

Αναζητώντας το νόμο της κίνησης

Από τον Αριστοτέλη στον Heisenberg



Αναζητώντας το νόμο της κίνησης

ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ ΣΤΟΝ HEISENBERG

ΜΕΡΟΣ Α

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ

$$v \sim F/R$$

[ΤΑ ΤΕΛΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΚΥΡΙΑΡΧΟΥΝ]

ΜΕΡΟΣ Β

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

$$F = ma$$

[Ο ΘΡΙΑΜΒΟΣ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΑΣ]

ΜΕΡΟΣ Γ

Ο “ΝΟΜΟΣ” ΤΟΥ HEISENBERG

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

[ΤΥΧΗ ή ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ;]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ
ΒΟΥΛΗΣΗΣ

Μια παλιά απάντηση σε ένα παλιό πρόβλημα

ΜΕΡΟΣ Α

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ

$$v \sim F / R$$

[Τα τελικά αίτια κυριαρχούν]

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια γρήγορη ξενάγηση στην Αριστοτελική Φυσική:

ΟΙ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΙΚΕΣ ΤΕΤΡΑΔΕΣ

1. Τα τέσσερα είδη κίνησης

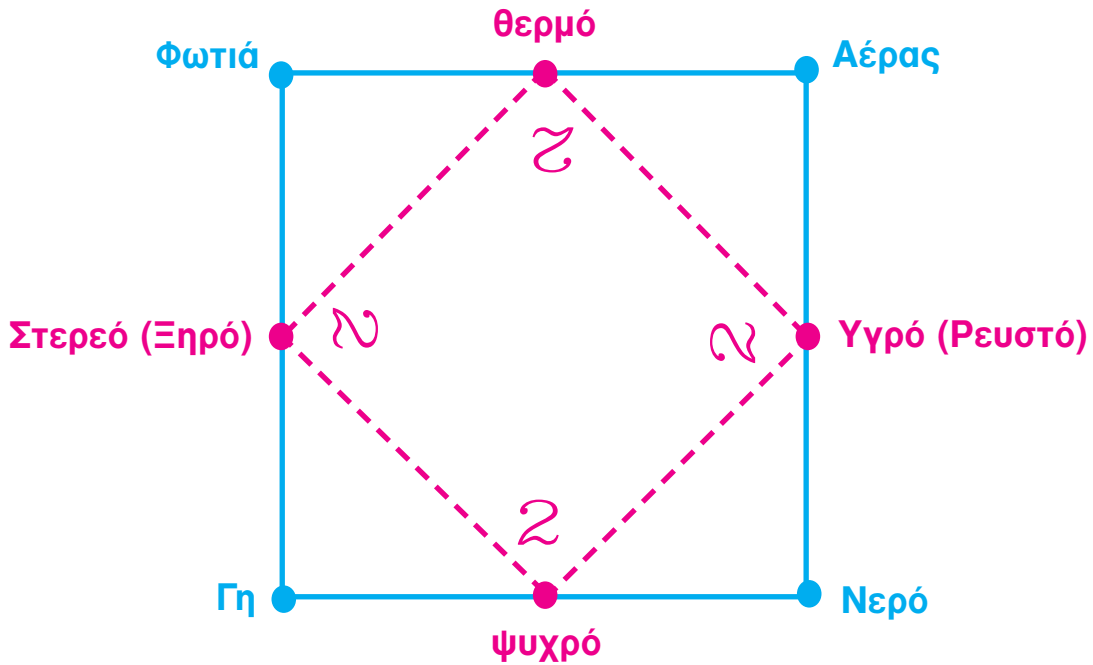
(≡ Οι 4 βασικές διαδικασίες)

- Γένεση και φθορά
- Κίνηση *κατά ποσόν*
(Ποσοτικές μεταβολές ≡ αύξηση, ελάττωση)
- Κίνηση *κατά ποιόν*
(Ποιοτικές μεταβολές ≡ αλλοίωση)
- Κίνηση *κατά τόπον*
(Μηχανική κίνηση)

2. ... και τα τέσσερα αίτιά τους

- ύλη
 - μορφή
- } ≡ “τυπικές” προϋποθέσεις της κίνησης
- Αρχικό (ή ποιητικό) αίτιο
 - Τελικό αίτιο

3-4. Τα τέσσερα βασικά στοιχεία και οι τέσσερις βασικές «δυνάμεις»



Κάθε στοιχείο έχει τις «ποιότητες» που κείνται στην άμεση γειτονιά του: Δηλαδή

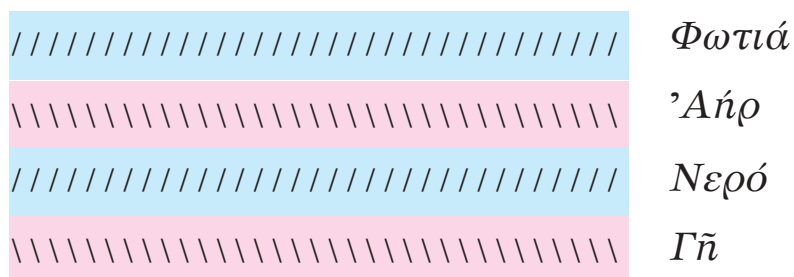
Γη = Ψυχρό και Ξηρό (Στερεό)

Νερό = Ψυχρό και Υγρό (Ρευστό)

Αέρας = Θερμό και Υγρό (Ρευστό)

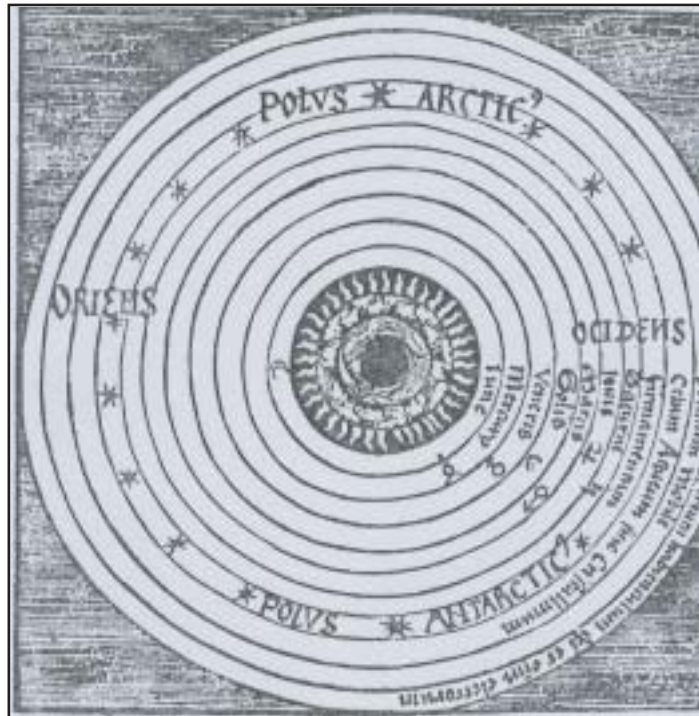
Φωτιά = Θερμό και Ξηρό (Στερεό)

Η ιεραρχική διάταξη των στοιχείων σύμφωνα με τη φυσική τους θέση (από το κέντρο της Γης προς τα πάνω) προκύπτει “διαβάζοντας” το τετράγωνο δεξιόστροφα, αρχίζοντας από τη Γη.



... και το Αριστοτελικό σύμπαν

όπως αποτυπώνεται σε μια αναγεννησιακή ξυλογραφία του 1508, όταν το Αριστοτελικό «σύστημα του κόσμου» ήταν ακόμη σε πλήρη ισχύ.



Στο κέντρο του Αριστοτελικού σύμπαντος βρίσκεται η Γη (με τα 4 επάλληλα στρώματα των θεμελιωδών στοιχείων: Γῆ, Νερό, Ἀέρας, Φωτιά) της οποίας η «επικράτεια» τερματίζεται στη σφαίρα της Σελήνης, και ακολουθεί η καθαυτό ουράνια περιοχή οργανωμένη σε επάλληλες σφαίρες που φέρουν διαδοχικά τον Ερμή, την Αφροδίτη, τον Ἴλιο, τον Ἄρη, τον Δία, τον Κρόνο και τους απλανείς αστέρες. Οι εξώτερες σφαίρες (οι οποίες κινούν τις υπόλοιπες) αποτελούν την «έδρα» του **πρώτου κινούντος**.

