

## ΕΚΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΧΩΡΟΣ, ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΦΑΙΝΟΜΕΝΑ\*

*Μά ή κιθάρα άντιχειΐ μακριά, μέσα σέ κήπους· Ίσως έκειΐ πέρα  
νά παίξει ένας έρωτευμένος ή ένας μοναχικός άντρας νά θυμάται μακρινούς  
φίλους καί τόν καιρό πού ήτανε νέος· καί μέσα σέ κοίτη  
εδωδιάζουσα, οί δροσερές καί άείρροες κρήνες κελαρύζουν.*

F. Hoelderlin

Στό κεφάλαιο αυτό θά αναλύσουμε όρισμένες, συμπληρωματικές  
όψεις, από τίς σχέσεις χώρου, χρόνου καί ύλης, πού λειτουργούν κυρίως  
στό μικροφυσικό επίπεδο.

#### 6.1. Είσαγωγικές παρατηρήσεις

Τό βασικό φιλοσοφικό έρώτημα για τό χῶρο καί τό χρόνο, μπορεί  
νά διατυπωθεΐ ώς έξής: ό χῶρος καί ό χρόνος είναι προεμπειρικές  
κατηγορίες τής νόησης(Κάντ), συμβάσεις χρήσιμες για τήν κατάταξη  
των δεδομένων (θετικισμός), ή μορφές ύπαρξης τής πραγματικότητας  
(ρεαλισμός);<sup>1</sup>

Πρώτοι εκπρόσωποι του ρεαλιστικού ρεύματος ήταν οί προσωποκρα-  
τικοί καί προπαντός ό 'Αριστοτέλης. Κατά τό Δημόκριτο τά πράγματα  
βρίσκονται στό χῶρο καί τά γεγονότα συμβαίνουν στό χρόνο. 'Η άποψη  
αυτή προοιωνίζει τόν άπειρο, κενό χῶρο του Νεύτωνα, καί τόν άπόλυτο  
χρόνο πού ρέει ανεξάρτητος από τά γεγονότα. Για τόν 'Αριστοτέλη,  
άντίθετα, ό χῶρος δέν έχει νόημα χωρίς τήν ύλη, καί ό χρόνος χωρίς τήν

\* Τό μεγαλύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου δημοσιεύθηκε σάν αυτοτελές άρθρο στό  
περιοδικό *Δευκαλίων*, 29 (1980).

1. 'Η άπάντηση του ρεαλισμού είναι έπιστημολογική. 'Ο ρεαλιστής μπορεί φιλοσοφικά  
νά είναι ύλιστής, αντικειμενικός ιδεαλιστής, ή νά δέχεται τή δημιουργία τής φυσικής  
πραγματικότητας από τό Θεό.

κίνηση. Ο χρόνος είναι δυναμική όντολογική κατηγορία: είναι αιώσιος όπως και η κίνηση, συνεχής, και η παρούσα στιγμή είναι τό όριο ανάμεσα στον παρελθόντα και στο μελλοντικό χρόνο. Οι νεώτερες πεδιακές θεωρίες που βασίζονται στη σχετικότητα, έναρμονίζονται με τη δυναμική αντίληψη που διαμόρφωσε ο Άριστοτέλης. Θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε αυτή την αντίληψη μέσα από τις μικροφυσικές θεωρίες. Θα προσπαθήσουμε δηλαδή να προσκομίσουμε μαρτυρίες υπέρ της ρεαλιστικής και διαλεκτικής αντίληψης για τό χώρο και τό χρόνο.

## 6.2. Χώρος, χρόνος και μικροφαινόμενα

Τό χαρακτηριστικό του σύμπαντος της σχετικότητας είναι η ένότητα του χώρου και του χρόνου και ό τοπικός χαρακτήρας (τοπικότητα) του τελευταίου, που καθορίζονται από την πεπερασμένη ταχύτητα των φυσικών αλληλεπιδράσεων. Όπως έγραφε ό Minkowski (1908), ό χώρος καθεαυτός και ό χρόνος καθεαυτός είναι καταδικασμένοι να καταστήσουν άπλές σκιές, και μόνο ένα είδος ένότητας των δυό θα διατηρήσει μιά ανεξάρτητη πραγματικότητα. Άλλά τό χωροχρονικό συνεχές - τό πλαίσιο των σχετικιστικών θεωριών - δέν είναι άπλά νοητική καταστική. Οι νέες ιδέες, κατά τον Minkowski, «πρόκυψαν από τό έδαφος της πειραματικής φυσικής και εκεί βρίσκεται ή δύναμή του».<sup>2</sup>

Έχουμε λοιπόν έδω μιά νέα έννοια, ριζικά αντίθετη με την έποπτεία. Για πρώτη φορά στο χώρο της φυσικής κλονίστηκε ή ρεαλιστική - έποπτική αντίληψη του Νεύτωνα, και οι συνέπειες της άνατροπής υπήρξαν καταλυτικές, τόσο για την έπιστήμη, όσο και για τη φιλοσοφία. Όστόσο οι νέες έννοιες είναι περισσότερο «φυσικές» από τά μεταφυσικά πλάσματα του άπόλυτου χώρου και του άπόλυτου χρόνου. «Ο μή μαθηματικός - έγραφε ό Einstein - καταλαμβάνεται από μυστική φρίκη όταν άκούει να μιλάνε για «τέσσερεις διαστάσεις» και νοιώθει ένα αίσθημα όμοιο με κείνο που μās προξενεί τό φάντασμα στο θέατρο. Όστόσο τίποτα δέν είναι πιο κοινότοπο από τον ίσχυρισμό ότι ό κόσμος στον όποιο ζούμε είναι ένα χωροχρονικό συνεχές τεσσάρων διαστάσεων»<sup>3</sup>. Ο φυσικός χώρος δέν άπόκτησε βέβαια κάποια τέταρτη διάσταση, όπως βεβαιώνουν έκλαϊκευτές και μυθοποιοί: παραμένει πάντα τρισδιάστατος. Η τέταρτη διάσταση είναι ή χρονική. Ο τεταρδιάστατος χώρος είναι ένας μαθηματικός χώρος κατάλληλος για την

2. Βλ. H. Minkowski, in: *The Principle of Relativity*, Dover.

