

Ε. Ι. ΜΠΙΤΣΑΚΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ  
ΚΑΙ  
ΜΙΚΡΟΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

I

Τὸ χαρακτηριστικὸ τοῦ σύμπαντος τῆς σχετικότητας εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου καὶ ὁ τοπικὸς χαρακτήρας (τοπικότητα) τοῦ τελευταίου. Οἱ ιδιότητες αὐτὲς καθορίζονται ἀπὸ τὴν πεπερασμένη ταχύτητα τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ὅπως ἔγραφε ὁ Minkowski (1908), ὁ χώρος καθεαυτὸς καὶ ὁ χρόνος καθεαυτὸς εἶναι καταδικασμένοι νὰ καταντήσουν ἀπλὲς σκιές, καὶ μόνο ἓνα εἶδος ἐνότητας τῶν δύο θὰ διατηρήσει μιὰ ἀνεξάρτητη πραγματικότητα. Ἀλλὰ τὸ χωροχρονικὸ συνεχές — τὸ πλαίσιο τῶν σχετικιστικῶν θεωριῶν — δὲν εἶναι ἀπλὰ νοητικὴ κατασκευή. Οἱ νέες ιδέες, κατὰ τὸν Minkowski, πρόκυψαν ἀπὸ τὸ ἔδαφος τῆς πειραματικῆς φυσικῆς καὶ ἐκεῖ βρίσκεται ἡ δύναμή τους.<sup>1</sup>

Ἔχουμε λοιπὸν ἐδῶ μιὰ νέα ἐννοια, ριζικὰ ἀντίθετη μὲ τὴν ἐποπτεία: γιὰ πρώτη φορὰ στὸν χώρο τῆς φυσικῆς κλονίστηκε ἡ ρεαλιστικὴ-ἐποπτικὴ ἀντίληψη τοῦ Νεύτωνα, καὶ οἱ συνέπειες τῆς ἀνατροπῆς ὑπῆρξαν καταλυτι-

κές, τόσο για την επιστήμη, όσο και για τη φιλοσοφία. Ωστόσο, οί νέες έννοιες είναι περισσότερο “φυσικές” από τὰ μεταφυσικά πλάσματα τοῦ ἀπόλυτου χώρου καὶ τοῦ ἀπόλυτου χρόνου.

“Ο μὴ μαθηματικός”, ἔγραφε ὁ Einstein, “καταλαμβάνεται ἀπὸ μυστική φρίκη ὅταν ἀκούει νὰ μιᾶνε γιὰ ‘τέσσερις διαστάσεις’, καὶ νιώθει ἕνα αἰσθημα ὁμοιο μὲ κείνο ποῦ μᾶς προξενεῖ τὸ φάντασμα στὸ θέατρο. Ωστόσο τίποτα δὲν εἶναι πιὸ κοινότυπο ἀπὸ τὸν ἰσχυρισμὸ ὅτι ὁ κόσμος στὸν ὁποῖο ζοῦμε εἶναι ἕνα χωροχρονικὸ συνεχὲς τεσσάρων διαστάσεων”<sup>2</sup>. Ὁ φυσικὸς χώρος δὲν ἀπόκτησε βέβαια κάποια τέταρτη διάσταση, ὅπως βεβαιώνουν ἐκλαϊκευτὲς καὶ μυθοποιοί: παραμένει τρισδιάστατος. Ἡ τέταρτη διάσταση εἶναι ἡ χρονική. Ὁ τετραδιάστατος χώρος εἶναι ἕνας μαθηματικὸς χώρος, κατάλληλος γιὰ τὴν περιγραφή τῶν φαινομένων καὶ ἔκφραση τῆς δυναμικῆς ἐνότητας (ὄχι ταυτότητας) τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου. Ὁ “χώρος” ἄλλωστε αὐτὸς μπορεῖ νὰ ἀποσυντεθεῖ σὲ δύο ὑποχώρους: τὸν τρισδιάστατο χώρο καὶ τὸ μονοδιάστατο χρόνο, γεγονὸς ποῦ πιστοποιεῖ τὴ φυσικὴ διαφορὰ τοῦ χώρου ἀπὸ τὸ χρόνο, στὰ πλαίσια τοῦ τετραδιάστατου συνεχοῦς.

Τὰ σώματα ὑπάρχουν στὸ χωρόχρονο. Κατέχουν κάποια ἔκταση καὶ ἔχουν ὀρισμένη μορφή. Ἔτσι τὰ συλλαμβάνουμε μὲ τὶς αἰσθήσεις. Ἀλλὰ ἡ ἐποπτεία τὰ ἀκίνητοποιεῖ, χωρίζει τὰ μὲν ἀπὸ τὰ δέ, καὶ τὰ ἀποκόπτει ἀπὸ τὸ γίνεσθαι. Χωροχρονικὴ περιγραφή, ἀντίθετα, σημαίνει ἐνσωμάτωση τῆς κίνησης στὴν ἀντίληψη τῶν φαινομένων. Ἡ θέση ἐνὸς σώματος (κοσμικὸ σημεῖο) καθορίζεται ἀπὸ 4 συντεταγμένες (τρεις χωρικές καὶ μία χρονική). Τὸ ἴδιο καὶ ἡ θέση ἐνὸς *συμβάντος*. Ἐνα κινητὸ διαγράφει μιὰ κοσμικὴ γραμμὴ στὸν τετραδιάστατο χωρόχρονο.

Ἀλλὰ ἡ κίνηση προκύπτει ἀπὸ τὴν ἀλληλεπίδραση καὶ οἱ ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μὲ πεπερασμένη ταχύτητα. Τὰ σώματα συνεπῶς ἀλληλοκαθορίζονται ὄχι μὲ στιγμιαῖες δράσεις (Newton), ἀλλὰ διαμέσου τῶν φυσικῶν διαδικασιῶν (Maxwell, Einstein). Τὰ “ἔσχατα” συστατικὰ τῆς ὕλης εἶναι ἐνότητα “σωματιδιακῶν” καὶ πεδιακῶν ἰδιοτήτων (τῶν πεδίων μὲ τὰ ὁποῖα ἀλληλεπιδροῦν). Ἀλλὰ στὴν εἰδικὴ σχετικότητα ἡ ὕλη δὲν συγχωνεύεται ὀργανικὰ μὲ τὸν χώρο. Ωστόσο, ἤδη διαφαίνεται ὅτι ἡ ἔκταση εἶναι ἀδιανόητη χωρὶς τὴν ὕλη (Ἀριστοτέλης, Καρτέσιος) καὶ ὅτι ἡ πεπερασμένη ταχύτητα τῶν ἀλληλεπιδράσεων μορφώνει τὰ σώματα καὶ τὰ συμβάντα σὲ μιὰ ὁλόκληρη δυναμικοῦ χαρακτήρα. Στὴν εἰδικὴ σχετικότητα ἔχουμε μιὰ πρώτη ἐνότητα φυσικῆς καὶ γεωμετρίας, ἡ ὁποία οὐσιαστικοποιεῖται στὴ γενικὴ θεωρία.

Ὁ χώρος καὶ ὁ χρόνος συνδέονται στὴν εἰδικὴ σχετικότητα μὲ τὴν κίνηση καὶ μὲ τὶς φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις. Παύουν μ’ αὐτὸ τὸν τρόπο νὰ εἶναι κενὲς μορφές καὶ ἐκδηλώνονται σὰν οὐσιαστικὲς μορφές τοῦ εἶναι. Ὁ “καθαρός”, ἀπόλυτος χώρος γίνεται ἐννοια χωρὶς νόημα, τόσο ἀπὸ λειτουργι-

κή, όσο και από καθαρά θεωρητική άποψη. Το ίδιο ισχύει και για τον “καθαρό”, τον απόλυτο χρόνο. Ο χρόνος πραγματώνεται μέσα από τα φαινόμενα. Η έννοια της καθαρής διάρκειας είναι αφαίρεση, που οδηγήθηκε στις άκραίες της συνέπειες από τον Νεύτωνα. Άλλα για τον Einstein ο χρόνος σχετικοποιείται, δηλαδή αποκαλύπτεται τοπικός. Στη μη τοπικότητα του νευτώνειου σύμπαντος, ή σχετικότητα αντιπαραθέτει την τοπικότητα.

Η πεπερασμένη ταχύτητα των φυσικών αλληλεπιδράσεων καθορίζει την τοπικότητα των συμβάντων και την έννοια του τοπικού χρόνου. Τα συμβάντα δεν πραγματώνονται άκαριαα: στη διαδικασία της πραγμάτωσής τους αντιστοιχεί ένα όρισμένο “χρονικό πάχος”. Το “πάχος” μετράει τη διάρκεια της διαδικασίας που πραγματώνεται στο έσωτερικό του κώνου του φωτός, είναι μη αντιστρεπτή, και έχει — συνεπώς — καθορισμένη κατεύθυνση από το παρελθόν προς το μέλλον.

