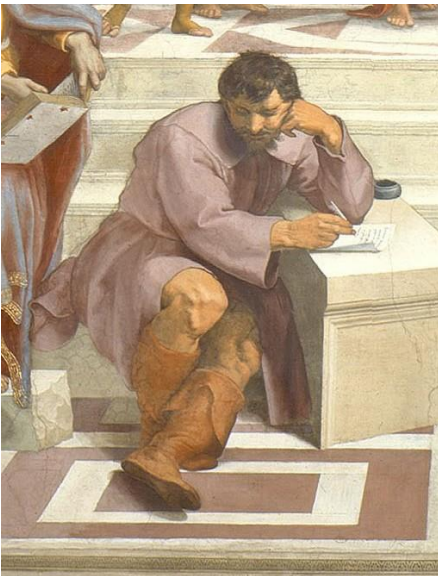


- Το παραπάνω απόσπασμα καθώς και άλλα ανάλογα* δείχνουν ότι ο Νεύτωνας (1642-1727) προβάλλει το επιχείρημα του *Νοήμονα Σχεδιασμού* του κόσμου, αλλά και αυτό της *Αναγκαίας Παρέμβασης*.
- Με άλλα λόγια, θεωρούσε την πολυπλοκότητα και το εύθραυστο του σύμπαντος ως απόδειξη της ύπαρξης του Θεού.
- Παράλληλα, απέρριπτε τη θέση του Λάιμπνιτς ότι ο Θεός αναγκαστικά θα έφτιαχνε τον κόσμο τέλειο, ώστε να μη χρειάζεται την παρέμβαση του δημιουργού.

* <https://uncommondescent.com/intelligent-design/newton-on-intelligent-design/>

Ο ιντετερμινισμός ανά τους αιώνες

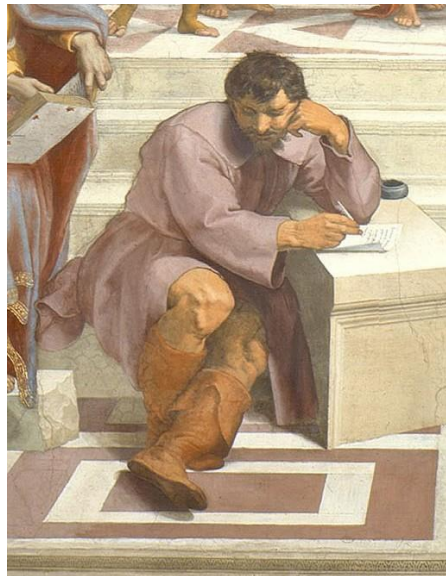
- Ο ιντετερμινισμός (indeterminism, αναιτιοκρατία), το φιλοσοφικό ρεύμα που αντιτίθεται στον ντετερμινισμό (αιτιοκρατία), θεωρεί την αβεβαιότητα ως δομικό στοιχείο της φύσης που δεν μπορεί να εξαλειφθεί. Ενώ στη ντετερμινιστική σκέψη από μια συγκεκριμένη αιτία είναι εφικτό μόνο ένα αποτέλεσμα, στον ιντετερμινισμό μπορούν να παραχθούν διαφορετικά αποτελέσματα (και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ποιο κατά περίπτωση).
- Ο ιντετερμινισμός έχει ρίζες στην αρχαία ελληνική φιλοσοφία και συγκεκριμένα στον Ηράκλειτο (~535–475 π.Χ.), τον Αριστοτέλη (384 – 322 π.Χ.) και τον Επίκουρο (341–270 π.Χ.).
- Η σχέση της με τη σύγχρονη επιστήμη έχει εδραιωθεί με τις μελέτες του Αυστρο-Άγγλου φιλοσόφου Karl Popper (1902-1994).
- Στην επιστήμη, ο ιντετερμινισμός μαθηματικοποιείται μέσω της έννοιας της πιθανότητας, η οποία αποτελεί ποσοτικοποίηση της Αριστοτελικής ιδέας της *δυνάμεως* (βλ. Μέρος Γ).



Το ζάρι, ως σύμβολο αβεβαιότητας – ιντετερμινισμού

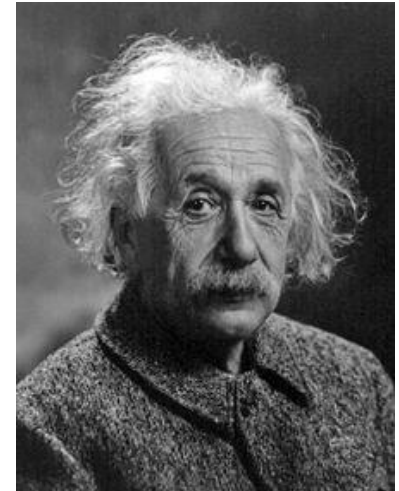


Ζάρια της περιόδου 580-570 π.Χ. από Ελληνικές αρχαιολογικές θέσεις: (αριστερά) Μουσείο Κεραμεικού (φωτογραφία συγγραφέα), (μέσο) μπρούτζινο ζάρι, 1.6 cm, από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, (δεξιά) κεραμικό ζάρι από το Σούνιο, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο)

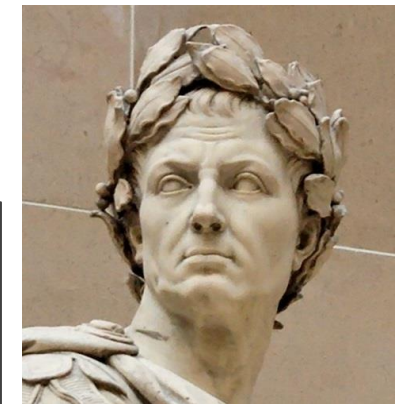


Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der nicht würfelt
Τέλος πάντων, είμαι πεπεισμένος ότι [ο Θεός] δεν ρίχνει ζάρια

(Einstein, σε επιστολή του στον Max Born το 1926)



Αἰὼν παῖς ἐστὶ παίζων πεσσεύων
Ο χρόνος είναι ένα παιδί που παίζει ρίχνοντας ζάρια
(Ηράκλειτος, Απόσπασμα 52)



Ἄνερρίφθω κύβος

Ας έχει ριχτεί το ζάρι

[Εκδοχή Πλούταρχου, στα Ελληνικά]

(Ιούλιος Καίσαρ, 49 π.Χ., διασχίζοντας τον Ρουβίκωνα)

lacta alea est

Το ζάρι ρίχτηκε

[Εκδοχή Σουητώνιου, στα Λατινικά]

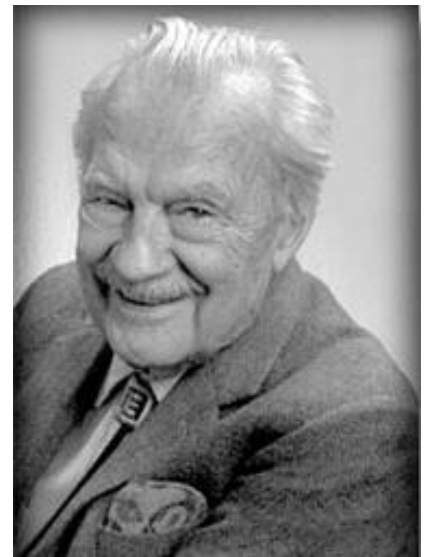
Η μεγάλη επιστροφή: Από τον παντοδύναμο ντετερμινισμό του 17^{ου} αιώνα στον πιθανοτικό κόσμο του 20^{ου} αιώνα

- Η **στατιστική φυσική** (με κύριο εκπρόσωπο τον Boltzmann) χρησιμοποίησε την πιθανοτική έννοια της εντροπίας (η οποία αποτελεί ποσοτικοποιημένο μέτρο αβεβαιότητας και ορίζεται στην θεωρία πιθανοτήτων – βλ. διαφ. 37) για να εξηγήσει τους θεμελιώδεις φυσικούς νόμους (ιδίως τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής) οδηγώντας σε μια νέα κατανόηση των φυσικών συμπεριφορών και σε ισχυρές προβλέψεις των μακροσκοπικών φαινομένων, παρά την αβεβαιότητα σε μικροσκοπικό επίπεδο.
- Η **θεωρία των δυναμικών συστημάτων** (με κύριο εκπρόσωπο τον Poincare) έχει δείξει ότι μπορεί να προκύψει αβεβαιότητα ακόμη και από αμιγή, απλή και πλήρως γνωστή ντετερμινιστική (χαοτική) δυναμική και δεν μπορεί να εξαλειφθεί (βλ. διαφ. 27).
- Η **κβαντική θεωρία** (με κύριο εκπρόσωπο τον Heisenberg) έχει τονίσει τον εγγενή χαρακτήρα της αβεβαιότητας και την αναγκαιότητα της πιθανοτικής περιγραφής της φύσης (βλ. Μέρος Γ).



Από τον παντοδύναμο ντετερμινισμό του 17^{ου} αιώνα στον πιθανοτικό κόσμο του 20^{ου} αιώνα (2)

- Οι εξελίξεις στη **μαθηματική λογική**, και ιδιαίτερα το **θεώρημα μη πληρότητας του Gödel**, αμφισβήτησαν την παντοδυναμία του παραγωγικού συλλογισμού (συναγωγή συμπερασμάτων με μαθηματική απόδειξη). Κατά ειρωνικό τρόπο, ο Kurt Gödel προηγήθηκε κατά μια μέρα (το 1930) της δήλωσης του David Hilbert για το αντίθετο με τον διάσημο αφορισμό του (που γράφτηκε επίσης στην ταφόπλακα του στο Göttingen): “*Wir müssen wissen, wir werden wissen*” («Πρέπει να γνωρίζουμε, θα γνωρίζουμε»).
- Οι εξελίξεις στα **αριθμητικά μαθηματικά** (με κύριο εκπρόσωπο τον Nicholas Metropolis) υπογράμμισαν την αποτελεσματικότητα των στοχαστικών μεθόδων για την επίλυση ακόμα και αμιγώς ντετερμινιστικών προβλημάτων, όπως η αριθμητική ολοκλήρωση σε χώρους μεγάλης διαστατικότητας και η ολική βελτιστοποίηση μη κυρτών συναρτήσεων (όπου οι στοχαστικές τεχνικές, π.χ. εξελικτικοί αλγόριθμοι ή προσομοιωμένη ανόπτηση, είναι στην πραγματικότητα η μόνη εφικτή λύση σε περίπλοκα προβλήματα με πολλά τοπικά ακρότατα).
- Οι εξελίξεις στην **εξελικτική βιολογία** υπογραμμίζουν τη σημασία της στοχαστικότητας (π.χ. στις διαδικασίες επιλογής και μετάλλαξης και στις περιβαλλοντικές αλλαγές) ως κινητήριας δύναμης της εξέλιξης.

