

Τὰ ὄρια τῶν φυσικῶν νόμων

Γεώργιος Κοντόπουλος

Ακαδημία Ἀθηνῶν

1) Εἰσαγωγή

Μία ἀπὸ τὶς μεγαλύτερες ἀνακαλύψεις ὄλων τῶν ἐποχῶν εἶναι τὸ ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι εἶναι παγκόσμιοι. Δηλαδή οἱ ἴδιοι φυσικοὶ νόμοι ποὺ ἰσχύουν στὴ γῆ, ἰσχύουν καὶ στοὺς μακρινοὺς ἀστέρες καὶ γαλαξίες τοῦ Σύμπαντος.

Ἡ ἀπόδειξη τῆς παγκοσμιότητος τῶν φυσικῶν νόμων στηρίζεται κυρίως στὴ μελέτη τῶν φασμάτων τῶν ἀστέρων καὶ τῶν γαλαξιών. Διαπιστώνουμε ὅτι παντοῦ ὑπάρχουν τὰ ἴδια χημικὰ στοιχεῖα καὶ μάλιστα στὶς ἴδιες περίπου ἀναλογίες. Ἐπίσης διαπιστώνουμε ὅτι τὰ φάσματα αὐτὰ ἀκολουθοῦν τοὺς ἴδιους νόμους τῆς κβαντικῆς φυσικῆς μὲ κάθε λεπτομέρεια. Ἐξ ἄλλου ἡ ἐνέργεια τοῦ φωτὸς τῶν ἀστέρων ἐξηγεῖται ἂν δεχθοῦμε ὅτι στὸ κέντρο τοὺς γίνονται θερμοπυρηνικὲς ἀντιδράσεις παρόμοιες μὲ αὐτὲς ποὺ γίνονται στὸ κέντρο τοῦ Ἡλίου μας. Κατὰ συνέπεια καὶ οἱ πυρηνικὲς δυνάμεις εἶναι οἱ ἴδιες.

Τέλος οἱ παρατηρήσεις τῶν κινήσεων τῶν ἀστέρων μᾶς δείχνουν ὅτι οἱ βαρυτικὲς δυνάμεις εἶναι οἱ ἴδιες. Καὶ μάλιστα ἐπιβεβαιώνεται ὅτι οἱ δυνάμεις αὐτὲς δίνονται κατὰ προσέγγιση ἀπὸ τὸ νόμο τοῦ Νεύτωνος, ἀλλὰ καὶ ὅτι ὑπάρχουν μικρὲς ἐκτροπές, ποὺ ἐξηγοῦνται ἀπὸ τὴ θεωρία τῆς Σχετικότητος.

Ἡ παγκοσμιότης τῶν φυσικῶν νόμων ὑπῆρξε μιὰ μεγάλη ἀνακάλυψη, γιατί δὲν ἦταν προφανές. Ἀντιθέτως γιὰ πολλοὺς αἰῶνες ἐνόμιζαν ὅτι στὰ ἄλλα οὐράνια σώματα ὑπάρχουν διαφορετικοὶ φυσικοὶ νόμοι. Χρειάστηκαν αἰῶνες συστηματικῶν παρατηρήσεων γιὰ νὰ βεβαιωθοῦμε ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι ποὺ ἰσχύουν στὴ γῆ, ἰσχύουν μέχρι τὰ ἄκρα τοῦ Σύμπαντος.

Οἱ νόμοι τῆς φύσεως ἐκφράζονται συνήθως μὲ μαθηματικά. Οἱ κινήσεις τῶν διαφόρων σωμάτων ἀκολουθοῦν τὶς λύσεις ὀρισμένων διαφορικῶν ἐξισώσεων. Οἱ διαφορικὲς ἐξισώσεις εἶναι δύο εἰδῶν. Πρῶτον εἶναι οἱ συνήθεις διαφορικὲς ἐξισώσεις ποὺ ἐν γένει εἶναι δευτέρας τάξεως, δηλαδή τῆς μορφῆς

$$\text{Ἐπιτάχυνση} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{\vec{F}}{m} = \text{δύναμη διὰ τῆς μάζης} \quad (1)$$

ὅπου ἡ δύναμη \vec{F} ὀφείλεται στὴν ἐπίδραση τῶν ἄλλων σωμάτων πάνω στὸ σῶμα μὲ μάζα m . Τέτοιος νόμος εἶναι ὁ νόμος τῆς παγκοσμίου ἔλξεως τοῦ Νεύτωνος,

όπου ή δύναμη μεταξύ δύο σωμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασεως.

Έξ' άλλου υπάρχουν οί διαφορικές εξισώσεις με μερικές παραγώγους, οί όποιες περιγράφουν τη ροή ένδς ρευστου ή την διάδοση τών φωτεινών κυμάτων. Μία τέτοια διαφορική εξίσωση είναι ή εξίσωση του Schrödinger

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) + V\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} \quad (2)$$

που άφορᾷ τὰ κύματα τής κβαντομηχανικῆς (ψ είναι ή κυματοσυνάρτηση, V τὸ δυναμικό, m ή μάζα καί \hbar ή σταθερὰ του Planck).

Οί λύσεις τών διαφορικῶν εξισώσεων σπανίως δίνονται με άπλους μαθηματικούς τύπους. Μποροῦν όμως νὰ δοθοῦν αριθμητικά με την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικῶν υπολογιστῶν. Έτσι πολλά προβλήματα που παλαιότερα έθεωροῦντο άλυτα έχουν σήμερα λυθεῖ χάρη στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Ένα τέτοιο πρόβλημα είναι οί χαοτικές κινήσεις σωματίων ή άστέρων, που είναι τόσο περίπλοκες ώστε δέν μπορεί κανείς νὰ τις μελετήσει με άπλά μαθηματικά.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Poincaré, ένας άπό τους μεγαλύτερους διανοητές όλων τών εποχῶν έγραφε για τις χαοτικές αυτές κινήσεις ότι είναι τόσο πολύπλοκες που δέν θα προσπαθοῦσε καν νὰ σχεδιάσει τη συμπεριφορά τους. Σήμερα όμως μπορούμε νὰ κατανοήσουμε τὰ κύρια χαρακτηριστικά του χάους με τους υπολογιστές.

Μπορούμε όμως νὰ κατανοήσουμε όλα τὰ φαινόμενα με τους φυσικούς νόμους;

Η πιὸ άκραία άποψη πάνω στο θέμα αυτό ονομάζεται άπόλυτος ντετερμινισμός καί διατυπώθηκε χαρακτηριστικά άπό τον Laplace. Ο Laplace φαντάστηκε μία διάνοια, ή όποια, θα γνώριζε όλες τις δυνάμεις, οί όποιες δροῦν στη φύση καί τις άμοιβαῖες θέσεις τών όντων, μιὰ δεδομένη στιγμή. Η διάνοια αυτή θα μπορούσε νὰ υποβάλει αυτά τὰ δεδομένα στη μαθηματική ανάλυση, ώστε νὰ βρει τις θέσεις κάθε σώματος στο παρελθόν καί στο μέλλον. Καί κατέληξε ότι «τὸ ανθρώπινο πνεῦμα με την τελειότητα, την όποια κατόρθωσε νὰ δώσει στην Αστρονομία, παρέχει μιὰ άσθενή εικόνα τής διανοίας αυτής».

Είναι όμως σωστή ή άποψη του Laplace; Βεβαίως ή παρακολούθηση όλων τών σωμάτων του Σύμπαντος θα άπαιτοῦσε έναν υπολογιστή πολὺ μεγαλύτερο άπό ὄλο τὸ Σύμπαν. Τὸ έρώτημα όμως είναι βαθύτερο. Είναι θεωρητικά δυνατή ή πρόβλεψη όλων τών φαινομένων του Σύμπαντος; Η υπάρχουν ὅρια στους φυσικούς νόμους;

Όπως θα δοῦμε ὑπάρχουν διάφορα ὅρια στοὺς φυσικοὺς νόμους, καὶ θὰ τὰ περιγράψω κατωτέρω.

2) Όρια ἐφαρμογῆς γνωστῶν νόμων

Υπάρχουν ὅρια στὴν ἐφαρμογὴ ὀρισμένων γνωστῶν φυσικῶν νόμων. Π.χ. ὁ νόμος τοῦ Νεύτωνος, ποὺ ἔχει τόσο σημαντικὴ ἐφαρμογὴ στὶς κινήσεις τῶν πλανητῶν καὶ τῶν δορυφόρων τοῦ ἡλιακοῦ συστήματος, δὲν ἐξηγεῖ ὀρισμένα φαινόμενα, ὅπως τὴν κίνηση τοῦ περιήλιου τοῦ Ἑρμῆ. Σύμφωνα μὲ τὴ θεωρία τοῦ Νεύτωνος ἡ τροχιά τοῦ Ἑρμῆ γύρω ἀπὸ τὸν ἥλιο εἶναι μία ἔλλειψη (ἂν παραλείψουμε τὶς ἐπιδράσεις τῶν ἄλλων πλανητῶν). Στὴν πραγματικότητα ὅμως ἡ ἔλλειπτικὴ τροχιά ἀλλάζει συνεχῶς τὸν προσανατολισμὸ της (Σχ.1). Αὐτὴ ἡ ἀλλαγὴ δὲν ἐξηγεῖται μὲ τὸ νόμο τοῦ Νεύτωνος, ἐξηγεῖται ὅμως μὲ μεγάλη ἀκρίβεια μὲ τὴ Γενικὴ Σχετικότητα τοῦ Einstein.

Ἐπομένως ὁ νόμος τοῦ Einstein εἶναι ἀκριβέστερος ἀπὸ τὸ νόμο τοῦ Νεύτωνος. Χάρη στὸν Einstein ἐξηγήσαμε τὶς κινήσεις τῶν γαλαξιδῶν ποὺ ὀφείλονται στὴν διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος. Καὶ χάρι στὴ μελέτη τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος φθάσαμε νὰ κατανοήσουμε τὰ πρῶτα στάδια τῆς διαστολῆς λίγο μετὰ τὴν ἀρχικὴ ἔκρηξη τοῦ Σύμπαντος. Ὅταν ὅμως φθάσουμε στὸ χρόνο Planck, ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν $t \leq 10^{-43}$ sec, ἡ Γενικὴ Θεωρία τῆς Σχετικότητος εἶναι ἀνεπαρκῆς. Τότε οἱ δυνάμεις τῆς φύσεως, βαρυτικῆς, ἠλεκτρομαγνητικῆς, ἀσθενεῖς καὶ ἰσχυρῆς πυρηνικῆς δυνάμεις ἐνοποιοῦνται, καὶ μιὰ νέα θεωρία εἶναι ἀναγκαία γιὰ τὰ πρῶτα κλάσματα τοῦ πρώτου δευτερολέπτου τοῦ Σύμπαντος. Ἡ ἐνοποιημένη αὐτὴ θεωρία δὲν ἔχει ἀκόμη διατυπωθεῖ. Ὅμως εἶναι γενικὰ δεκτὸ ὅτι ἡ θεωρία τοῦ Einstein δὲν μπορεῖ μόνη της νὰ ἐξηγήσει τὰ πρῶτα αὐτὰ στάδια τοῦ Σύμπαντος.

Τὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι οἱ γνωστοὶ μας φυσικοὶ νόμοι δὲν ἔχουν ἀπερίοριστη ἐφαρμογὴ. Ἰσχύουν σὲ πολλὰ φυσικὰ φαινόμενα ἀλλὰ δὲν ἰσχύουν πέραν ἐνὸς ὀρισμένου ὀρίου. Ἐκεῖ ἐφαρμόζεται μιὰ ἄλλη γενικότερη θεωρία, ἢ τουλάχιστον ἀναζητεῖται μιὰ τέτοια γενικότερη θεωρία.

3) Μαθηματικὰ ὅρια

Υπάρχουν ὅμως καὶ ὅρια ἄλλου τύπου, καὶ συγκεκριμένα ὅρια ποὺ ὀφείλονται στὰ μαθηματικὰ τῶν φυσικῶν νόμων. Ἐνα τέτοιο παράδειγμα ἀφορᾷ τὸ νόμο τῆς ἔλξεως τοῦ Νεύτωνος.

Ο νόμος του Νεύτωνος δίνει μια άπειρη δύναμη, και επομένως και άπειρη επιτάχυνση, όταν δύο σημεία (σώματα μηδενικών διαστάσεων) συγκρουσθούν. Παρ' όλα αυτά η σύγκρουση δύο σημείων δεν αποτελεί πρόβλημα για τη θεωρία του Νεύτωνος. Πράγματι αν 2 σώματα κινηθούν επί ευθείας θα έχουμε σύγκρουση. Άλλα η κίνηση αυτή είναι το όριο μιας έλλειπτικής κινήσεως με μεγάλη έκκεντρότητα e (Σχ.2). Όταν η έκκεντρότης φθάσει στην τιμή $e=1$ τότε έχουμε ευθύγραμμη κίνηση. Μετά την σύγκρουση το ένα σώμα απομακρύνεται από το άλλο, σαν να είχαμε μια έλαστική ανάκλαση. Επομένως ο στιγμιαίος άπειρισμός δεν αποτελεί πρόβλημα στην περιγραφή της κινήσεως.

Όταν όμως έχουμε σύγκρουση 3 ή περισσότερων σωμάτων σε ένα όρισμένο σημείο του χώρου και του χρόνου, είναι αδύνατον να προβλέψουμε ποιά θα είναι η κίνηση μετά τη σύγκρουση. Αποδεικνύεται ότι η κίνηση κοντά στο σημείο της τριπλής συγκρούσεως είναι χαοτική και δεν υπάρχει όριο της κινήσεως, όπως ήταν το όριο της διπλής συγκρούσεως.

Έκτος από αυτή τη μαθηματική άνωμαλία της τριπλής συγκρούσεως, υπάρχουν και άλλα προβλήματα με τη θεωρία του Νεύτωνος. Π.χ. βρέθηκαν λύσεις με 4 και 5 σώματα που δίνουν άπειρη ταχύτητα μέσα σε περιορισμένο χρόνο.

Αυτά τα παραδείγματα, και ιδίως η τριπλή σύγκρουση, αποτελούν μαθηματικά όρια του νόμου του Νεύτωνος.

Από το άλλο μέρος, η γενική θεωρία της σχετικότητας του Einstein αντικαθιστά τα Νευτώνεια σημεία με μελανές όπες. Κάθε μελανή όπη έχει ένα ορίζοντα, και κανένα σώματι ή φωτόνιο δεν μπορεί να βγει έξω από τον ορίζοντα. Π.χ. στο κέντρο του γαλαξία μας υπάρχει μία τεράστια μελανή όπη. Ένα διαστημόπλοιο που θα περάσει τον ορίζοντα της μελανής όπης δεν θα αισθανθεί κάτι το παράδοξο, κανένα τριγμό ή επιβράδυνση. Άλλα μετά τη δίοδο από την (ιδεατή) επιφάνεια του ορίζοντα, ή επικοινωνία του διαστημοπλοίου με τον έξω κόσμο θα διακοπεί. Ο αστροναύτης δεν θα μπορεί πλέον να στέλνει ή να λαμβάνει σήματα από τον έξω κόσμο.

Η συνέχεια της ιστορίας είναι δραματική. Αν η μελανή όπη είναι σφαιρική, τότε το διαστημόπλοιο θα πέσει στο κέντρο της μετά από λίγο σχετικά χρόνο και θα γίνει ένα σημείο. Δεν θα γίνει κάποια κρούση, ή κάποια έκρηξη, αλλά απλώς το όλο σκάφος συμπεριλαμβανομένου και του αστροναύτη, θα γίνει ένα μαθηματικό σημείο με μηδενικές διαστάσεις. Και κατόπιν; Κατόπιν απλώς η μάζα της μελανής όπης θα αυξηθεί λίγο με την προσθήκη της μάζας του διαστημοπλοίου. Και αυτό είναι το τέλος.

Ἄν ὅμως ἡ μελανὴ ὀπὴ περιστρέφεται, τότε εἶναι δυνατὸν τὸ διαστημόπλοιο νὰ μὲ πέσει στὸ κέντρο, ἀλλὰ νὰ περάσει ἀπὸ μία ἐλάχιστη ἀπόσταση καὶ κατοπιν νὰ κινηθεῖ πρὸς τὰ ἔξω διαφεύγοντας τελικὰ ἀπὸ τὴν μελανὴ ὀπὴ. Ἀλλὰ τὰ πράγματα δὲν εἶναι τόσο ἀπλά. Γιατὶ τὸ διαστημόπλοιο καὶ ὁ ἀστροναύτης ἔχουν ἓνα ἐντελῶς διαφορετικὸ χρόνο ἀπὸ αὐτὸν ποὺ ἔχουν οἱ ἐξωτερικοὶ παρατηρητές. Ἐδῶ ἔχουμε ἓνα φαινόμενο “διαστολῆς τοῦ χρόνου” παρόμοιο μὲ τὸ φαινόμενο διαστολῆς τοῦ χρόνου ποὺ γνωρίζουμε ἀπὸ τὴν εἰδικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας. Εἶναι γνωστὸ ὅτι στὴν εἰδικὴ σχετικότητα, ἓνα κινούμενο ρολοὶ πηγαίνει βραδύτερα (κι’ αὐτὸ ἔχει διαπιστωθεῖ πειραματικά). Ἀλλὰ στὴν περίπτωση τῶν μελανῶν ὀπῶν, ἡ διαστολὴ τοῦ χρόνου εἶναι ἀσυγκρίτως μεγαλύτερη, εἶναι ἄπειρη.

Συγκεκριμένα, ὁ χρόνος ποὺ κάνει ἓνα διαστημόπλοιο γιὰ νὰ περάσει ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα τῆς μελανῆς ὀπῆς, μετρούμενος ἀπὸ ἓναν ἐξωτερικὸ παρατηρητὴ, εἶναι ἄπειρος. Ὁ “ἴδιος χρόνος” ὅμως τοῦ ἀστροναύτη εἶναι πεπερασμένος. Ὁ ἀστροναύτης μετράει τὸ χρόνο ποὺ περνάει ὅταν βρίσκεται μέσα σὲ μία περιστρεφόμενη μελανὴ ὀπὴ καὶ βρίσκει ὅτι εἶναι μικρὸς, π.χ. ἓνα ἔτος. Ἀλλὰ ὅταν βγεῖ ἔξω ἀπὸ τὴ μελανὴ ὀπὴ, ὁ ἐξωτερικὸς χρόνος ἔχει περάσει τὸ ἄπειρο. Ἀλλὰ θὰ ὑπάρχει ὁ ἐξωτερικὸς κόσμος μετὰ ἀπὸ ἄπειρο χρόνο; Ὅλες οἱ θεωρίες μας γιὰ τὴν ἐξέλιξη τοῦ Σύμπαντος ἀναφέρονται σὲ πεπερασμένους χρόνους. Τὸ Σύμπαν, σύμφωνα μὲ ὅλες τὶς σημερινὲς ἐνδείξεις, θὰ διαλυθεῖ σὲ ἓναν ἀπεριόριστο χῶρο. Ἐπομένως πολὺ πρὶν εἰσελθεῖ καὶ ἐξέλθει ὁ ἀστροναύτης ἀπὸ τὴν μελανὴ ὀπὴ, τὸ Σύμπαν ὀλόκληρο θὰ ἔχει διαλυθεῖ, καὶ οὔτε αὐτὴ ἡ μελανὴ ὀπὴ θὰ ὑπάρχει πλέον.

Τὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι οὔτε ἡ θεωρία τῆς Σχετικότητας μπορεῖ νὰ ἀπαντήσῃ σὲ ὅλα τὰ προβλήματα τῆς θεωρίας καὶ εἰδικότερα στὰ προβλήματα τῶν μελανῶν ὀπῶν.

4) Χάος καὶ Τύχη

Πολλὲς φορὲς σ’ ἓνα ἀπολύτως ντετερμινιστικὸ σύστημα ἡ πρόβλεψη εἶναι ἀδύνατη λόγω ὑπάρξεως χάους. Τὸ χάος στὶς φυσικὲς ἐπιστῆμες ἀναφέρεται κυρίως στὶς τροχιὰς σωματίων. Δύο γειτονικὰ σωματῖα σὲ ἓνα πεδίο ἀκολουθοῦν ἀρχικὰ παρόμοιες τροχιές. Ἄν ὅμως ἀργότερα τὰ σωματῖα αὐτὰ ἀπομακρύνονται πολὺ μεταξὺ τους τότε οἱ τροχιές τους ὀνομάζονται χαοτικές.

Π.χ. ἂν ἔχουμε μία ἀσταθῆ περιοδικὴ τροχιὰ ἀπὸ τὸ σημεῖο A (Σχ.3α) καὶ μία τροχιὰ ἀπὸ ἓνα γειτονικὸ σημεῖο A' (ποὺ ἀπέχει ἀρχικὰ μιὰ μικρὴ ἀπόσταση ϵ ἀπὸ τὸ A) μετὰ μία περίοδο $t = T$, ἀπέχει ἀπόσταση $\epsilon \lambda$, ὅπου τὸ λ εἶναι μεγαλύτερο τῆς

μονάδος. Τότε μετά 2 περιόδους ($t = 2T$) θα απέχει $E = \epsilon\lambda^2$ και μετά χρόνο $t = nT$ θα απέχει περίπου $E = \epsilon\lambda^n = \epsilon\lambda^{t/T}$. Δηλαδή η απόσταση αυξάνει έκθετικά με το χρόνο. Ανάλογα ισχύουν και για μη περιοδικές τροχιές.

Αντιθέτως αν μία περιοδική τροχιά είναι ευσταθής ή τροχιά ενός γειτονικού σημείου παραμένει για πάντα κοντά στην περιοδική τροχιά και δεν απομακρύνεται πολύ (Σχ.3 β).