Η θέση ότι ο χώρος και ο χρόνος είναι μορφές του Είναι θεμελιώνεται στην ύπαρξη, στην έκτακτικότητα και στη μεταβλητότητα των πραγμάτων. Η έννοια της ιστορικότητας απεικονίζει τη ροή του χρόνου, που προσδιορίζεται από τις γενετικές σχέσεις και τη ροή των φαινομένων.

Άλλα τί σημαίνει σχετικότητα του χρόνου; Κατά τον Einstein, ο ρυθμός των “ρολογιών” — δηλαδή ή ροή του χρόνου — είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ρολογιού σε σχέση με το αδρανειακό σύστημα αναφοράς, ως προς το οποίο γίνεται ή μέτρηση. Αν πάρουμε δυο συστήματα σε όμαλή, παράλληλη μετατόπιση, τότε τα “ρολόγια” του καθενός “πηγαίνουν πίσω” ως προς τα “ρολόγια” του άλλου. Η συμμετρία της διαστολής του χρόνου είναι απόλυτη.

Συμμετρία ωστόσο δεν σημαίνει υποκειμενικότητα. Η “διαστολή” είναι αντικειμενικό γεγονός και καθορίζεται από την ένότητα των χωρικών και των χρονικών συντεταγμένων (την αμεταβλητότητα των χωροχρονικών διαστημάτων, για μιá οίκογένεια αδρανειακών συστημάτων). Ας θεωρήσουμε λ.χ. την “αυθόρμητη” διάσπαση μιονίων της κοσμικής ακτινοβολίας σε ήλεκτρονιο και νετρίνο. Ο μέσος χρόνος ζωής του μιονίου σε ήρεμία είναι τέτοιος, ώστε το σωματίο θα έπρεπε να διανύει περίπου 600 μέτρα στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, στην ύψηλή ατμόσφαιρα, όπου κινούνται με ταχύτητες παραπλήσιες με την ταχύτητα του φωτός, τα μόνια διανύουν κάμποσα χιλιόμετρα πρωτού διασπαστούν. Άλλα μεγαλύτερη απόσταση σημαίνει μεγαλύτερος χρόνος ζωής, άρα διαστολή του χρόνου για το σωματίο, που μπορεί να θεωρηθεί σαν “ρολόι”.<sup>3</sup>

Έξαιτίας της πεπερασμένης ταχύτητας των αλληλεπιδράσεων, ή έννοια του ταυτόχρονου χάνει τον απόλυτο χαρακτήρα της: εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς. Αντίστοιχα σχετικοποιούνται οι έννοιες του προηγούμενου και του επόμενου. Ωστόσο, ή σχετικοποίηση δεν είναι “απόλυτη”:

είναι ή άλλη όψη του απόλυτου. Πράγματι, ή χρονική τάξη συμβάντων που πραγματώνονται έξω από τον κώνο του φωτός — που δέν συνδέονται αίτιακά — μπορεί να αντιστραφεί με κατάλληλη στροφή του συστήματος αναφοράς. Αντίθετα, ή ύπαρξη αίτιακής σχέσης ανάμεσα σε δύο συμβάντα καθορίζει με τρόπο απόλυτο τή χρονική τάξη των γεγονότων (καλύτερα: τή χωρο-χρονική τάξη τους μέσα στο τετραδιάστατο συνεχές).

Τα φαινόμενα που σχετίζονται αίτιακά πραγματώνονται στο έσωτερικό του κώνου του φωτός, και συνεπώς χωρίζονται από διαστήματα χρονικού τύπου (θετικά χωροχρονικά διαστήματα). Το τυπικό αυτό γεγονός έκφράζει το φυσικό δεδομένο ότι οι άλληλεπιδράσεις διαδίδονται με πεπερασμένη ταχύτητα. Η έννοια τής αίτιότητας συνδέεται λοιπόν στη ρελατιβιστική φυσική με τήν έννοια τής τοπικότητας. Έτσι ή τοπικότητα έναρμονίζεται με τήν καρτεσιανή αντίληψη για τή δράση από σημείο σε σημείο, και αντικρούει τή νευτώνεια αντίληψη για τον απόλυτο χώρο και τον παγκόσμιο χρόνο, που προϋποθέτουν τή μη τοπικότητα (τή στιγμιαία δράση από απόσταση).

Αν πράγματι δεχτούμε τή νευτώνεια αντίληψη για τή στιγμιαία δράση, τó χωροχρονικό συνεχές αποσυντίθεται σε χώρο και σε χρόνο, ή τοπικότητα εξαφανίζεται και ó αίτιακός καθορισμός αποκτάει πάλι τó μηχανιστικό χαρακτήρα του. Αλλά οι σύγχρονες πεδιακές θεωρίες είναι άσυμβίβαστες με μιá τέτοια αντίληψη.

## II

Η σχετικότητα δέν είναι μόνο μιá κινηματική θεωρία που αποκάλυψε νέες ιδιότητες του χώρου και του χρόνου. Η σχετικιστική δυναμική óδηγησε σε έπαναστατικές άλλαγές στις γνώσεις μας για θεμελιώδη φυσικά μεγέθη όπως ή μάζα και ή ενέργεια, και έφερε στο φώς νέες ιδιότητες τής ύλης — προπαντός στο μικροφυσικό επίπεδο. Οι θεωρίες των μικροσωματίων, έξάλλου, είναι θεωρίες σχετικιστικές. Απ' όλες αυτές τις περιοχές ανακύπτουν προβλήματα που σχετίζονται με τó χώρο και τó χρόνο.

Η σχετικότητα αποκάλυψε τή γνωστή σχέση άναλογίας ανάμεσα στη μάζα και τήν ενέργεια, με τις έπίσης γνωστές τεχνολογικές και φιλοσοφικές έπιπτώσεις. “Αν ένα σώμα”, έγραφε ó Einstein τó 1905, “άποδώσει ενέργεια  $L$  με μορφή άκτινοβολίας, ή μάζα του μειώνεται κατά  $L/c^2$ . Το γεγονός ότι ή ενέργεια που αφαιρείται από τó σώμα γίνεται ενέργεια άκτινοβολίας δέν έχει προφανώς σημασία, και έτσι óδηγούμαστε στο γενικό συμπέρασμα ότι:

“Η μάζα ενός σώματος είναι μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου. Αν ή ενέργεια μεταβάλλεται κατά  $L$ , ή μάζα του μεταβάλλεται κατά  $L/9 \times 10^{20}$ , έφόσον ή ενέργεια μετράται σε έργια και ή μάζα σε γραμμάρια.”<sup>4</sup> Η σχέση αυτή έπαληθεύτηκε άπόλυτα από τή φυσική των μικροσωματίων.

Ἡ σχέση αὐτὴ ἀποκαλύπτει μία ἀπὸ τὶς ὕψεις τοῦ δυναμισμοῦ τῆς ὕλης. Ἡ ἐνέργεια ἔπαψε πλέον νὰ θεωρεῖται ἐξωτερικὴ ὄντοτητα ποὺ “ψυχώνει” τὴν ὕλη, καὶ ἔγινε ἐσωτερικὸ τῆς κατηγορήμα. Ἡ κίνηση ἀποκαλύπτεται ἐσωτερικὴ ιδιότητα τῆς ὕλης (μέτρο τῆς μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ἡ ἐνέργεια). Ἀντίστοιχα ἡ μάζα μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ μέτρο μιᾶς ἀντίθετης ιδιότητος: τῆς ἀδράνειας. Ὡστόσο, ποσοτικὴ ἀναλογία δὲν σημαίνει ἰσοδυναμία καὶ οἱ ἐνεργητιστικὲς ἐρμηνεῖες τῆς ἐξίσωσης τοῦ Einstein ἔχουν σὰν ἀφετηρία τὴν προρελατιβιστικὴ ταύτιση τῶν ἐννοιῶν τῆς ὕλης καὶ τῆς μάζας, ποὺ ὀδηγεῖ στὸ ψευδοπρόβλημα τῆς μετατροπῆς τῆς ὕλης σὲ ἐνέργεια, καὶ στὶς συνακόλουθες φιλοσοφικὲς ἀθαιρεσίες.<sup>5</sup>

Ὁ δυναμικὸς χαρακτήρας ἦταν ἀπὸ τὴν ἀρχὴ φανερός γιὰ μιὰ κατηγορία σωματίων: τὰ φωτόνια, ἢ στοιχειώδη ποσὰ τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας. Ὡστόσο, ἡ ἐρευνα στὴν περιοχὴ τῶν “στοιχειωδῶν” σωματίων καθολίκευσε αὐτὸ τὸ χαρακτηριστικόν. Στὸν κόσμον τῆς μικροφυσικῆς, ὅπου “τὰ πάντα ρεῖ”, ἐκδηλώνεται περισσότερο ἀπὸ ἄλλοῦ ὁ δυναμισμὸς τῆς ὕλης. Ἡ ταυτότητα καὶ ἡ διαφορὰ γίνονται ἐδῶ ἐννοιες σχετικὲς, καὶ οἱ ἀλληλομετατροπὲς εἶναι ὁ κανόνας, τουλάχιστον στὶς ὑψηλὲς ἐνέργειες (ὅπου ἐκδηλώνεται ὁ ρελατιβιστικὸς χαρακτήρας τῶν φαινομένων). Οἱ σχετικιστικὲς θεωρίες τῶν μικροσωματίων δὲν γνωρίζουν ἀμετάβλητες μορφές.