3. A. Einstein. *La théorie de La relativité restreinte et générale*, Gauthier - Villars, Paris, 1978, σελ. 60

περιγραφή τῶν φαινομένων καί ἐκφράζει τή δυναμική ἐνότητα (ὄχι ταυτότητα) τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου. Ὁ «χώρος» ἄλλωστε αὐτός μπορεί νά ἀποσυντεθεῖ σέ δύο ὑποχώρους: τόν τρισδιάστατο χώρο καί τό μονοδιάστατο χρόνο, γεγονός πού πιστοποιεῖ τή φυσική διαφορά τοῦ χώρου ἀπό τό χρόνο, στά πλαίσια τῆς τετραδιάστατου συνεχοῦς.

Τά σώματα ὑπάρχουν στό χωρόχρονο. Κατέχουν κάποια ἔκταση καί ἔχουν ὀρισμένη μορφή. Ἔτσι τά συλλαμβάνουμε μέ τίς αἰσθήσεις. Ἀλλά ἡ ἐποπτεία τά ἀκίνητοποιεῖ, χωρίζει τά μέν ἀπό τά δέ, καί τά ἀποκόπτει ἀπό τό γίνεσθαι. Χωροχρονική περιγραφή ἀντίθετα, σημαίνει ἐνσωμάτωση τῆς κίνησης στήν ἀντίληψη τῶν φαινομένων. Ἡ θέση ἑνός σώματος (κοσμικό σημεῖο) καθορίζεται ἀπό 4 συντεταγμένες. Τό ἴδιο καί ἡ θέση ἑνός συμβάντος. Ἐνα κινητό διαγράφει μιά κοσμική γραμμή.

Ἀλλά ἡ κίνηση προκύπτει ἀπό τήν ἀλληλεπίδραση καί οἱ ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μέ πεπερασμένη ταχύτητα. Τά σώματα συνεπῶς ἀλληλοκαθορίζονται ὄχι μέ στιγμιαῖες δράσεις (Newton), ἀλλά μέ τό διάμεσο φυσικῶν διαδικασιῶν (Maxwell, Einstein). Τά «ἔσχατα» συστατικά τῆς ὕλης εἶναι ἐνότητα «σωματιδιακῶν» καί πεδιακῶν ἰδιοτήτων (τῶν πεδίων μέ τά ὁποῖα ἀλληλεπιδροῦν). Ἀλλά στήν εἰδική σχετικότητα ἡ ὕλη δέν συγχωνεύεται ἀκόμα ὀργανικά μέ τό χώρο. Ὡστόσο ἤδη διαφαίνεται ὅτι ἡ ἔκταση εἶναι ἀδιανόητη χωρίς τήν ὕλη (Ἀριστοτέλης, Καρτέσιος) καί ὅτι ἡ πεπερασμένη ταχύτητα τῶν ἀλληλεπιδράσεων μορφώνει τά σώματα καί τά συμβάντα σέ μιά ὁλότητα δυναμικοῦ χαρακτήρα. Στήν εἰδική σχετικότητα ἔχουμε μιά πρώτη ἐνότητα φυσικῆς καί γεωμετρίας, ἡ ὁποία οὐσιαστικοποιεῖται στή γενική θεωρία.

Ὁ χώρος καί ὁ χρόνος συνδέονται στήν εἰδική σχετικότητα μέ τήν κίνηση καί μέ τίς φυσικές ἀλληλεπιδράσεις. Παύουν μ' αὐτό τόν τρόπο νά εἶναι κενές μορφές καί ἐκδηλώνονται σάν οὐσιαστικές μορφές τοῦ εἶναι. Ὁ «καθαρός», ἀπόλυτος χώρος, γίνεται ἔννοια χωρίς νόημα, τόσο ἀπό λειτουργική, ὅσο καί ἀπό καθαρά θεωρητική ἀποψη. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τόν «καθαρό», τόν ἀπόλυτο χρόνο. Ὁ χρόνος πραγματώνεται μέσα ἀπό τά φαινόμενα. Ἡ ἔννοια τῆς καθαρῆς διάρκειας εἶναι ἀφαίρεση, πού ὀδηγήθηκε στίς ἀκραῖες της συνέπειες ἀπό τόν Νεύτωνα. Ἀλλά γιά τόν Einstein ὁ χρόνος σχετικοποιεῖται, δηλαδή ἀποκαλύπτεται τοπικός. Στή μή τοπικότητα τοῦ νευτώνιου σύμπαντος, ἡ σχετικότητα ἀντιπαρέθεσε τήν τοπικότητα. Ἡ πεπερασμένη ταχύτητα τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων καθορίζει τήν τοπικότητα τῶν συμβάντων καί τήν ἔννοια τοῦ τοπικοῦ χρόνου. Τά συμβάντα δέν πραγματώνονται ἀκαριαῖα: στή διαδικασία τῆς πραγμάτωσής τους

άντιστοιχεί ένα όρισμένο «χρονικό πάχος». Τό «πάχος» μετρά τή διάρκεια τής διαδικασίας πού πραγματώνεται στό έσωτερικό του κώνου του φωτός, είναι μή άντιστρεπτή, και έχει - συνεπώς - καθορισμένη κατεύθυνση: από τό παρελθόν προς τό μέλλον.