Συνήθως σε ένα δυναμικό σύστημα υπάρχουν τόσο ευσταθείς όσο και άσταθείς περιοδικές τροχιές. Οί τροχιές κοντά στις ευσταθείς περιοδικές τροχιές είναι οργανωμένες, δηλαδή έχουν τάξη, ενώ οί τροχιές κοντά στις άσταθείς περιοδικές τροχιές εν γένει είναι χαοτικές. Μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις έχουμε σ' ένα σύστημα μόνο οργανωμένες τροχιές ή μόνο χαοτικές τροχιές. Πάντως όλα αυτά τα συστήματα είναι ντετερμινιστικά, δηλαδή οί κινήσεις τῶν σωματίων δεν είναι τυχαίες, αλλά ακολουθοῦν ὀρισμένους ἀσθηροὺς νόμους.

Ένα παράδειγμα είναι οί κινήσεις τῶν μορίων τοῦ ἀέρος μέσα σε μιὰ αἴθουσα. Όλες οί κινήσεις είναι ντετερμινιστικές, π.χ. μποροῦν νὰ θεωρηθοῦν ως εὐθύγραμμες καὶ ὀμαλές μέχρις ὅτου ἓνα μόριο συγκρουσθεῖ με ἓνα ἄλλο ἢ με τὸ τοίχωμα, ὀπότε τὰ μόρια ἀνακλῶνται. Μετὰ ἀπὸ πολλὰς ἀνακλάσεις ἢ κατανομή τῶν μορίων μοιάζει με τυχαία. Έτσι ἀν ἀνοίξουμε κάποια στιγμή ἓνα κουτί ποὺ περιέχει κόκκινα μόρια ἀέρος, αὐτὰ θὰ σκορπίσουν πρὸς κάθε κατεύθυνση καὶ μετὰ ἀπὸ λίγα δευτερόλεπτα τὸ ἀέριο τῆς αἰθούσης θὰ γίνῃ ὀμοιομορφα ρὸς παντοῦ.

Τὸ περίεργο καὶ ἐνδιαφέρον είναι ὅτι ἡ χαοτικὴ κατανομή μοιάζει με τυχαία. Σε μιὰ τυχαία κατανομή δεν ἔχουμε ἀκριβεῖς τροχιές σωματίων, ἀλλὰ μόνον κατανομές τῶν σωματίων αὐτῶν. Π.χ. ἡ πυκνότης τῶν σωματίων είναι περίπου ἡ ἴδια σε κάθε σημείο. (Στὴν πραγματικότητα ἡ πυκνότητα είναι λίγο μεγαλύτερη κοντὰ στὸ δάπεδο λόγω τῆς βαρύτητος, ἡ ὀποία μεγαλώνει ὅσο ἡ ἀπόσταση ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς γῆς μικραίνει). Ἐπίσης ἡ κατανομή τῶν ταχυτήτων τῶν σωματίων είναι γνωστὴ καὶ λέγεται κατανομή Maxwell, οί μέσες ταχύτητες ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴ θερμοκρασία κ.λπ.

Θὰ ἔλεγε λοιπὸν κανεὶς ὅτι τὸ χάος είναι τὸ ἴδιο με τὴν τύχη. Αὐτὸ ὅμως δεν είναι σωστὸ. Ὑπάρχουν φαινόμενα ποὺ διαφοροποιοῦν τὸ χάος καὶ ὑπάρχουν ὀρισμένα πειράματα ποὺ μποροῦν νὰ διακρίνουν ἓνα χαοτικὸ ἀπὸ ἓνα τυχαῖο σύστημα. Σε μιὰ περίπτωση μόνον τὸ χάος ταυτίζεται με τὴν τύχη ὅταν ὁ ρυθμὸς ἀπομακρύνσεως γειτονικῶν τροχιῶν $\lambda = E/\epsilon$ τείνει στὸ ἄπειρο. Αὐτὸ ὅμως σπανιότατα συμβαίνει.

Ὁ κυριότερος τρόπος διακρίσεως τοῦ χάους ἀπὸ τὴν τύχη εἶναι μὲ τὸν ὑπολογισμό τῶν τροχιῶν γιὰ μικρὰ χρονικὰ διαστήματα. Πράγματι γιὰ μικρὰ διαστήματα μποροῦμε νὰ ὑπολογίσουμε μὲ ἀρκετὴ ἀκρίβεια τὶς τροχιᾶς τῶν σωματίων καὶ νὰ προβλέψουμε τὶς θέσεις τους. Ἐτσι σὰν παράδειγμα, παρ' ὅλον ὅτι οἱ τροχιᾶς τῶν μορίων τοῦ ἀέρος τῆς γῆς εἶναι χαστικὲς καὶ εἶναι ἀδύνατο νὰ προβλέψουμε τὸν καιρὸ γιὰ μεγάλα χρονικὰ διαστήματα, ἐν τούτοις ἡ μετεωρολογικὴ ὑπηρεσία μπορεῖ νὰ κάνει χρήσιμες προβλέψεις τοῦ καιροῦ γιὰ μερικὲς ἡμέρες. Αὐτὸ τὸ γεγονὸς ἀποδεικνύει ὅτι τὰ μετεωρολογικὰ φαινόμενα εἶναι ντετερμινιστικὰ καὶ μόνον μετὰ πολὺ μεγάλα διαστήματα μποροῦν νὰ θεωρηθοῦν τυχαῖα.

Μερικοὶ πῆραν ἀφορμὴ ἀπὸ τὰ φαινόμενα τοῦ χάους γιὰ νὰ ἀμφισβητήσουν γενικὰ τὸν ντετερμινισμό, ν' ἀμφισβητήσουν δηλαδὴ τὴν ἴδια τὴν ὑπαρξὴ τῶν φυσικῶν νόμων. Λέγουν ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι εἶναι μέσος ὄρος πολλῶν φαινομένων, ὅπως σὲ μιὰ ρουλέτα ὅπου ἔχουμε ἰσοκατανομὴ μεταξὺ περιπτώσεων μὲ μονὸ ἢ ζυγὸ ἀριθμὸ. Ἐν τούτοις ἡ ρουλέτα δὲν καταργεῖ τοὺς φυσικοὺς νόμους. Στὴ ρουλέτα ἰσχύουν οἱ λεγόμενοι "νόμοι τῶν μεγάλων ἀριθμῶν" ποὺ ἐφαρμόζονται σὲ συστήματα πολλῶν σωμάτων ἢ πολλῶν περιπτώσεων. Χωρὶς φυσικοὺς νόμους δὲν θὰ ὑπῆρχε κὰν ἢ κατὰ προσέγγισι ἰσοκατανομὴ τῆς ρουλέτας.

5) Οἱ νόμοι τῶν μεγάλων ἀριθμῶν

Οἱ φυσικοὶ νόμοι ποὺ χρησιμοποιοῦμε συνήθως οἱ Φυσικοὶ ἀναφέρονται στὴ συμπεριφορὰ διαφόρων σωματίων, ὅπως τὰ ἄτομα καὶ τὰ μόρια ἐνὸς ἀερίου, τὰ πρωτόνια καὶ τὰ ἠλεκτρόνια ἐνὸς πλάσματος, ἢ τὰ στοιχειώδη σωματῖα σ' ἓναν ἐπιταχυντὴ ὅπως ὁ μεγάλος ἐπιταχυντὴς CERN. Ἀκόμη καὶ στὴ μελέτῃ τοῦ Σύμπαντος θεωροῦμε σὲ πρώτη προσέγγισι τοὺς ἀστέρες καὶ τοὺς γαλαξίες σὰν σημεῖα ποὺ κινοῦνται χάρις στὶς βαρυτικὲς δυνάμεις.

Ὅταν ὅμως ὁ ἀριθμὸς τῶν σωμάτων γίνεται πολὺ μεγάλος δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ παρακολουθήσουμε τὴν κίνησι κάθε σώματος. Τότε προσπαθοῦμε νὰ βροῦμε ὀρισμένες μέσες ποσότητες ποὺ χαρακτηρίζουν τὸ σύνολο τῶν σωμάτων αὐτῶν.

Π.χ. στὴν περίπτωσι ἐνὸς ἀερίου ἀντὶ νὰ παρακολουθοῦμε τὴν κίνησι ὅλων τῶν ἀτόμων ἢ τῶν μορίων του, μελετοῦμε μόνον μερικὲς μέσες ποσότητες ὅπως ἡ πίεσι, ἡ θερμοκρασία καὶ ἡ ἐντροπία τοῦ ἀερίου, ποσότητες ποὺ ὀφείλονται στὶς ἄτακτες κινήσεις ὅλων τῶν ἀτόμων καὶ τῶν μορίων. Οἱ νόμοι τῶν ἀερίων ἀναφέρονται ἀκριβῶς στὶς ποσότητες αὐτές, καὶ παρόμοιες ποσότητες ποὺ χρησιμοποιοῦμε στὴν θερμοδυναμικὴ. Οἱ νόμοι αὐτοὶ ἰσχύουν μὲ μεγάλη ἀκρίβεια

γιατί αναφέρονται σε αριθμούς της τάξεως του αριθμού Avogadro δηλαδή 6×10^{23} άτομα σε ένα κυβικό εκατοστό αέρος σε κανονικές συνθήκες. Υπάρχουν βέβαια μικροσκοπικές έκτροπες από τους νόμους αυτούς αλλά εν γένει τα άτομα και τα μόρια ακολουθούν μια κατανομή Maxwell, και επομένως το ποσοστό των σωματίων με μεγάλες ή μικρές ταχύτητες είναι μικρό.

Έδω ισχύουν οι νόμοι των μεγάλων αριθμών που μας βεβαιώνουν ότι οι έκτροπες από τους μέσους όρους είναι μικρές.

Τί γίνεται όμως όταν παρατηρηθεί μία μεγάλη έκτροπή; Συνήθως οι πειραματικοί τη διαγράφουν θεωρώντας ότι έγινε κάποιο λάθος. Αλλά έτσι μπορεί να χάσουν μία σημαντική ανακάλυψη. Παράδειγμα ή παρ' όλιγον ανακάλυψη του Ποσειδώνος το 1846 πολύ πιό πριν από τους θεωρητικούς Leverrier και Adams. Ο Challs κατέγραφε τους αστέρες μιᾶς περιοχῆς και διεπίστωσε ότι ένας αστέρας είχε μετακινηθεί λίγο από την προηγούμενη βραδιά. Σκέφθηκε πώς θα είχε κάνει λάθος και διέγραψε την προηγούμενη παρατήρηση. Άν ἔκανε μία τρίτη παρατήρηση θα βεβαιωνόταν ότι ἐπρόκειτο περί πλανήτου.

Φαινόμενα μεγάλων αριθμών παρατηροῦνται στις θάλασσες και στην ατμόσφαιρα, αλλά και στην κατανομή των αστερων και των γαλαξιών στο Σύμπαν.