Ὅλη η «επικράτεια του ουρανού» εξαιρείται από τη μεταβολή και τη φθορά που χαρακτηρίζει τη γήινη περιοχή, και το μοναδικό «υλικό» συστατικό της είναι μια «πέμπτη ουσία» (πεμπτουσία), ο περίφημος **αιθέρας**.

Η κεντρική θέση της έννοιας της κίνησης στην Αριστοτελική Φυσική

Ἐπεὶ δ' ἡ φύσις μὲν ἐστὶν ἀρχὴ κινήσεως καὶ μεταβολῆς, ἡ δὲ μέθοδος ἡμῖν περὶ φύσεως ἐστὶ, δεῖ μὴ λανθάνειν τί ἐστὶ κίνησις· ἀναγκαῖον γὰρ ἀγνοουμένης αὐτῆς ἀγνοεῖσθαι καὶ τὴν Φύσιν.

«Ἐφ' ὅσον ἡ Φύσις εἶναι ἀρχὴ κινήσεως καὶ μεταβολῆς, ἡ δὲ ἔρευνά μας ἀσχολεῖται μὲ τὴν φύσιν, δὲν πρέπει νὰ ἀφήσωμεν σκοτεινὸν τὸ τί εἶναι κίνησις· διότι κατ' ἀνάγκην ὅποιος τὴν ἀγνοεῖ, ἀγνοεῖ καὶ τὴν φύσιν.»

Φυσικὰ Γ1



Ὅμως, ἀπ' ὅλες τις μορφές κίνησης, κεντρικὴ θέση στην Αριστοτελική Φυσική κατέχει ἡ «κατὰ τόπον» ἢ «τοπικὴ» κίνηση στην οποία αφιερώνεται το μεγαλύτερο μέρος των σχετικῶν ἐργῶν (Φυσικὰ καὶ Περὶ Οὐρανοῦ).

**Η ἀνάδειξη του προβλήματος της κίνησης
ὡς κεντρικοῦ προβλήματος της Φυσικῆς Επιστήμης
εἶναι μια θεμελιώδης συμβολὴ του Αριστοτέλη.**

Η Αριστοτελική Φυσική της κατὰ τόπον κίνησης

I: Φυσικές και βίαιες κινήσεις

Πρῶτον μὲν οὖν, ὅτι πᾶσα κίνησις ἢ βία ἢ κατὰ φύσιν.

«Πρώτα-πρώτα, κάθε κίνηση είναι ἢ απότοκος βίας ἢ φυσική.»

Φυσικά Δ215a



«Εάν δε ὄντως ἡ βιαία κίνησις υπάρχει, είναι ἀνάγκη καὶ ἡ φυσική να υπάρχει, διότι το βιαίον είναι ἀντίθετον πρὸς τὴν φύσιν, ὅ,τι δε είναι ἀντίθετον πρὸς τὴν φύσιν είναι ἀντίθετον πρὸς ἐκεῖνο που είναι σύμμορφον πρὸς αὐτήν. Τοιοῦτοτρόπως, εἰάν δεν υπάρχει διὰ καθένα ἀπὸ τα φυσικά σώματα φυσική κίνησις, οὔτε κανενός ἄλλου εἴδους κινήσις θα υπάρχει.»

Φυσικά Δ215a

II. Ο Αριστοτελικός νόμος της ελεύθερης πτώσης: «Όσο πιο βαρύ τόσο πιο ταχύ».

«Ένα μικρό κομμάτι γης, αν ανυψωθεί και αφεθεί ελεύθερο πέφτει και δεν μένει ακίνητο· και μάλιστα όσο μεγαλύτερο είναι τόσο ταχύτερα πέφτει.»

Περὶ οὐρανοῦ B294a10



Εἰ γὰρ τοσόνδε βάρος τὴν τοσήνδε ἐν τῶνδε τῷ χρόνῳ κινεῖται, τὸ τοσοῦτον καὶ ἔτι ἐλάττονι, καὶ τὴν ἀναλογίαν ἣν τὰ βάρη ἔχει οἱ χρόνοι ἀνάπαλιν ἔξουσιν.

«Αν τόσο βάρος διανύει τόση απόσταση σε τόσο χρόνο, το τόσο μεγάλο βάρος [τη διανύει] σε λιγότερο, και οι χρόνοι θα είναι αντιστρόφως ανάλογοι προς τα βάρη.»

Περὶ οὐρανοῦ A274a

. . . και η «κατάρριψή» του από τον Ιωάννη Φιλόπονο, 800 χρόνια μετά!

Γράφει ο Φιλόπονος:

πολλῶ γὰρ πάνυ μέτρῳ διαφέροντα ἀλλήλων δύο βάρη ἅμα ἀφείς ἐκ τοῦ αὐτοῦ ὕψους ὄψει τι οὐχ ἔπεται τῇ ἀναλογίᾳ τῶν βαρῶν ἢ ἀναλογία τοῦ χρόνου τῶν κινήσεων, ἀλλὰ πάνυ ἐλαχίστη τις ἢ διαφορὰ κατὰ τοὺς χρόνους γίνεται, ὡς εἰ μὴ πολλῶ πάνυ μέτρῳ διαφέροιεν ἀλλήλων τὰ βάρη, ἀλλ' οἶον τὸ μὲν διπλάσιον εἶη τὸ δὲ ἥμισυ, οὐδὲ διαφορὰν τινα σχήσουσιν οἱ χρόνοι τῶν κινήσεων, ἢ, εἰ καὶ σχήσουσιν, οὐκ αἰσθητὴν ἔξουσι, καίτοι τῶν βαρῶν οὐ τοιαύτην ἐχόντων τὴν διαφορὰν, ἀλλὰ διπλασίῳ λόγῳ ἔχοντος τοῦ ἑτέρου πρὸς τὸ ἕτερον.

«Διότι αν αφήσεις να πέσουν από το ίδιο ὕψος δύο βάρη εκ των οποίων το ένα είναι πολλές φορές βαρύτερο από το άλλο, θα δεις ότι ο λόγος των χρόνων που απαιτούνται για την πτώση δεν εξαρτάται από τον λόγο των βαρών, αλλά η **διαφορὰ χρόνου** είναι πολύ μικρή. Και συνεπώς, αν η διαφορὰ των βαρών δεν είναι σημαντική, π.χ. αν το ένα είναι, ας πούμε, δυο φορές βαρύτερο από το άλλο, δεν θα υπάρξει διαφορὰ χρόνου ἢ η διαφορὰ θα είναι ανεπαίσθητη, παρότι η διαφορὰ στα βάρη κάθε άλλο παρά αμελητέα είναι, αφού το ένα ζυγίζει διπλά από το άλλο.»

Ιωάννης Φιλόπονος, *In Aristotelis physicorum libros commentaria*, τόμος 17, σελ. 683

Εν τούτοις:

Παρότι λανθασμένος, ο νόμος του Αριστοτέλη («όσο πιο βαρύ τόσο πιο ταχύ») ανταποκρίνεται πολύ περισσότερο στην κοινή ανθρώπινη διαίσθηση απ' ό,τι ο αληθής νόμος.

ΠΕΙΡΑΜΑ! Αδειάστε το κεφάλι σας από τις έτοιμες απαντήσεις (!), πάρτε στα χέρια σας δύο αντικείμενα, το ένα πολύ βαρύτερο από το άλλο, και ρωτήστε τον εαυτό σας ποιο από τα δύο περιμένετε να φτάσει πρώτο στο πάτωμα αν τα αφήσετε να πέσουν ταυτόχρονα από το ίδιο ύψος.