Ή θέση ότι ό χώρος και ό χρόνος είναι μορφές του είναι θεμελιώνεται στην ύπαρξη, στην έκτατότητα και στη μεταβλητότητα των πραγμάτων. Ή έννοια τής ιστορικότητας απεικονίζει τή ροή του χρόνου, πού προσδιορίζεται από τίς γενετικές σχέσεις και τή ροή των φαινομένων.

Ήλλά τί σημαίνει σχετικότητα του χρόνου; Κατά τόν Einstein, ό ρυθμός των «ρολογιών» - δηλαδή ή ροή του χρόνου - είναι συνάρτηση τής ταχύτητας του ρολογιού σε σχέση με τό αδρανειακό σύστημα αναφοράς, ως προς τό όποιο γίνεται ή μέτρηση. Ή αν πάρουμε δύο συστήματα σε όμαλή, παράλληλη μετατόπιση, τότε τά «ρολόγια» του καθενός «πηγαίνουν πίσω» ως προς τά «ρολόγια» του άλλου. Ή συμμετρία τής διαστολής του χρόνου είναι απόλυτη.

Συμμετρία ώστόσο δέν σημαίνει ύποκειμενικότητα. Ή «διαστολή» είναι αντικειμενικό γεγονός και εκφράζεται με τήν ένότητα των χωρικών και των χρονικών συντεταγμένων (τήν άμεταβλητότητα των χωροχρονικών διαστημάτων, για μία οικογένεια αδρανειακών συστημάτων). Ής θεωρήσουμε π.χ. τήν «αύθόρμητη» διάσπαση μιονίων τής κοσμικής ακτινοβολίας σε ήλεκτρόνια και νετρίνο. Ή μέσος χρόνος ζωής του μιονίου σε ήρεμία είναι τέτοιος, ώστε τό σωματίο θά έπρεπε νά διανύει περίπου 600 μέτρα στην άτμόσφαιρα. Ήστόσο στην ύψηλή άτμόσφαιρα, όπου κινούνται με ταχύτητες παραπλήσιες με τήν ταχύτητα του φωτός, τά μίονια διανύουν κάμποσα χιλιόμετρα προτού διασπασθουν. Ήλλά μεγαλύτερη άπόσταση σημαίνει μεγαλύτερος χρόνος ζωής, άρα διαστολή του χρόνου για τό σωματίο, πού μπορεί νά θεωρηθεί σαν «ρολόι».<sup>4</sup>

Ή εξαιτίας τής πεπερασμένης ταχύτητας των άλληλεπιδράσεων, ή έννοια του ταυτόχρονου χάνει τόν απόλυτο χαρακτήρα της. Ή εξαρτάται

4. Πιο έντυπωσιακό είναι τό νοητικό πείραμα με τους διδύμους του Langevin: Δύο δίδυμοι κινούνται σε διαφορετικές κοσμικές γραμμές, πού τεμνονται σε δύο σημεία (άρχικό και στό τελικό σημείο). Ή ένας από τους δίδυμους παραμένει στό σύστημα K. Ή άλλος επιταχύνεται ως προς τό σύστημα K, φτάνει στιγμιαία μία ταχύτητα παραπλήσια με τήν ταχύτητα του φωτός, κινείται στη συνέχεια όμαλά και μετά από άρκετά μακρό χρονικό διάστημα αναστρέφει πορεία και επιστρέφει στό σημείο του K όπου βρίσκεται ό πρώτος. Ή «ταξειδιώτης» θά είναι τότε νεώτερος από τόν δίδυμο άδελφό του, εξαιτίας τής «διαστολής» του βιολογικού ρολογιού, δηλαδή τής επιβράδυνσης του βιολογικού χρόνου του.

από τό σύστημα αναφορᾶς. Ἐπίσης, ἀντίστοιχα σχετικοποιούνται οἱ ἔννοιες τοῦ προηγούμενου καί τοῦ ἐπομένου. Ὡστόσο ἡ σχετικοποίηση δέν εἶναι «ἀπόλυτη»: εἶναι ἡ ἄλλη ὄψη τοῦ ἀπόλυτου. Πράγματι, ἡ χρονική τάξη συμβάντων πού πραγματώνονται ἔξω ἀπό τόν κῶνο τοῦ φωτός - πού δέν συνδέονται αἰτιακά - μπορεῖ νά ἀντιστραφεῖ μέ κατάλληλη στροφή τοῦ συστήματος αναφορᾶς. Ἐπίσης, ἡ ὑπαρξη αἰτιακῆς σχέσης ἀνάμεσα σέ δύο συμβάντα, καθορίζει μέ τρόπο ἀπόλυτο τή χρονική τους τάξη (καλύτερα: τή χωροχρονική τάξη τους μέσα στό τετραδιάστατο συνεχές).

Τά φαινόμενα πού σχετίζονται αἰτιακά πραγματώνονται στό ἐσωτερικό τοῦ κώνου τοῦ φωτός, καί συνεπῶς χωρίζονται ἀπό διαστήματα χρονικοῦ τύπου (θετικά χωροχρονικά διαστήματα). Τό τυπικό αὐτό γεγονός ἐκφράζει τό φυσικό δεδομένο ὅτι οἱ ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μέ πεπερασμένη ταχύτητα. Ἡ ἔννοια τῆς αἰτιότητας συνδέεται λοιπόν στή ρελατιβιστική φυσική μέ τήν ἔννοια τῆς τοπικότητας. Ἐπίσης ἡ τοπικότητα ἐναρμονίζεται μέ τήν καρτεσιακή ἀντίληψη γιά τή δράση ἀπό σημεῖο σέ σημεῖο, καί ἀντικρούει τή νευτώνια ἀντίληψη γιά τόν ἀπόλυτο χῶρο καί τόν παγκόσμιο χρόνο, πού προϋποθέτουν τή μή τοπικότητα (τή στιγμιαία δράση ἀπό ἀπόσταση).