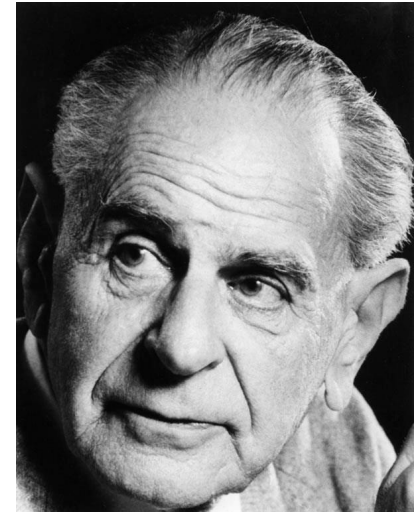


Μέρος Γ

Σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης

Φιλοσοφία της επιστήμης σύμφωνα με τον Karl Popper: Κύρια σημεία*

- Η δέκατη τρίτη και τελευταία θέση μου είναι αυτή. Τόσο η κλασική φυσική όσο και η κβαντική φυσική είναι ιντετερμινιστικές. Μπορούμε να περιγράψουμε τον φυσικό κόσμο ως αποτελούμενο από μεταβαλλόμενες δυνητικότητες για μεταβολή.[†]
- Το πιο σημαντικό [χαρακτηριστικό της ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας από τους Bohr, Kramers και Slater] ήταν η εισαγωγή της πιθανότητας ως ενός νέου είδους «αντικειμενικής» φυσικής πραγματικότητας. Αυτή η έννοια της πιθανότητας είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια της δυνατότητας, της «δυνάμεως» της φυσικής φιλοσοφίας των αρχαίων όπως ο Αριστοτέλης. Είναι, σε κάποιο βαθμό, ο μετασχηματισμός της παλιάς έννοιας «δύναμις» από ποιοτική σε ποσοτική (Heisenberg 1955, που παρατίθεται από τον Popper ως επικύρωση της δικής του θεωρίας της δυνητικότητας).



* Τα σημεία που παρατίθενται εδώ και στις επόμενες σελίδες αναφέρονται στο βιβλίο του Popper (1982).

[†] Στο πρωτότυπο: «*Thus we may describe the physical world as consisting of changing propensities for change.*» Ο όρος *propensity* είναι βασισμένος στο εννοιολογικό δίπολο *δύναμις – ενέργεια* (λατινικά *actus – potentia*) του Αριστοτέλη (*Μετά τὰ φυσικά*, 9.1048a). Από συγκριτική μελέτη διάφορων φιλοσοφικών κειμένων (Σιμπλίκιου, Ιωάννη Φιλόπονου) στο ελληνικό πρωτότυπο και στην αγγλική μετάφραση προκύπτει ότι ο όρος *propensity* αποτελεί μετάφραση του όρου *ἐπιτηδειότης*. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιήθηκε από φιλοσόφους της ελληνιστικής περιόδου ως διευκρινιστικός του όρου *δύναμις* (Todd, 1972) και νοείται ως μέρος της *δυνάμεως* και συγκεκριμένα ως η αναγκαία συνθήκη για να υπάρχει μια δυνατότητα. Εδώ, για απόδοση του *propensity*, προτιμήθηκε ο απλούστερος για τα σημερινά δεδομένα όρος *δυνητικότητα*.

Ο ιντετερμινισμός του Karl Popper

- Ο Popper (1982) χρησιμοποιεί την παρομοίωση μιας κινηματογραφικής ταινίας και υποθέτει πως προσαρμόζουμε ένα καρέ της ταινίας σε μια δεδομένη στιγμιαία κατάσταση του κόσμου, το παρόν, ενώ τα προηγούμενα και επόμενα καρέ αναπαριστούν το παρελθόν και το μέλλον.
- Σε έναν πλήρως ντετερμινιστικό κόσμο, μια στιγμιαία κατάσταση (ένα καρέ) αρκεί για να αντιπροσωπεύσει όλες τις προηγούμενες και μελλοντικές καταστάσεις. Με άλλα λόγια, ένα καρέ της ταινίας είναι ισοδύναμο με όλη την ταινία.
- Στο άλλο άκρο, ένας καθαρά τυχαίος κόσμος, στον οποίο η πρόβλεψη δεν είναι δυνατή, κάθε καρέ αφήνει ανοιχτές όλες τις δυνατότητες και όλα τα καρέ θα είναι ακριβώς όμοια. Σε αυτή την περίπτωση, δεν θα υπήρχε αλλαγή χρόνου, αλλά ένας μοναδικός και χρονικά αμετάβλητος πλήρης κατάλογος δυνατοτήτων. Ένα καρέ ξαναείναι ισοδύναμο με όλη την ταινία.
- Μια ιντετερμινιστική θεωρία δεν είναι κανένα από τα δύο, αλλά περιέχει μεταβαλλόμενους καταλόγους δυνατοτήτων (ή δυνητικοτήτων), στις οποίες μπορεί να αποδοθεί ένα πιθανοτικό, χρονικά μεταβαλλόμενο μέτρο ή βάρος. Έτσι, κοντά στο καρέ στο οποίο έχει προσαρτηθεί το παρόν, το μεγαλύτερο βάρος δίδεται στις πιθανές καταστάσεις που είναι πολύ παρόμοιες με τις καταστάσεις της ντετερμινιστικής ταινίας. Όσο κινούμαστε μακρύτερα από αυτή τη στιγμή στο παρελθόν ή το μέλλον, τόσο αυξάνονται τα βάρη σε άλλες, ανόμοιες καταστάσεις.
- Στην τελευταία περίπτωση, οι φυσικοί νόμοι συνδέουν τις πιθανότητες διαφορετικών καταστάσεων, παρά τις ίδιες τις καταστάσεις.

Φιλοσοφία της επιστήμης σύμφωνα με τον Karl Popper: Συγκεφαλαίωση*

Το μεταφυσικό πρόγραμμα[†] της ερμηνείας της θεωρίας δυνητικότητας μπορεί να συγκεφαλαιωθεί, στη συνοπτική γλώσσα των Ιώνων κοσμολόγων, από τη δήλωση: «Τα πάντα είναι δυνητικότητες»[‡]. Ή στην ορολογία του Αριστοτέλη θα μπορούσαμε να πούμε: «Ύπαρξη είναι και η ενεργοποίηση μιας προηγούμενης δυνητικότητας αλλά και η ίδια η δυνητικότητα». Είναι μια άποψη που ενώνει τις πτυχές όλων των μεταφυσικών προγραμμάτων[...], όπως θα φανεί από τον ακόλουθο κατάλογο.

1. Όπως και στον Παρμενίδη, ο κόσμος είναι γεμάτος – με την έννοια ότι το κενό έχει δομή και είναι το ίδιο ένα πεδίο δυνητικοτήτων, οι οποίες είναι πραγματικές.
2. Όπως και στους ατομιστικούς φιλοσόφους [Λεύκιππο, Δημόκριτο, Επίκουρο], η ύλη έχει ατομική δομή, και ο δυϊσμός πλήρους και κενού —ή ύλης και χώρου ή πεδίου— διατηρείται μέχρι ενός σημείου ως διάκριση μεταξύ της πραγματοποίησης μιας δυνητικότητας και της δυνητικότητας για πραγματοποίηση (βλ. θέση 10, διαφ. 25).
3. Όπως και στον Πλάτωνα και στον Ευκλείδη, διατηρείται η έμφαση στην γεωμετρία: και έτσι είναι γεωμετρική η κοσμολογία: από την άποψη αυτή, η μη Ευκλείδεια κοσμολογία, ως κοσμολογία, ξεπερνά τον Ευκλείδη, αφού η γεωμετρία χρησιμοποιείται ως τέτοια για να περιγράψει την κατανομή της ύλης στον κόσμο.

* Ο κατάλογος των 10 σημείων αποτελεί μετάφραση των συμπερασμάτων του επιλόγου του βιβλίου του Popper (1982)

† Ο όρος πρόγραμμα (programme) χρησιμοποιείται συχνά από τους σύγχρονους φιλοσόφους με μάλλον ασαφές νόημα.

‡ Ενδεχομένως εδώ κάνει παραλληλισμό με το Ηρακλείτειο «Πάντα ρεῖ».

Συγκεφαλαίωση της θεωρίας του Karl Popper (2)

4. Η άποψη του Αριστοτέλη για τις εγγενείς δυνατότητες και την ενεργοποίησή τους αναπτύσσεται σε μια σχεσιακή θεωρία στην οποία οι σχεσιακές δομές, αντί να περιοριστούν σε κάθε τι υλικό, μπορούν να χαρακτηριστούν από δυνατότητες.
5. Η (πλατωνική) γεωμετρική προσέγγιση της Αναγέννησης διατηρείται, όπως και η υποθετική μέθοδος του Πλάτωνα, και η έμφαση σε προηγούμενες αιτίες.
6. Η θεωρία των ρευστών (για παράδειγμα, της θερμότητας) των Καρτεσιανών και του Boyle διατηρείται με τη μορφή του νόμου της διατήρησης της ενέργειας. Η δράση σε μακρινές αποστάσεις διατηρείται με τη μορφή της θεωρίας πεδίου.
7. Η θεωρία της δυνητικότητας μπορεί να περιγραφεί ως γενίκευση του Δυναμισμού.*
8. Οι κεντρικές δυνάμεις (που αντιστοιχούν στις εγγενείς δυνατότητες του Αριστοτέλη) δίνουν τη θέση τους, όπως και στις περιπτώσεις του Faraday και του Maxwell, σε πεδία δυνητικότητας σχεσιακού χαρακτήρα.

* Αναφέρεται στις ιδέες των Νεύτωνα και Λάμπνιτς για τα δυναμικά συστήματα (μερικών διαφορικών εξισώσεων).