Ειδικότερα στη γῆ μας, στα ζῶα και στα φυτά αλλά και στους ανθρώπους ισχύουν προσεγγιστικά νόμοι μεγάλων αριθμών. Π.χ. οι νόμοι της βιολογίας πολλές φορές αναφέρονται σε συστήματα πολλῶν ατόμων, σε πληθυσμούς ζῶων ἢ φυτῶν. Ανάλογα ισχύουν και σε πληθυσμούς ἀνθρώπων. Ἐτσι οι ασφαλιστικές ἐταιρεῖες ὑπολογίζουν τὰ πιθανὰ αὐτοκινητιστικά ἀτυχήματα και κανονίζουν τὰ ἀσφάλιστρα, οἱ ξενοδόχοι τὸν πιθανὸ ἀριθμὸ τουριστῶν, κ.ο.κ.

Οἱ νόμοι αὐτοὶ εἶναι τόσο πιό ἀσφαλεῖς ὅσο ὁ ἀριθμὸς τῶν ἐπὶ μέρος σωματίων εἶναι μεγαλύτερος. Αλλά ὑπάρχουν και ἐξαιρέσεις. Π.χ. τὸ κλίμα τῆς γῆς ἦταν περίπου σταθερὸ ἐπὶ χιλιάδες χρόνια με σχετικῶς μικρὲς μεταβολὲς στις μέσες θερμοκρασίες, στη βροχή, στοὺς ἀνέμους, κ.λπ. Τώρα ὅμως βλέπουμε περιέργως ὀρισμένες μεγάλες μεταβολὲς ὅπως εἶναι ἡ σχετικὰ μεγάλη ὑπερθέρμανση τοῦ πλανήτη, τὰ ἀκραῖα μετεωρολογικὰ φαινόμενα και ἡ καταστροφή τῶν δασῶν και τοῦ οικοσυστήματος. Γίνονται μεγάλες προσπάθειες γιὰ νὰ κατανοήσουμε τὰ φαινόμενα αὐτὰ και γιὰ νὰ προβλέψουμε τις μελλοντικὲς ἐξελίξεις τους.

Στις μελέτες αὐτὲς δὲν ὑπάρχει ἀμφιβολία ὅτι ὀρισμένοι "νόμοι" ἐντὸς εἰσαγωγικῶν που ἀφοροῦν τῇ μετεωρολογία ἢ τὴν ἀνθρώπινη οἰκονομία δὲν ἔχουν διατυπωθεῖ σωστὰ μέχρι τώρα. Πάντως ἡ βασικὴ προσπάθεια τῶν μετεωρολόγων και

τῶν βιολόγων εἶναι ἀναγωγική, δηλαδή προσπαθοῦν ν' ἀναγάγουν ὅλα τὰ φαινόμενα σὲ κινήσεις ἀτόμων καὶ μορίων, στὶς ὁποῖες βεβαίως ἰσχύουν οἱ βασικοὶ νόμοι τῆς φυσικῆς (κλασικῆς καὶ κβαντικῆς).

Ἐπὶ τοῦ ἐκείνου ὅμως καὶ ἡ ἀντίθετη προσπάθεια, νὰ ἐντοπισθοῦν ὀλιστικά φαινόμενα, ποὺ ἀναφέρονται σὲ σύνολα σωματίων, καὶ ὄχι σὲ μεμονωμένα σωματῖα.

Τὸ θέμα αὐτὸ εἶναι ἰδιαίτερα σημαντικό, ἀλλὰ δὲν θ' ἀσχοληθοῦμε μὲ αὐτὸ τώρα.

6) Κβαντικὴ ἀπροσδιοριστία

Πολλὲς φορὲς γίνεται λόγος γιὰ τὸ ὅτι ἡ κβαντικὴ φυσικὴ εἶναι ἀντίθετη πρὸς τὸν ντετερμινισμό ἢ ὅτι κατάργησε τὴν αὐστηρὴ νομοτέλεια τῆς κλασικῆς φυσικῆς. Γίνεται λόγος ἐπίσης γιὰ τὴν ἀρχὴ τῆς ἀπροσδιοριστίας τοῦ Heisenberg, σύμφωνα μὲ τὴν ὁποία εἶναι ἀδύνατο νὰ προσδιορίσουμε μὲ ἀκρίβεια δύο συζυγῆ ποσά, ὅπως εἶναι ἡ θέση καὶ ἡ ὄρμη (ταχύτης ἐπὶ μάζα, $p = m v$) ἐνὸς σωματίου. Πράγματι, ἡ ἀβεβαιότης στὴ θέση Δx ἐνὸς σωματίου καὶ ἡ ἀβεβαιότης στὴν ὄρμη τοῦ $\Delta p = m \Delta v$, (ὅπου Δv εἶναι ἡ ἀβεβαιότης στὴν ταχύτητα) συνδέονται μὲ τὴ σχέση τοῦ Heisenberg

$$\Delta x \Delta p \geq h \quad (3)$$

ὅπου h εἶναι ἡ σταθερὰ τοῦ Planck. Ἐπομένως, ἂν γνωρίζουμε μὲ μεγάλη ἀκρίβεια τὴ θέση (μικρὸ Δx) ἔχουμε μεγάλη ἀβεβαιότητα στὴν ὄρμη (δηλ. ταχύτητα) καὶ ἂν γνωρίζουμε μὲ μεγάλη ἀκρίβεια τὴν ὄρμη (ταχύτητα) ἔχουμε μεγάλη ἀβεβαιότητα στὴ θέση. Ἀλλὰ τί σημαίνει αὐτὴ ἡ σχέση; Τὸ ὅτι ἔχουμε ἐμεῖς μία ἀβεβαιότητα σημαίνει κατ' ἀνάγκην ὅτι δὲν ὑπάρχει κάποια θέση καὶ κάποια ὄρμη τοῦ σωματίου;

Τὸ πρόβλημα δὲν εἶναι ἀπλό, καὶ ἔχει ἀπασχολήσει πάρα πολλοὺς ἐρευνητές. Ἄς δοῦμε τὰ κύρια σημεῖα τοῦ προβλήματος.

Ἐν πρώτοις δὲν εἶναι σωστὸ ὅτι ἡ κβαντικὴ φυσικὴ δὲν εἶναι ντετερμινιστική. Ἡ κβαντικὴ φυσικὴ μπορεῖ νὰ θεμελιωθεῖ στὴν ἐξίσωση τοῦ Schrödinger (ἐξίσωση (2)), ποὺ εἶναι μία ἐξίσωση μὲ μερικὲς παραγώγους. Ἡ ἐξίσωση αὐτὴ δίνει τὴν πιθανότητα νὰ βρεθεῖ ἓνα σωματῖο μὲ μάζα m κοντὰ σὲ ἓνα σημεῖο x σὲ χρόνο t . Αὐτὴ εἶναι

$$P = |\psi|^2 \quad (4)$$

ὅπου ψ εἶναι ἡ κυματοσυνάρτηση ποὺ δίνεται ὡς λύση τῆς ἐξισώσεως τοῦ Schrödinger. Δηλαδή ὅταν δοθεῖ ἡ συνάρτηση ψ σὲ χρόνο $t=0$ ($\psi_0 = \psi(x,0)$), ἡ λύση τῆς ἐξισώσεως τοῦ Schrödinger δίνει τὴ συνάρτηση $\psi = \psi(x,t)$ σὲ κάθε σημεῖο x καὶ

κάθε χρόνο t . Αυτή είναι μία καθαρά ντετερμινιστική εξίσωση που δίνει την κυματοσυνάρτηση με απόλυτως καθορισμένο τρόπο.

Τί είναι όμως η πιθανότητα P ; αν έχουμε ένα μεγάλο αριθμό σωματίων N , ή συνάρτηση P παριστάνει μία συχνότητα, δηλαδή ουσιαστικά το πλήθος των σωματίων σε μία θέση (ακριβέστερα το πλήθος των σωματίων σε ένα διάστημα Δx γύρω από το x , διαιρούμενο δια του πλήθους N).

Το πρόβλημα παρουσιάζεται όταν έχουμε ένα μόνο σωματίο. Θα βρεθεί αυτό το σωματίο σε μία όρισμένη περιοχή Δx γύρω από το σημείο x ή όχι;

Η κυματική εικόνα που δίνει η εξίσωση (2) είναι σαφής, αλλά αν θέλουμε συγχρόνως να περιγράψουμε τη συμπεριφορά κάθε σωματίου, εισάγεται μία άβεβαιότητα. Υπάρχει μόνον κάποια πιθανότητα (P) να βρίσκεται το σωματίο κοντά στη θέση x και όχι βεβαιότητας.

Το πρόβλημα οφείλεται στην δυαλιστική φύση του φωτός και των σωματίων της ύλης. Το φως είναι κύμα, αλλά συγχρόνως είναι και ένα είδος σωματίων, αποτελείται από quanta που λέγονται φωτόνια. Έξ' άλλου τα διάφορα σωματίια, όπως είναι το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο, κλπ, παρουσιάζουν και κυματικά φαινόμενα, όπως είναι οι κροσσοί συμβολής που εμφανίζονται πίσω από ένα πέτασμα με δύο όπες. Η συμβολή γίνεται μεταξύ των κυμάτων που διέρχονται από τις δύο όπες. Είναι δυνατόν ποτέ, ένα σωματίο να περάσει το μισό από τη μία όπη και το άλλο μισό από την άλλη όπη και να συμβάλει με τον εαυτό του; ή απάντηση είναι όχι.

Τότε πώς συμβιβάζεται η κυματική με την σωματιδιακή εικόνα; ή συνήθως απάντηση της κβαντικής φυσικής (της λεγομένης σχολής της Κοπεγχάγης, δηλαδή των γνωστών φυσικών Bohr, Born, Heisenberg, κ.λπ.) είναι ότι δεν πρέπει καν να κάνουμε τέτοιες ερωτήσεις. Το μόνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να μετρήσουμε τα σωματίια που κάνουν τους κροσσούς συμβολής και να μη ρωτάμε ποτέ τί κάνει το κάθε σωματίο.

Η κβαντομηχανική είχε τεράστιες επιτυχίες και εφαρμογές που δεν θα τις αναπτύξουμε εδώ. Μας έδωσε προβλέψεις που επαληθεύτηκαν με μεγάλη ακρίβεια. Έπομένως ο ντετερμινισμός της κβαντικής θεωρίας είναι αναμφισβήτητος, όσον αφορά τα αποτελέσματα της θεωρίας.