*Παρά τα αντιθέτως λεγόμενα,
η Αριστοτελική Φυσική είναι μια Φυσική
του κοινού νου όσο καμιά άλλη πριν ή μετά.*

III: Το αίτιο της φυσικής κίνησης: Η «έλξη» προς τον φυσικό τόπο

«Αν λοιπόν αυτό που προκαλεί την κίνηση προς τα κάτω και προς τα πάνω είναι εκείνο που προκαλεί βάρος και ελαφρότητα, τότε εκείνο που κινείται είναι το δυνάμει βαρύ ή ελαφρύ και η κίνησή του γίνεται προς τον τόπο που του ανήκει· είναι κίνηση προς το είδος του.»

Περὶ οὐρανοῦ 310a32



«Το να αναζητούμε γιατί η φωτιά κινείται προς τα πάνω και η γη προς τα κάτω, είναι σα να ψάχνουμε γιατί το ιάσιμο, αν κινείται και μεταβάλλεται ως ιάσιμο, φτάνει στην υγεία και όχι στη λευκότητα.»



«Το ότι υπάρχει κάποιος φυσικός τόπος προς τον οποίο η γη και η φωτιά κινούνται, είναι φανερό. . .»

IV: Ο νόμος της βιαίας κίνησης [Νόμος του Αριστοτέλη]

Η ταχύτητα είναι ανάλογη προς την κινούσα δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη προς την αντίσταση του μέσου εντός του οποίου κινείται το σώμα

$$v \sim \frac{F}{R}$$

... και η υποστήριξή του από τον Αριστοτέλη

«Η πείρα δεικνύει ότι το αυτό βάρος και σώμα κινείται ταχύτερον διά δύο αιτίας: Ἡ ἕνεκα της διαφόρου πυκνότητας του μέσου διά του οποίου κινείται, π.χ. του νερού ἢ της γης ἢ του αέρος, ἢ λόγω μεταβολῆς της κινούσης δυνάμεως ἢ του βάρους του σώματος,* των λοιπών στοιχείων της κίνησης παραμενόντων σταθερών.»

«Ἄρα ἔχουν τον αυτό λόγο οι πυκνότητες στο νερό και τον αέρα με τις ταχύτητες στον αέρα και το νερό.»

Φυσικά 215a30-215b

*Επομένως, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, ο νόμος της βιαίας κίνησης ισχύει και για την ελεύθερη πτώση, με την «επεξήγηση» ότι το βάρος του σώματος επέχει θέση κινούσης δυνάμεως.

Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης και η κοινή εμπειρία

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ 1: Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης είναι σύμφωνος με την κοινή εμπειρία, η οποία λέει ότι:

Κανένα σώμα δεν συνεχίζει να κινείται επ' άοριστον, και για να συμβεί αυτό θα πρέπει διαρκώς να ασκείται πάνω του μια δύναμη.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Η κίνηση μιας βάρκας με κουπιά και η κίνηση μιας αλογάμαξας.

Και στις δύο περιπτώσεις η κίνηση διατηρείται μόνο ενόσω «τραβάνε» τα άλογα ή συνεχίζεται η κωπηλάτηση.

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ 2: Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης είναι εμφανώς αντίθετος με την κοινή εμπειρία.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Η πέτρα που φεύγει από το χέρι μας συνεχίζει να κινείται για μεγάλο διάστημα χωρίς να ασκείται πάνω της καμία δύναμη!

► Στην πραγματικότητα, αυτό το παράδειγμα αποτελεί την προφανή **αχίλλειο πτέρνα** της Αριστοτελικής θεωρίας της κίνησης η οποία συνέβαλε στη βαθμιαία υπονόμηση και αργότερα στην ανατροπή της.

Εν τούτοις: Ο νόμος του Αριστοτέλη συνεχίζει και σήμερα να περιγράφει σωστά τη σχέση ταχύτητας, δύναμης και «αντίστασης», στην πολύ κοινή περίπτωση κινήσεων με τριβή ανάλογη προς την ταχύτητα όταν αυτή φτάσει στην οριακή της τιμή $v_{op} = F/\mu$ όπου F η κινούσα δύναμη και μ ο συντελεστής τριβής.

Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης και η ατομική υπόθεση

[Μια αδύνατη συνύπαιρξη]

*Πᾶσι γὰρ ἡμῖν σὺνηθες, μὴ πρὸς τὸ πρᾶγμα
ποιεῖσθαι τὴν ζήτησιν, ἀλλὰ πρὸς τὸν τᾶναντία
λέγοντα· καὶ γὰρ αὐτὸς ἐν αὐτῷ ζητεῖ μέχρι
περ ἂν οὐ μηκέτι ἔχη ἀντιλέγειν αὐτὸς αὐτῷ.*

«Όλοι μας ἔχουμε τη συνήθεια να μην διεξάγουμε την ἔρευνα σε σχέση με το αντικείμενο, ἀλλὰ σε σχέση με αυτόν που λέει τα αντίθετα. Ακόμη κι αυτός που ερευνά μόνος του, ερευνά μέχρι εκεί που δεν μπορεί πια να φέρει αντιρρήσεις στον εαυτό του.»

Περὶ οὐρανοῦ, B294b10

I: Οι τάναντία λέγοντες

Νόμω χροιά, νόμω γλυκύ, νόμω πικρόν, ἔτεῃ
δ' ἄτομα καὶ κενόν.

«Κατά σύμβαση υπάρχει χρώμα, κατά σύμβαση υπάρχει γλυκό, κατά σύμβαση υπάρχει πικρό. Στην πραγματικότητα υπάρχουν άτομα και το κενόν.»



Διὰ δὲ τὸ κενὸν κινεῖσθαι

«Λόγω του κενού είναι δυνατή η κίνηση»



«... Και καθώς τα άτομα κινούνται στο κενό, συγκρούονται και αλληλοσυμπλέκονται, και μερικά αναπηδούν και άλλα ενώνονται και παραμένουν μαζί, σύμφωνα με το σχήμα και το μέγεθος και την τάξη τους. Και έτσι είναι που σχηματίζονται τα σύνθετα αντικείμενα.»

Δημόκριτος



Οὐδὲν χρῆμα μάτην γίνεται, ἀλλὰ πάντα ἐκ
λόγου τε καὶ ὑπ' ἀνάγκης.

«Τίποτα δεν γίνεται τυχαία, αλλά όλα προέρχονται από μια λογική αιτία και αναγκαιότητα.»

Λεύκιππος

II: . . . και η αντίκρουσή τους από τον Αριστοτέλη

α: Επί του συγκεκριμένου

1. «Εκείνοι που ισχυρίζονται ότι το κενόν είναι απαραίτητος όρος της κινήσεως θα πρέπει να καταλήγουν μάλλον εις το αντίθετον συμπέρασμα, τουτέστι ότι είναι αδύνατον κάτι να κινείται εάν υπάρχει το κενόν: Διότι, όπως κατά την άποψιν μερικών, η γη θα ήτο εν ηρεμία εξ αιτίας της ομοιογενείας, έτσι και εις το κενόν η ηρεμία είναι αναπόφευκτος: πραγματικά δεν υπάρχει τίποτε προς το οποίον κατά προτίμησιν θα μπορούσε να γίνει η κίνησις, διότι το κενόν ως κενόν δεν συνεπάγεται καμμίαν διαφοράν.»

Φυσικά Δ214b35

2. $v = F/R$ στο κενό $R = 0$, $\Rightarrow v = \infty \Rightarrow$ Δεν υπάρχει κενό

β: Στο μεθοδολογικό επίπεδο

«Οι στοχαστές εκείνοι που εξαιτίας της προσήλωσής τους για θεωρητικές συλλήψεις παραλείπουν να εξετάσουν τα [πολλαπλά] διαθέσιμα δεδομένα, γρήγορα είναι έτοιμοι να συνθέσουν μια θεωρία με ελάχιστα δεδομένα.»