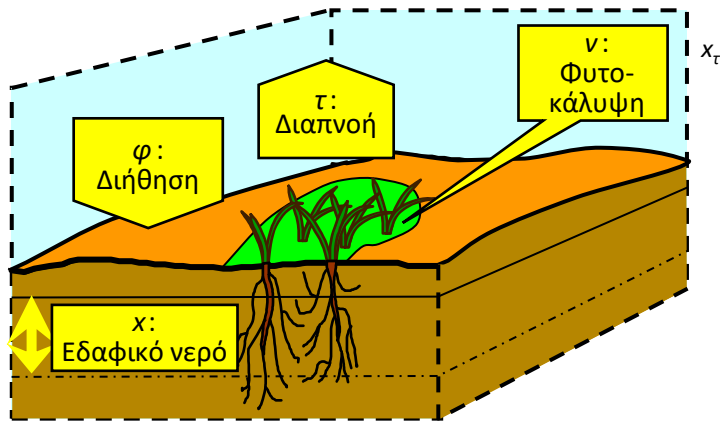
Συγκεφαλαίωση της θεωρίας του Karl Popper (3)

9. Όπως και στο πρόγραμμα των *Einstein* και *Schrödinger*, οι δυναμικοί νόμοι της αλλαγής των πεδίων δυνητικότητας είναι εκ πρώτης όψεως ντετερμινιστικού χαρακτήρα (όπως οι νόμοι μιας κλασικής θεωρίας). Επιπλέον, οι δυνητικότητες —ακόμα κι αυτές που για τη γεωμετρική τους αντιπροσώπευση χρειάζονται έναν πολυδιάστατο αφηρημένο χώρο δυνατοτήτων— αντιμετωπίζονται ως φυσικές πραγματικότητες. Αυτά τα δύο σημεία, μια φυσική πραγματικότητα που περιγράφεται από ντετερμινιστικούς νόμους και μια πραγματικότητα στην οποία εφαρμόζεται η ιδέα του πεδίου (έτσι ώστε οι νόμοι να είναι μερικές διαφορικές εξισώσεις), ήταν οι κύριες ιδέες του Αϊνστάιν για μια ενοποιημένη θεωρία του κόσμου. Κι αυτά διατηρούνται.
10. Η άποψη της ορθόδοξης ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας, συμπεριλαμβανομένου του «δυϊσμού» πεδίου και σωματιδίου ή κύματος και σωματιδίου, ξαναερμηνεύεται και διατηρείται από την άποψη του δυϊσμού των δυνατοτήτων και των ενεργοποιήσεών τους, οι οποίες με τη σειρά τους είναι και πάλι δυνατότητες. (Αυτή η θεώρηση ξεπερνά τον παλαιότερο δυϊσμό, με έναν τρόπο που συχνά απαιτούσε ο Αϊνστάιν.) Διατηρείται επίσης ο πιθανοτικός χαρακτήρας της θεωρίας, που τονίστηκε ιδιαίτερα από τους *Born* και *Pauli*.

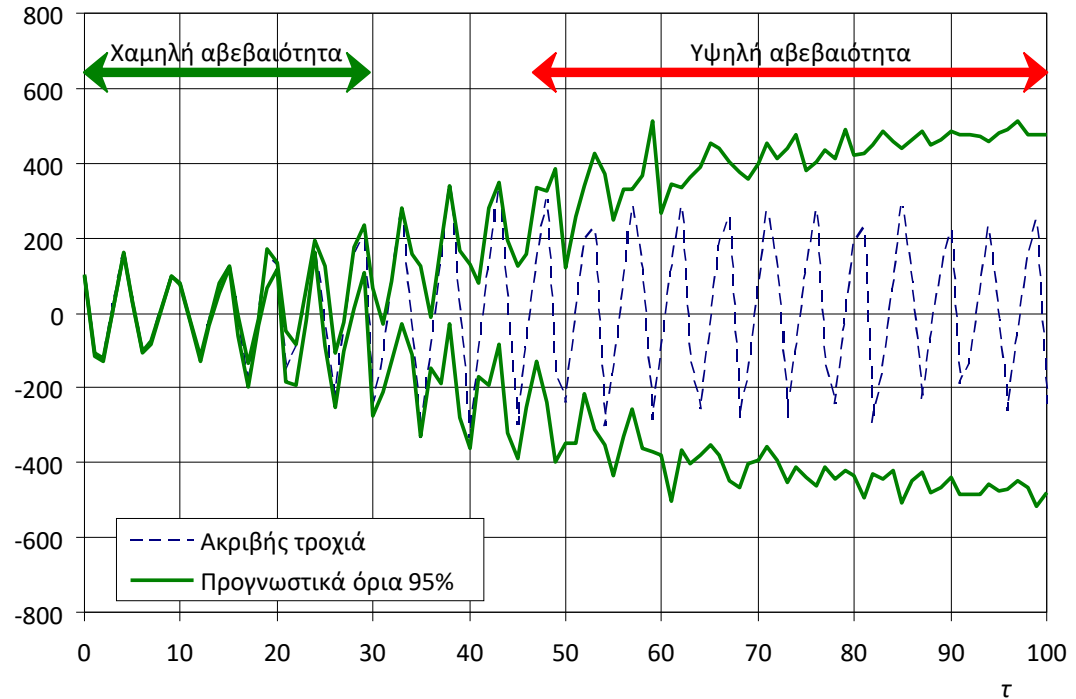
Σύγχρονη κβαντομηχανική: Η επιστροφή του Αριστοτέλη

- Η ανάπτυξη της κβαντομηχανικής προκάλεσε ανατροπές στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο. Δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτή ερμηνεία της αλλά έχουν προταθεί διάφορες.
- Το Αριστοτελικό εννοιολογικό δίπολο *δύναμις – ενέργεια*, στο οποίο βάσισε ο Popper την κοσμοθεωρία του, ενώ πριν απ' αυτόν το επικαλέστηκε ο Heisenberg για την ερμηνεία της κβαντομηχανικής, πρόσφατα προτάθηκε από αρκετούς επιστήμονες και φιλοσόφους, ανεξάρτητα απ' τον Popper, ως μια απλούστερη, πιο κατανοητή και αποτελεσματικότερη ερμηνεία (Jaeger 2017, 2018, Kastner et al. 2018, Driessen 2019, Sanders 2018).
- Ειδικότερα οι Kastner et al. (2018), χτίζοντας πάνω στην αρχική πρόταση του Heisenberg και ουσιαστικά (αν και όχι ρητά) επαναλαμβάνοντας τον Popper, υποστηρίζουν ότι η κβαντική θεωρία κατανοείται καλύτερα στη βάση ενός οντολογικού δυϊσμού στον οποίο υπάρχουν δύο τύποι πραγματικότητας: *res extensa* (εκτατικά πράγματα, όρος που είχε προταθεί απ' τον Καρτέσιο) και *res potentia* (δυνητικά πράγματα). Οι δύο τύποι, που αντιστοιχούν στις Αριστοτελικές έννοιες *ενέργεια* και *δύναμις* ή στις Ποπεριανές έννοιες της *ενεργοποίησης* (ή *πραγματοποίησης*) και *δυνητικότητας*, δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες ουσίες, αλλά αμοιβαία συνεπαγόμενες. Τα εκτατικά πράγματα υπάγονται στους φυσικούς περιορισμούς του χωροχρόνου, ενώ τα δυνητικά αντιστοιχούν στην έννοια της *πληροφορίας* και δεν δεσμεύονται από τον χωροχρόνο. Ο μετασχηματισμός μιας δυνητικότητας σε πραγματικότητα είναι μια *αναιτιακή* (acausal) διεργασία που συμβαίνει κατά την μέτρηση μιας κβαντικής κατάστασης.
- Οι ίδιοι υποστηρίζουν πως ο δυϊσμός αυτός επεκτείνεται και στα μακροσκοπικά συστήματα, όπου οι δυνατότητες είναι συνήθως απείρως περισσότερες, με αποτέλεσμα όχι μόνο να μη γνωρίζουμε τι θα συμβεί, αλλά ούτε καν τι *μπορεί* να συμβεί.

Η στοχαστική δυναμική: από την τροχιά στη ροή



Το σχήμα δείχνει ένα απλουστευμένο μοντέλο υδρολογικού κύκλου με χρονικά σταθερούς ρυθμούς διήθησης και διαπνοής και ντετερμινιστική δυναμική. Χωρίς καμία τυχαία διαταραχή, το εδαφικό νερό και η φυτοκάλυψη προκύπτει να είναι μεταβλητά και αβέβαια.



Το απλό δυναμικό σύστημα του σχήματος, που προέρχεται από το άρθρο του Koutsoyiannis (2009), μας βοηθά να κατανοήσουμε τον ντετερμινιστικό κόσμο και την αναγκαιότητα της στοχαστικής περιγραφής του.

Αν μπορούσαμε να μετρήσουμε με τέλεια ακρίβεια μια *πραγματική* μεταβλητή όπως η x στο παράδειγμα, τότε, αξιοποιώντας τη ντετερμινιστική δυναμική, θα μπορούσαμε να βρούμε με μια μόνο μέτρηση x_0 στο παρόν ($\tau = 0$) την τροχιά x_t στο χρόνο τ ακόμη και στο απώτερο μέλλον. Όμως αυτό είναι αδύνατο γιατί οι πραγματικοί αριθμοί έχουν άπειρα ψηφία, που είναι αδύνατο να τα γνωρίζουμε (ενώ υπεισέρχεται και η αρχή της απροσδιοριστίας).

Μπορούμε πάντως να γνωρίζουμε με δεδομένη πιθανότητα (π.χ. 95% στο σχήμα) το διάστημα στο οποίο θα βρίσκεται το x_t . Έτσι αντί τροχιάς κατασκευάζουμε, με στοχαστική (Monte Carlo) προσομοίωση, τα προγνωστικά όρια που μπορούμε να τα θεωρούμε ως μεταβαλλόμενα «τοιχώματα» ενός ροϊκού σωλήνα (stream tube), μέσα στον οποίον θα περιέχεται η τροχιά με τη δεδομένη πιθανότητα.