Από το άλλο μέρος όμως, η σχολή της Κοπεγχάγης απαιτεί να μην κάνουμε όρισμένες ερωτήσεις που είναι πολύ φυσικές για κάθε άνθρωπο. Πώς είναι δυνατόν κάτι τι (το ηλεκτρόνιο παραδείγματος χάριν) να είναι συγχρόνως κύμα και σωματίο; Πώς είναι δυνατόν ένα σωματίο να περνάει από μία μόνον όπη και όμως να

δημιουργεί φαινόμενα συμβολής που εμφανίζονται μόνον όταν ένα κύμα περνάει και από τις δύο όπες;

Υπάρχει μία εναλλακτική έρμηνεία της κβαντομηχανικής που προσπαθεί με ένα διαφορετικό τρόπο να δώσει απάντηση στα ερωτήματα αυτά. Είναι η έρμηνεία των de Broglie και Bohm. Η θεωρία αυτή λέγεται “όντολογική” γιατί προϋποθέτει την ύπαρξη σωματίων ακόμη και όταν αυτά δεν παρατηρούνται, ενώ η συνήθης έρμηνεία της κβαντομηχανικής δεν δέχεται καμμία συζήτηση για το τί γίνεται όταν δεν υπάρχει παρατήρηση. Η νέα θεωρία χρησιμοποιεί τροχιές σωματίων που διέρχονται είτε από την μία είτε από την άλλη όπή, αλλά όχι σε ευθείες γραμμές από την πηγή (Σχ.4). Οι τροχιές αυτές εξαρτώνται όχι μόνο από το δυναμικό, αλλά και από την κυματοσυνάρτηση ψ , η οποία στην περίπτωση αυτή ονομάζεται “όδηγό κύμα”, δηλαδή καθοδηγεί τα σωματίδια.

Η θεωρία των de Broglie και Bohm (που συνήθως σήμερα έχει το όνομα “μηχανική Bohm”) δίνει τα ίδια αποτελέσματα με την θεωρία της Κοπεγχάγης. Δίνει όμως επί πλέον τις τροχιές των σωματίων, που δίνουν μία πιο ανάγλυφη εικόνα για το τί γίνεται σε κάθε περίπτωση.

Θα έλεγε κανείς ότι το θέμα βρήκε μία καλή λύση που ικανοποιεί τις ανάγκες μας να έχουμε μία ανάγλυφη εικόνα του τί συμβαίνει με τα σωματίδια που αποτελούν τα κύματα.

Όμως το πρόβλημα δεν τελειώνει εδώ. Γιατί αν κάποια στιγμή κλείσει ή μία όπή τότε η λύση των εξισώσεων των τροχιών που δίνει η θεωρία de Broglie – Bohm αλλάζει απότομα. Η αλλαγή είναι στιγμιαία, δεν γίνεται με την ταχύτητα του φωτός, αλλά με άπειρη ταχύτητα. Έπομένως έχουμε πρόβλημα με τη θεωρία της σχετικότητας. Η θεωρία των de Broglie – Bohm, αλλά και η θεωρία της Κοπεγχάγης περιέχουν επιδράσεις που είναι στιγμιαίες και δεν περιορίζονται από την ταχύτητα του φωτός. Είναι αυτό δυνατόν;

Το πρόβλημα του συμβιβασμού της κβαντομηχανικής με την σχετικότητα δεν έχει λυθεί πλήρως ακόμα. Υπάρχουν διάφορες προσπάθειες λύσεως που όμως δεν έχουν εξαντλήσει το πρόβλημα. Έδώ δεν θα εισέλθουμε στην μελέτη των προσπαθειών αυτών. Θα πούμε μόνο ότι η κβαντική θεωρία, όπως και η θεωρία της σχετικότητας, έχουν έως τώρα τεράστιες επιτυχίες και θα είναι μία ακόμη μεγαλύτερη επιτυχία ο συμβιβασμός τους σε μία κοινή θεωρία που να είναι γενικά αποδεκτή από όλους.

Μένει όμως τώρα να απαντήσουμε στο βασικό μας ερώτημα. Ποιά είναι η σχέση της κβαντικής άπροσδιοριστίας με το χάος και την τύχη;

Η θεωρία των de Broglie – Bohm έχει άμεση σχέση με τη θεωρία του χάους και της τάξεως. Έφ’ όσον υπάρχουν τροχιές σωματίων, αυτές μπορεί να είναι χαοτικές ή οργανωμένες. Έν γένει ένα δεδομένο σύστημα περιέχει συγχρόνως χαοτικές και οργανωμένες τροχιές. Όμως οι τροχιές αυτές είναι πολύ διαφορετικές από τις τροχιές των αντίστοιχων κλασικών συστημάτων. Έτσι υπάρχουν συστήματα που είναι κλασικά χαοτικά ενώ τα αντίστοιχα κβαντομηχανικά συστήματα είναι οργανωμένα, και αντίθετως υπάρχουν κλασικά οργανωμένα συστήματα των οποίων τα αντίστοιχα κβαντικά συστήματα είναι εν γένει χαοτικά.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της θεωρίας των de Broglie – Bohm είναι ακριβώς ότι επιτρέπει την σαφή διάκριση χαοτικών και οργανωμένων τροχιών, ενώ η συνήθης έρμηνεία της Κοπεγχάγης δεν αναφέρεται καθόλου σε τροχιές.

Συμπερασματικά θα τονίσουμε πάλι ότι η έννοια της τύχης που αναφέρεται στην κυματοσυνάρτηση ψ (ακριβέστερα στην πιθανότητα $P = |\psi|^2$) δεν καταργεί τον αυστηρά ντετερμινιστικό χαρακτήρα της εξίσωσης του Schrödinger, του οποίου λύση είναι η κυματοσυνάρτηση ψ . Η έννοια της τύχης παρουσιάζεται μόνον όταν θέλουμε να αντιληφθούμε συγχρόνως το κύμα (που δίδεται από την συνάρτηση ψ) και τα σωματία, που αποτελούν το κύμα.

7) Υπάρχουν άλλοι φυσικοί νόμοι;

Όπως είδαμε προηγουμένως υπάρχουν ακόμη βασικά προβλήματα στις γνωστές μέχρι σήμερα θεωρίες της φυσικής, όπως ο συμβιβασμός της κβαντομηχανικής με τη θεωρία της σχετικότητας. Υπάρχουν όμως και άλλοι τομείς της φυσικής που δεν έχουν εξερευνηθεί ακόμη.

Μέχρι τώρα είναι γνωστές τέσσερις βασικές δυνάμεις της φύσεως. Η βαρυτική, ή ηλεκτρομαγνητική, ή ασθενής πυρηνική και η ισχυρή πυρηνική. Το όνειρο όλων των φυσικών είναι να κατορθώσουν να ένοποιήσουν τις δυνάμεις αυτές. Τις προηγούμενες δεκαετίες, οι φυσικοί κατόρθωσαν να συνδέσουν την ηλεκτρομαγνητική δύναμη με την ασθενή πυρηνική δύναμη και ονόμασαν την δύναμη που προκύπτει “ηλεκτροασθενή”. υπάρχουν ακόμη αυτή τη στιγμή πολλές θεωρίες που προσπαθούν να ένοποιήσουν την ηλεκτροασθενή δύναμη με την ισχυρή πυρηνική δύναμη. Οι θεωρίες αυτές λέγονται “μεγάλες ένοποιημένες θεωρίες” (grand

unified theories ή GUT). Η πιο σημαντική όμως θεωρία θα είναι αυτή που θα κατορθώσει να ενοποιήσει και τη βαρύτητα, όποτε θα έχουμε μία “θεωρία του παντός” (theory of everything ή TOE).

Πολλοί ελπίζουν ότι μία επιτυχημένη “μεγάλη ενοποιημένη θεωρία” μπορεί να επιτευχθεί σχετικά σύντομα. Ήδη γίνονται στο CERN σημαντικά πειράματα που ελπίζουν ότι θα επαληθεύσουν τις προβλέψεις των σχετικών θεωριών και θα καθοδηγήσουν τους θεωρητικούς φυσικούς στην τελειοποίηση των θεωριών τους. Όμως ή “θεωρία του παντός” παραμένει ακόμη άφθαστο όνειρο, παρ’ όλον ότι πολλοί έχουν ήδη ασχοληθεί με αυτό το θέμα.

Ο πρώτος που προσπάθησε να ενοποιήσει τη βαρύτητα με τον ηλεκτρομαγνητισμό ήταν ο Einstein, ο οποίος αφιέρωσε τα 20 τελευταία χρόνια της ζωής του για το σκοπό αυτό. Όμως είναι γενικά δεκτό σήμερα ότι ή θεωρία αυτή του Einstein δεν ήταν επιτυχής. Αργότερα πολλοί άλλοι έκαναν ανάλογες προσπάθειες χωρίς αποτέλεσμα.

Για να αντιληφθοῦμε την δυσκολία του προβλήματος αρκεί να σημειώσουμε ότι κύρια εφαρμογή μίας τέτοιας θεωρίας θα άφοροῦσε τα πρώτα στάδια του Σύμπαντος, όταν ή ηλικία του ήταν μικρότερη από το χρόνο Planck $t=10^{-43}$ sec, δηλαδή ένα άπίστευτα μικρό χρονικό διάστημα.

Υπάρχουν όρισμένοι που υποστηρίζουν την άποψη ότι σε τεράστιες αποστάσεις από εμάς, έξω από τα όρια του όρατου Σύμπαντος, υπάρχουν άλλα “σύμπαντα” που έχουν διαφορετικούς νόμους από το δικό μας Σύμπαν. Ομιλούν για ένα “πολυσύμπαν” που περιέχει άπειρα σύμπαντα με όλες τις δυνατές παραλλαγές φυσικών νόμων που μπορούμε να φαντασθοῦμε.

Όμως όλα αυτά τα “σύμπαντα” είναι πολύ πέρα από τον όριζοντα του δικού μας Σύμπαντος, δηλαδή από την απόσταση των 14 δισεκατομμυρίων ετών φωτός, που δίνει το διάστημα που διέτρεξε το φῶς από την άρχή της δημιουργίας (το big bang) μέχρι σήμερα. Επομένως δεν υπάρχει, ούτε είναι δυνατόν ποτέ να υπάρξει κάποια επικοινωνία με τα υποθετικά αυτά σύμπαντα. Αλλά τότε ποιό νόημα έχει ἔστω και ή απλή συζήτηση για την ύπαρξη αυτή των υποθετικών συμπάντων; Οί συζητήσεις για τα πολλά σύμπαντα έχουν ἴσως ένα μαθηματικό ενδιαφέρον αλλά ὅσον άφορᾶ τη φυσική πραγματικότητα δεν διαφέρουν οὐσιαστικά από τις ταινίες “ἐπιστημονικῆς φαντασίας” που γίνονται στὸν κινηματογράφο.

Η παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων δεν είναι μία εικόνα, ούτε μόνο μία μαθηματική ἀπλούστευση. Είναι αποτέλεσμα πολλών και συστηματικών

παρατηρήσεων, όχι μόνον στη γῆ καὶ τοὺς γειτονικοὺς μας ἀστέρες, ἀλλὰ κυρίως μὲ τὴν μελέτη τῶν μακρινῶν γαλαξιδῶν. Αὐτὲς οἱ παρατηρήσεις δὲν μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ ἀμφισβητήσουμε τὴν ἰσχὺ τῶν φυσικῶν νόμων σὲ ὁλόκληρο τὸ ὄρατὸ Σύμπαν. Τὸ ἂν ὑπάρχουν ὅμως ἄλλα διαφορετικὰ σύμπαντα, δὲν εἶναι θέμα τῆς φυσικῆς ἐπιστήμης ἀλλὰ τῆς “δημιουργικῆς φαντασίας” τοῦ καθενός.