Ἀλλὰ τί εἶναι τὰ μικροσωμάτια; Κατὰ τὴν κλασικὴ ἐργασία τοῦ L. de Broglie (1924), εἶναι σωματῖα-κύματα. Ὡστόσο εἶναι γνωστὸ ὅτι ὁ δυῖσμὸς αὐτὸς ὀδήγησε σὲ ἀντιφάσεις καὶ σὲ ἄλυτα προβλήματα. Οἱ “πατέρες” ἄλλωστε τῆς κυματοδέσμης — οἱ de Broglie καὶ Schrödinger — διατύπωσαν ἐντονες ἐπιφυλάξεις γιὰ τὴ φυσικὴ σημασία τῆς ἐννοίας, καὶ ἐπέκριναν ὅσους τὴν παίρνουν κατὰ γράμμα.<sup>6</sup> Ὡστόσο, οἱ ἐννοιες τοῦ σωματίου κύματος καὶ τῆς κυματοδέσμης βρίσκονται πάντα στὴ βάση τῆς κβαντομηχανικῆς περιγραφῆς.<sup>7</sup>

Σὲ σχέση μὲ τὸ πρόβλημα ποὺ μᾶς ἀπασχολεῖ ἐδῶ, μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι ἡ παλαιὰ δημοκρίτεια-νευτώνεια ἀντίληψη γιὰ τὸ συμπαγές, μὴ δομημένο σωματῖο, καὶ συνεπῶς γιὰ τὸ κενόν, πρέπει νὰ ἀπορριφθεῖ. Ἡ σχετικότητα συνεπάγεται τὴν πεδιακὴ ἀντίληψη. Τὰ σωματῖα θεωροῦνται σήμερον δομημένες καὶ ἐντοπισμένες ὄντοτητες ποὺ βρίσκονται σὲ ἀδιάκοπη ἀλληλεπίδραση μὲ τὰ φυσικὰ πεδία. Οἱ διακυμάνσεις τῶν πεδίων ὀδηγοῦν στὴν ποιοτικὴ μεταβολὴ τῶν σωματίων, δηλαδὴ στὴν καταστροφὴ τῶν παλαιῶν δομῶν καὶ στὴ δημιουργία νέων ποὺ γεννοῦν νέα πεδία κ.ο.κ. Οἱ ἐννοιες τῆς δομῆς καὶ τῆς μεταβολῆς εἰσάγουν ὥστόσο τὸ *χρόνον* στὶς βαθύτερες δομὲς τῆς φυσικῆς πραγματικότητος. Καὶ εἶναι φανερό ὅτι οἱ σχέσεις χώρου, χρόνου καὶ ὕλης, θὰ πρέπει νὰ γίνονται ἐδῶ περισσότερο περίπλοκες. Ἡ εἰκόνα τῆς διαφοροποιημένης ὀλότητος ἔρχεται σὲ ἀντίθεση μὲ τὸν ἀπόλυτον χρόνον καὶ τὸν παγκόσμιον χρόνον, ποὺ εἶναι μορφὲς χωρὶς περιεχόμενο.

Ειδικότερα οί έννοιες τῆς δομῆς καί τῆς ποιοτικῆς μεταβολῆς ὀδηγοῦν στό ἐρώτημα γιά τήν τυχόν ἀσυνέχεια τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου.

### III

Τί συμβαίνει λοιπόν στήν περιοχή τῶν  $10^{-13}\text{cm}$  (“διάμετρος” τῶν μικροσωματίων) καί τῶν  $10^{-23}\text{sec}$  (χαρακτηριστικός χρόνος τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων); Ποιά θά μπορούσε νά εἶναι ἡ μορφή τοῦ χώρου σ’ αὐτή τήν κλίμακα; Καί πῶς ρέει ὁ χρόνος στή διάρκεια αὐτῶν τῶν φαινομένων; Καί πῶς παρουσιάζεται τώρα τὸ πρόβλημα τοῦ κενοῦ;

Ἡ ἀνάπτυξη τῶν κλασικῶν πεδιακῶν θεωριῶν (τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ καί κυρίως τῆς θεωρίας τῆς βαρύτητας τοῦ Einstein) φανέρωσε τήν ἀνεπάρκεια τοῦ παλαιοῦ δυῖσμοῦ κενοῦ καί ὕλης. Ὁ χῶρος συνδέθηκε ὀργανικά μέ τήν κατανομή τῶν μαζῶν καί ἡ ὕπαρξη τοῦ κενοῦ ἔγινε προβληματική: ἡ ἀντίληψη Ἀριστοτέλη - Καρτέσιου - Einstein ἐκτόπισε τή νευτώνεια μεταφυσική. Ἀντίστοιχα οί κβαντικῆς πεδιακῆς θεωρίες ὀδήγησαν πρὸς τήν ἴδια κατεύθυνση.

Εἶναι γνωστό πρᾶγματι ὅτι ἤδη ἀπὸ τὸ 1928 ὁ Dirac εἶχε θεωρήσει τὸ κενὸ ὄχι σάν τὸ “τίποτα” ἀλλὰ σάν ἓνα μέσον, ἓναν “ὠκεανὸ” σωματίων μέ ἀρνητικὴ ἐνέργεια. Οἱ κβαντικῆς πεδιακῆς θεωρίες βλέπουν τὸ κενὸ σάν σύστημα ποῦ περιέχει ἀπεριόριστο ἀριθμὸ δυνάμει σωματίων: σάν ἓνα εἶδος “δεξαμενῆς” ἀπὸ ὅπου προκύπτουν τὰ κβαντικὰ σωματῖα. Καί φυσικὰ τὸ μέσον αὐτὸ ἀλληλεπιδρᾷ μέ τὰ σωματῖα.<sup>8</sup>

Τὸ κενὸ δὲν θεωρεῖται σήμερα σάν ἡ “παρουσία” τοῦ Τίποτα. Σύμφωνα μέ τήν κβαντικὴ μηχανικὴ, ἀκόμα καί στὸ ἀπόλυτο μηδὲν ὕπάρχει κάποια μορφή κίνησης, στήν ὁποία ἀντιστοιχεῖ ἡ ἐνέργεια “μηδενικοῦ σημείου” (zero point energy). Πραγματικά, κατὰ τῆς ἀνισότητες τοῦ Heisenberg, ἡ ἐνέργεια τῶν κβαντικῶν συστημάτων ἔχει ἓνα κατώτατο θετικὸ ὄριο. Ἀκόμα καί ὅταν σὲ μιὰ περιοχή τοῦ χώρου δὲν ὕπάρχουν φωτόνια, ἡ ἐνέργεια δὲν μηδενίζεται. (Ἡ ὕπαρξη τῆς ἐνέργειας μηδενικοῦ σημείου ἔχει διαπιστωθεῖ πειραματικά.)

Οἱ κβαντικῆς θεωρίες ἔθεσαν ἀπὸ διάφορες ἀπόψεις τὸ πρόβλημα τῆς μικροδομῆς τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου, καί εἰδικὰ τὸ πρόβλημα συνέχεια-ἀσυνέχεια.