Μέρος Δ

Η επιστημονική μέθοδος

Γενικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου

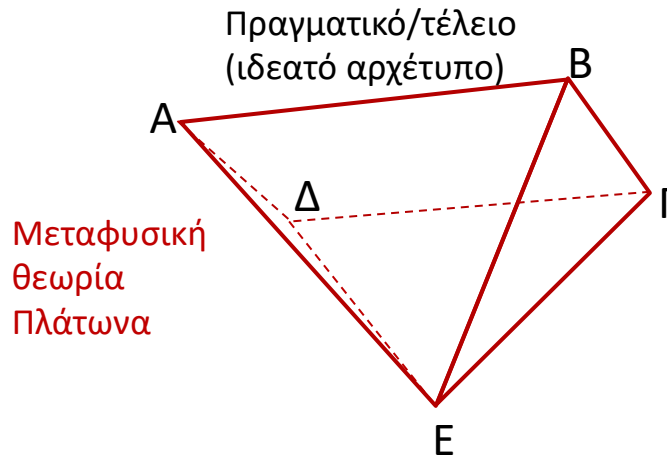
Αξιώσεις	Μέσα συναγωγής, επαλήθευσης, διάψευσης	Επιθυμητές ιδιότητες
Αλήθεια/Ρεαλισμός: Αντιστοιχία επιστημονικών προτάσεων με τη φυσική πραγματικότητα (αντικείμενα ή γεγονότα του φυσικού κόσμου).	Παραδοχές (Presuppositions): Περιλαμβάνουν τους ορισμούς των εννοιών και τις σχέσεις τους, καθώς και τα αξιώματα ή αιτήματα και τις υποθέσεις.	Απλότητα (Οικονομία, Φειδώ, Parsimony): Μεταξύ εξίσου επιτυχών θεωριών προτιμάται η απλούστερη.
Ορθολογισμός: Αναζήτηση της αλήθειας μέσω ορθών συλλογισμών.	Τεκμήρια (Evidence): Δεδομένα από πειράματα ή εμπειρικές παρατηρήσεις κατάλληλα για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των υπό εξέταση υποθέσεων.	Σαφήνεια (clarity): Συναρτάται με την επεξηγηματική ισχύ, την ελεγκσιμότητα, και την παραγωγικότητα σε νέες ιδέες και γνώσεις.
Αντικειμενικότητα: Γενικευμένη ισχύς των προτάσεων και ανεξαρτησία τους από υποκειμενικές πεποιθήσεις ή κρίσεις.	Λογική (Logic): Σύνολο έγκυρων κανόνων συναγωγής που συνδυάζοντας τις παραδοχές και τα τεκμήρια οδηγούν σε συμπεράσματα. Η συναγωγή μπορεί να είναι παραγωγική ή επαγωγική.	Αποδοτικότητα (efficiency): Συναρτάται με τα κόστη και οφέλη της απαιτούμενης έρευνας.

Διάκριση υλικού κόσμου και διανοητικών κατασκευών

Για να περιγράψουμε τον υλικό κόσμο επινοούμε μοντέλα, κάνουμε υποθέσεις και αναπτύσσουμε θεωρίες.

Τα μοντέλα και οι θεωρίες δεν ταυτίζονται με τον υλικό κόσμο, αλλά συνήθως είναι απλουστευμένες και ατελείς περιγραφές του.

(Προέλευση σχήματος: Koutsoyiannis and Montanari 2015)



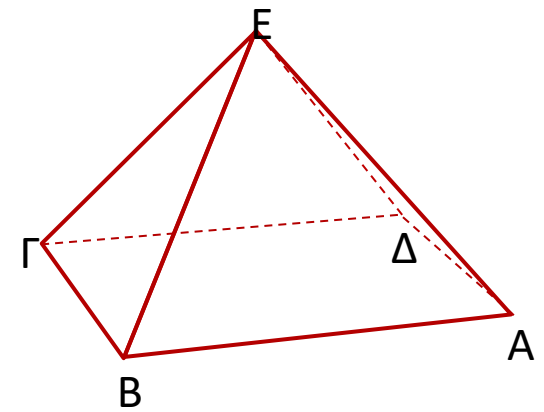
Ατελές (σκιά)



Σύγχρονη φυσική θεώρηση



Πραγματικό/τέλειο (υλικό)



Η σημασία των παραδοχών

- Όπως σε κάθε οικοδόμημα, έτσι και στην επιστήμη χρειάζεται να οριστούν τα δομικά υλικά, δηλαδή οι έννοιες και οι σχέσεις τους, και να γίνει η θεμελίωση του οικοδομήματος.
- Τα μαθηματικά καθεαυτά αποτελούν θεμέλιο για όλες τις άλλες επιστήμες, εφόσον συμπεριλαμβάνουν αφενός τον φορμαλισμό της λογικής, και αφετέρου τον τρόπο ποσοτικοποίησης των εννοιών, συμπεριλαμβανομένης της έννοιας της πιθανότητας που είναι καθοριστική ακόμη και για τις μη ακριβείς (soft) επιστήμες.
- Τα ίδια τα μαθηματικά αποτελούν υπόδειγμα για το πώς γίνεται η θεμελίωση στη βάση αξιωμάτων (axioms) ή αιτημάτων (postulates).
- Ιστορικά, η πρώτη αξιωματική θεμελίωση έγινε στη γεωμετρία από τον Ευκλείδη (~300 π.Χ.) με τα ακόλουθα αιτήματα:
 - α'. Ήιτήσθω ἀπὸ παντὸς σημείου ἐπὶ πᾶν σημεῖον εὐθεῖαν γραμμὴν ἀγαγεῖν.*
 - β'. Καὶ πεπερασμένην εὐθεῖαν κατὰ τὸ συνεχές ἐπ' εὐθείας ἐκβαλεῖν.*
 - γ'. Καὶ παντὶ κέντρῳ καὶ διαστήματι κύκλον γράφεισθαι.*
 - δ'. Καὶ πάσας τὰς ὀρθὰς γωνίας ἴσας ἀλλήλαις εἶναι.*
 - ε'. Καὶ ἐὰν εἰς δύο εὐθείας εὐθεῖα ἐμπίπτουσα τὰς ἐντὸς καὶ ἐπὶ τὰ αὐτὰ μέρη γωνίας δύο ὀρθῶν ἐλάσσονας ποιῆ, ἐκβαλλομένης τὰς δύο εὐθείας ἐπ' ἄπειρον συμπίπτειν, ἐφ' ἃ μέρη εἰσὶν αἱ τῶν δύο ὀρθῶν ἐλάσσονες (Ευκλείδης, Στοιχεῖα α').*
- Η αξιωματική μέθοδος υιοθετήθηκε σε όλους τους κλάδους των μαθηματικών τον 20^ο αιώνα.
- Ειδικότερα, η αξιωματική θεμελίωση της πιθανότητας, ως συνάρτησης που απεικονίζει σύνολα (τα οποία αντιστοιχούν σε γεγονότα) σε πραγματικούς αριθμούς στο διάστημα $[0,1]$, έγινε από τον Kolmogorov (1933)*.

* Για εναλλακτικές θεμελιώσεις της πιθανότητας στη βάση λογικών ζητούμενων (desiderata) βλ. Jayens (2003).

Η αρχή της διαψευσιμότητας

- Η οριοθέτηση της επιστήμης προϋποθέτει έναν τρόπο εξακρίβωσης αν μια πρόταση ή ένα σύστημα προτάσεων ή γνώσεων μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιστημονικό ή όχι και κατά συνέπεια αν ανήκει στο σώμα της επιστημονικής γνώσης ή σε άλλες σφαίρες (π.χ. ιδεολογία, θρησκεία, μυθολογία).
- Με το θέμα αυτό ασχολήθηκε ο Popper και η απάντηση που έδωσε θεωρείται και σήμερα έγκυρη (παρόλο που απαιτεί αναθεώρηση, όπως θα συζητηθεί στη συνέχεια). Κατά τον Popper η απόλυτη επαλήθευση υποθέσεων με βάση εμπειρικά τεκμήρια είναι ίσως αδύνατη, ενώ η διάψευση είναι απλούστερη. Κατά συνέπεια θεωρείται ως επιστημονική μια πρόταση η οποία είναι διαψεύσιμη, ενώ αν δεν υπόκειται σε διάψευση μέσω εμπειρικού ελέγχου, τότε δεν είναι επιστημονική.
- Συγκεκριμένα, το κριτήριο διάκρισης διατυπώνεται με τον ακόλουθο τρόπο:
 - *Αλλά σίγουρα θα αναγνωρίσω ένα σύστημα ως εμπειρικό ή επιστημονικό μόνο αν μπορεί να ελεγχθεί μέσω της εμπειρίας. Αυτές οι θεωρήσεις υποδηλώνουν ότι δεν πρέπει να θεωρείται ως κριτήριο οριοθέτησης η επαληθευσιμότητα αλλά και η διαψευσιμότητα ενός συστήματος. Με άλλα λόγια: δεν θα απαιτήσω από ένα επιστημονικό σύστημα να είναι δυνατόν να διακριθεί, μια για πάντα, με θετική έννοια. Αλλά θα απαιτήσω η λογική μορφή του να είναι τέτοια ώστε να μπορεί να ελεγχθεί, μέσω εμπειρικών δοκιμών, με αρνητική έννοια: πρέπει να είναι δυνατόν ένα εμπειρικό επιστημονικό σύστημα να απορριφθεί με βάση την εμπειρία (Popper 1935).*

Η αρχή της απλότητας (φειδούς)

- Η αρχή της απλότητας μάς συμβουλεύει να προτιμάμε την πιο απλή θεωρία μεταξύ εκείνων που ταιριάζουν στα δεδομένα εξίσου καλά.
- Είναι γνωστή και με τα εναλλακτικά ονόματα: *αρχή της φειδούς*, *αρχή της οικονομίας*, *ξυράφι του Ockham*.
- Παραδείγματα μη φειδωλών (αλλά όχι εσφαλμένων) φυσικών νόμων:
 - Οι μαύροι και οι λευκοί σκύλοι γαυγίζουν. Όπως επίσης και αυτοί που έχουν βούλες.
 - Είναι διαπιστωμένο ότι οι σκύλοι γαυγίζουν κάθε Δευτέρα, Τετάρτη και Κυριακή, μετά τις 11 και πριν τις 3.
- Παράδειγμα φειδωλού φυσικού νόμου:
 - Οι σκύλοι γαυγίζουν.
- Διαισθητικά, ο παραπάνω νόμος δεν αποκλείει πως ένας συγκεκριμένος σκύλος είναι βουβός.
 - Δεν θα πρέπει να τον κατανοήσουμε ως «δεν υπάρχει σκύλος που δεν γαυγίζει».
- Με άλλα λόγια, οι νόμοι των πολύπλοκων συστημάτων (π.χ. το βιολογικό σύστημα «σκύλος») έχουν αναγκαστικά πιθανοτική φύση*:
 - «Οι σκύλοι γαυγίζουν» σημαίνει «κάθε σκύλος είναι πολύ πιθανό να γαυγίζει».

* Η αποτυχία να αναγνωρισθεί ο πιθανοτικός χαρακτήρας της αρχής της φειδούς στα πολύπλοκα συστήματα μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση (βλ. π.χ. Courtney and Courtney 2008, και το παράδειγμά τους «όλα τα κοράκια είναι μαύρα»).