Πράγματι, ἂν δεχτοῦμε τή νευτώνια ἀντίληψη γιά τή στιγμιαία δράση, τό χωροχρονικό συνεχές ἀποσυντίθεται σέ χῶρο καί σέ χρόνο, ἡ τοπικότητα ἐξαφανίζεται καί ὁ αἰτιακός καθορισμός ἀποκτᾶ πάλι τό μηχανιστικό χαρακτήρα του. Ἀλλά οἱ σύγχρονες πεδιακές θεωρίες εἶναι ἀσυμβίβαστες μέ μιά τέτοια ἀντίληψη.

### 6.3. Δομή καί ποιοτική μεταβολή

Ἡ σχετικότητα δέν εἶναι μόνο μιά κινηματική θεωρία, πού ἀποκάλυψε νέες ιδιότητες τοῦ χῶρου καί τοῦ χρόνου. Ἡ σχετικιστική δυναμική ὁδήγησε σέ ἐπαναστατικές ἀλλαγές στίς γνώσεις μας γιά θεμελιώδη φυσικά μεγέθη ὅπως ἡ μάζα καί ἡ ἐνέργεια, καί ἔφερε στό φῶς νέες ιδιότητες τῆς ὕλης - προπαντός στό μικροφυσικό ἐπίπεδο. Οἱ θεωρίες τῶν μικροσωματίων, ἐξάλλου, εἶναι θεωρίες σχετικιστικές. Ἀπ' ὅλες αὐτές τίς περιοχές ἀνακύπτουν προβλήματα πού σχετίζονται μέ τό χῶρο καί τό χρόνο.

Ἡ σχετικότητα ἀποκάλυψε τή γνωστή σχέση ἀναλογίας ἀνάμεσα στή μάζα καί τήν ἐνέργεια, μέ τίς ἐπίσης γνωστές τεχνολογικές καί φιλοσοφικές ἐπιπτώσεις. «Ἐάν ἕνα σῶμα - ἔγραφε ὁ Einstein τό 1905 - ἀποδώσει ἐνέργεια  $L$  μέ μορφή ἀκτινοβολίας, ἡ μάζα του μειώνεται κατά  $L/c^2$ . Τό γεγονός ὅτι ἡ ἐνέργεια πού ἀφαιρεῖται ἀπό τό σῶμα γίνεται

ένέργεια ακτινοβολίας δέν έχει προφανώς σημασία, και έτσι οδηγούμαστε στο γενικό συμπέρασμα ότι:

Ἡ μάζα ενός σώματος είναι μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου. Ἄν ἡ ενέργεια μεταβάλλεται κατά  $L$ , ἡ μάζα μεταβάλλεται μέ τήν ἴδια ἔννοια κατά  $L/9 \times 10^{20}$ , ἐφόσον ἡ ενέργεια μετράται σέ ἔργα και ἡ μάζα σέ γραμμάρια<sup>5</sup>. Ἡ σχέση αὐτή ἐπαληθεύτηκε ἀπόλυτα ἀπό τή φυσική τῶν μικροσωματίων.

Ἡ σχέση αὐτή ἀποκαλύπτει μιά ἀπό τίς ὁψεις τοῦ δυναμισμού τῆς ὕλης. Ἡ ενέργεια ἔπαψε νά θεωρεῖται ἐξωτερική ὄντοτητα πού «ψυχώνει» τήν ὕλη, και ἔγινε ἐσωτερικό της κατηγορημα. Ἡ κίνηση ἀποκαλύπτεται ἐσωτερική ιδιότητα τῆς ὕλης (μέτρο της μπορεί νά θεωρηθεῖ ἡ ενέργεια). Ἀντίστοιχα ἡ μάζα μπορεί νά θεωρηθεῖ μέτρο μιᾶς ιδιότητας: τῆς ἀδράνειας. Ὡστόσο ποσοτική ἀναλογία δέ σημαίνει ἰσοδυναμία και οἱ ἐνεργητιστικές ἐρμηνεῖες τῆς ἐξίσωσης τοῦ Einstein ἔχουν σάν ἀφετηρία τήν προρελατιβιστική ταύτιση τῶν ἐννοιῶν τῆς ὕλης και τῆς μάζας, πού οδηγεῖ στο ψευδοπρόβλημα τῆς μετατροπῆς τῆς ὕλης σέ ενέργεια, και στίς συνακόλουθες φιλοσοφικές αὐθαιρεσίες<sup>6</sup>.

Ὁ δυναμικός χαρακτήρας ἦταν ἀπό τήν ἀρχή φανερός γιά μιά κατηγορία σωματίων: τά φωτόνια, ἡ στοιχειώδη ποσά τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ακτινοβολίας. Ὡστόσο ἡ ἔρευνα ἐτήν περιοχὴ τῶν «στοιχειωδῶν» σωματίων καθολίκευσε αὐτό τό χαρακτηριστικό. Στόν κόσμο τῆς μικροφυσικῆς ὅπου «τά πάντα ρεῖ», ἐκδηλώνεται περισσότερο ἀπό ἀλλοῦ ὁ δυναμισμός τῆς ὕλης. Ἡ ταυτότητα και ἡ διαφορά γίνονται ἐδῶ ἔννοιες σχετικές και οἱ ἀλληλομετατροπές εἶναι ὁ κανόνας, τουλάχιστον στίς ὑψηλές ἐνέργειες (ὅπου ἐκδηλώνεται ὁ ρελατιβιστικός χαρακτήρας τῶν φαινομένων). Οἱ σχετικιστικές θεωρίες τῶν μικροσωματίων δέν γνωρίζουν ἀμετάβλητες μορφές.