Γιά τήν κλασικὴ φυσικὴ ὁ χῶρος καί ὁ χρόνος εἶναι συνεχὴ μεγέθη. Ἡ ἀποψη αὐτὴ ἑναρμονίζεται μέ τήν ἀποδοχὴ ὅτι οἱ ἐνεργειακῆς ἀνταλλαγῆς ἀνάμεσα στὰ φυσικὰ συστήματα εἶναι συνεχεῖς, καί μέ τὸ γεγονὸς ὅτι ἡ κίνηση περιγράφεται σάν συνεχῆς μετατόπιση σ’ ἓνα χῶρο ὁμογενῆ καί ἰσότροπο. Ἐξάλλου ὁ μαθηματικὸς φορμαλισμὸς τῆς κλασικῆς φυσικῆς δὲν ἀντιφάσκει μέ τήν παραδοχὴ τῆς συνέχειας: ὁ ἀπειροστικὸς λογισμὸς

και ή τοπολογία τής εϋθείας τών πραγματικῶν ἀριθμῶν προϋποθέτουν τή συνέχεια.

Ἄλλὰ τὸ πρόβλημα τής ἀσυνέχειας τοῦ χώρου εἶχε ἤδη τεθεῖ ἀπὸ τὸν Δημόκριτο. Τὸ 1908 ὁ Mach ἔθεσε ξανά τὸ πρόβλημα, μὲ νέα δεδομένα.<sup>9</sup> Μὲ τὴν ἀνακάλυψη τῶν στοιχειῶδων σωματίων, πολλοὶ φυσικοὶ ἔθεσαν τὸ ἐρώτημα μήπως ὁ χῶρος και ὁ χρόνος ἔχουν ἀσυνεχὴ δομὴ στὴν κβαντικὴ κλίμακα (Ivanenco και Ambartsoumian, 1930· Pauli, 1933· Heisenberg, 1938· de Broglie, 1943· Snyders, 1947· κλπ.).<sup>10</sup>

Ἡ βασικὴ ἰδέα στὶς ποικίλες αὐτὲς ἀντιμετωπίσεις βρίσκεται στὴν ἀποδοχὴ ἑνὸς στοιχειώδους μήκους  $l_0$ , τής τάξεως τῶν  $10^{-13}\text{cm}$ , και ἑνὸς στοιχειώδους κβάντου χρόνου  $t_0$  (χρονόνιου), τής τάξεως τῶν  $10^{-23}\text{sec}$ . Ἡ ἐπιλογή αὐτῶν τῶν μεγεθῶν δὲν ἦταν φυσικὰ τυχαία: τὰ  $10^{-13}\text{cm}$  ἀντιστοιχοῦν στὴ “διάμετρο” τῶν στοιχειῶδων σωματίων. Τὰ  $10^{-23}\text{sec}$  εἶναι ἀντίστοιχα ὁ χρόνος ποὺ χρειάζεται ἡ ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀλληλεπίδραση γιὰ νὰ διανύσει τὸ στοιχειῶδες μήκος.<sup>11</sup>

Ἄς δεχτοῦμε ἕνα στοιχειῶδες μήκος  $l_0$ . Αὐτὸ σημαίνει ὅτι δεχόμαστε ἕνα στοιχειῶδες κβάντο χώρου, μὲ ὄγκο  $V_0 l_0^3$ . Τὸν στοιχειῶδη ὄγκο θὰ τὸν κατέχει ἕνα στοιχειῶδες σωματίο. Ἄλλὰ τὸ σωματίο θὰ πρέπει νὰ μὴν ἔχει δομὴ: νὰ εἶναι ἕνα εἶδος συμπαγοῦς και ἔσχατου δομικοῦ στοιχείου, κατὰ τὴν παλαιὰ ἀτομιστικὴ ἀντίληψη. Ὡστόσο, πέρα ἀπὸ τὶς φιλοσοφικὲς ἀντιρρήσεις σὲ μιὰ τέτοια ὑπόθεση, σήμερα γίνεται γενικὰ δεκτὸ ὅτι τὰ στοιχειῶδη σωματία ἔχουν δομὴ και ὑπάρχουν πολλὰ δεδομένα ποὺ θεμελιώνουν αὐτὴ τὴν ὑπόθεση και πολλὲς θεωρητικὲς ἀπόπειρες νὰ καθοριστεῖ και νὰ ἐρμηνευτεῖ αὐτὴ ἡ δομὴ. Ἄλλὰ τότε θὰ ἔπρεπε νὰ διαιρέσουμε τὸ ἀρχικὸ χωρικὸ κβάντο σὲ ἕναν ἀριθμὸ ὑποκβάντων, πράγμα ποὺ ἀντιφάσκει μὲ τὴν ἀρχικὴ μας παραδοχὴ. Καὶ τέλος, μὲ ποιὰ δεδομένα ἡ ὑποδιαίρεση αὐτὴ δὲν μποροῦσε νὰ θεωρηθεῖ τελικὴ;

Ἄλλὰ ὑπάρχει και ἡ ἀκόλουθη ὄψη: Οἱ φυσικὲς ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μὲ τρόπο συνεχὴ ἀπὸ τὸ ἕνα σημεῖο στὸ ἄλλο και ἡ ἔνταση τῶν πεδίων μεταβάλλεται ἐπίσης μὲ τρόπο συνεχὴ στὶς διαχωριστικὲς ἐπιφάνειες. Πῶς θὰ ἀλληλεπιδροῦσαν ὅμως τὰ μικροσωμάτια ποὺ θὰ κατεῖχαν διαφορετικὰ χωρικὰ κβάντα; Θὰ ἔπρεπε νὰ δεχτοῦμε ὅτι οἱ ἀλληλεπιδράσεις θὰ ἦταν ἀδύνατες, ἢ ὅτι θὰ ἔπρεπε νὰ διαδίδονται μὲ ἄπειρη ταχύτητα. Ἄλλὰ αὐτὸ ἀντιφάσκει μὲ τὴν ἀρχὴ τής σχετικότητας. Ἡ ἀλληλεπίδραση και ὁ ἀμοιβαῖος καθορισμὸς θὰ ἦταν συνεπῶς ἀδιανόητα σὲ ἕνα χῶρο μὲ τυπικὲς ἀσυνέχειες.

Εἶναι γεγονὸς ὅτι μιὰ σειρά μεγέθη τής κβαντικῆς φυσικῆς ἔχουν ἀσυνεχεῖς τιμές: φορτίο, σπίν, φάσμα μάζας, δυαδικότητα, στροφορμὴ, ἐνέργεια ἀλληλεπίδρασης, κλπ. Τὰ ἀσυνεχὴ αὐτὰ μεγέθη ἐμφανίζονται σὲ μιὰ κλίμακα τής τάξεως τῶν  $10^{-13}\text{cm}$ . Ὡστόσο, ἀκόμα κι ἂν δὲν δεχτεῖ κανεὶς τὴν

υπόθεση τῆς ἀσυνέχειας, εἶναι εὐλόγο νὰ υποθέσει ὅτι ἡ περιοχὴ ποὺ κατέχει ἓνα μικροσωμάτιο ἔχει κάποιες ιδιότητες ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὰ κβαντισμένα μεγέθη. Θὰ μπορούσαμε νὰ θεωρήσουμε τὴν ιδιόμορφη περιοχὴ τοῦ χώρου, ὅπου *ὑπάρχει κάτι* (singularity), *σὰν ἓνα στοιχειώδη χῶρο* μὲ εἰδικὲς ιδιότητες. Ἀλλὰ ὁ στοιχειώδης αὐτὸς χῶρος δὲν θὰ ἦταν ἀποκομμένος ἀπὸ τὸ περιβάλλον του μὲ κάποια τυπικὴ ἀσυνέχεια (ἄλλωστε τὰ μικροσωμάτια εἶναι πάντα “ντυμένα” μὲ φυσικὰ πεδία). Θὰ ἀποτελοῦσε συνεπῶς μιὰ σύνθεση συνέχειας καὶ ἀσυνέχειας, ποὺ θὰ ὑπερέβαινε τὴν τυπικὴ ἀσυνέχεια καὶ τὴν ἀπλοϊκὴ ἀντίληψη τοῦ ἐπίπεδου *ἄμορφου* χώρου. Μιὰ τέτοια ἄποψη συμφωνεῖ ἄλλωστε μὲ τὶς πεδιακὲς θεωρίες, ποὺ δὲν ἀντιμετωπίζουν τὰ μικροσωμάτια σὰν “κοκκώδη”, κατὰ τὴν παλαιὰ δημοκρίτεια ἀντίληψη.