Αρχή της απλότητας: ιστορική αναδρομή

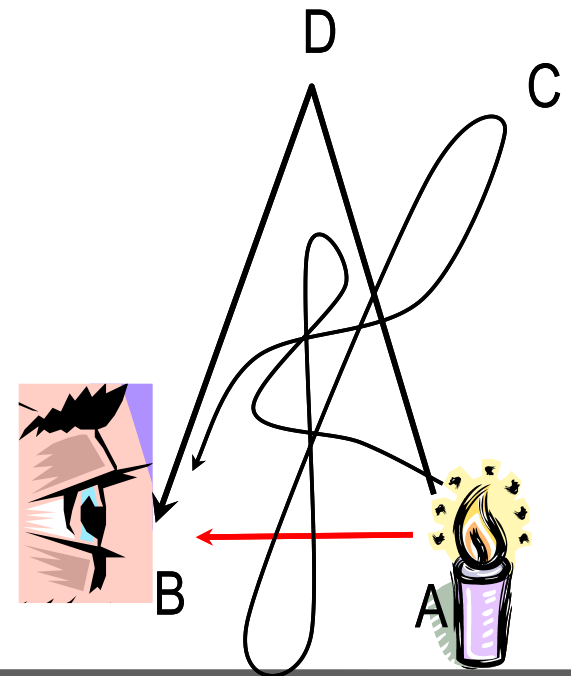
- Αριστοτέλης:
 - *Ἔστω γὰρ αὕτη ἡ ἀπόδειξις βελτίων τῶν ἄλλων τῶν αὐτῶν ὑπαρχόντων, ἢ ἐξ ἐλαττόνων αἰτημάτων ἢ υποθέσεων ἢ προτάσεων (Αναλυτικά Ὑστερα, I, 25).*
 - *Φανερόν ὅτι μακρῶ βέλτιον πεπερασμένας ποιεῖν τὰς ἀρχὰς, καὶ ταύτας ὡς ἐλάχιστας πάντων γε τῶν αὐτῶν μελλόντων δείκνυσθαι, καθάπερ ἀξιοῦσι καὶ οἱ ἐν τοῖς μαθήμασιν (Περὶ Ουρανοῦ, III, 4).*
 - *Πεπαιδευμένου γὰρ ἐστὶν ἐπὶ τοσοῦτον τάκριβες ἐπιζητεῖν καθ' ἕκαστον γένος, ἐφ' ὅσον ἡ τοῦ πράγματος φύσις ἐπιδέχεται (Ἠθικά Νικομάχεια, 1094b).*
- Φιλόσοφοι του Μεσαίωνα: Robert Grosseteste (~1168-1253), Θωμάς Ακινάτης (~1225-1274), William of Ockham (~1285-1347):
 - *Ἡ πολυμορφία δεν πρέπει να τίθεται ἀνευ ἀνάγκης.*
- Κοπέρνικος (1571-1630), Γαλιλαίος, Νεύτωνας: ὅλοι χρησιμοποίησαν την αρχή της απλότητας στην ανάπτυξη των θεωριών τους.
- Η διατύπωση του Albert Einstein για την αρχή της απλότητας:
 - *Ὅλα πρέπει να φτιάχνονται ὅσο πιο απλά γίνεται, ἀλλὰ ὄχι ἀπλούστερα.*

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιστορία και τη φιλοσοφία της αρχής της απλότητας καθώς και την επιστημονική μέθοδο, βλ. Gauch (2003).

Η αρχή της απλότητας είναι επιστημολογική ή οντολογική;

- Ο Ockham έθεσε την αρχή της απλότητας ως επιστημολογική αρχή για την επιλογή της καλύτερης θεωρίας.
- Όμως, οι προγενέστεροι φιλόσοφοι, από τον Αριστοτέλη μέχρι τον Grosseteste είχαν ερμηνεύσει την αρχή της φειδούς ως οντολογική αρχή (που διέπει, δηλαδή, τη Φύση) και ως εκ τούτου περίμεναν πως η Φύση είναι απλή.
- Ένα απλό παράδειγμα μπορεί να μας βοηθήσει να δούμε την οντολογική βάση της αρχής: Το φως ακολουθεί την απλούστερη διαδρομή από το A στο B (κόκκινη γραμμή) και όχι κάποια άλλη πιο πολύπλοκη (π.χ. τις μαύρες γραμμές ACB, ADB).
- Όμως τι σημαίνει «απλούστερη»;

Αν η Φύση δεν ήταν φειδωλή (π.χ. αν οι διαδρομές ACB, ADB υλοποιούνταν) θα ήταν δύσκολο να την καταλάβουμε και η ζωή μας θα ήταν δύσκολη.



Ποσοτικοποίηση της απλότητας

- Η παραδοσιακή προσέγγιση στη φυσική βασίζεται στην κατάστρωση εξισώσεων, οι οποίες εκφράζουν νόμους διατήρησης. Αυτοί οι νόμοι όμως διέπουν μόνο τα παρακάτω μεγέθη:
 - Μάζα (βαθμωτή εξίσωση),
 - Ορμή (διανυσματική εξίσωση),
 - Στροφορμή (διανυσματική εξίσωση),
 - Ενέργεια (βαθμωτή εξίσωση),
 - Ηλεκτρικό φορτίο (βαθμωτή εξίσωση).
- Παρόλα αυτά, για να βρεθούν καταστάσεις ή διαδρομές οι οποίες είναι *όσο το δυνατόν απλούστερες* φαίνεται πιο φυσικό να διατυπώνουμε τα προβλήματα σε όρους βελτιστοποίησης από το να χρησιμοποιήσουμε εξισώσεις.
- Μαθηματικά, είναι πιο ισχυρό να *ακραιοποιούμε*, απ' ό,τι να εξισώνουμε:
 - Ένα σύστημα εξισώσεων " $\mathbf{g}(\mathbf{s}) = \mathbf{0}$ " μπορεί να επιλυθεί μόνο αν ο αριθμός των εξισώσεων ισούται με τον αριθμό των αγνώστων.
 - Μία και μοναδική έκφραση μεγιστοποίησης, όπως π.χ. « $f(\mathbf{s}) = \max$ » μπορεί να επιλυθεί ασχέτως του αριθμού των αγνώστων (είναι ισοδύναμη με τόσες εξισώσεις όσες ακριβώς απαιτούνται, ακόμη και άπειρες).

Η Φύση είναι *εξτρεμίστρια*—όχι *εξισώτρια*.

Μερικοί απλοί φυσικοί νόμοι

- *Αρχή του Fermat**:
 - *Το φως ακολουθεί τις διαδρομές που απαιτούν ακραίο (ελάχιστο αλλά και μέγιστο) χρόνο.*
- *Γενίκευση σε απλά φυσικά συστήματα: Αρχή της ακραίας δράσης[†]* (Hamilton, εφαρμόσιμη τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική φυσική):
 - *Από όλες τις δυνατές κινήσεις μεταξύ δύο σημείων, η πραγματική κίνηση έχει ακραία δράση.*
- *Γενίκευση σε πολύπλοκα φυσικά συστήματα: Αρχή της μέγιστης εντροπίας[‡]* (Αντιστοιχεί στον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, αλλά η διατύπωση δεν είναι τελική):
 - *Η εντροπία ενός συστήματος τείνει να γίνει μέγιστη.*

Όλοι οι παραπάνω νόμοι είναι φειδωλοί (επιστημολογική φειδώ), αντανακλώντας τη φειδώ της Φύσης (οντολογική φειδώ).

*Εδώ έχει αναδιατυπωθεί ορθά με αντικατάσταση του *ελάχιστου* (της συνήθους εκδοχής) από το *ακραίο*· για τους λόγους που χρειάζεται αυτή η αντικατάσταση βλ. Κουτσογιάννης (2011).

[†] Ως *δράση* ορίζεται το ολοκλήρωμα της κινητικής μείον τη δυναμική ενέργεια κατά μήκος της διαδρομής.

[‡] Σύμφωνα με τον πιθανοτικό ορισμό της, η *εντροπία* είναι η αναμενόμενη τιμή του λογαρίθμου του αντιστρόφου της πιθανότητας.

Λογική: Οι αρχές του αποκλειόμενου μέσου και της μη αντίφασης

- Η λογική έχει εισαχθεί από τον Αριστοτέλη και χρησιμοποιείται και σήμερα στις εμπειρικές επιστήμες χωρίς ουσιώδεις μεταβολές (εκτός κι αν υπεισέρχονται προτάσεις πιθανοτικού χαρακτήρα, βλ. διαφ. 40). Οι βασικές αρχές της περιλαμβάνουν:
 - *Αρχή του αποκλειόμενου μέσου:*
 - *ἀλλὰ μὴν οὐδὲ μεταξὺ ἀντιφάσεως ἐνδέχεται εἶναι οὐθέν, ἀλλ' ἀνάγκη ἢ φάναι ἢ ἀποφάναι ἐν καθ' ἑνὸς ὅτιοῦν.* (Αριστοτέλης, *Μετὰ τὰ φυσικά*, 4.1011b)
 - *Αρχή της μη αντίφασης:*
 - *καὶ οὐκ ἔσται εἶναι καὶ μὴ εἶναι τὸ αὐτὸ ἀλλ' ἢ καθ' ὁμωνυμίαν, ὥσπερ ἂν εἰ ὄν ἡμεῖς ἄνθρωπον καλοῦμεν, ἄλλοι μὴ ἄνθρωπον καλοῖεν* (Αριστοτέλης, *Μετὰ τὰ φυσικά*, 4.1006b)
 - *εἰ γὰρ ἀληθὲς ὅτι ἄνθρωπος καὶ [5] οὐκ ἄνθρωπος, δῆλον ὅτι καὶ οὔτ' ἄνθρωπος οὔτ' οὐκ ἄνθρωπος ἔσται: τοῖν γὰρ δυοῖν δύο ἀποφάσεις, εἰ δὲ μία ἐξ ἀμφοῖν ἐκείνη, καὶ αὕτη μία ἂν εἴη ἀντικειμένη. [...] ἔτι εἰ ὅταν ἢ φάσις ἀληθῆς ἢ, ἢ ἀπόφασις ψευδῆς, κἂν αὕτη ἀληθῆς ἢ, ἢ κατάφασις ψευδῆς, οὐκ ἂν εἴη τὸ αὐτὸ ἅμα φάναι καὶ ἀποφάναι ἀληθῶς.* (Αριστοτέλης, *Μετὰ τὰ φυσικά*, 4.1008a)
- Σήμερα οι αρχές εκφράζονται πολύ απλούστερα σε συμβολική μαθηματική γλώσσα:
 - *Αρχή του αποκλειόμενου μέσου:* $p \vee \sim p$
 - *Αρχή της μη αντίφασης:* $\sim(p \wedge \sim p)$όπου p είναι μια πρόταση, ενώ \sim , \wedge και \vee είναι σύμβολα λογικών πράξεων που σημαίνουν «όχι», «και» και «ή», αντίστοιχα.