Περί γενέσεως και φθοράς, Α2, 316a-5-8

Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης και το γεωκεντρικό σύστημα

[Δυο αλληλέγγυες θεωρίες]

Αν όντως η Γη βρισκόταν σε κίνηση, όπως είχαν συχνά ισχυριστεί αρκετοί πριν τον Αριστοτέλη, τότε, σύμφωνα με τον Πτολεμαίο η γη «θα έφευγε μπροστά από κάθε πίπτον σώμα»

«. . . και όλα τα ζώα και τα χωριστά βάρη θα είχαν μείνει πίσω αιωρούμενα στον αέρα, ενώ η ίδια η γη με την τεράστια ταχύτητά της θα είχε φύγει έξω από το ίδιο το σύμπαν.»

. . . καὶ ὑπελείπετο μὲν τὰ τε ζῶα καὶ τὰ κατὰ μέρος τῶν βαρῶν ὄχουμένα ἐπὶ τοῦ αἰέρος, αὐτὴ δὲ τάχιστα τέλεον ἂν ἐκπεπτώκει καὶ αὐτοῦ τοῦ οὐρανοῦ.

Κλαύδιος Πτολεμαίος, *Μεγίστη Σύνταξις*, τ. 1, σ. 23

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο Αριστοτελικός νόμος της κίνησης είναι απολύτως ασυμβίβαστος με μια κινούμενη γη.

**Αν η γη κινείται,
τότε ο νόμος του Αριστοτέλη είναι νεκρός.**

ΜΕΡΟΣ Β

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

$$*F = m a*$$

[Ο θρίαμβος της αιτιοκρατίας]

Και όμως ... κινείται

«Επειδή όμως η Αγία Έδρα με διέταξε να εγκαταλείψω τελείως την ψεύτικη ιδέα που διατείνεται ότι ο Ήλιος είναι ακίνητος στο κέντρο, και μου απαγόρευσε να πιστεύω, να υπερασπίζομαι ή να διδάσκω αυτή την ψεύτικη θεωρία με οποιονδήποτε τρόπο (...) απαρνούμαι, αναθεματίζω και αποστρέφομαι όλες αυτές τις πλάνες και τις αιρέσεις, και γενικά κάθε άλλη πλάνη και αίρεση που είναι αντίθετη στα λεγόμενα της Αγίας Εκκλησίας...»

Galileo Galilei



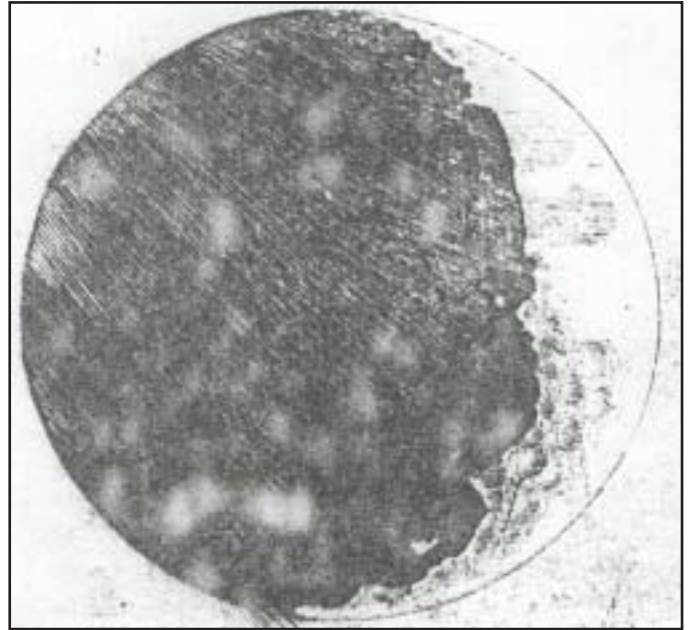
«Ο Θεός μας δίδαξε με την Αγία Γραφή πώς να πάμε στους ουραμούς, όχι πώς ... πάνε οι ουρανοί.»

Galileo Galilei

(Σχόλιο εκτός πρακτικών!)

Τι είδε ο Γαλιλαίος: Οι “απαγορευμένες εικόνες”

**I: Η σελήνη
δεν είναι τέλεια σφαίρα**



«Επιπλέον δεν είναι μόνο τα σύνορα μεταξύ φωτός και σκιάς τόσο ανώμαλα και “κυματώδη”, αλλά, ακόμη πιο εκπληκτικό, μέσα στην ίδια τη σκοτεινή περιοχή της σελήνης, εμφανίζονται φωτεινές κηλίδες πλήρως διαχωρισμένες από το φωτισμένο τμήμα της και σε αισθητή απόσταση απ’ αυτό.»

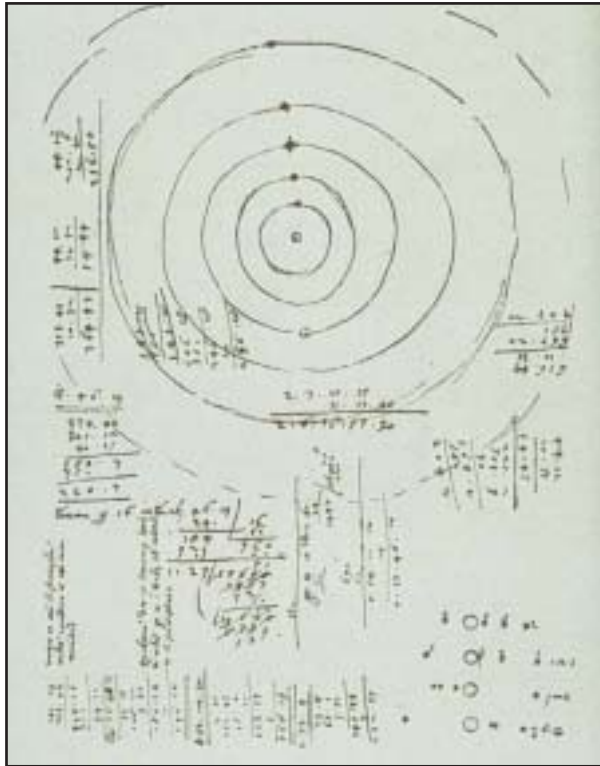
Galileo Galilei, *Ο Αγγελιοφόρος των άστρων*



«Αυτοί οι διδάκτορες της φιλοσοφίας ουδέποτε παραδέχονται ότι το φεγγάρι είναι λιγότερο γυαλισμένο από έναν καθρέφτη. Το θέλουν να είναι έτσι, αν μπορεί να το φανταστεί κανείς, διότι θεωρούν ότι μόνο τα τέλεια σχήματα μπορούν να ταιριάζουν σε τέλεια σώματα. Αλλιώς, αν υποχωρούσαν δεχόμενοι κάποια ανισότητα, έστω και την ελάχιστη, τότε θα αναζητούσα χωρίς ενδιασμούς την επόμενη που θα ήταν λίγο μεγαλύτερη. Διότι αν η τελειότητα είναι αδιαίρετη, μια τρίχα την καταστρέφει εξίσου με ένα βουνό.»