Ὁ χαρακτηριστικὸς χρόνος τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων<sup>12</sup> ὑποβάλλει μὲ τὴ σειρά του τὴν ἰδέα γιὰ κάποιο κβάντο χρόνου. Τὰ κβαντικὰ φαινόμενα (διεγέρσεις, ἀποδιεγέρσεις, μετασχηματισμοί, διασπάσεις, κλπ.) παρουσιάζουν γενικὰ ἀσυνεχεῖς χαρακτηριστικὸς χρόνους. Ἀλλὰ τὰ φαινόμενα αὐτὰ εἶναι φυσικὲς *διαδικασίες*. Ἡ ἀποδοχὴ ἑνὸς τυπικοῦ χρονικοῦ κβάντου θὰ ἀπομόνωνε τὰ κβαντικὰ φαινόμενα ἀπὸ τὸ γενικὸ γίγνεσθαι καὶ θὰ τὰ παρουσίαζε σὰν σειρά ἀπὸ καταστάσεις ἀκινησίας: τὸ σωματίο παραμένει ἀμετάβλητο καὶ ὕστερα, στιγμιαῖα, περνάει σὲ μιὰ νέα κατάσταση.

Ἐνα θεμελιακὸ κβαντικὸ φαινόμενο, ποὺ ἀντιμετωπίζεται μὲ αὐτὸν τὸν ἐξωπραγματικὸ τρόπο ἀπὸ τὴ δεσπύζουσα ἐρμηνεῖα τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, εἶναι ὁ ποιοτικὸς μετασχηματισμὸς τῶν κβαντικῶν συστημάτων, ποὺ στὴ γλώσσα αὐτῆς τῆς ἐρμηνείας ὀνομάζεται “ἀναγωγὴ τῆς κυματοδέσμης”. Ὁ σχηματισμὸς μιᾶς ἰδιοκατάστασης  $\Psi_1$  ἀπὸ μιὰ ἀρχικὴ κατάσταση  $\Psi$  εἶναι μιὰ μὴ γραμμικὴ, ποιοτικὴ μεταβολὴ τοῦ συστήματος, ποὺ ὑπὸ καθορισμένες συνθῆκες πραγματώνει ἐξίσου καθορισμένες δυναμικότητες. Κατὰ τὴν ἐπίσημη ἐρμηνεῖα, ἡ “ἀναγωγὴ” γίνεται ἀκαριαῖα, σὲ μηδενικὸ χρόνο. Ἀλλὰ κατὰ τὴν ἴδια ἐρμηνεῖα ἡ “ἀναγωγὴ” εἶναι οὐσιαστικὰ ἀδύνατη (χρειάζεται τὴν παρέμβαση κάποιας “συνείδησης”) καὶ κατὰ μιὰ ἄλλη ἄποψη ἀπαιτεῖ ἄπειρο χρόνο γιὰ τὴν πραγματοποίησίν της.<sup>13</sup>

Οἱ ἀντιφάσεις αὐτὲς αἴρονται, καταρχὴν, ἀν δοῦμε τὸ φαινόμενο σὰν ποιοτικὴ, μὴ γραμμικὴ μετατροπὴ, ποὺ δὲν περιγράφεται ἀπὸ τὸν τωρινὸ γραμμικὸ φορμαλισμὸ. Μποροῦμε τότε νὰ τὸ θεωρήσουμε σὰν *διαδικασία* ποὺ πραγματώνεται σὲ πεπερασμένο καὶ χαρακτηριστικὸ γιὰ τὴν κάθε περίπτωση χρόνο. Θὰ εἶχαμε τότε τὸ δικαίωμα νὰ μιλάμε γιὰ *χρονικὸ κβάντο* μὲ τὴν προηγούμενη ἔννοια: σὰν ἐνότητα συνέχειας καὶ ἀσυνέχειας.

Ἡ ἐξέλιξη καὶ ἡ ἀλλαγὴ *γίνονται* στὸ χρόνο. Θὰ μπορούσαμε γενικὰ νὰ ὀρίσουμε σὰν *στοιχειώδη χρόνο* τὸ χρόνο κατὰ τὸν ὁποῖο *γίνεται κάτι* (μιὰ ποιοτικὴ ἀλλαγὴ, ἓνας μετασχηματισμὸς, ἡ καταστροφή μιᾶς μορφῆς καὶ ἡ δημιουργία ἄλλης ἢ ἄλλων μορφῶν). Ἀλλὰ τότε θὰ εἶχαμε διάφορους



στοιχειώδεις χρόνους που θα αντιστοιχοῦσαν στην ποικιλία τῶν φυσικῶν διαδικασιῶν. Οἱ χρόνοι αὐτοὶ θὰ ἀποτελοῦσαν ιδιόμορφα χρονικά διαστήματα μέσα στὸ γενικὸ γίνεσθαι, ὅπου ἡ συνέχεια καὶ ἡ ἀσυνέχεια θὰ ἀντιτίθενται διαλεκτικὰ καὶ ὄχι τυπικά. Συνολικὰ οἱ κβαντικές καὶ οἱ πεδιακές θεωρίες δὲν εὐνοοῦν μιὰ τυπικὰ ἀσυνεχὴ ἀντίληψη γιὰ τὸ χρόνο.

Στὴν κλασικὴ μηχανικὴ ὁ χρόνος εἶναι παράμετρος καὶ προϋποθέτει τὴν συνέχεια καὶ τὴν αἰτιοκρατικὴ συσχέτιση τῶν γεγονότων. Στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ ὁ χρόνος εἶναι πάλι παράμετρος, στὴν ὁποία δὲν ἀντιστοιχεῖ κάποιος τελεστής, ἀντίθετα μὲ ὅ,τι συμβαίνει μὲ τὶς μεταβλητὲς — τὰ παρατηρήσιμα (observables). Παρ' ὅλα αὐτὰ οἱ σχέσεις ἀπροσδιοριστίας ἐπεκτείνονται καὶ βεβαιώνονται καὶ στὶς σχέσεις χρόνου-ἐνέργειας. Γιὰ τὰ κβαντικὰ συστήματα ἰσχύει ἡ ἀνισότητα:  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ , ὅπου  $\Delta E$  εἶναι τὸ εἶδος (ἢ στατιστικὴ διασπορά) τῆς ἐνέργειας καὶ  $\Delta t$  ὁ χαρακτηριστικὸς χρόνος τοῦ συστήματος. Φυσικὰ καὶ οἱ ἀνισότητες αὐτὲς δὲν θεμελιώνουν κάποια ἀσυνέχεια τοῦ χρόνου. Τόσο ἡ διασπορά τῆς ἐνέργειας, ὅσο καὶ ἡ διασπορά τοῦ χρόνου, εἶναι στατιστικὰ μεγέθη ποὺ χαρακτηρίζουν ἓνα σύνολο κβαντικῶν συστημάτων καὶ μποροῦν νὰ ἐρμηνευτοῦν μὲ βάση τὶς στοχαστικὲς ἀλληλεπιδράσεις τοῦ συστήματος μὲ τὸ περιβάλλον.<sup>14</sup>

Ἡ παρακολούθηση, τέλος, τῆς κίνησης στὴν κβαντικὴ φυσικὴ θέτει νέα προβλήματα, τόσο στὸ πειραματικὸ, ὅσο καὶ στὸ ἐννοιολογικὸ ἐπίπεδο. "Ἄν λ.χ. θέλουμε νὰ παρακολουθήσουμε μὲ ἀκρίβεια τὴν τροχιά ἑνὸς μικροσωματίου, πρέπει νὰ τὴ διαιρέσουμε σὲ μιὰ σειρά ἀπὸ ὅλο καὶ πιὸ μικρὰ διαστήματα,  $[x_1, x_1 + 1]$ ". Ἄν τὰ διαστήματα αὐτὰ γίνονται ὅλο καὶ πιὸ μικρά, θὰ ἔχουμε ὄριακά:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Ἡ ταχύτητα ἐμφανίζεται ἐδῶ σὰν ὁ λόγος δυὸ ἀπειροστώδων. Ἄλλὰ τὸ ὄριο (καὶ ἡ παράγωγος) προϋποθέτουν τὴν συνέχεια, τόσο τοῦ χώρου (μετάβαση ἀπὸ σημεῖο σὲ σημεῖο), ὅσο καὶ τοῦ χρόνου (χρονικὰ διαστήματα αὐθαίρετα μικρά, ποὺ τείνουν στὸ μηδέν). Ἡ στιγμιαία ταχύτητα προϋποθέτει ὅτι τὸ κινητὸ τείνει στὸ σημεῖο  $x$  καὶ ὅτι τὴν ἴδια στιγμὴ τείνει νὰ τὸ ὑπερβεῖ.