Λογική: Παραγωγή και επαγωγή

- Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι συναγωγής συμπερασμάτων (inference): *παραγωγή* (deduction) και *επαγωγή* (induction).
- Η *παραγωγή* (ἀπόδειξις) περιλαμβάνει ισχυρούς συλλογισμούς του τύπου:
Παραδοχή: Αν η p είναι αληθής τότε η q είναι αληθής Αν η p είναι αληθής τότε η q είναι αληθής
Τεκμήρια: Η p είναι αληθής Η q είναι ψευδής
Συμπέρασμα: Η q είναι αληθής. Η p είναι ψευδής
- Η παραγωγή, με δεδομένη την ισχύ των παραδοχών, καταλήγει σε αδιάσειστα συμπεράσματα και γι' αυτό είναι ο προτιμητέος δρόμος της επιστήμης. Όμως η εφαρμοσιμότητά της είναι περιορισμένη, αφού ακόμη και στα μαθηματικά, το θεώρημα του Gödel δείχνει ότι υπάρχουν μη αποδείξιμες προτάσεις.
- Στην καθημερινή ζωή αλλά και στις εμπειρικές επιστήμες χρησιμοποιούμε ασθενέστερους συλλογισμούς του τύπου:
Παραδοχή: Αν η p είναι αληθής τότε η q είναι αληθής Αν η p είναι αληθής τότε η q είναι αληθής
Τεκμήρια: Η q είναι αληθής Η p είναι ψευδής
Συμπέρασμα: Η p γίνεται πιο αληθοφανής. Η q γίνεται λιγότερο αληθοφανής
- Ο τελευταίος τύπος συλλογισμών ονομάζεται *επαγωγή*. Δεν προσφέρει απόδειξη για την αλήθεια των συμπερασμάτων αλλά καταφεύγουμε σε αυτόν όταν η παραγωγή είναι ανέφικτη.
- Η *τέλεια* (ή *μαθηματική*) *επαγωγή* (mathematical induction) προσφέρει μαθηματική απόδειξη για το συμπέρασμα και άρα ανήκει στην κατηγορία της παραγωγής. Ομοίως και η *εἰς ἄτοπον* (ή *εἰς τὸ ἀδύνατον*) *απαγωγή* (reductio ad absurdum, reductio per impossibile, reduction to absurdity).
- Άλλοι τύποι *απαγωγής* (abduction) που δεν προσφέρουν απόδειξη ανήκουν στην επαγωγή.

Λογική ενισχυμένη με πιθανότητες

- Ο Laplace, ίσως ο πιο διάσημος υποστηρικτής του ντετερμινισμού στην ιστορία της φιλοσοφίας της επιστήμης, είναι, ταυτόχρονα, ένας από τους ιδρυτές της θεωρίας πιθανοτήτων και μάλιστα είχε γράψει:
 - *η θεωρία πιθανοτήτων είναι, κατά βάθος, κοινή λογική ανηγμένη σε λογισμό (la théorie des probabilités n'est, au fond, que le bon sens réduit au calcul—Laplace 1812)*
- Το σύγχρονο λογικό και υπολογιστικό πλαίσιο της θεωρίας πιθανοτήτων, συμπεριλαμβανομένου του αξιωματικού ορισμού της πιθανότητας, το οφείλουμε στον Kolmogorov (1933).
- Σήμερα η *στοχαστική*, δηλαδή η επιστήμη που περιλαμβάνει τη θεωρία πιθανοτήτων, τη στατιστική και τη θεωρία των στοχαστικών ανελίξεων, ποσοτικοποιεί την αληθοφάνεια των επαγωγικών συμπερασμάτων, εκφράζοντάς την ως πιθανότητα, δηλαδή ως έναν αριθμό ανάμεσα στο 0 και το 1.
- Η στοχαστική χρησιμοποιεί τόσο την παραγωγή για απόδειξη θεωρημάτων, όσο και την επαγωγή για την συναγωγή συμπερασμάτων από τεκμήρια δεδομένων.
- Η παραδοσιακή στατιστική μέθοδος ελέγχου των επιστημονικών υποθέσεων βασίζεται στις λεγόμενες *δοκιμές σημαντικότητας*. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή έχει πρόσφατα υποστεί σοβαρή κριτική, που συνοψίζεται στη δήλωση της American Statistical Association ότι:
 - *η ευρεία χρήση της «στατιστικής σημαντικότητας» (που γενικά ερμηνεύεται ως « $p \leq 0.05$ ») ως επιβεβαίωση ενός ισχυρισμού για επιστημονικό εύρημα (ή συναγόμενη αλήθεια) οδηγεί σε σημαντική στρέβλωση της επιστημονικής διαδικασίας (Wasserstein and Lazar 2016).*
- Το θέμα του ελέγχου υποθέσεων έχει αναλυθεί διεξοδικά στο βιβλίο του Jayens (2003), ο οποίος, σε γενικές γραμμές, αντί των δοκιμών σημαντικότητας προτείνει τον έλεγχο μιας υπόθεσης H σε σχέση με την άρνησή της \bar{H} , στη βάση του λόγου πιθανοτήτων:

$$\frac{P\{H|DX\}}{P\{\bar{H}|DX\}} = \frac{P\{H|X\}}{P\{\bar{H}|X\}} \frac{P\{D|HX\}}{P\{D|\bar{H}X\}}$$

όπου P η πιθανότητα, X η πρότερη πληροφορία και D τα δεδομένα, ενώ το σύμβολο « $|$ » σημαίνει δεσμευμένη πιθανότητα υπό τη συνθήκη που το ακολουθεί.

Είναι η αρχή της διαψευσιμότητας συνεπής στο στοχαστικό πλαίσιο;

- Ο Popper διατύπωσε την αρχή της διαψευσιμότητας το 1935, πολύ πριν διατυπώσει τη θεωρία της δυνητικότητας.
- Στο πιθανοτικό πλαίσιο της τελευταίας, η ισχύς της πρώτης τίθεται εν αμφιβόλω: Μια πρόταση πιθανοτικού χαρακτήρα γενικά δεν μπορεί να διαψευσθεί, ούτε βέβαια να επιβεβαιωθεί, από καμία μέτρηση (πλην ειδικών περιπτώσεων). Για παράδειγμα αν μια τυχαία μεταβλητή παίρνει τιμές από το σύνολο των πραγματικών αριθμών, όλες οι τιμές είναι δυνατές και καμία μέτρηση δεν μπορεί από μόνη της να αποτελέσει διάψευση μιας πιθανολογικής πρότασης. Επίσης, κάθε τιμή έχει μηδενική πιθανότητα να πραγματοποιηθεί, αλλά παρόλα αυτά μπορεί να πραγματοποιηθεί.
- Ο ίδιος ο Popper (1935) έχει επίγνωση του προβλήματος και μάλιστα αναφέρει:
 - *Οι προτάσεις πιθανοτικού χαρακτήρα, παρόλο που παίζουν τόσο ζωτικό ρόλο στην εμπειρική επιστήμη, προκύπτει να είναι, κατ' αρχήν, ανεπίδεκτες διαψευσιμότητας.*
- Παρά τη δυσκολία εφαρμογής της αρχής, η δυνατότητα ή μη ελέγχου των υποθέσεων και θεωριών μέσω εμπειρικών τεκμηρίων δεν μπορεί παρά να αποτελεί τη βάση οριοθέτησης τους εντός ή εκτός του επιστημονικού σώματος γνώσης. Η επαλήθευση και διάψευση δεν είναι πλέον απλές υποθέσεις αλλά προϋποθέτουν τη χρήση της στοχαστικής, της οποίας τα συμπεράσματα συχνά δεν είναι κατηγορηματικά.

Θέματα για συζήτηση

Θέμα συζήτησης 1: Πόσο συνεπείς με την επιστημονική μέθοδο είναι οι ακόλουθες προβλέψεις;

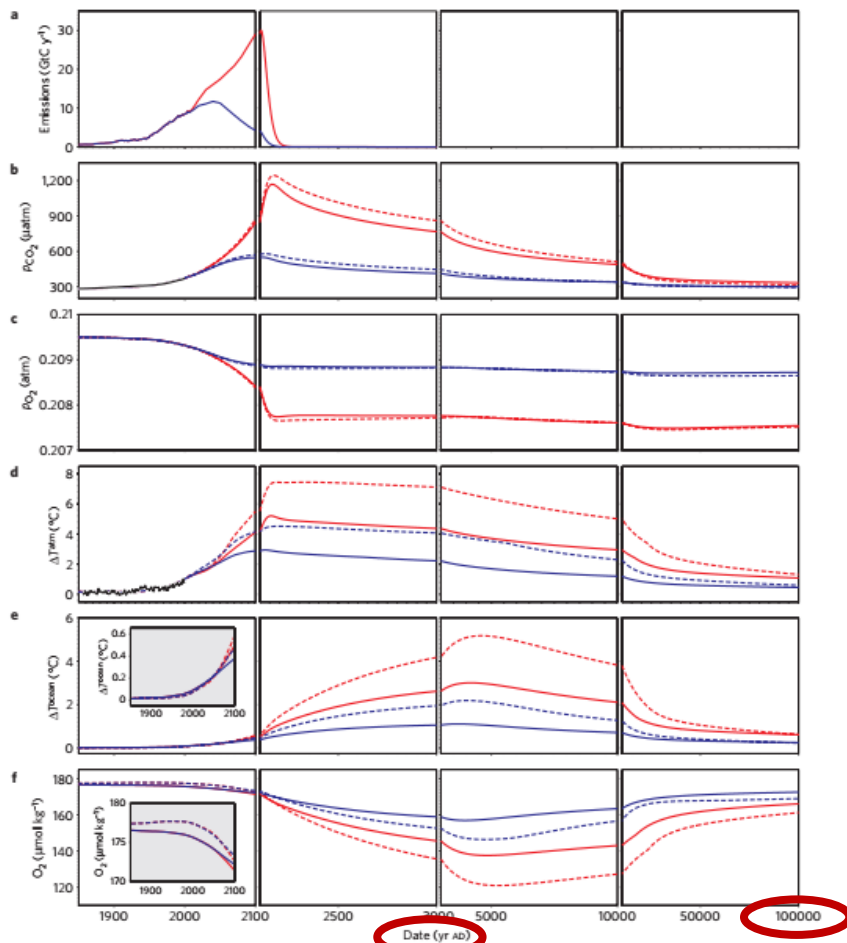


Figure 1 | Model projections for anthropogenic forcing scenarios. The blue and red lines are for the extended B1 and A2 emission scenarios respectively (see the Methods section and Supplementary Information, Fig. S1); solid and dashed lines are for 3.0°C and 4.8°C climate sensitivities respectively. Note the four different timescales. **a**, Anthropogenic carbon emissions in billion tons per year from fossil-fuel combustion, land-use change and methane release **b**, Partial pressure of atmospheric CO₂. The black line shows observations to AD 2000 (ref. 29). **c**, Partial pressure of atmospheric O₂. **d**, Mean atmospheric temperature change relative to the pre-industrial climate. The black line shows observations to AD 2000 (ref. 30). **e**, Mean ocean temperature change relative to the pre-industrial equilibrium. **f**, Mean ocean dissolved-oxygen concentrations.