Galileo Galilei, *Διάλογος για τα δύο κύρια συστήματα του κόσμου*

II: Ο Δίας έχει δορυφόρους



Από το σημειωματάριο
του Γαλιλαίου

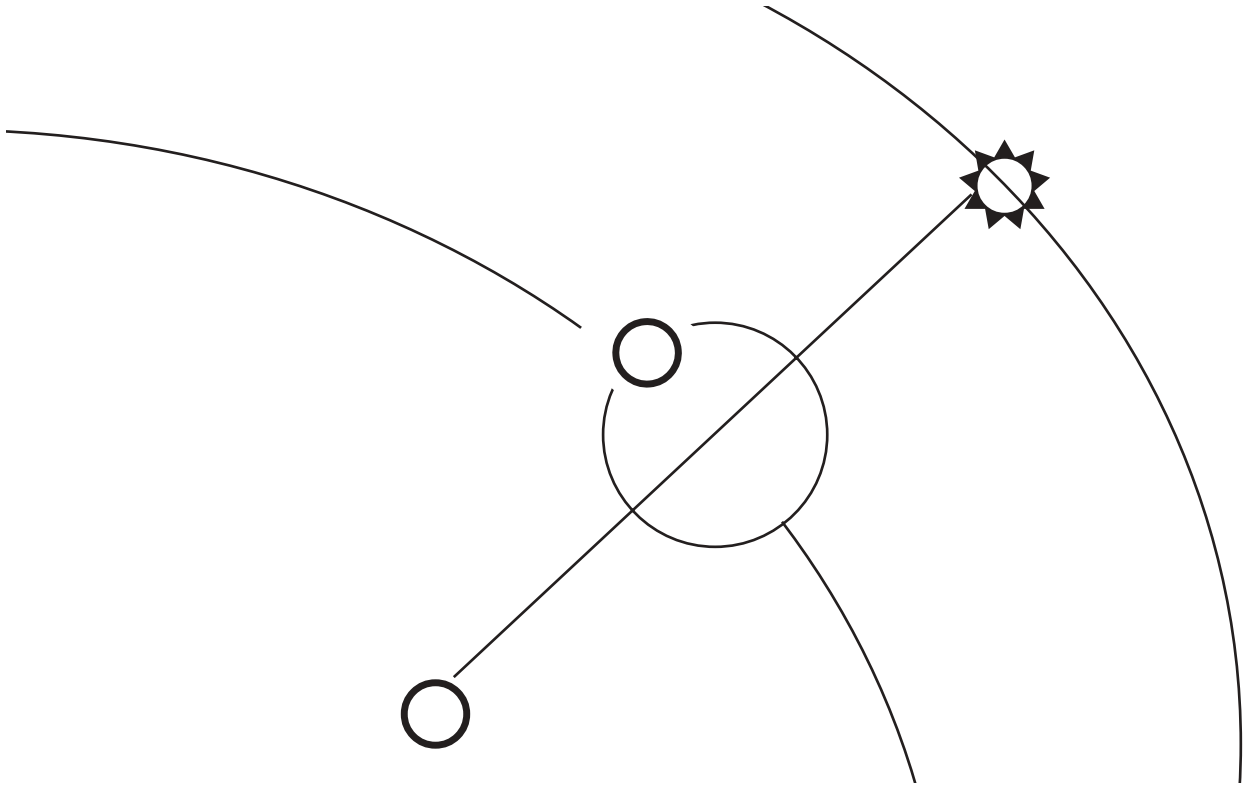


Η τηλεσκοπική εικόνα

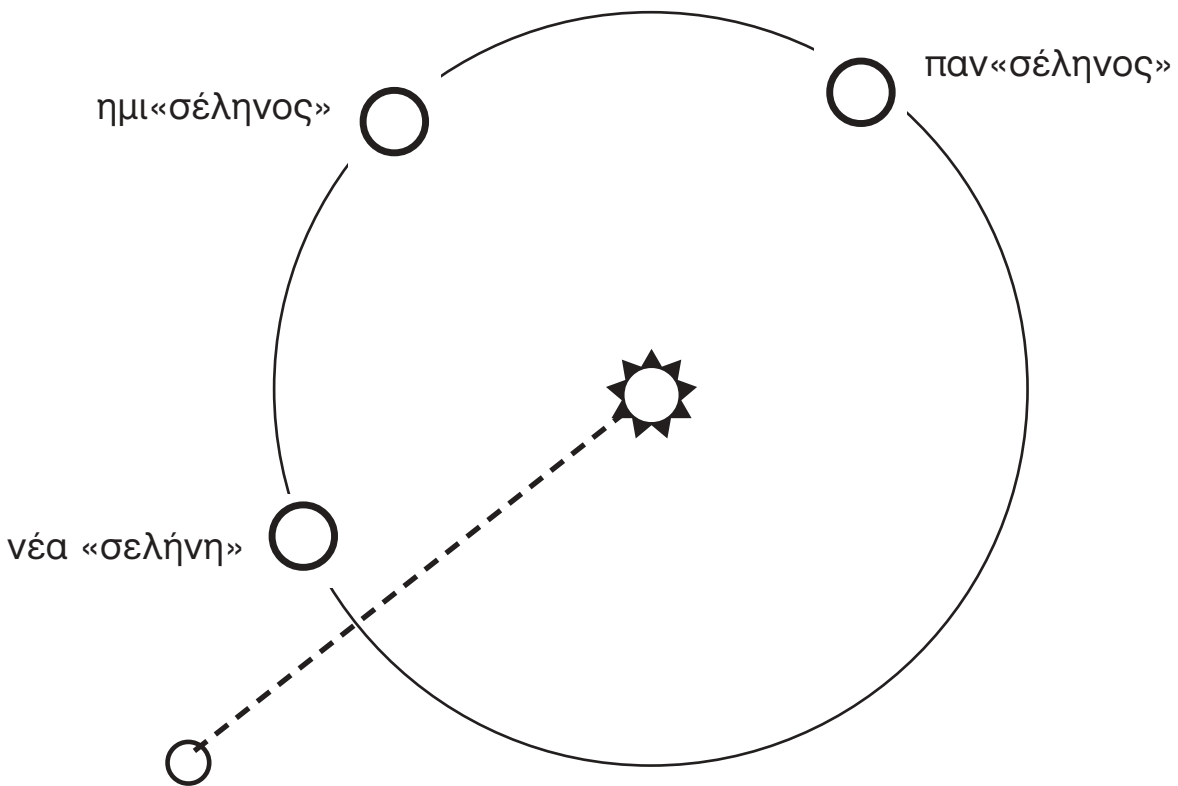
«Μέχρι τώρα περιγράψαμε εν συντομία τις παρατηρήσεις που έγιναν σχετικά με τη σελήνη, τους απλανείς αστέρες και το γαλαξία. Απομένει το ζήτημα που είναι κατά τη γνώμη μου το πιο σημαντικό απ' όλα: Η αποκάλυψη τεσσάρων ΠΛΑΝΗΤΩΝ που κανείς από τη δημιουργία του κόσμου μέχρι σήμερα δεν έχει δει, μαζί με τις παρατηρήσεις που κάναμε για τις διατάξεις και τις κινήσεις τους, τους τελευταίους δύο μήνες.»

Galileo Galilei, *Ο Αγγελιοφόρος των άστρων*

III: Η Αφροδίτη έχει φάσεις



Πτολεμαϊκό σύστημα
[Δεν υπάρχει ποτέ πανσέληνος]



Κοπερνίκειο σύστημα
[Η Αφροδίτη έχει όλες τις φάσεις]

Το στοίχημα



«Θα ξαναπέσει;»

Ευλογραφία από το αρχείο του Καρτέσιου.

Το «στοίχημα» προτάθηκε από φίλο του Γαλιλαίου για να επιβεβαιώσει την αρχή της αδράνειας κατά την άνοδο και πτώση των σωμάτων σε μια κινούμενη γη. Σύμφωνα με τη Γαλιλαιική αρχή της αδράνειας, παρότι η γη κινείται, το βόλι θα ξαναπέσει (στο ίδιο σημείο εννοείται), ενώ σύμφωνα με τον Αριστοτελικό νόμο κίνησης θα μείνει πίσω και θα χαθεί στο διάστημα.

Ο νέος νόμος της κίνησης . . .

«Ο Αριστοτέλης πέθανε, ζήτω ο Νεύτων»

«Μπορώ να σκεφτώ θεωρητικά ένα κινητό που βάλλεται σ' ένα οριζόντιο επίπεδο και ό,τι παρεμποδίζει την κίνησή του να αγνοείται. Και είναι τώρα φανερό εξ όσων έχουν λεχθεί αλλού σε μεγαλύτερη έκταση, ότι η ομαλή κίνηση σ' ένα τέτοιο επίπεδο θα είναι ατέρμων εφ' όσον το επίπεδο έχει άπειρη έκταση.»

Galileo Galilei, *Δύο νέες επιστήμες*



«Κάθε σώμα διατηρεί την κατάσταση ακινησίας ή ευθύγραμμης ομαλής κίνησης εκτός και αν εξαναγκασθεί να την αλλάξει από δυνάμεις που του επιβάλλονται.»