Ἄλλὰ τὸ ὄριο αὐτὸ δὲν εἶναι ἱκανὸ νὰ προσδιοριστεῖ στὸ κβαντικὸ ἐπίπεδο ἐξαιτίας τῆς ἰσχύος τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Heisenberg, κατὰ τὶς ὁποῖες, ὅταν ἡ ἀπροσδιοριστία τῆς θέσης τείνει στὸ μηδέν, ἡ ἀπροσδιοριστία τῆς ὀρμῆς τείνει στὸ ἀπείρο. Βέβαια δὲν εἶναι ὑποχρεωτικὸ νὰ δεχτοῦμε τὴν ἐπίσημη ἀποψη, κατὰ τὴν ὁποία τὸ ὄριο αὐτὸ δὲν εἶναι πεπερασμένο. Μποροῦμε νὰ ὑποθέσουμε ὅτι ἔχει πάντα κάποια πεπερασμένη τιμὴ, ἔστω καὶ ἂν πειραματικὰ δὲν μποροῦμε νὰ τὴν ὀρίσουμε. Ἄλλὰ καὶ στὴν περίπτωση ποὺ θὰ ἀπορρίψουμε τὴν "ἀρχὴ" τῆς ἀνυπαρξίας τῶν μὴ παρατηρήσιμων

μεγεθών, και πάλι βρισκόμαστε μπροστά σε δυσκολίες που αφορούν τη συνέχεια στην κβαντομηχανική κίνηση. Καθώς γράφει ο D. Bohm, οι συνεχείς συναρτήσεις δεν επαρκούν για την περιγραφή της κίνησης στην περιοχή αυτή. Η χρήση άλλωστε των γενικευμένων συναρτήσεων (κατανομών) εκφράζει τον έντοπισμό και με την έννοια που όρισαμε παραπάνω, τη συνέχεια-άσυνεχεια των κβαντικών όντοτήτων.

Το πρόβλημα της διαμόρφωσης και της συνέχειας του χώρου σχετίζεται με την έννοια του φυσικού συστήματος. Η μικροδομή των κβαντικών συστημάτων σχετίζεται ασφαλώς με άγνωστες χωροχρονικές σχέσεις στο έσωτερικό τους. Ποιά είναι ωστόσο η δομή των μικροσωματίων; Και πώς μορφώνεται ο χώρος στο έσωτερικό τους; Και πώς ρέει ο χρόνος που περιγράφει τις έσωτερικές διαδικασίες τους; Και τί διαδραματίζεται σε μια αντίστροφη κλίμακα — στην κλίμακα των αστρικών σχηματισμών και των γαλαξιών — εκεί όπου η ύλη βρίσκεται σε αφάνταστα ύψηλές πυκνότητες, ο χώρος αντίστοιχα καμπυλώνεται έντονα, και η ροή του χρόνου τροποποιείται σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας;

#### IV

Συχνά χρησιμοποιείται η έκφραση *βέλος του χρόνου*, για να απεικονιστεί η μονοσήμαντη κατεύθυνση της ροής του στο σύμπαν της σχετικότητας. Άλλα το βέλος του χρόνου δεν έχει νόημα, παρά μόνο σε σχέση με τη μη αντιστρεψιμότητα των φαινομένων.

Τα φυσικά φαινόμενα είναι συνθετικές ή αποικοδομητικές διαδικασίες, όπου κάθε σύνθεση κάποιας μορφής είναι αποικοδόμηση άλλων μορφών, και κάθε αποικοδόμηση καταλήγει σε άλλες μορφές. Η έντροπία, μέτρο της άταξίας του συστήματος, μπορεί να αυξάνει ή να μειώνεται στη διάρκεια ενός φαινομένου. Άλλα καθώς δεν υπάρχουν στιγμιαίες μεταβολές, ο χρόνος ρέει προς μια και μοναδική κατεύθυνση.

Η μη αντιστρεψιμότητα γίνεται γενικά δεκτή για το μακρόκοσμο. Έχουμε όμως δικαίωμα να ισχυριστούμε το ίδιο και για το μικρόκοσμο; Γιατί είναι γνωστό ότι οι εξισώσεις κίνησης των μικροφυσικών συστημάτων είναι συμμετρικές ως προς την αντίστροφη του χρόνου. Η αντίστροφη βέβαια είναι τυπική, και θα ίσχυε θεωρητικά για ένα σύστημα που σε απόλυτη απομόνωση θα “έξελισσόταν” σύμφωνα με την εξίσωση του Schrödinger. Ωστόσο μια φυσική διαταραχή (πεδίο, όργανο μέτρησης) μπορεί να προκαλέσει τον ποιοτικό μετασχηματισμό του συστήματος, και το φαινόμενο αυτό δεν είναι αντιστρεπτό. Η μικροφυσική χειρίζεται γενικά στατιστικά σύνολα μικροσυστημάτων. Άλλα τα σύνολα αυτά υπακούουν σε αυστηρούς πιθανοκρατικούς νόμους. Άρα σε ένα χρόνο  $\Delta E$ , θα μεταβληθούν ποιοτικά  $\Delta M$

μικροσυστήματα. Οί μεταβολές αυτές καθορίζουν τή ροή του χρόνου (και τή μεταβολή τής έντροπίας) και όχι ή τυπική αντιστρεψιμότητα. Τα πραγματικά φαινόμενα δέν είναι αντιστρεπτά. Ένα πρωτόνιο και ένα αντιπρωτόνιο, λ.χ., συγχωνεύονται και δίνουν έναν αριθμό Π-μεσόνια. Το αντίστροφο φαινόμενο δέν πραγματοποιείται.

Φυσικά το πέραςμα από τή μικρο-στή μάκρο-μή αντιστρεψιμότητα δέν είναι διόλου προφανές. Άλλά το γεγονός είναι ότι στο γνωστό τμήμα του σύμπαντος ή έντροπία αυξάνει αδιάκοπα, άρα αυξάνει διαρκώς ή άταξία. Άρα, ρωτάνε οί όπαδοί του πεπερασμένου σύμπαντος, το σύμπαν άρχικά χαρακτηριζόταν από μεγάλη τάξη; Και κάποτε χαρακτηριζόταν από απόλυτη τάξη;

Το έρώτημα προϋποθέτει μιá αποδοχή που δέν είναι υποχρεωτικά θεμιτή: τή γενίκευση δεδομένων ένός πεπερασμένου μέρους του σύμπαντος, σε “όλόκληρο” το σύμπαν. Άλλά και το πρόβλημα αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί με βάση τις έννοιες τής ιστορικότητας και τής τοπικότητας. Άκόμα και στο γνωστό μας κόσμο υπάρχουν φαινόμενα όπου αντιβαθμίζεται ή έντροπία. (Φυσικά το σύστημα που άντλεί άρνητική έντροπία από το περιβάλλον, αποβάλλει ταυτόχρονα θετική έντροπία.) Ωστόσο και σε αυτά τα φαινόμενα δέν έχουμε λόγο να δεχτούμε ότι ο χρόνος ρέει αντίστροφα. Και γιατί να αποκλείσουμε το ένδεχόμενο μιās περιόδου όπου στο σύμπαν μας θα μειωνόταν ή έντροπία, καθώς και τήν υπόθεση ότι σε άλλα τμήματα του σύμπαντος ή έντροπία μπορεί να μειώνεται; Άλλά και στα τμήματα αυτά ο χρόνος θα ρέει προς μιá κατεύθυνση, γιατί και ή αναβάθμιση τής ενέργειας γίνεται στο χρόνο.

Και αν το σύμπαν μας ύπακούει σ' ένα παλλόμενο πρότυπο; Για ένα παλλόμενο σύμπαν, γράφει ο P. Milman, ή έντροπία είναι κυκλική συνάρτηση του χρόνου. Και διερωτάται: το σύμπαν παραβιάζει το δεύτερο νόμο τής θερμοδυναμικής σε μεγάλη κλίμακα, κινούμενο από περισσότερο, σε λιγότερο πιθανές καταστάσεις; Δέν μπορούμε να υποθέσουμε, καταλήγει, ότι είναι άπίθανη ή κυκλική μεταβολή τής έντροπίας.<sup>15</sup> Και στην περίπτωση αυτή ωστόσο, ο χρόνος ρέει, και ρέει προς μιá κατεύθυνση: από το παρελθόν προς το μέλλον. Οί τυχόν κυκλικές μεταβολές δέν συνεπάγονται τήν “κυκλικότητα” του χρόνου. Το σύμπαν του Minkowski είναι άσυμβίβαστο με μιá τέτοια υπόθεση.

Το βέλος του χρόνου δέν είναι νοητική κατασκευή: δέν έχει νόημα παρά σε σχέση με αυτά που συμβαίνουν στη φύση. Επίσης δέν ύπάρχει τρόπος να αντιστρέψουμε τή φορά του: ή χρονολογική τάξη δύο φαινομένων που συνδέονται αίτιακά είναι — όπως έχουμε τονίσει — απόλυτη (καμιá άλλαγή του συστήματος αναφοράς δέν μπορεί να τήν αντιστρέψει). Η αίτία είναι πάντα προγενέστερη από το άποτέλεσμα και το χρονικό διάστημα που χω-

ρίξει τέτοια γεγονότα δὲν μπορεί νὰ μηδενιστεῖ ἢ νὰ γίνει ἀρνητικό, μὲ ὁποιαδήποτε ἀλλαγή τοῦ συστήματος ἀναφορᾶς.