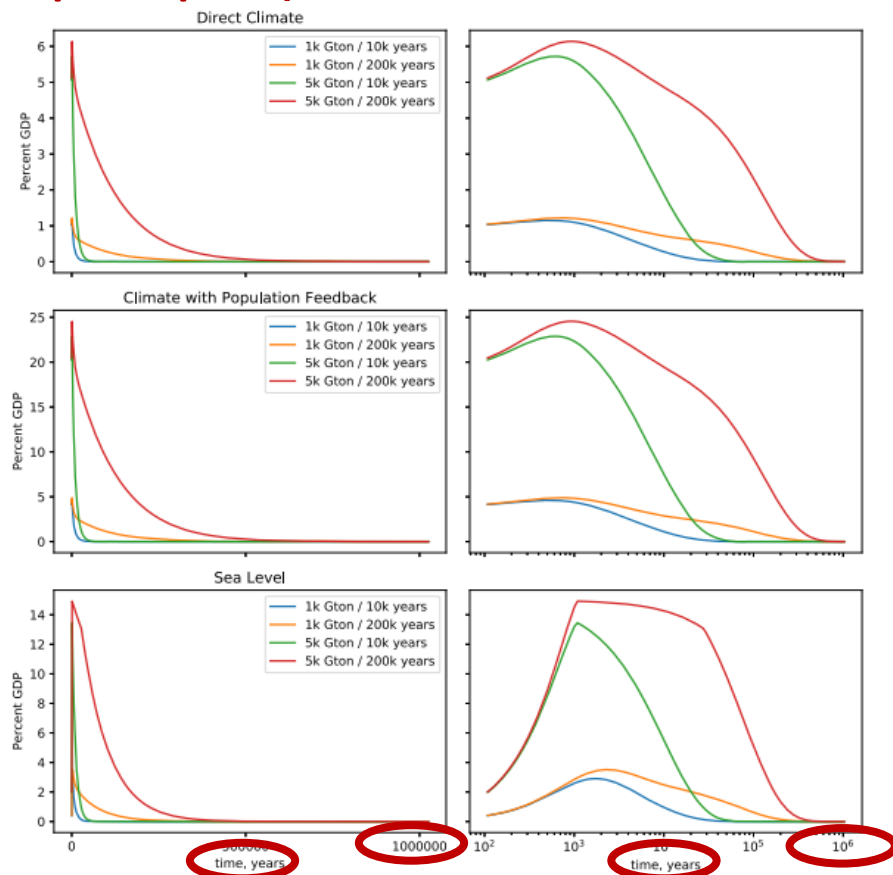


Fig. 6 The time trajectory of economic costs from the model

(Shaffer et al. 2009)


Archer et al., 2020

Θέμα συζήτησης 2: Ποια είναι η σχέση της επιστήμης με μια «έκκληση για ισχυρότερη παγκόσμια διακυβέρνηση;»

Forbes Billionaires Innovation Leadership Money Business Small Business

4,601 views | Mar 17, 2012, 04:30pm

Scientists Call For Stronger Global Governance To Address Climate Change

 **Jeff McMahon** Contributor 
Green Tech
From Chicago, I write about climate change, green technology, energy.

POLICYFORUM

SCIENCE AND GOVERNMENT

Navigating the Anthropocene: Improving Earth System Governance

F. Biermann,^{1,2*} K. Abbott,³ S. Andresen,⁴ K. Bäckstrand,² S. Bernstein,⁵ M. M. Betsill,⁶ H. Bulkeley,⁷ B. Cashore,⁸ J. Clapp,⁹ C. Folke,^{10,11} A. Gupta,¹² J. Gupta,^{1,13} P. M. Haas,¹⁴ A. Jordan,¹⁵ N. Kanie,^{16,17} T. Kluvánková-Oravská,¹⁸ L. Lebel,¹⁹ D. Liverman,^{20,21} J. Meadowcroft,²² R. B. Mitchell,²³ P. Newell,²⁴ S. Oberthür,²⁵ L. Olsson,² P. Pattberg,¹ R. Sánchez-Rodríguez,^{26,27} H. Schroeder,¹⁵ A. Underdal,²⁸ S. Camargo Vieira,²⁹ C. Vogel,³⁰ O. R. Young,³¹ A. Brock,¹ R. Zondervan²

In a [podcast](#) accompanying the article, lead author Frank Biermann, an environmental policy specialist from VU University in Amsterdam, cites climate change as the most prominent example of the failure of global governance to meet the needs of global society:

"It just takes a long time normally to get new agreements in place," Biermann says. "One example is climate change where the first Framework Convention has been negotiated in 1992. And since then, there is no change in the emissions trends of major countries.

"I mean the current state of global climate governance is surely not effective in dealing with the challenge of global warming that we see today."

<https://www.forbes.com/sites/jeffmcmahon/2012/03/17/scientists-call-for-stronger-global-governance-to-address-climate-change>

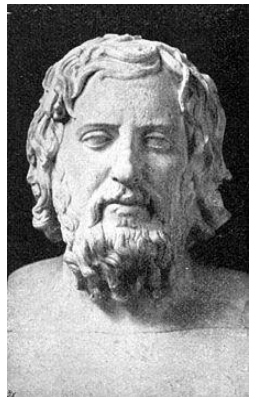
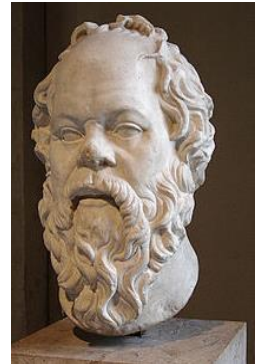
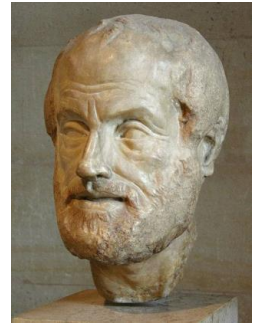
Constitutional Moment

The world saw a major transformative shift in governance after 1945 that led to the establishment of the UN and numerous other international organizations, along with far-reaching new international legal norms on human rights and economic cooperation. We need similar changes today, a “constitutional moment” in world politics and global governance.

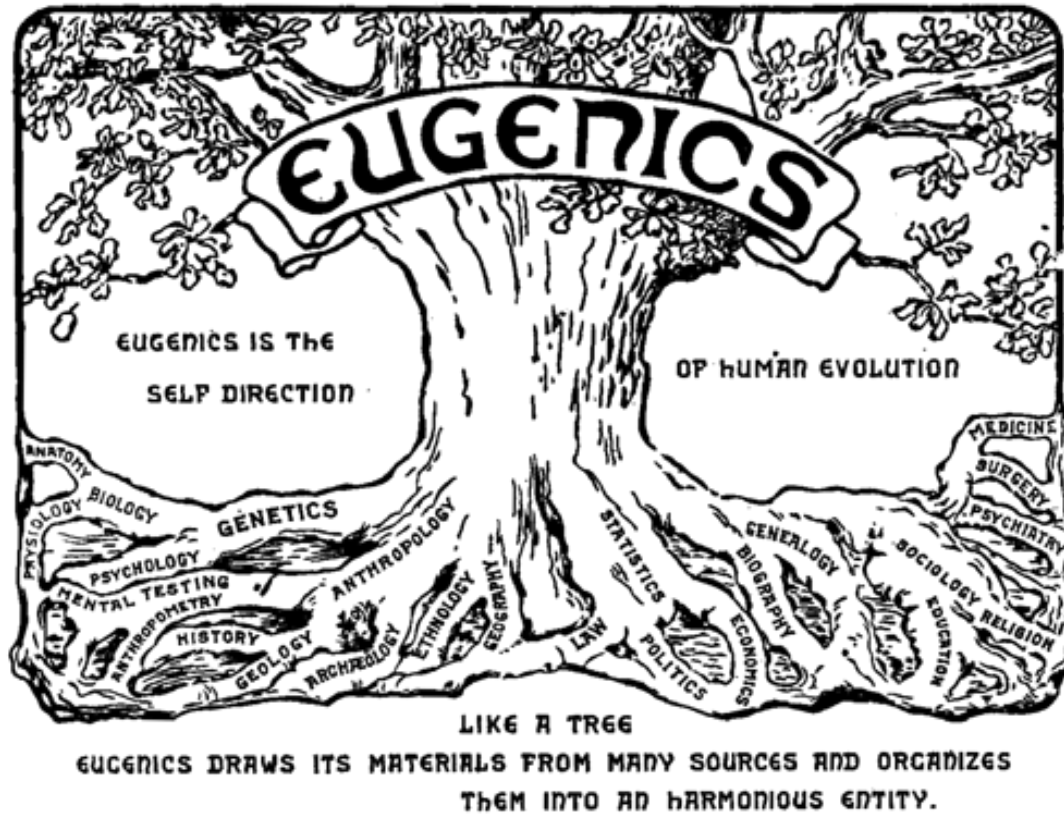
<https://science.sciencemag.org/content/335/6074/1306.summary>

Θέμα συζήτησης 3: Γιατί οι αρχαίοι φιλόσοφοι επέμειναν στη διάκριση φιλοσοφίας/επιστήμης και σοφιστείας;

- Ο Αριστοτέλης διέκρινε την *επιστήμη*, δηλαδή την εις βάθος γνώση που επιδιώκουμε για την ικανοποίηση που προκαλεί η ίδια, από την *σοφιστεία*, δηλαδή την κατάχρηση της λογικής κάνοντας εμπόριο φαινομενικής (μη πραγματικής) γνώσης (πρβλ. Taylor 1919· Horrigan 2007· Papasterhanou 2015):
 - *ἔστι γὰρ ἡ σοφιστικὴ φαινομένη σοφία οὕσα δ' οὐ, καὶ ὁ σοφιστὴς χρηματιστὴς ἀπὸ φαινομένης σοφίας ἀλλ' οὐκ οὔσης* (Αριστοτέλης, *Σοφιστικοὶ Ἐλεγχοί*, 165a21).
- Παρόμοια ήταν και η διδασκαλία του Σωκράτη, όπως στην προκειμένη περίπτωση μεταφέρεται από τον Ξενοφώντα:
 - *καὶ τὴν σοφίαν ὡσαύτως τοὺς μὲν ἀργυρίου τῷ βουλομένῳ πωλοῦντας σοφιστὰς ὥσπερ πόρνους ἀποκαλοῦσιν* (Ξενοφών, *Απομνημονεύματα*, 1.6.13).