Isaac Newton, *Principia*, 1ος Νόμος



«Μια αλλαγή στην κίνηση είναι ανάλογη προς την επιβεβλημένη κινούσα δύναμη και λαμβάνει χώρα κατά τη διεύθυνση αυτής της δύναμης.»

Isaac Newton, *Principia*, 2ος Νόμος

✓ Επομένως

$$F = m a$$

. . . και το «νέο σύστημα του κόσμου»

«Μ' αυτές τις αρχές θα αποδείξω τώρα τη δομή του συστήματος του κόσμου.»

Isaac Newton, *Principia*

«Αφού έμειναν μαζί για αρκετή ώρα, ο δρ. Χάλει τον ρώτησε ποια νομίζει ότι μπορεί να είναι η καμπύλη που διαγράφουν οι πλανήτες αν υποτεθεί ότι η δύναμη που τους έλκει προς τον ήλιο είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασής τους απ' αυτόν. Ο σερ Ισαάκ απάντησε αμέσως ότι θα είναι μια έλλειψη. Γεμάτος χαρά και κατάπληξη, ο δόκτωρ τον ρώτησε πώς το ήξερε. Διότι το υπολόγισα, του είπε αυτός.»

Διήγηση
του De Moivre



Το μηχανιστικό «μινιφέστο»

«Απ' αυτές τις [βαρυτικές] δυνάμεις, μαζί με άλλες προτάσεις που είναι επίσης μαθηματικής φύσεως, συνάγω τις κινήσεις των πλανητών, των κομητών, της σελήνης και της θάλασσας. Και πιστεύω ότι θα μπορέσουμε να συναγάγουμε και όλα τα άλλα φαινόμενα της φύσης με την ίδια συλλογιστική από μηχανικές αρχές. Διότι παρακινούμαι από πολλούς λόγους να υποψιάζομαι ότι όλα [τα φαινόμενα] μπορεί να εξαρτώνται από ορισμένα είδη δυνάμεων διά των οποίων τα μικρά κομμάτια των σωμάτων είτε έλκονται αμοιβαία και συνωθούνται μαζί σε κανονικά σχήματα είτε απωθούνται και απομακρύνονται το ένα από το άλλο. Μη γνωρίζοντας αυτές τις δυνάμεις, οι φιλόσοφοι ματαίως προσπάθησαν να ερευνήσουν τη φύση μέχρι τώρα. Ελπίζω όμως ότι οι αρχές που τέθηκαν εδώ θα ρίξουν κάποιο φως είτε σε τούτη είτε σε μια αληθέστερη μέθοδο φιλοσοφίας.»

Isaac Newton, *Principia*

... και η αναβίωση του ατομισμού

«Με βάση όλα τα προηγούμενα, μου φαίνεται πιθανόν ότι στην Αρχή έφτιαξε ο Θεός τη ύλη υπό μορφήν στερεών, μαζικών, σκληρών και αδιαπέραστων κινητών σωματιδίων, τέτοιων σχημάτων και μεγεθών και με τέτοιες άλλες ιδιότητες και με τέτοια αναλογία ως προς τον χώρο όση συνάδει με τον σκοπό για τον οποίο τα έφτιαξε.

Όντας “στερεά”, αυτά τα πρωταρχικά σωματίδια είναι ασύγκριτα σκληρότερα από κάθε πορώδες σώμα που φτιάχνεται από αυτά· και μάλιστα τόσο σκληρά ώστε ποτέ να μην φθείρονται ή να θραύονται αφού καμία συνήθης δύναμη δεν μπορεί να είναι ικανή να διαιρέσει ό,τι ο Θεός δημιούργησε αδιαίρετο.

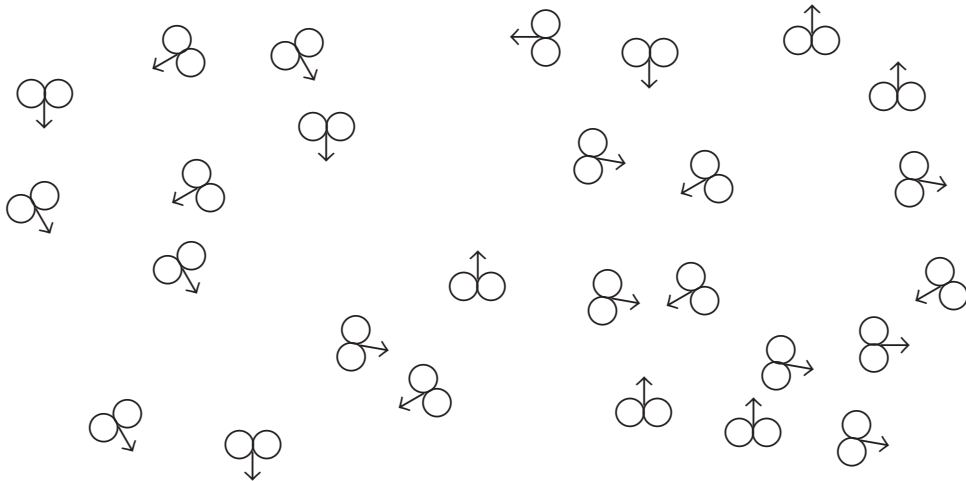
Κι έτσι μια τέτοια Φύση μπορεί να είναι διαρκής και οι μεταβολές των υλικών αντικειμένων θα αντιστοιχούν μόνο σε διαχωρισμούς, επανασυνδέσεις και κινήσεις αυτών των σταθερών σωματιδίων, ενώ τα σύνθετα σώματα θα είναι επιδεκτικά θραύσεως όχι εις το μέσον των στερεών σωματιδίων αλλά εκεί όπου “ενώνονται” αυτά τα σωματίδια.»

Isaac Newton, *Principia*

Μια νέα εικόνα για τον κόσμο

Το ατομιστικό σύμπαν

[Όνειρο ή εφιάλτης;]



«Κάθε φυσικό φαινόμενο —συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της ύπαρξής μας ως συνειδητών ανθρωπίνων όντων— δεν είναι παρά το αποτέλεσμα της κίνησης ενός τεράστιου πλήθους ατόμων που διέπεται από τους νόμους της Νευτώνειας Μηχανικής. Ένα “υπερ-ον” που θα “φωτογράφιζε” την παρούσα κατάσταση του σύμπαντος (τις αρχικές θέσεις και ταχύτητες όλων των ατόμων του) θα μπορούσε να ανασυνθέσει όλο του το παρελθόν και να προβλέψει το μέλλον του.»