Ἀλλά τί εἶναι τά μικροσωμάτια; Κατά τήν κλασική ἐργασία τοῦ L. de Broglie (1924), εἶναι σωματῖα - κύματα. Ὡστόσο εἶναι γνωστό ὅτι ὁ δυῖσμός αὐτός ὀδήγησε σέ ἀντιφάσεις και σέ ἄλυτα προβλήματα. Οἱ «πατέρες» ἄλλωστε τῆς κυματοδέσμης - οἱ de Broglie και Schrödinger - διατύπωσαν ἔντονες ἐπιφυλάξεις γιά τή φυσική σημασία τῆς ἔννοιας, και ἐπέκριναν ὅσους τήν παίρνουν κατά γράμμα<sup>7</sup>. Ὡστόσο οἱ ἔννοιες τοῦ

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

6. Βλ. E. Μπιτσάκη, *Τό Εἶναι και τό Γίνεσθαι*, Δωδώνη, 1976, Κεφ. 3 και 4. Ἐπίσης τό προηγούμενο κεφάλαιο αὐτοῦ τοῦ βιβλίου.

7. Βλ. σχετικά 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 Micheri Paris 1953.

σωμάτιου κύματος και της κυματοδέσμης βρίσκονται πάντα στη βάση της κβαντομηχανικής περιγραφής<sup>8</sup>.

Σε σχέση με τό πρόβλημα πού μᾶς ἀπασχολεῖ ἐδῶ, μπορούμε νά ποῦμε ὅτι ἡ παλαιά δημοκρίτια - νευτώνια ἀντίληψη γιά τό συμπαγές, μή δομημένο σωματίο, καί συνεπῶς γιά τό κενό, πρέπει νά ἀπορριφθεῖ. Ἡ σχετικότητα συνεπάγεται τήν πεδιακή ἀντίληψη, ὅπου τά σωματία θεωροῦνται δομημένες καί ἐντοπισμένες ὀντότητες πού βρίσκονται σέ ἀδιάκοπη ἀλληλεπίδραση μέ τά φυσικά πεδία. Οἱ διακυμάνσεις τῶν πεδίων ὀδηγοῦν στήν ποιοτική μεταβολή τῶν σωματίων, δηλαδή στήν καταστροφή τῶν παλαιῶν δομῶν καί στή δημιουργία νέων πού γεννοῦν νέα πεδία, κ.ο.κ. Οἱ ἐννοιες τῆς δομῆς καί τῆς μεταβολῆς εἰσάγουν ὡστόσο τό χρόνο στίς βαθύτερες δομές τῆς φυσικῆς πραγματικότητας. Καί εἶναι φανερό ὅτι οἱ σχέσεις χώρου, χρόνου καί ὕλης, θά πρέπει νά γίνονται ἐδῶ περισσότερο περίπλοκες. Ἡ εἰκόνα τῆς διαφοροποιημένης ὀλότητας ἐρχεται σέ ἀντίθεση μέ τόν ἀπόλυτο χῶρο καί τόν παγκόσμιο χρόνο, πού εἶναι μορφές χωρίς περιεχόμενο. Εἰδικότερα οἱ ἐννοιες τῆς δομῆς καί τῆς ποιοτικῆς μεταβολῆς ὀδηγοῦν στό ἐρώτημα γιά τήν ἀσυνέχεια τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου.

#### 6.4. Ἡ μικροδομή τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου

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

Ἡ ἀνάπτυξη τῶν κλασικῶν πεδιακῶν θεωριῶν (τοῦ ἠλεκτρομαγνητισμοῦ καί κυρίως τῆς θεωρίας τῆς βαρύτητας τοῦ Einstein) ἀπεκάλυψε τήν ἀνεπάρκεια τοῦ παλαιοῦ δυισμοῦ 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 νευτώνια μεταφυσική. Ἀντίστοιχα οἱ κβαντικές πεδιακές θεωρίες ὀδήγησαν πρὸς τήν ἴδια κατεύθυνση.

8. Παρά τά ἰσχυρά ἐπιχειρήματα ὑπέρ τῶν σωματίων, ὑπάρχουν περιοχές ὅπου ὁ κυματικός χαρακτήρας εἶναι ἰδιαίτερα ἐκδηλός. Μποροῦμε π.χ., νά δεχτοῦμε ὅτι μιά φωτεινή ἀκτίνα ἀποτελεῖται ἀπό ρεῦμα φωτονίων. Πῶς ὁμως θά ἐφαρμόσουμε τή σωματιδιακή εἰκόνα π.χ., στά κύματα τῆς ραδιοφωνίας, ὅπου μόνον ἡ κυματική γλώσσα μπορεῖ νά κάμει κάπως κατανοητό τό ἐκπληκτικό φαινόμενο τῆς ἀναπαραγωγῆς τῆς ὀλότητας σχεδόν χαρακτηριστικῶν τῆς ἀνθρώπινης φωνῆς, μέσα ἀπό μιά σειρά ἠλεκτρομαγνητικῆς καί μηχανικῆς μετατροπῆς;

Είναι γνωστό πράγματι ότι ήδη από το 1928 ο Dirac είχε θεωρήσει το κενό όχι σαν το «τίποτα» αλλά σαν ένα μέσον, ένα «ώκεανό» σωματίων με αρνητική ενέργεια. Οι κβαντικές πεδιακές θεωρίες βλέπουν το κενό σαν σύστημα που περιέχει άπειρο αριθμό δυνάμει σωματίων: σαν ένα είδος «δεξαμενής», απ' όπου προκύπτουν τα κβαντικά σωματάρια. Και φυσικά το μέσον αυτό αλληλεπιδρά με τα σωματάρια<sup>9</sup>.