Ἄλλὰ — τονίζεται πάλι — οἱ κυματικές ἐξισώσεις τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν καὶ τῶν βαρυτικῶν κυμάτων εἶναι ἀμετάβλητες σὲ σχέση μὲ τὴν ἀντιστροφή τοῦ χρόνου. Ὡστόσο, καὶ αὐτὸς ὁ μετασχηματισμὸς εἶναι τυπικός, καὶ δὲν ἀφορᾶ τὴν πραγματικὴ ἐκπομπὴ καὶ ἀπορρόφηση τῆς ἀκτινοβολίας. Τὰ καθυστερημένα δυναμικά, λ.χ., μετασχηματίζονται σὲ προωθημένα, μὲ τὴν τυπικὴ ἀντιστροφή τοῦ χρόνου. Ἄλλὰ ἡ ἐκπομπὴ καὶ ἡ ἀπορρόφηση τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων εἶναι διαδικασία αἰτιοκρατικὴ καὶ κανένα κύμα δὲν θὰ θέσει σὲ λειτουργία τὸ δέκτη προτοῦ ἐκπεμφθεῖ ἀπὸ τὸν πομπό του. Ἄν μποροῦσε νὰ ἀντιστραφεῖ ὁ χρόνος, τότε καὶ ἡ γενετικὴ σχέση θὰ ἔπρεπε νὰ ἀντιστραφεῖ. Ἡ αἰτία θὰ γινόταν ἀποτέλεσμα καὶ ἀντίστροφα, καὶ στὴ φύση θὰ συνέβαιναν οἱ πιὸ παράδοξες καταστάσεις.

Λέγεται συχνὰ ὅτι ἡ περιοδικὴ κίνηση εἶναι τὸ μέτρο τοῦ χρόνου. Αὐτὸ εἶναι ἀλήθεια ἀπὸ πρακτικὴ ἄποψη, τόσο γιὰ τὸ ἡλιακὸ ρολοὶ καὶ τὸ σεληνιακὸ μῆνα, ὅσο καὶ γιὰ τὸ μηχανικὸ ἢ τὸ ἀτομικὸ ρολοὶ. Ἄλλὰ, καταρχὴν, κάθε περιοδικὴ κίνηση ἐμπεριέχει τὴν ἴδια τὴν ἀρνησί της: κάθε περίοδος σημαίνει καὶ ἓνα βῆμα πρὸς τὰ ἐμπρός, πρὸς τὴ φορά τοῦ χρονικοῦ βέλους (ἢ φάση τοῦ περιοδικοῦ συστήματος αὐξάνει σὲ κάθε περίοδο). Ἐξάλλου ὁ χρόνος συνδέεται γενικὰ μὲ τὴν κίνηση — ἄρα μὲ τὴ μεταβολή, τὴν ἐξέλιξη, τὴν ὑποβάθμιση, τὴν ποσοτικὴ ἢ τὴν ποιοτικὴ ἀλλαγή — καὶ τὰ φαινόμενα δὲν εἶναι συνήθως περιοδικά. Ἄλλὰ τὸ κυριότερο, ὁ χρόνος συνδέεται γενικὰ μὲ τὴ μὴ ἀντιστρεπτὴ ροὴ τῶν φαινομένων.<sup>10</sup>

Σύμφωνα μὲ ἓνα κατάλοιπο τῆς τελεολογικῆς καὶ εἰδικὰ τῆς ἐγγελιανῆς ἀντίληψης, σχηματίζουμε συχνὰ μιὰ ἀποκλειστικὰ αἰσιόδοξη ἀντίληψη γιὰ τὴν ἀλλαγή: ἡ ἀλλαγή ταυτίζεται μὲ τὴν ἐξέλιξη, μὲ τὸ πέρασμα σὲ ὄλο καὶ πιὸ σύνθετες μορφές, τὸ πέρασμα ἀπὸ τὸ κατώτερο στὸ ἀνώτερο, κλπ. Αὐτὸς ὁ τύπος ἀνάπτυξης ὑπάρχει καὶ ἐκδηλώνεται παντοῦ. Ὡστόσο, ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι τύποι μεταβολῶν: ὑποβάθμιση, ἀποικοδόμηση, κλπ. Ὁ ἰσχυρισμὸς ὅτι τὸ σύμπαν ἐξελίσσεται σὲ ὄλο καὶ πιὸ σύνθετες μορφές, καὶ ὅτι ὁ χρόνος μετράει αὐτὴ τὴν ἐξέλιξη, ἀποτελεῖ ἀθθαίρετη γενίκευση τῆς δεσπόζουσας τάσης αὐτοῦ ποῦ ζοῦμε σὲ μιὰ εἰδικὴ φάση τῆς ἐξέλιξης τοῦ πλανήτη μας. Στὸ σύμπαν ὑπάρχουν κλάδοι ἀνερχόμενοι, καὶ ἄλλοι ὅπου κυριαρχεῖ ἡ ἀποικοδόμηση. Λέγεται ὅτι ὑπάρχουν “κύκλοι” φαινομένων, ἐνῶ στὴν πραγματικότητα πρόκειται γιὰ μιὰ ἐλικοειδῆ κίνηση ποῦ πορεύεται μὲ τὸ ρεῦμα τοῦ χρόνου. Ἡ ὕλη μεταμορφώνεται ἀδιάκοπα, τόσο στὴ μικροσκοπικὴ κλίμακα, ὅσο καὶ στὴν κλίμακα τῶν γαλαξιδῶν καὶ τῶν γαλαξιακῶν συστημάτων. Οἱ κινήσεις αὐτὲς ὑπερβαίνουν στὸ σύνολό τους τὴ παρατηρησιακὴς μας ἱκανότητες καὶ τὰ ἐννοιολογικά μας συστήματα.

Τὰ φαινόμενα προκύπτουν ἀπὸ τὴς ἀλληλεπιδράσεις καὶ τοὺς ἀμοιβαίους

καθορισμούς των φυσικών συστημάτων. Ο χρόνος δέν είναι τὸ καθολικὸ ἀφηρημένο, ἀλλὰ τὸ συγκεκριμένο ποὺ συνδέεται μὲ τὰ φαινόμενα καὶ πραγματώνεται μέσα ἀπὸ αὐτά.

Μὲ βάση τὴν τυπικὴ ἀντιστρεψιμότητα τῶν μικροφαινομένων, ὑποστηρίζεται ὅτι ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας δέν εἶναι καθολικὴ, καὶ ὅτι θὰ μπορούσε νὰ ἀντικατασταθεῖ ἀπὸ τὸ δεύτερο νόμο τῆς θερμοδυναμικῆς. Ἀλλά: (1) Καθὼς σημειώσαμε, ἡ ἀντιστρεψιμότητα εἶναι τυπικὴ καὶ δέν ἀφορᾷ τὶς αἰτιοκρατημένες πραγματικὲς μεταβολές, καὶ (2) ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας εἶναι ἀρχὴ γενετικὴ καὶ ἐλέγχεται καὶ βεβαιώνεται σὲ κάθε εἰδικὴ περίπτωση.

Τὸ ἐνδεχόμενο, τέλος, νὰ ὑπάρχουν ὑπερφωτεινὲς ἀλληλεπιδράσεις (ταχύτερες ἀπὸ τὶς ἠλεκτρομαγνητικὲς) δέν ἀντιφάσκει μὲ τὴ θέση κατὰ τὴν ὁποία τὰ φαινόμενα γίνονται στὸ χρόνο, ἄρα ὅτι ὁ χρόνος μετράει τὴ διάρκειά τους, ἄρα ὅτι ὁ χρόνος ρέει πάντα, ἀπὸ στιγμὴ σὲ στιγμὴ, πρὸς τὸ μέλλον.