Laplace

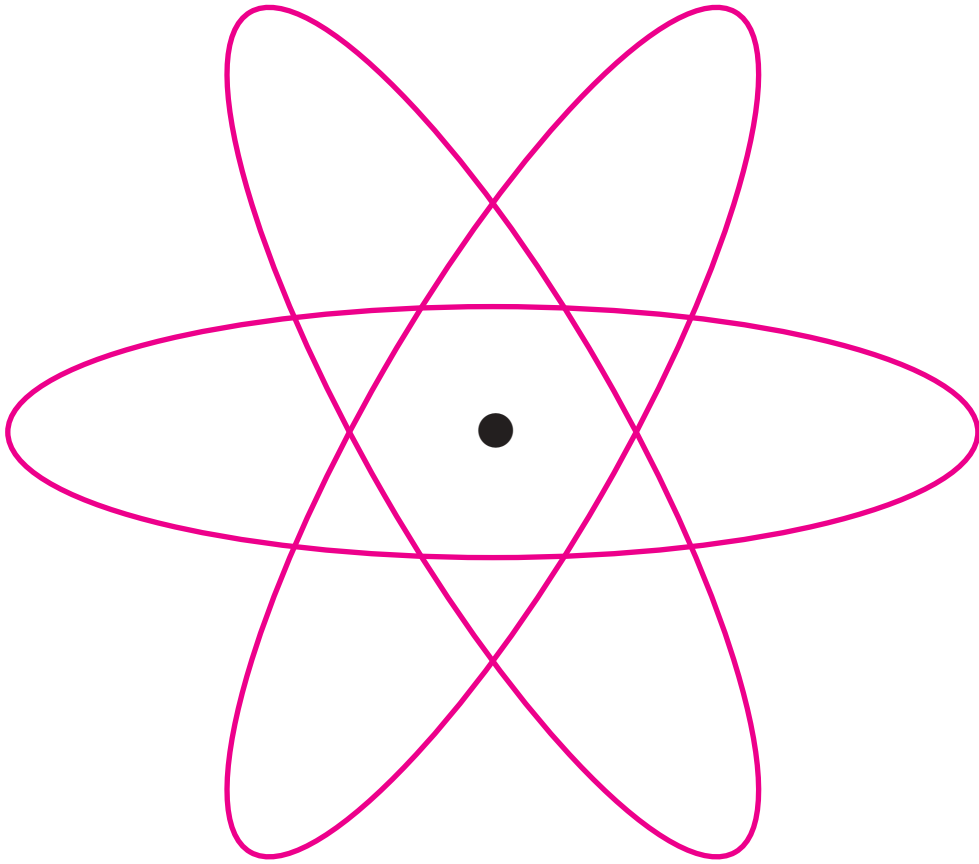
ΜΕΡΟΣ Γ

Ο “ΝΟΜΟΣ” ΤΟΥ HEISENBERG

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

[Τύχη ή αναγκαιότητα;]

Το μυστήριο της ατομικής σταθερότητας



ΤΟ ΑΤΟΜΟ ΕΝΑ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΛΛΙΩΤΙΚΟ ΑΠΟ ΤΑ ΑΛΛΑ

«Αφετηρία μου δεν ήταν καθόλου η ιδέα ότι το άτομο είναι ένα πλανητικό σύστημα σε μικρή κλίμακα και σαν τέτοιο ότι διέπεται από τους νόμους της αστρονομίας. Ποτέ δεν πήρα αυτή την αναλογία κατά γράμμα. Αφετηρία μου ήταν μάλλον η σταθερότητα της ύλης. Ένα καθαρό θαύμα, αν το δει κανείς από τη σκοπιά της Κλασικής Φυσικής.»

Niels Bohr

Ο από μηχανής θεός:

Η αρχή της αβεβαιότητας

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Το γινόμενο των αβεβαιοτήτων θέσης και ορμής ενός σωματιδίου δεν μπορεί ποτέ να γίνει μικρότερο από το μισό της σταθεράς του Planck.

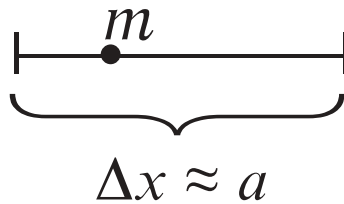
και για πρόχειρους υπολογισμούς

$$\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$$

Δηλαδή: Δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου. Όσο καλύτερα γνωρίζουμε τη θέση του τόσο μεγαλώνει η άγνοιά μας για την ταχύτητά του, και αντίστροφα.

Η κβαντική αντίσταση στον εντοπισμό:

Μια πολύ γενική συνέπεια
της αρχής της αβεβαιότητας



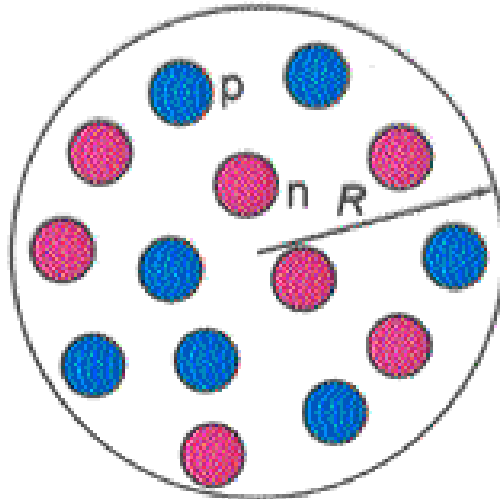
$$\Delta x \approx a \Rightarrow \Delta p \approx \hbar/a \Rightarrow E_K \approx \hbar^2/2 m a^2$$

Κάθε σωματίδιο εντοπισμένο σε μια περιοχή διαστάσεως a είναι «καταδικασμένο» να κινείται με μια ελάχιστη κινητική ενέργεια ίση με:

$$E_K \approx \hbar^2/2 m a^2$$

που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η περιοχή μέσα στην οποία βρίσκεται παγιδευμένο το σωματίδιο.

... και την κλίμακα
των πυρηνικών ενεργειών

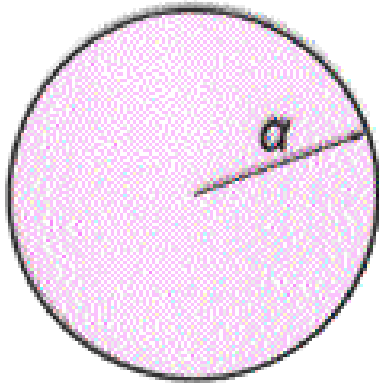


$$E_{\text{πυρ.}} = \frac{\hbar^2}{2m_p R^2} = \frac{\hbar^2}{2m_e a^2} \frac{m_e}{m_p} \left(\frac{a}{R}\right)^2$$

$$\Rightarrow E_{\text{πυρ.}} \approx (10^6 - 10^7) E_{\text{ατ.}} \approx \text{Μερικά MeV}$$

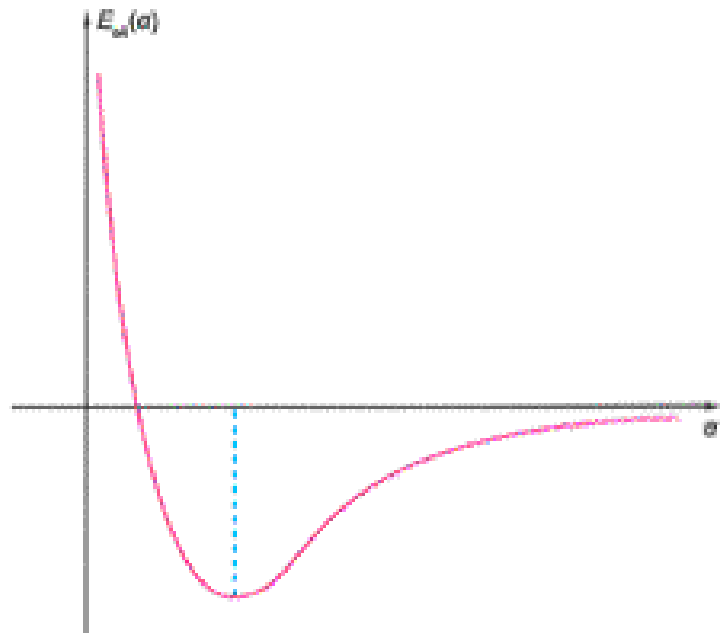
Ο πυρήνας είναι **γίγαντας ενέργειας**
ακριβώς διότι είναι **νάνος μεγέθους**

Η αρχή της αβεβαιότητας εξηγεί τη σταθερότητα και το μέγεθος του ατόμου



$$\Delta r \approx a \Rightarrow E_K \approx \frac{\hbar^2}{2ma^2}$$

$$E_{ολ} \approx E_K + E_{Δ} \approx \frac{\hbar^2}{2ma^2} - \frac{e^2}{a}$$



ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

$$\frac{dE_{ολ}}{da} = 0 \Rightarrow a = a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0,5 \text{ \AA}$$

Το άτομο έχει αυτό το μέγεθος
γιατί έτσι ελαχιστοποιεί την ολική του ενέργεια.

Από το μυστήριο της ατομικής σταθερότητας στο μυστήριο των κβαντικών αβεβαιοτήτων

Το βασικό ερώτημα:

Πού οφείλεται η αδυναμία μας να προβλέψουμε με ακρίβεια την κίνηση ενός ηλεκτρονίου σε ένα άτομο και αναγκαζόμαστε να μιλάμε μόνο με πιθανότητες;

... και οι πιθανές απαντήσεις του

1. Οφείλεται σε ατέλεια των μετρητικών μας οργάνων.
2. Οφείλεται σε ατελή γνώση των παραγόντων που προσδιορίζουν την κίνηση ενός ηλεκτρονίου.
- ✓ 3. Οι κβαντικές αβεβαιότητες είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό της φυσικής πραγματικότητας.