Το κενό δεν θεωρείται σήμερα σαν η «παρουσία» του Τίποτα: Σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, ακόμα και στο απόλυτο μηδέν υπάρχει κάποια μορφή κίνησης, στην οποία αντιστοιχεί η ενέργεια «μηδενικού σημείου» (zero point energy). Πραγματικά, κατά τις ανισότητες του Heisenberg, η ενέργεια των κβαντικών συστημάτων έχει ένα κατώτατο θετικό όριο. Ακόμα και όταν σε μία περιοχή του χώρου δεν υπάρχουν φωτόνια, η ενέργεια δε μηδενίζεται. (Η ύπαρξη της ενέργειας μηδενικού σημείου έχει διαπιστωθεί πειραματικά).

Οι κβαντικές θεωρίες έθεσαν από διάφορες απόψεις το πρόβλημα της μικροδομής του χώρου και του χρόνου, και ειδικά το πρόβλημα συνέχειας - ασυνέχειας.

Για την κλασική φυσική ο χώρος και ο χρόνος είναι συνεχής μεγέθη. Η άποψη αυτή εναρμονίζεται με την άποδοχή ότι οι ενεργειακές ανταλλαγές ανάμεσα στα φυσικά συστήματα είναι συνεχείς, και με το γεγονός ότι η κίνηση περιγράφεται σαν συνεχής μετατόπιση σ' ένα χώρο ομογενή και ισότροπο. Εξάλλου ο μαθηματικός φορμαλισμός της κλασικής φυσικής δεν αντιφάσκει με την παραδοχή της συνέχειας: ο άπειροστικός λογισμός και η τοπολογία της ευθείας των πραγματικών αριθμών προϋποθέτουν τη συνέχεια.

Αλλά το πρόβλημα της ασυνέχειας του χώρου είχε ήδη τεθεί από το Δημόκριτο. Το 1908 ο Mach έθεσε ξανά το πρόβλημα, με νέα δεδομένα<sup>10</sup>. Με την ανακάλυψη των στοιχειωδών σωματίων, πολλοί φυσικοί έθεσαν το ερώτημα μήπως ο χώρος και ο χρόνος έχουν ασυνεχή δομή στην

9. Η μετατροπή, λ.χ., ενός φωτονίου σε ποζιτρόνιο και ηλεκτρόνιο απαιτεί τη συμμετοχή τῶ κενού. Το 1947 εξάλλου οι Lamb και Retherford παρατήρησαν μία ελαφρά μετατόπιση ορισμένων ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. Τα δεδομένα αυτά φανέρωναν ότι ο φορμαλισμός του Dirac δεν εξέφραζε με απόλυτη ακρίβεια την ύψη του φάσματος του υδρογόνου. Η κβαντική ηλεκτροδυναμική έρμήνευσε αυτό το φαινόμενο, με την αλληλεπίδραση του ατόμου με το κενό (υπάρχουν και άλλοι παράγοντες εκτός απ' αυτή την αλληλεπίδραση). Μία ορισμένη αύξηση της μαγνητικής ροπής του ηλεκτρονίου, έρμηνεύτηκε με την πόλωση του κενού. Το κενό, γενικότερα, πολώνεται στην περιοχή των στοιχειωδών σωματίων. Ο χώρος συνεπώς μετέχει στις φυσικές διαδικασίες και η μικροδομή του τροποποιείται από την παρουσία της ύλης.

10. E. Mach, Knowledge and Error, Reidel, 1976.



κβαντική κλίμακα (Ivanenco και Ambartsoumian, 1930 Pauli, 1933. Heisenberg, 1938. De Broglie, 1943, Snyders, 1947, κ.λπ.)<sup>11</sup>.

Ἡ βασική ἰδέα στίς ποικίλες αὐτές ἀντιμετωπίσεις βρίσκεται στήν ἀποδοχή ἑνός στοιχειώδους μήκους  $l_0$ , τῆς τάξεως τῶν  $10^{-13}$  cm, καί ἑνός στοιχειώδους κβάντου χρόνου  $t_0$ . (χρονόνιου), τῆς τάξεως τῶν  $10^{-23}$  sec. Ἡ ἐπιλογή αὐτῶν τῶν μεγεθῶν δέν ἦταν φυσικά τυχαία: Τά  $10^{-13}$  cm ἀντιστοιχοῦν στή «διάμετρο» τῶν στοιχειωδῶν σωματίων. Τά  $10^{-23}$  sec εἶναι ἀντίστοιχα ὁ χρόνος πού χρειάζεται ἡ ἠλεκτρομαγνητική ἀλληλεπίδραση γιά νά διανύσει τό στοιχειῶδες μήκος<sup>12</sup>. Ἄς δεχτοῦμε ἕνα στοιχειῶδες μήκος  $l_0$ . Αὐτό σημαίνει ὅτι δεχόμαστε ἕνα στοιχειῶδες κβάντο χώρου, μέ ὄγκο  $V_0=l_0^3$ . Τό στοιχειῶδη ὄγκο θά τοῦ κατέχει ἕνα στοιχειῶδες σωματίο. Ἀλλά τό σωματίο θά πρέπει νά μήν ἔχει δομή: νά εἶναι ἕνα εἶδος συμπαγοῦς καί ἔσχατου δομικοῦ στοιχείου, κατά τήν παλαιά ἀτομιστική ἀντίληψη. Ὡστόσο, πέρα ἀπό τίς φιλοσοφικές ἀντιρρήσεις σέ μιά τέτοια ὑπόθεση, σήμερα γίνεται γενικά δεκτό ὅτι τά στοιχειῶδη σωματία ἔχουν δομή καί ὑπάρχουν πολλά δεδομένα πού θεμελιώνουν αὐτή τήν ὑπόθεση, καί πολλές θεωρητικές ἀπόπειρες νά καθοριστεῖ καί νά ἐρμηνευθεῖ αὐτή ἡ δομή. Ἀλλά τότε θά ἔπρεπε νά διαιρέσουμε τό ἀρχικό χωρικό κβάντο σέ ἕναν ἀριθμό ὑπό-κβάντα, πράγμα πού ἀντιφάσκει μέ τήν ἀρχική μας παραδοχή. Καί τέλος, μέ ποιά δεδομένα ἡ ὑποδιαίρεση αὐτή δέ μπορούσε νά θεωρηθεῖ τελική;