8) Ἡ θεωρία τοῦ παντός καὶ τὰ ὅρια τῆς λογικῆς

Ἄν ὑπάρχει μία θεωρία τοῦ παντός, ἡ ὁποία νὰ περιλαμβάνει στὶς ἐξισώσεις της ὅλα τὰ φυσικὰ φαινόμενα, τότε θὰ ἦταν ἀρκετὸ νὰ μελετήσουμε τὶς ἐξισώσεις αὐτὲς γιὰ νὰ περιγράψουμε τὸ κάθε τι ποὺ συμβαίνει στὸν κόσμος. Αὐτὸ ἦταν τὸ ὄνειρο τοῦ ἀπολύτου ντετερμινισμοῦ τοῦ Laplace ποὺ περιγράψαμε στὴν Εἰσαγωγή. Βεβαίως ὁ Laplace δὲν γνώριζε οὐσιαστικὰ παρὰ μόνο τὴ δύναμη τῆς βαρύτητος. Ἀλλὰ μήπως τώρα ποὺ ἔχουμε πολὺ περισσότερες γνώσεις γιὰ τὶς δυνάμεις τῆς φύσεως μπορούμε νὰ ποῦμε ὅτι τὸ ὄνειρο τοῦ Laplace εἶναι πραγματοποιήσιμο κατ' ἀρχὴν ἂν ὄχι στὴν πράξη;

Φαίνεται ὅτι ἡ ἀπάντηση στὸ ἐρώτημα αὐτὸ εἶναι ἀρνητικὴ. Γιατὶ ὑπάρχει ἓνα ἐμπόδιο στὴν προσπάθεια νὰ περιλάβουμε ὅλα τὰ φαινόμενα σὲ ἓνα γενικευμένο σύστημα ἐξισώσεων. Τὸ ἐμπόδιο εἶναι ἡ ἴδια ἡ λογικὴ ποὺ ἀποτελεῖ τὴ βάση τῶν ἐξισώσεων. Ἡ λογικὴ ποὺ διέπει τὰ μαθηματικὰ ἀλλὰ καὶ τὶς ἐφαρμογὲς τῶν μαθηματικῶν στὴ φυσικὴ, βασίζεται σὲ ὀρισμένα ἀξιώματα. Μὲ βάση τὰ ἀξιώματα αὐτὰ προκύπτουν ὅλα τὰ θεωρήματα τῶν μαθηματικῶν, καὶ τὰ συμπεράσματα τῶν φυσικῶν νόμων.

Ἀλλὰ ὅπως ἀπέδειξε τὸ 1931 ὁ ἀυστριακὸς μαθηματικὸς Gödel κάθε σύστημα ἀξιωματικῶν εἶναι ἀνεπαρκές, δηλαδή δὲν μπορεῖ νὰ ἀποδείξει κάθε δυνατὸ θεώρημα. Π.χ. δὲν μπορεῖ νὰ ἀποδείξει ὅτι τὸ σύστημα τῶν ἀξιωματικῶν μας δὲν περιέχει ἀντιφάσεις (παρ' ὅλον ὅτι μέχρι τώρα δὲν βρέθηκαν ἀντιφάσεις στὰ συνήθη μαθηματικὰ). Ὑπάρχουν ἐπίσης προτάσεις ποὺ εἶναι ἀληθεῖς, χωρὶς νὰ προκύπτουν ἀπὸ τὰ ἀξιώματά μας.

Ἐνα παρόμοιο θεώρημα ἀπέδειξε ὁ ἄγγλος Turing, στὸν χῶρο τῶν ὑπολογιστῶν. Ὑπάρχουν προγράμματα ὑπολογιστῶν ποὺ δὲν μπορούμε νὰ ποῦμε ὅτι ἔχουν ἢ δὲν ἔχουν λύσεις. Ὁ Turing ἀπέδειξε ὅτι δὲν ὑπάρχει ἓνας ἀλγόριθμος ποὺ νὰ μᾶς λέει ἂν κάθε δοθὲν πρόγραμμα ὑπολογιστῶν θὰ τελειώσει κάποτε τὸν ἀπαιτούμενο ὑπολογισμὸ ἢ ὄχι.

Τὰ θεωρήματα τοῦ Gödel καὶ τοῦ Turing εἶναι θεμελιώδη, γιατί χαρακτηρίζουν τις ἴδιες τις βάσεις τῆς λογικῆς. Ἡ ἐφαρμογὴ τοῦ θεωρημάτων αὐτῶν στὴ φυσικὴ μᾶς ὀδηγεῖ στὰ λογικὰ ὅρια τῶν θεωριῶν τῆς φυσικῆς. Δὲν εἶναι δυνατόν νὰ προβλέψουμε ἢ ἔστω νὰ περιγράψουμε ὅλα τὰ φαινόμενα μὲ βάση μιὰ οἰαδήποτε δυνατὴ θεωρία. Ἐδῶ δὲν ἀναφερόμαστε μόνον στὶς γνωστὲς θεωρίες περὶ βαρύτητος, ἠλεκτρομαγνητισμοῦ κ.λπ., ἀλλὰ σὲ κάθε δυνατὴ θεωρία τοῦ παντός ποὺ θὰ θελήσει νὰ περιλάβει ὅλα τὰ φαινόμενα τῆς φύσεως.

Παρ' ὅλα αὐτὰ οἱ προσπάθειές μας δὲν σταματοῦν. Οἱ φυσικοὶ πάντα θὰ προσπαθοῦν νὰ βροῦν γενικότερους νόμους στὴ φύση, ἔστω καὶ ἂν τὸ ὄνειρο τῆς τελικῆς "Θεωρίας τοῦ Παντός" θὰ εἶναι ἄπιαστο.

9) Ἡ ἐλευθερία τῆς βουλήσεως

Ἐπάρχει ὅμως καὶ μιὰ ἄλλη διάσταση στὴν ἀναζήτησή μας ὅλο καὶ γενικότερων φυσικῶν νόμων στὸ Σύμπαν. Αὐτὴ ἡ νέα διάσταση ἀφορᾷ βασικὰ τὸν ἄνθρωπο. Ὁ ἄνθρωπος ἔχει ὑλικὸ σῶμα ποὺ ὑπάγεται στοὺς φυσικοὺς νόμους. Ἐχει ὅμως καὶ πνευματικὲς ιδιότητες ποὺ ξεπερνοῦν τὰ φυσικὰ φαινόμενα. Πῶς θὰ ἐξηγηθοῦν αὐτὲς οἱ ιδιότητες; Θὰ ὑπάρξει μιὰ θεωρία τοῦ παντός ποὺ θὰ περιλάβει καὶ αὐτὰ τὰ φαινόμενα;

Τὸ ἐρώτημα τῆς ἐλευθερίας τῆς βουλήσεως ἔχει τεθεῖ ἐδῶ καὶ αἰῶνες ἀπὸ τοὺς φιλοσόφους καὶ τοὺς φυσικοὺς. Εἶναι ἐλεύθερος ὁ ἄνθρωπος ἢ ὅλες του οἱ ἐνέργειες εἶναι συνέπεια τῶν φυσικῶν νόμων;

Ἡ πρώτη ἀπάντηση ποὺ δίνουν οἱ περισσότεροὶ στὸ ἐρώτημα αὐτὸ εἶναι: "Βεβαίως, ὁ ἄνθρωπος εἶναι ἐλεύθερος". Π.χ. ψηφίζει κανεὶς ὅ,τι θέλει στὶς ἐκλογὲς (ἂν αὐτὲς εἶναι μυστικὲς). Ὅμως, ἂς θέσουμε τὸ ἐρώτημα μὲ μιὰ ἄλλη μορφή. Ἄν ὁ ἄνθρωπος βρεθεῖ ἀκριβῶς στὶς ἴδιες συνθῆκες, στὸ ἴδιο περιβάλλον, στὶς ἴδιες ἐξωτερικὲς ἐπιδράσεις, μπορεῖ νὰ κάνει κάτι τὸ διαφορετικὸ ἢ θὰ κάνει ἀκριβῶς τις ἴδιες πράξεις; Περιέργως στὸ ἐρώτημα αὐτὸ ἡ ἀπάντηση ἀπὸ τοὺς περισσότερους εἶναι ὅτι θὰ κάνει ἀκριβῶς τὸ ἴδιο. Γιατί νὰ κάνει κάτι τὸ διαφορετικὸ;

Ἐνας φυσικὸς θὰ μπορούσε νὰ διατυπώσει τὴν ἀπάντηση αὐτὴ μὲ πιὸ συγκεκριμένο τρόπο. Ὁ ἄνθρωπος ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα μεγάλο ἀριθμὸ ἀτόμων, ἔστω N , ὅπου τὸ N εἶναι τῆς τάξεως τοῦ 10^{30} , δηλαδή "1" ποὺ ἀκολουθεῖται ἀπὸ 30 μηδενικά. Αὐτὰ τὰ ἄτομα ἀποτελοῦν τὰ κύτταρα τοῦ ὀργανισμοῦ, τὰ στερεὰ καὶ τὰ ὑγρά ποὺ ἀνήκουν ἢ διέρχονται ἀπὸ τὸ σῶμα, ἀκόμη καὶ τὰ ἀέρια ποὺ ἀναπνέει κανεὶς. Μία συγκεκριμένη πράξη τοῦ ἀνθρώπου εἶναι συνέπεια τῶν δυνάμεων ποὺ

ένεργοῦν πάνω στὰ ἄτομα αὐτά. Ἄν λοιπὸν τὰ ἴδια ἢ πανομοιότυπα ἄτομα βρεθοῦν στὶς ἴδιες θέσεις καὶ ἂν ὑπόκεινται στὶς ἴδιες ἀκριβῶς δυνάμεις τότε θὰ κάνουν τὴν ἴδια ἀκριβῶς πράξη.

Αὐτὴ ἢ ἄποψη ἀποτελεῖ τὴν πιὸ ἀκραία μορφή τοῦ ντετερμινισμοῦ. Ἄν αὐτὴ ἢ θεωρία εἶναι σωστή, τότε δὲν ὑπάρχει οὔτε ἴχνος ἐλευθερίας στὶς ἀνθρώπινες πράξεις. Τότε ὅμως αὐτὰ πὸν γράφω αὐτὴ τὴ στιγμή δὲν εἶναι ἀποτέλεσμα ἐλεύθερης σκέψης, ἀλλὰ προκύπτουν ἀναγκαστικὰ ἀπὸ τὶς διάφορες ἐπιδράσεις πὸν ἐνεργοῦν ἐπάνω μου. Καὶ τὸ ἂν ὁ ἀναγνώστης θὰ πειστεῖ ἢ ὄχι ἀπὸ ὅσα γράφω, πάλι καὶ αὐτὸ εἶναι ἀποτέλεσμα φυσικῶν νόμων καὶ δὲν θὰ μπορούσε κανεὶς νὰ κάνει κάτι διαφορετικὸ.