Η σωστή (σημερινή) απάντηση είναι η (3) και επομένως (μέχρι νεωτέρας):

**Η ΦΥΣΗ ΕΙΝΑΙ
ΕΓΓΕΝΩΣ ΠΙΘΑΝΟΚΡΑΤΙΚΗ**

Τότε όμως . . .

Πώς εξηγείται το προφανές γεγονός ότι ζούμε σ' έναν κόσμο στον οποίο η φυσικοχημική συμπεριφορά της ύλης είναι τόσο σταθερή και προβλέψιμη ώστε να μπορεί να βασιστεί σ' αυτήν ακόμα και η τόσο ευαίσθητη χημεία της ζωής;

Ας θυμηθούμε τον Bohr:

«Η φύση έχει σαφώς την τάση να παράγει ορισμένες “μορφές” —χρησιμοποιώ τη λέξη “μορφές” στην πιο γενική της έννοια— και να αναδημιουργεί αυτές τις μορφές ακόμα κι όταν παραμορφώνονται ή καταστρέφονται.»

Πώς αυτή η “σταθερότητα των μορφών” —στην οποία βασίζεται η ίδια η ύπαρξή μας— είναι συμβιβαστή με μια τυχαιοκρατούμενη φύση;

Πιθανή απάντηση: Οι ατομικές καταστάσεις έχουν απόλυτα καθορισμένη ενέργεια και στροφορμή και αυτά τα φυσικά μεγέθη διαδραματίζουν τον καιριο ρόλο στη φυσικοχημική συμπεριφορά της ύλης.

“Εμείς”

και η “αντικειμενική” πραγματικότητα:

Ένας νέος ρόλος για τον παρατηρητή

Ένα ερώτημα για εκκίνηση:

Ας προσπαθήσουμε να περιγράψουμε το “πώς είναι” ένα άτομο — π.χ. ένα άτομο Υδρογόνου— με τον ίδιο τρόπο που περιγράφουμε το “πώς είναι” το πλανητικό μας σύστημα. Ειδικότερα, ας προσπαθήσουμε να περιγράψουμε το “τί ακριβώς κάνει” το ηλεκτρόνιο σ’ ένα άτομο Υδρογόνου.

.....

.....

.....

.....

.....

ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ:

Στην Κβαντική Μηχανική —λόγω των περιορισμών που θέτει η αρχή της αβεβαιότητας— είναι αδύνατον να περιγράψουμε το φυσικό σύστημα “καθ’ εαυτό”. Η περιγραφή θα είναι πάντοτε μια περιγραφή “της σχέσης του” με μια συσκευή παρατήρησης. **Ο παρατηρητής** —όχι κατ’ ανάγκην ως συνειδητό υποκείμενο— γίνεται **συστατικό στοιχείο της περιγραφής της φυσικής πραγματικότητας.**

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ
ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΒΟΥΛΗΣΗΣ

[Μια παλιά απάντηση
σ' ένα παλιό πρόβλημα]

Ποιο είναι το ερώτημα

Είναι η ανθρώπινη βούληση **πραγματικά ελεύθερη** όπως αυθόρμητα το αισθανόμαστε — και μάλιστα ως το κεντρικό στοιχείο της υπαρξιακής μας ταυτότητας ως ανθρωπίνων όντων— ή **δεσμεύεται** (και σε ποιο βαθμό) από τους φυσικούς νόμους που επίσης δεχόμαστε ότι διέπουν την ύπαρξή μας ως υλικών όντων;

Τρεις νόμοι κίνησης – τρεις “απαντήσεις” στο πρόβλημα της ελεύθερης βούλησης

1. Η απάντηση της Αριστοτέλειας Μηχανικής

Προφανής. Σε μια τελεολογική Φυσική, ο βουλευτικός παράγοντας δρα ως **αυτόνομο αίτιο** και, επομένως, η ελευθερία της βούλησης είναι αξιωματικά δεδομένη. Είναι θεμελιώδης νόμος.

2. Η απάντηση της Νευτώνειας Μηχανικής

Η ελεύθερη βούληση είναι ψευδαίσθηση. Μια ζωτική ανθρώπινη ψευδαίσθηση, αλλά ψευδαίσθηση. Όλες μας οι επιθυμίες και ενέργειες είναι το προδεδικασμένο αποτέλεσμα των αρχικών συνθηκών με βάση τις οποίες “ξεκίνησε” το σύμπαν.

3. Η “απάντηση” της Κβαντικής Μηχανικής

Καθόλου προφανής. Στην πιο ανάλαφρη εκδοχή του θέματος, η ανθρώπινη βούληση μπορεί να θεωρηθεί ότι υπόκειται εν μέρει στις τυχαίες κβαντικές διακυμάνσεις των ηλεκτρονίων που εμπλέκονται στη Χημεία των νευρικών συνάψεων.

... και η απάντηση του Σωκράτη(*)

Προηγείται μια εξομολογητική διήγηση του Σωκράτη για την αποτυχημένη προσπάθειά του να γνωρίσει τις αιτίες και πώς ανέκτησε προς στιγμήν τις ελπίδες του με τις θεωρίες του Αναξαγόρα ότι ο Νους είναι «*ὁ διακοσμῶν τε καὶ αἴτιος πάντων*».

Και συνεχίζει ο Σωκράτης (Φαίδων 98b6):

«Αυτή όμως την ελπίδα γρήγορα την εγκατέλειψα όταν, καθώς προχωρούσα στην ανάγνωση, είδα έναν άνθρωπο [τον Αναξαγόρα] που δεν χρησιμοποιεί καθόλου τον νου ούτε αποδίδει σε κάποιες αιτίες την τάξη των πραγμάτων, αλλά ως αιτίες αναφέρει τον αέρα, τον αιθέρα και το νερό και πολλά άλλα παράλογα. Αυτό που κάνει μου φαίνεται πανομοιότυπο σαν να έλεγε κάποιος ότι ο Σωκράτης όσα κάνει τα κάνει με νου και έπειτα, επιχειρώντας να προσδιορίσει τις αιτίες των πράξεών μου, να πει ότι για αυτόν τον λόγο κάθομαι εδώ [στο κελί μου], γιατί το σώμα μου αποτελείται από οστά και νεύρα ... Τα οστά αιωρούνται στα σημεία συναρμογής τους, τα νεύρα χαλαρώνουν και τεντώνονται και με κάνουν ικανό να κάμπτω τώρα τα μέλη μου. Και επειδή έκαμψα τα μέλη μου, για αυτήν την αιτία κάθομαι εδώ ...

... Έτσι όμως αποφεύγει να πει την πραγματική αιτία, ότι δηλαδή, αφού οι Αθηναίοι θεώρησαν καλύτερο (βέλτιον) να με καταδικάσουν, για αυτόν ακριβώς τον λόγο θεώρησα και εγώ καλύτερο και δικαιότερο να μείνω εδώ και να υποστώ την ποινή που θα μου επιβάλουν. Γιατί, μα την αλήθεια, πιστεύω ότι αυτά τα νεύρα και αυτά τα οστά θα ήταν από καιρό στα Μέγαρα ή στη Βοιωτία, ωθούμενα από κάποια αντίληψη του βελτίστου, αν δεν θεωρούσα ότι είναι πιο δίκαιο και πιο ωραίο, αντί να αποδράσω και να εξοριστώ, να υποστώ την ποινή που η πόλη μου επιτάσσει.»

* Βλέπε σχετικά σχόλια στο λαμπρό βιβλίο του Β. Κάλφα, Αριστοτέλης, *Περί Φύσεως*, Εισαγωγή-μετάφραση-σχόλια σελ. 48-52.

Βλ. επίσης του ίδιου, Πλάτων, *Τίμαιος*, Εισαγωγή-μετάφραση-σχόλια (έκδ. Πόλις).