Ἡ μείωση τῆς ἐντροπίας — ὅπως σημειώσαμε — δέν συνεπάγεται τὴν ἀντιστροφή τῆς κατεύθυνσης τοῦ χρόνου: ἡ ἐντροπία χαρακτηρίζει μιὰ ὀρισμένη φυσικὴ ἀταξία, ἐνῶ ὁ χρόνος μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ *γενικὴ μορφή τοῦ εἶναι*. Ἀντίστοιχα καὶ ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας, ἀκόμα καὶ στὸ μικρόκοσμο, δέν μπορεῖ νὰ ὑποκατασταθεῖ ἀπὸ τὸ δεύτερο θερμοδυναμικὸ ἀξίωμα: ἡ ἀρχὴ αὐτὴ ἀφορᾷ συγκεκριμένες γενετικὲς σχέσεις σὲ αὐτὸ τὸ ἐπίπεδο, μὲ συγκεκριμένο φυσικὸ περιεχόμενο. Ἡ ποικιλία τῶν μικροφαινομένων, τόσο ἀπὸ φυσικὴ, ὅσο καὶ ἀπὸ θερμοδυναμικὴ ἄποψη, ἐναρμονίζεται μὲ τὴ μὴ ἀντιστρεψιμότητα τοῦ χρόνου.<sup>17</sup>

## Σημειώσεις

1. Βλ. H. Minkowski, στὸ *The Principle of Relativity*, Dover.
2. A. Einstein, *La théorie de la relativité restreinte et générale*, Gauthier-Villars, Paris 1978, σελ. 60.
3. Πιὸ ἐντυπωσιακὸ εἶναι τὸ νοητικὸ πείραμα μὲ τοὺς διδύμους τοῦ Langevin. Δυὸ δίδυμοι κινοῦνται σὲ διαφορετικὲς κοσμικὲς γραμμές, ποὺ τέμνονται σὲ δύο σημεία (στὸ ἀρχικὸ καὶ στὸ τελικὸ σημεῖο). Ὁ ἓνας ἀπὸ τοὺς δύο διδύμους παραμένει στὸ σύστημα Κ. Ὁ ἄλλος ἐπιταχύνεται ὡς πρὸς τὸ σύστημα Κ, φτάνει στιγμιαῖα μιὰ ταχύτητα παραπλήσια μὲ τὴν

ταχύτητα του φωτός, κινείται στη συνέχεια όμαλά, και μετά από ένα αρκετά μακρό χρονικό διάστημα αναστρέφει πορεία και επιστρέφει στο σημείο του Κ, όπου βρίσκεται ο πρώτος. Ο “ταξιδιώτης” θα είναι τότε νεότερος από το δίδυμο αδελφό του, εξαιτίας της “διαστολής” του βιολογικού ρολογιού, δηλαδή της επιβράδυνσης του βιολογικού χρόνου του.

4. A. Einstein, *The Principle of Relativity*, Dover, σελ. 71.

5. Βλ. Ε. Μπιτσάκη, *Τὸ Εἶναι καὶ τὸ Γίγνεσθαι*, Δωδώνη, 1976, Κεφ. 3 καὶ 4. Ἐπίσης τοῦ ἴδιου: *Scientia*, 1976, σελ. 402.

6. Βλ. σχετικὰ (1) L. de Broglie, *La Physique Quantique restera-t-elle indéterministe*, Gauthier - Villars, Paris 1953. (2) E. Schrödinger, in: *L. de Broglie, Physicien et Penseur*, Albin Michel, Paris 1953.

7. Παρὰ τὰ ἰσχυρὰ ἐπιχειρήματα ὑπὲρ τῶν σωματίων, ὑπάρχουν περιοχὲς ὅπου ὁ κυματικὸς χαρακτήρας εἶναι ἰδιαίτερα ἐκδηλός. Μποροῦμε, λ.χ., νὰ δεχτοῦμε ὅτι μιὰ φωτεινὴ ἀκτῖνα ἀποτελεῖται ἀπὸ ρεῦμα φωτονίων. Πῶς ὅμως θὰ ἐφαρμόσουμε τὴ σωματιδιακὴ εἰκόνα, λ.χ., στὰ κύματα τῆς ραδιοφωνίας, ὅπου μόνον ἡ κυματικὴ γλῶσσα μπορεῖ νὰ κάνει κάπως κατανοητὸ τὸ ἐκπληκτικὸ φαινόμενο τῆς ἀναπαραγωγῆς τῆς ὁλότητας σχεδὸν τῶν χαρακτηριστικῶν τῆς ἀνθρώπινης φωνῆς, μέσα ἀπὸ μιὰ σειρὰ ἠλεκτρομαγνητικῆς καὶ μηχανικῆς μετατροπῆς;

8. Ἡ μετατροπὴ, λ.χ., ἐνὸς φωτονίου σὲ ποζιτρόνιο καὶ ἠλεκτρόνιο ἀπαιτεῖ τὴ συμμετοχὴ τοῦ κενοῦ. Τὸ 1947 ἐξάλλου οἱ Lamb καὶ Retherford παρατήρησαν μιὰ ἐλαφρὰ μετατόπιση ὀρισμένων ἐνεργειακῶν σταθμῶν τοῦ ἀτόμου τοῦ ὑδρογόνου. Τὰ δεδομένα αὐτὰ φανέρωναν ὅτι ὁ φορμαλισμὸς τοῦ Dirac δὲν ἐξέφραζε μὲ ἀπόλυτη ἀκρίβεια τὴν ὑφὴ τοῦ φάσματος τοῦ ὑδρογόνου. Ἡ κβαντικὴ ἠλεκτροδυναμικὴ ἐρμήνευσε αὐτὸ τὸ φαινόμενο, μὲ τὴν ἀλληλεπίδραση τοῦ ἀτόμου μὲ τὸ κενὸ (ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι παράγοντες ἐκτὸς ἀπὸ αὐτὴν τὴν ἀλληλεπίδραση). Μιὰ ὀρισμένη αὔξηση τῆς μαγνητικῆς ροπῆς τοῦ ἠλεκτρονίου ἐρμηνεύτηκε μὲ τὴν *πόλωση τοῦ κενοῦ*. Τὸ κενό, γενικότερα, πολώνεται στὴν περιοχὴ τῶν στοιχειωδῶν σωματίων. Ὁ χῶρος συνεπῶς μετέχει στὶς φυσικὲς διαδικασίες καὶ ἡ “μικροδομὴ” του τροποποιεῖται ἀπὸ τὴν παρουσία τῆς ὕλης.

9. E. Mach, *Knowledge and Error*, Reidel, 1976.

10. Γιὰ μιὰ ἱστορικὴ ἐπισκόπηση ἀλλὰ καὶ ἀνάλυση τοῦ προβλήματος, βλ. F. Casagrande, *Scientia*, 1976, σελ. 417.

11. Ἔχουμε πράγματι:  $t_0 = \frac{l_0}{c} = \frac{1,5 \cdot 10^{-13} \text{cm}}{3 \cdot 10^{10} \text{cm/sec}} = 0,5 \cdot 10^{-23} \text{sec.}$

Καὶ κατὰ μιὰ παράδοξη, ἀλλὰ ὄχι τυχαία, σύμπτωση, τὸ κβάντο τοῦ χρόνου εἶναι τῆς ἴδιας τάξης μεγέθους μὲ τὸ χαρακτηριστικὸ χρόνο τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων.

12. Ὁ χρόνος αὐτὸς εἶναι  $10^{-8}$  sec γιὰ τὶς ἀσθενεῖς,  $10^{-17}$  γιὰ τὶς ἠλεκτρομαγνητικὲς καὶ  $10^{-23}$  γιὰ τὶς ἰσχυρὲς ἀλληλεπιδράσεις.
13. Βλ. λχ. J. S. Bell, *CERN Preprint*, TH — 1923 (1977) καὶ *Helv. Phys. Acta* 48, 93 (1975).
14. Γιὰ μιὰ στατιστικὴ ἐρμηνεία τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Heisenberg, βλ. Ε. Μπιτσάκη, *Τὰ ἐννοιολογικὰ θεμέλια τῆς Κβαντικῆς Μηχανικῆς*, Δωδώνη, 1980 (ὑπὸ ἐκτύπωση).
15. F. Mirman, *Found. of Physics*, 5, 491 (1975).
16. Γιὰ τὸ πρόβλημα τῆς μὴ ἀντιστρεψιμότητας, βλ. ἀνάμεσα στὰ ἄλλα: (1) P.C.W. Davies, *The Physics of Time Asymmetry*, Univ. of California Press, 1974, (2) F. Fer, *L'irréversibilité*, Gauthier - Villars, 1977, (3) I. Prigogine, *Introd. à la Thermodyn. des processus irréversibles*, Dunod, 1968.
17. Γιὰ ὀρισμένες ἀπόψεις ἀντίθετες ἀπὸ αὐτὲς ποὺ ὑποστηρίζονται σ' αὐτὸ τὸ κείμενο, βλ. Y. Terletski, *Paradoxes in the Theory of Relativity*, Plenum Press, 1968. Ἐπίσης βλ. τὴ συλλογὴ: *Philos. Problems of Elementary Particles Physics*, Moscow.