Θέμα συζήτησης 4: Τι μας διδάσκει η προ εκατονταετίας ανάμιξη επιστήμης και πολιτικής; (περίπτωση ευγονικής)



Η ευγονική εφαρμόστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες πολλά χρόνια πριν από τα προγράμματα ευγονικής στη ναζιστική Γερμανία, τα οποία είχαν ως έμπνευση, σε μεγάλο βαθμό, το προηγούμενο αμερικανικό έργο. Ο Stefan Kühli έχει τεκμηριώσει τη συναίνεση μεταξύ των ναζιστικών πολιτικών αγώνων και των ευγονιστών σε άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, και επισημαίνει ότι οι ευγονιστές κατανόησαν τις ναζιστικές πολιτικές και τα μέτρα ως υλοποίηση των στόχων και των διεκδικήσεών τους. [...]

Μέχρι το 1928, υπήρχαν 376 ξεχωριστά πανεπιστημιακά μαθήματα σε μερικά από τα κορυφαία σχολεία των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου συμμετείχαν περισσότεροι από 20 000 φοιτητές, τα οποία περιελάμβαναν την ευγονική στην ύλη τους.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Eugenics>

https://en.wikipedia.org/wiki/Eugenics_in_the_United_States

Θέματα για επεξεργασία στο σπίτι

Εναλλακτικό θέμα 1

- Από τα θέματα που πραγματευτήκαμε επιλέξτε ένα που σας κέντρισε περισσότερο το ενδιαφέρον.
- Ξεκινώντας από τις βιβλιογραφικές αναφορές που δίνονται στις επόμενες σελίδες και προχωρώντας με αναζήτηση έγκυρων πηγών (π.χ. άρθρων δημοσιευμένων σε επιστημονικά περιοδικά) μελετήστε το θέμα που επιλέξατε.

Εναλλακτικό θέμα 2

- Επιλέξτε ένα από τα βιβλία τα οποία περιέχονται στις βιβλιογραφικές αναφορές που δίνονται στις επόμενες σελίδες.
- Διαβάστε προσεκτικά το βιβλίο και κρατήστε σημειώσεις.

Παραδοτέα και για τα δύο εναλλακτικά θέματα

- Ετοιμάστε μια παρουσίαση για προβολή (σε PowerPoint ή pdf).
- Οργανώστε την ομιλία για την παρουσίασή σας, διάρκειας 6 λεπτών (ή 12 σε περίπτωση συνεργασίας 2 φοιτητών), που θα γίνει στο επόμενο μάθημα (σημ.: συνήθης χρόνος παρουσίασης 1-1.5 διαφάνεια ανά λεπτό).

Αυτονόητη διευκρίνιση

- Η επεξεργασία, η παρουσίαση και η ομιλία σας δεν είναι ανάγκη να συμφωνούν με τις ερμηνείες που δίνονται σε αυτό το κείμενο. Όμως καλό είναι να έχουν συνέπεια με τα γενικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου.

Αναφορές

- Archer, D., Kite, E. and Lusk, G., 2020. The ultimate cost of carbon. *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-020-02785-4.
- Chalmers, A. 1982. *What Is This Thing Called Science?*. Queensland University Press, Open University Press and Hackett, 2nd revised edition, pp. 179 + xix. (Ελληνική έκδοση: *Τι Είναι Αυτό που το Λέμε Επιστήμη*; Μετάφραση Γ. Φουρτούνης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1998).
- Courtney, A., and Courtney, M., 2008. Comments Regarding “On the Nature of Science”. *Physics in Canada*, 64(3), 7-8.
- Cuvillier, A., 1963. *Nouveau précis de philosophie:Tome 2, L'action*. A. Colin, Paris. Ελληνική μετάφραση του τμήματος «Tableaux synchroniques de la pensée philosophique» (pp. 438-449): *Η Εξέλιξη του Φιλοσοφικού Στοχασμού: Συγχρονικοί Πίνακες*, Επιμέλεια: Γ. Τζαβάρας, 2015 (<https://docplayer.gr/10480259-l-exelixi-toy-filosofikoy-stohasmoy-syghronikoi-pinakes.html>).
- Driessen, A., 2019. Aristotle and the Foundation of Quantum Mechanics. *philsci-archive* (<http://philsci-archive.pitt.edu/16265/>).
- Drummond, B., 2019. Understanding quantum mechanics: a review and synthesis in precise language. *Open Physics*, 17(1), 390-437.
- Durant, W., 1926. *The Story of Philosophy, The Lives and Opinions of the Greater Philosophers*. Simon and Schuster, New York (Ελληνική έκδοση: *Η περιπέτεια της φιλοσοφίας: Η ζωή και η σκέψη των μεγάλων φιλοσόφων*. Μεταίχιμο, Αθήνα, 2014).
- Gauch, H.G., Jr., 2003. *Scientific Method in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gower, B., 1997. *Scientific Method: A Historical and Philosophical Introduction*, Psychology Press.
- Jaeger, G., 2017. Quantum potentiality revisited. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 375: 20160390 (doi:10.1098/rsta.2016.0390).
- Jaeger, G., 2018. Developments in quantum probability and the Copenhagen approach. *Entropy*, 20(6), 420.
- Heisenberg, W., 1955. The development of the interpretation of the quantum theory. *Niels Bohr and the Development of Physics, Essays dedicated to Niels Bohr on the occasion of his seventieth birthday*, edited by W. Pauli, with the assistance of L. Rosenfeld, and V. Weisskopf. New York: Pergamon Press (p.12).
- Horrigan, P.G., 2007. *Epistemology: An Introduction to the Philosophy of Knowledge*. iUniverse, New York, USA, <http://books.google.gr/books?id=ZcF76pdhha8C>.
- Jaynes, E.T., 2003. *Probability Theory: The Logic of Science*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 728 pp.
- Kastner, R.E., Kauffman, S. and Epperson, M., 2018. Taking Heisenberg's Potentia Seriously. *International Journal of Quantum Foundations*, 4, 158 – 172 (<https://www.ijqf.org/archives/4643>).
- Kolmogorov, A.N., 1933. *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Ergebnisse der Math.* (2), Berlin. (2nd English Edition: *Foundations of the Theory of Probability*, 84 pp. Chelsea Publishing Company, New York, 1956).

Αναφορές (2)

- Koutsoyiannis, D., 2010. A random walk on water, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 585–601, [doi:10.5194/hess-14-585-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-585-2010).
- Koutsoyiannis, D., 2011. *Lecture Notes on Hydrometeorology: Simple physical principles for complex systems*, 19 pages, doi: 10.13140/RG.2.2.36122.64967, National Technical University of Athens, Athens.
- Koutsoyiannis, D., 2014. Reconciling hydrology with engineering, *Hydrology Research*, 45 (1), 2–22, doi: 10.2166/nh.2013.092.
- Koutsoyiannis, D., and Montanari, A., 2015. Negligent killing of scientific concepts: the stationarity case, *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7-8), 1174–1183, [doi:10.1080/02626667.2014.959959](https://doi.org/10.1080/02626667.2014.959959).
- Laplace, P.-S., 1812. Théorie Analytique des Probabilités/par M. le Comte Laplace. *Oeuvres complètes de Laplace* VII. 1-2. Publiées sous les auspices de l'Académie des sciences, par MM. les secrétaires perpétuels, Paris, Gauthier-Villars, 1878–1912.
- Niiniluoto, I., Sintonen, M., and Wolenski, J. (eds.), 2004. *Handbook of Epistemology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ornstein, A.C., and Levine, D.U., 2008. *Foundations of Education*. 10th edition, Houghton Mifflin, Boston.
- Papastephanou, M., 2015. The 'lifeblood' of science and its politics: Interrogating epistemic curiosity as an educational aim. *Education Sciences*, 6(1), 1-16, doi: 10.3390/educsci6010001.
- Popper, K., 1935. *Logik der Forschung*. Springer, Vienna. (English edition: *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson & Co, London, 1959.)
- Popper, K., 1982. *Quantum Physics and the Schism in Physics*, Unwin Hyman, London.
- Sanders, G., 2018. An Aristotelian Approach to Quantum Mechanics, *Academia*. http://www.academia.edu/35229710/An_Aristotelian_Approach_to_Quantum_Mechanics).
- Shaffer, G., Olsen, S.M., and Pedersen, J.O.P., Long-term ocean oxygen depletion in response to carbon dioxide emissions from fossil fuels. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NGEO420, 2009.
- Taylor, A.E., 1919. *Aristotle*. T. C. & E. C. Jack, London, <http://www.gutenberg.org/files/48002/48002-h/48002-h.html> (Reprint, Dover Publications, 1955, <http://books.google.gr/books?id=v6pxshF5yrkC>).
- Todd, R.B., 1972. " Epitedeiototes" in *Philosophical Literature: Towards an Analysis*. *Acta Classica*, 15, 25-35.
- Wasserstein, R.L., Lazar, N.A., 2016. The ASA Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. *The American Statistician*, 70, 129–133. doi: 10.1080/00031305.2016.1154108.
- Weinberg, S., 2016. *Πώς να Εξηγήσουμε τον Κόσμο* (τίτλος πρωτοτύπου: *To Explain the World*), Εκδ. Ροπή, Θεσσαλονίκη.

Αναφορές (3): Αποθησαύριση κλασικών κειμένων

- Πρωτότυπα αρχαία ελληνικά κείμενα με μεταφράσεις στη νεοελληνική: http://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/library/index.html
- Πρωτότυπα αρχαία ελληνικά κείμενα χωρίς μετάφραση: <https://el.wikisource.org/wiki/>
- Αρχαία ελληνικά και λατινικά κείμενα με μετάφραση στα αγγλικά: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/collection?collection=Perseus:collection:Greco-Roman>
- Λεξικό αρχαίων ελληνικών με μεταφράσεις σε διάφορες γλώσσες (και νεοελληνικά): <https://lsj.gr/>

Αναγνωρίσεις

Οι εποικοδομητικές και λεπτομερειακές παρατηρήσεις της Μαρίνας Πανταζίδου βοήθησαν στη βελτίωση του κειμένου.