Ἀλλὰ αὐτοῦ τοῦ εἴδους ὁ ντετερμινισμὸς προκαλεῖ τὴν ἴδια του τὴν ἀναίρεση. Γιατὶ ἂν κάθε τι πὸν λέει ἢ κάνει ἢ σκέπτεται ὁ ἄνθρωπος εἶναι ἀποτέλεσμα φυσικῶν νόμων, τότε δὲν ὑπάρχει διάκριση μεταξὺ ἀλήθειας καὶ ψεύδους, δὲν ὑπάρχει διαφορὰ μεταξὺ ἐπιστήμης καὶ ἀπάτης. Ἀλλὰ ὅταν κάποιος ὑποστηρίζει τὸν ἀπόλυτο ντετερμινισμό, θεωρεῖ ὅτι μπορεῖ ἐνδεχομένως νὰ πείσει τὸν συνομιλητὴ του γιὰ τὴν ὀρθότητα τῶν ἀπόψεών του. Ἐπομένως οὐσιαστικὰ ἀναγνωρίζει στὸν συνομιλητὴ του μία ἐλευθερία πὸν τοῦ ἐπιτρέπει νὰ πεισθεῖ στὰ ἐπιχειρήματά του καὶ δὲν θεωρεῖ χαμένο κόπο νὰ κάνει αὐτὴ τὴν συζήτηση ἀφοῦ ὅλα εἶναι ἀπὸ πρὶν προκαθορισμένα.

Πῶς ὅμως συμβιβάζονται οἱ δύο αὐτὲς ἀντίθετες ἀπόψεις γιὰ τὴν ἐλευθερία καὶ τὸν ντετερμινισμό τῶν ἐνεργειῶν μας;

Μερικοὶ θέλησαν νὰ στηρίξουν τὴν ἐλευθερία τῆς βουλήσεως στὴν ἀπροσδιοριστία τῆς κβαντικῆς φυσικῆς. Ἄν οἱ κινήσεις τῶν ἀτόμων καὶ τῶν στοιχειωδῶν σωματίων ἔχουν ἀπροσδιοριστία, τότε μποροῦν καὶ οἱ ἀνθρώπινες ἐνέργειες νὰ εἶναι ἐλεύθερες. Αὐτὸ δὲν σημαίνει ὅτι τὰ ἄτομα τῆς ὕλης ἔχουν κάποια ἐλευθερία βουλήσεως. Γιατὶ ἢ ἐλευθερία βουλήσεως εἶναι ἓνα ιδιαίτερο προνόμιο τοῦ ἀνθρώπου καὶ ὄχι μία βασικὴ ιδιότητα τῆς ὕλης.

Ὅταν ἀποφασίζει κανεὶς νὰ κάνει κάτι, ιδίως ὅταν αὐτὸ πὸν κάνει ἔχει κάποιο ἠθικὸ περιεχόμενο, δὲν τὸ κάνει κατὰ κανόνα ρίχνοντας ζάρια, ἀλλὰ σκέπτεται τὶς συνέπειες τῆς πράξεώς του γιὰ τὸν ἑαυτό του ἢ γιὰ τοὺς ἄλλους. Καὶ ἀποφασίζει τὶ εἶναι τὸ καλύτερο. Ὑπάρχει πάντως ἐδῶ μία ἀναλογία μὲ τὸ δυισμό "κῦμα-σωμάτιο" τῆς κβαντικῆς φυσικῆς. Τὸ κῦμα εἶναι ντετερμινιστικὸ, ἐνῶ τὰ σωματῖα ἔχουν ἀπροσδιοριστία. Ἔτσι καὶ ὁ ὑλικὸς ἄνθρωπος ὑπόκειται στοὺς φυσικοὺς νόμους, ἐνῶ ὁ πνευματικὸς ἄνθρωπος ξεπερνᾷ τοὺς φυσικοὺς νόμους.

Ὅταν ὁ Σωκράτης βρισκόταν στὴ φυλακὴ περιμένοντας νὰ τοῦ φέρουν νὰ πιεῖ τὸ κώνειο, συζητοῦσε μὲ ἡρεμία φιλοσοφικὰ προβλήματα μὲ τοὺς μαθητὲς του. Καὶ

κριτικάρει τοὺς φυσικοὺς φιλοσόφους τῆς ἐποχῆς του ποὺ βλέπουν μόνο τὴν ἐπιφάνεια τῶν γεγονότων καὶ ὄχι τὰ βαθύτερα φαινόμενα τοῦ πνεύματος. Καὶ λέγει ὅτι ἐξηγοῦν τὴ θέση ποὺ βρίσκεται ὁ Σωκράτης μὲ τὸ ὅτι τὸ σῶμα του ἀποτελεῖται ἀπὸ ὀστᾶ καὶ νεῦρα τὰ ὁποῖα κάμπτονται στὶς θέσεις ποὺ ἔχουν πάρει αὐτὴ τὴ στιγμή, ἐνῶ ἀγνοοῦν τὴν ἀληθινὴ αἰτία. Γιατὶ ἂν ὁ Σωκράτης εἶχε δεχθεῖ νὰ δωροδοκῆσει τοὺς φύλακές του καὶ νὰ διαφύγει, ὅπως τὸν παρότρυναν οἱ φίλοι του, θὰ βρισκόταν ἤδη μακριά. Ἀλλὰ αὐτὸς θεωροῦσε καθῆκον του νὰ δεχθεῖ τὴν ἀπόφαση τῆς πατρίδος του καὶ νὰ πεθάνει ἀντὶ νὰ διαφύγει.

Αὐτὰ τὰ λόγια τοῦ Σωκράτη εἶναι χαρακτηριστικά. Τὰ μὲν φυσικὰ φαινόμενα ποὺ ἀφοροῦν τὸ σῶμα τοῦ Σωκράτη βεβαίως ἰσχύουν, ὅμως ἡ βαθύτερη αἰτία τῶν φαινομένων εἶναι κάτι ποὺ ξεφεύγει ἀπὸ τοὺς συνήθεις φυσικοὺς νόμους καὶ ἀνήκει σὲ ἕναν κόσμον ἀξιώων τοῦ πνεύματος, ποὺ στὴν περίπτωση αὐτὴ ὑπερισχύουν πάνω ἀπὸ τὶς φυσικὲς αἰτίες καὶ δυνάμεις.

10) Συμπεράσματα

Εἶδαμε ὅτι ὑπάρχουν διάφορα ὅρια στοὺς φυσικοὺς νόμους.

- α) Ὅρια στὴν ἰσχὺ τῶν γνωστῶν φυσικῶν νόμων
- β) Μαθηματικὰ ὅρια στὴν ἐφαρμογὴ ὀρισμένων φυσικῶν νόμων
- γ) Πρακτικὰ ὅρια στὴν ἐφαρμογὴ τῶν φυσικῶν νόμων λόγω τῆς ὑπάρξεως χάους.
- δ) Ὅρια ποὺ σχετίζονται μὲ τὸ μικρὸ ἢ μεγάλο πλῆθος τῶν σωμάτων
- ε) Ἀπροσδιοριστία λόγω κβαντικῶν φαινομένων
- στ) Ἀπροσδιοριστία ποὺ οφείλεται στὶς ἀνθρώπινες ἐνέργειες.

Παρ' ὅλα αὐτὰ τὰ ὅρια ὅμως ὅλη ἡ ἐπιστῆμη στηρίζεται στοὺς φυσικοὺς νόμους. Ἡ πρόοδος στὴν ἐπιστῆμη ἀναφέρεται σὲ δύο βασικοὺς τομεῖς. Πρῶτον στὴν ἀκριβέστερη διατύπωση τῶν φυσικῶν νόμων, ἰδίως σὲ περιοχὲς τῆς φυσικῆς ποὺ δὲν εἶχαν ἐξερευνηθεῖ πλήρως μέχρι τοῦδε. Καὶ δεύτερον στὴν ἐφαρμογὴ τῶν νόμων σὲ νέα φαινόμενα, ἀλλὰ καὶ σὲ θέματα μὲ πρακτικὸ ἐνδιαφέρον, ὅπως ἡ τεχνολογία.

Μερικοὶ προσπάθησαν νὰ θεμελιώσουν τοὺς φυσικοὺς νόμους πάνω στὴν τύχη, δηλαδὴ ὑποστηρίζουν ὅτι οἱ φυσικοὶ νόμοι ἀναφέρονται σὲ μέσους ὄρους πολλῶν τυχαίων γεγονότων. Π.χ. πολλοὶ νόμοι τῶν ἀερίων ἀναφέρονται σὲ "νόμους μεγάλων ἀριθμῶν".

Όμως οί νόμοι τῶν μεγάλων ἀριθμῶν ἰσχύουν μέσα σέ ὀρισμένα πλαίσια. Π.χ. ἡ ὁμοιομορφία ἐνδὸς ἀερίου σ' ἓνα δωμάτιο ἐξασφαλίζεται μόνον ὅταν ἡ βαρύτης εἶναι ἀμελητέα, καθὼς καὶ στὸ ὅτι τὰ μόρια τοῦ ἀερίου δὲν εἶναι ἠλεκτρισμένα ἢ δὲν ὑπάρχει ἓνα ἠλεκτρομαγνητικὸ πεδίο νὰ τὰ ἐπηρεάζει. Ἐν γένει τὰ φαινόμενα αὐτὰ ἐξηγοῦνται ἱκανοποιητικὰ μὲ τὴν ὑπαρξὴ ντετερμινιστικοῦ χάους. Π.χ. ἡ ὁμοιομορφία τοῦ ἀερίου ἀποδεικνύεται ὅταν οἱ κινήσεις τῶν μορίων εἶναι εὐθύγραμμες καὶ ὁμαλές καὶ οἱ ἀνακλάσεις ἀπολύτως ἐλαστικές.

Ὅπως ὁμως εἶδαμε ὑπάρχουν σοβαρὲς διαφορὲς μεταξὺ χάους καὶ τύχης. Ἡ πλήρης τυχαιότης ἀντιστοιχεῖ σὲ ἄπειρο χάος, πρᾶγμα ποὺ σπανίως ὑπάρχει σὲ ἓνα φυσικὸ σύστημα. Ἐν γένει μποροῦμε νὰ διακρίνουμε φαινόμενα ποὺ εἶναι χασοτικά, ἀλλὰ δὲν εἶναι ἀπολύτως τυχαῖα.

Ἄν ἐπικρατοῦσε ἡ τύχη στὰ φυσικὰ φαινόμενα καὶ ὄχι ἡ νομοτέλεια θὰ εἶχαμε πολὺ πιὸ ἀπροσδόκητα φαινόμενα γιατί οἱ δυνατότητες εἶναι ἄπειρες.