Ἀλλά ὑπάρχει καί ἡ ἀκόλουθη ὄψη: Οἱ φυσικές ἀλληλεπιδράσεις διαδίδονται μέ τρόπο συνεχῆ ἀπό τό ἕνα σημεῖο στό ἄλλο καί ἡ ἔνταση τῶν πεδίων μεταβάλλεται ἐπίσης μέ τρόπο συνεχῆ στίς διαχωριστικές ἐπιφάνειες. Πῶς θά ἀλληλεπιδροῦσαν ὁμως τά μικροσωμάτια πού θά κατεῖχαν διαφορετικά χωρικά κβάντα; Θά ἔπρεπε νά δεχτοῦμε ὅτι οἱ ἀλληλεπιδράσεις θά ἦταν ἀδύνατες, ἢ ὅτι θά ἔπρεπε νά διαδίδονται μέ ἀπειρη ταχύτητα. Ἀλλά αὐτό ἀντιφάσκει μέ τήν ἀρχή τῆς σχετικότητας. Ἡ ἀλληλεπίδραση καί ὁ ἀμοιβαῖος καθορισμός θά ἦταν συνεπῶς ἀδιανόητα σέ ἕνα χῶρο μέ τυπικές ἀσυνέχειες.

Εἶναι γεγονός ὅτι μιά σειρά μεγέθη τῆς κβαντικῆς φυσικῆς ἔχουν ἀσυνεχεῖς τιμές: φορτίο, σπίν, φάσμα μάζας, δυαδικότητα, στροφορμή,

11. Γιά μιά ἱστορική ἐπισκόπηση ἀλλά καί ἀνάλυση τοῦ προβλήματος βλ. F. Casagrande, Scientia, 1976, σελ. 417.

12. Ἐχουμε πράγματι:  $t_0 = \frac{l_0}{c} = \frac{1,5 \cdot 10^{-13} \text{ cm}}{3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}} = 0,5 \cdot 10^{-23} \text{ sec}$ . Καί κατά μιά

παράδοξη, ἀλλά ὄχι τυχαία σύμπτωση, τό κβάντο τοῦ χρόνου εἶναι τῆς ἴδιας τάξης μεγέθους μέ τό χαρακτηριστικό χρόνο τῶν ἰσχυρῶν ἀλληλεπιδράσεων.

ένεργεια αλληλεπίδρασης, κλπ. Τά ασυνεχή αυτά μεγέθη εμφανίζονται σε μιά κλίμακα της τάξεως των  $10^{-13}$  cm. Ωστόσο, ακόμα και αν δέν δεχτεί κανείς τήν υπόθεση της ασυνέχειας, είναι εύλογο νά υποθέσει ότι ή περιοχή πού κατέχει ένα μικροσωμάτιο, έχει κάποιες ιδιότητες πού αντιστοιχοῦν στά κβαντισμένα μεγέθη. Θα μπορούσαμε νά θεωρήσουμε τήν ιδιόμορφη περιοχή του χώρου όταν *υπάρχει κάτι* (singularity), σάν ένα στοιχειώδη χωρο μέ ειδικές ιδιότητες. Αλλά ο στοιχειώδης αυτός χωρος δέν θά ήταν αποκομμένος από τό περιβάλλον του μέ κάποια τυπική ασυνέχεια (άλλωστε τά μικροσωμάτια είναι πάντα «ντυμένα» μέ φυσικά πεδία). Θα αποτελούσε συνεπώς μιά σύνθεση συνέχειας καί ασυνέχειας, πού θά υπερέβαινε τήν τυπική ασυνέχεια καί τήν άπλοϊκή αντίληψη του επίπεδου, άμορφου χώρου. Μιά τέτοια άποψη συμφωνεί άλλωστε μέ τις πεδιακές θεωρίες, πού δέν αντιμετωπίζουν τά μικροσωμάτια σάν «κοκκώδη», κατά τήν παλαιά δημοκρίτια αντίληψη.

Ο χαρακτηριστικός χρόνος των φυσικών αλληλεπιδράσεων<sup>13</sup> υποβάλλει μέ τή σειρά του τήν ιδέα για κάποιο κβάντο χρόνου. Τά κβαντικά φαινόμενα (διεγέρσεις, αποδιεργήσεις, μετασχηματισμοί, διασπάσεις, κλπ.) παρουσιάζουν γενικά ασυνεχείς χαρακτηριστικούς χρόνους. Αλλά τά φαινόμενα αυτά είναι φυσικές διαδικασίες. Η άποδοχή ενός τυπικού κβάντου για τό χρόνο θά απομόνωνε τά κβαντικά φαινόμενα από τό γενικό γίνεσθαι καί θά τά παρουσίαζε σά σειρά από καταστάσεις άκινήσιας: τό σωμάτιο παραμένει άμετάβλητο καί ύστερα, στιγμιαία, περνά σε μιά νέα κατάσταση.