Τὸ δεύτερο σημαντικὸ συμπέρασμά μας εἶναι ὅτι οἱ βασικοὶ φυσικοὶ νόμοι ποὺ διατυπώθηκαν ἀνὰ τοὺς αἰῶνες ἰσχύουν κατὰ προσέγγιση καὶ σήμερα. Π.χ. τὸ γεγονὸς ὅτι ἡ θεωρία τοῦ Einstein εἶναι ἀκριβέστερη ἀπὸ τὴ θεωρία τοῦ Νεύτωνος δὲν σημαίνει ὅτι ἡ Νευτώνεια θεωρία ἔχει πλήρως ἀνατραπεῖ. Ἀντιθέτως, ἰσχύει μὲ μεγάλη ἀκρίβεια στὶς κινήσεις τῶν πλανητῶν καὶ τῶν ἀστέρων καὶ μόνο σὲ ἐξαιρετικὲς περιπτώσεις οἱ παρατηρήσεις δίνουν ἐκτροπὲς ποὺ μᾶς ἀναγκάζουν νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴ θεωρία τῆς Σχετικότητος.

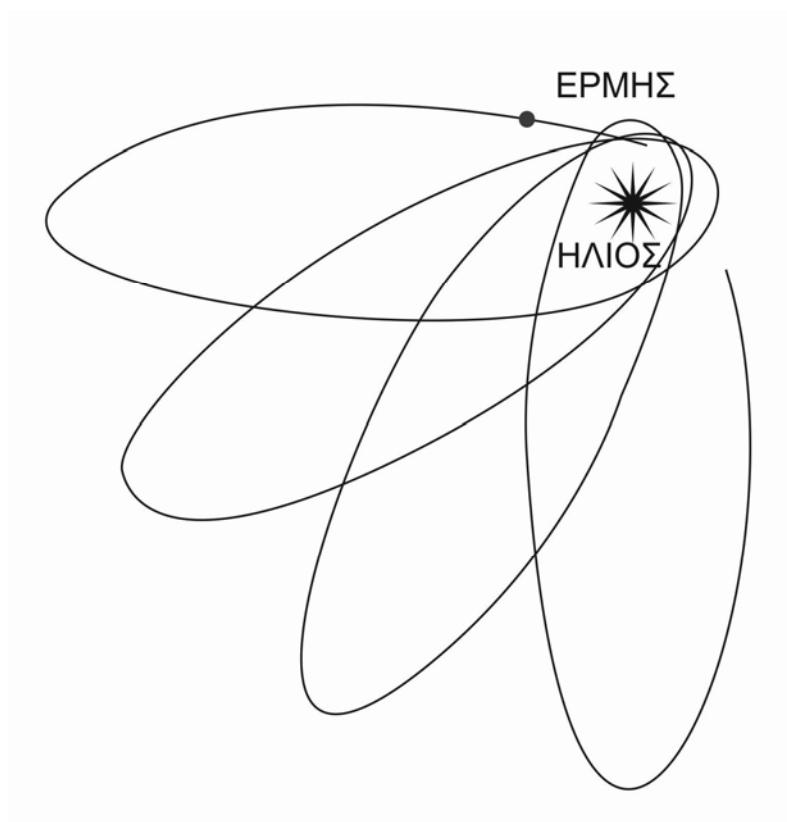
Αὐτὴ ἡ προσεγγιστικὴ ἐφαρμογὴ τοῦ γνωστοῦ φυσικῶν νόμων εἶναι κάτι τὸ πολὺ σημαντικὸ γιὰ τὴν πρόοδο τῆς ἐπιστήμης. Πλησιάζουμε ὅλο καὶ περισσότερο τὴν ἀλήθεια, ἀλλὰ δὲν τὴν φθάνουμε ἀπολύτως.

Οἱ θεωρίες τῶν φυσικῶν ἀλλὰ καὶ οἱ παρατηρήσεις καὶ τὰ πειράματα στὰ ἐργαστήρια μᾶς πλησιάζουν ὅλο καὶ πιὸ κοντὰ σὲ μιὰ βασικὴ εἰκόνα τοῦ Σύμπαντος ποὺ ἀποτελεῖ τὸ στόχο τῆς ἐπιστήμης καὶ τὸ ὄνειρο κάθε ἐπιστήμονος. Πολλὲς φορὲς οἱ ἐπιστήμονες διαισθάνονται μιὰ ἀλήθεια καὶ τὴν ὑποβάλλουν στὸν ἔλεγχο τῶν μαθηματικῶν καὶ τῶν παρατηρήσεων. Αὐτὴ ἡ διαίσθηση ἀνταποκρίνεται σὲ μιὰ ἐξωτερικὴ πραγματικότητα ποὺ δὲν τὴ δημιουργοῦμε ἐμεῖς ἀλλὰ τὴν ἀνακαλύπτουμε στὴ Φύση καὶ στὸ Σύμπαν. Γιατὶ οἱ φυσικοὶ νόμοι εἶναι δοσμένοι ἔξω ἀπὸ μᾶς ἀπὸ τὴν πρώτη στιγμὴ τῆς Δημιουργίας.

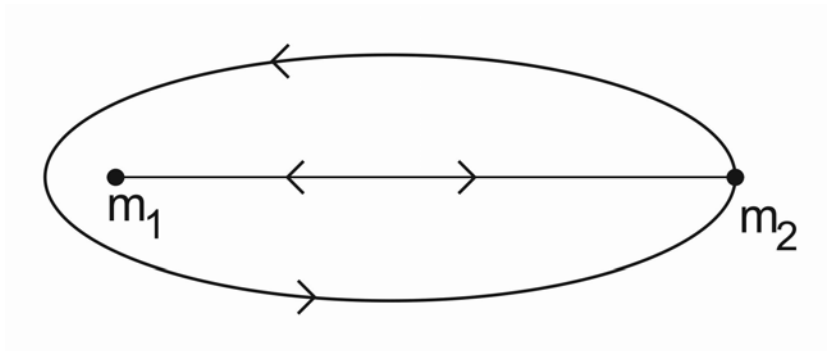
Ἀλλὰ ὑπάρχει καὶ μιὰ ἀκόμη πλευρὰ τοῦ κόσμου ποὺ δὲν τὴν ἔχουμε ἀκόμη μελετήσει ἱκανοποιητικὰ. Αὐτὴ ἡ πλευρὰ ἀναφέρεται σὲ ἄλλες πλευρὲς τοῦ εἶναι,

και ειδικότερα στην Όμορφια (στην Τέχνη) και στην πνευματική διάσταση του ανθρώπου (στην Ήθική και την Θρησκεία). Αυτές οι διαστάσεις ανοίγουν στον έρευνητή νέους κόσμους, που είναι πέρα από τη Φυσική και τους φυσικούς νόμους, αλλά δεν είναι γι' αυτό λιγότερο πραγματικοί. Και ο μὲν Φυσικός ασχολείται βασικά με τη Γνώση τῆς υλικῆς Φύσεως και τῶν φυσικῶν νόμων, ἀλλὰ ὁ ἄνθρωπος δὲν μπορεῖ νὰ ἀγνοήσει τὴν Όμορφια και τὴν Ήθική χωρὶς νὰ χάσει τὸν ἀνθρωπισμὸ του.

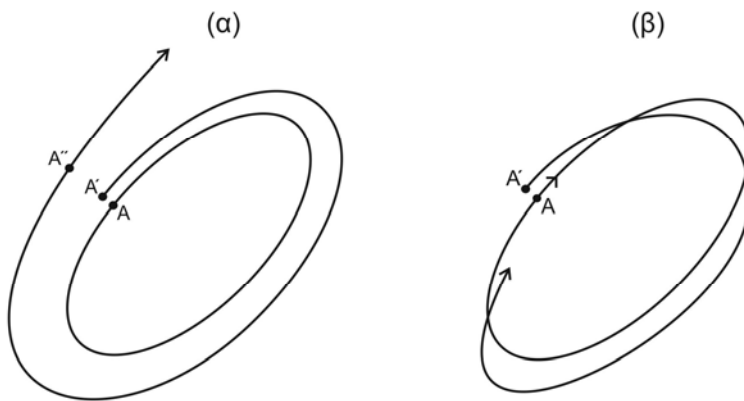
Ἔτσι θὰ κλείσω σημειώνοντας ὅτι παρ' ὅλη τὴν πρόοδο τῆς ἐπιστήμης ἔχουμε ἀκόμη πολλὰ ἀναπάντητα ἐρωτήματα στὴ Φυσική, και ἀγωνιζόμαστε γιὰ μιὰ μεγάλη σύνθεση ὅλων τῶν νόμων τῆς Φύσεως. Ἀλλὰ πέραν ἀπὸ αὐτοὺς τοὺς νόμους ἡ πλήρης κατανόηση τοῦ κόσμου ἀπαιτεῖ και τὴ συμμετοχὴ μας στοὺς πνευματικοὺς κόσμους που ἀποτελοῦν τὴ βαθύτερη πραγματικότητα τοῦ ἀνθρώπου και δίνουν τὸ βαθύτερο νόημα στὶς ἀναζητήσεις μας.



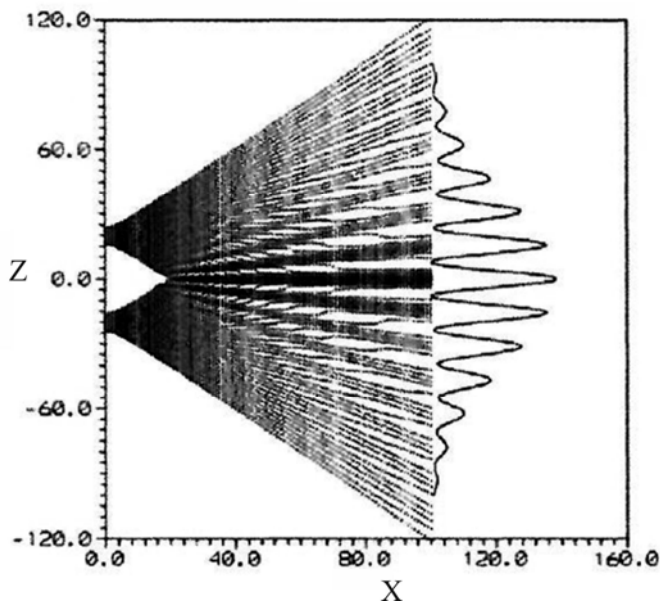
Σχ. 1 Ἡ τροχιά τοῦ Ἐρμοῦ γύρω ἀπὸ τὸν Ἥλιο εἶναι περίπου μία ἔλλειψη με συνεχῆ μετάθεση τοῦ περιηλίου της.



Σχ. 2 Έλλειπτική και εϋθύγραμμη τροχιά τοϋ σωματίου m_2 .



Σχ. 3 (α) Χαοτική τροχιά πλησίον μιᾶς ἀσταθοῦς περιοδικῆς τροχιάς.
 (β) Ὀργανωμένη τροχιά πλησίον μιᾶς εϋσταθοῦς περιοδικῆς τροχιάς.



Σχ. 4 Τροχιές σωματίων πού διέρχονται ἀπὸ δύο ὀπές και δημιουργοῦν κροσσούς συμβολῆς.