Ένα θεμελιακό φαινόμενο πού αντιμετωπίζεται μ' αυτό τόν έξωπραγματικό τρόπο από τή δεσπόζουσα έρμηνεία της κβαντικής μηχανικής, είναι ο ποιοτικός μετασχηματισμός των κβαντικών συστημάτων, πού στή γλώσσα αυτής της έρμηνείας ονομάζεται «άναγωγή της κυματοδέσμης». Ο σχηματισμός μιās ιδιοκατάστασης Ψι από μιά άρχική κατάσταση Ψ είναι μιά μή γραμμική, ποιοτική μεταβολή του συστήματος, πού υπό καθορισμένες συνθήκες πραγματώνει εξίσου καθορισμένες δυναμικότητες. Κατά τήν επίσημη έρμηνεία, ή «άναγωγή» γίνεται άκαριαία, σε μηδενικό χρόνο. Αλλά κατά τήν ίδια έρμηνεία ή «άναγωγή» είναι ουσιαστικά άδύνατη (χρειάζεται τήν παρέμβαση κάποιας «συνείδησης») καί κατά μιά άλλη άποψη άπαιτεί άπειρο χρόνο για τήν πραγματοποίησή της<sup>14</sup>.

13. Ο χρόνος αυτός είναι  $10^{-9}$  sec για τις άσθενείς,  $10^{-17}$  για τις ήλεκτρομαγνητικές καί  $10^{-23}$  για τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.

14. Βλ. π.χ. J. S. Bell, CERN Preprint, TH - 1923 (1079) καί Hel. Phys. Acta 48, 93 (1975).

Οί αντιφάσεις αυτές αίρονται, κατ' αρχή, αν δοῦμε τό φαινόμενο σαν ποιοτική, μή γραμμική μετατροπή, πού δέν περιγράφεται από τόν τωρινό γραμμικό φορμαλισμό. Μπορούμε τότε νά τό θεωρήσουμε σά διαδικασία πού πραγματώνεται σέ χρόνο πεπερασμένο καί χαρακτηριστικό γιά τήν κάθε περίπτωση. Θα είχαμε τότε τό δικαίωμα νά μιλάμε γιά χρονικό κβάντο μέ τήν προηγούμενη έννοια: σαν ένότητα συνέχειας καί ασυνέχειας.

‘ Η εξέλιξη καί ή αλλαγή γίνονται στό χρόνο. Θα μπορούσαμε γενικά νά όρίσουμε σά στοιχειώδη χρόνο, τό χρόνο κατά τόν όποιο γίνεται κάτι (μιά ποιοτική αλλαγή, ένας μετασχηματισμός, ή καταστροφή μιᾶ μορφῆς καί ή δημιουργία ἄλλης ἢ ἄλλων μορφῶν). ‘ Αλλά τότε θα είχαμε διάφορους στοιχειώδεις χρόνους, πού θα αντιστοιχοῦσαν στήν ποικιλία τῶν φυσικῶν διαδικασιῶν. Οί χρόνοι αὐτοί θα αποτελοῦσαν ιδιόμορφα χρονικά διαστήματα μέσα στό γενικό γίνεσθαι, ὅπου ή συνέχεια καί ή ασυνέχεια θα αντιτίθενται διαλεκτικά καί ὄχι τυπικά. Συνολικά οί κβαντικές καί οί πεδιακές θεωρίες δέν έννοοῦν μιᾶ τυπική ασυνεχῆ αντίληψη γιά τό χρόνο.

Στήν κλασική μηχανική ὁ χρόνος εἶναι παράμετρος καί προϋποθέτει τή συνέχεια καί τήν αίτιοκρατική συσχέτιση τῶν γεγονότων. Στήν κβαντική μηχανική ὁ χρόνος εἶναι πάλι παράμετρος, στήν όποία δέν αντιστοιχεῖ κάποιος τελεστής, αντίθετα μέ ὅτι συμβαίνει μέ τίς μεταβλητές - τά παρατηρήσιμα (observables). Παρά ταῦτα οί σχέσεις ἀπροσδιοριστίας ἐπεκτείνονται καί βεβαιώνονται καί στίς σχέσεις χρόνου - ἐνέργειας. Γιά τά κβαντικά συστήματα ισχύει ή ἀνισότητα:  $\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim h$ , ὅπου  $\Delta E$  εἶναι τό εὔρος (ή στατιστική διασπορά) τῆς ἐνέργειας καί  $\Delta t$  ὁ χαρακτηριστικός χρόνος τοῦ συστήματος. Φυσικά καί οί ἀνισότητες αυτές δέν θεμελιώνουν κάποια ασυνέχεια τοῦ χρόνου. Τόσο ή διασπορά τῆς ἐνέργειας, ὅσο καί ή διασπορά τοῦ χρόνου, εἶναι στατιστικά μεγέθη πού χαρακτηρίζουν ἕνα σύνολο κβαντικῶν συστημάτων καί μποροῦν νά ἐρμηνευθοῦν μέ βάση τίς στοχαστικές ἀλληλεπιδράσεις τοῦ συστήματος μέ τό περιβάλλον.<sup>15</sup>

‘ Η παρακολούθηση, τέλος, τῆς κίνησης στήν κβαντική φυσική θέτει νέα προβλήματα, τόσο στό πειραματικό, ὅσο καί στό έννοιολογικό επίπεδο. \* Αν λ.χ. θέλουμε νά παρακολουθήσουμε μέ ἀκρίβεια τήν τροχιά ενός μικροσωματίου, πρέπει νά τή διαιρέσουμε σέ μιᾶ σειρά ἀπό ὄλο καί

15. Γιά μιᾶ στατιστική ἐρμηνεία τῶν ἀνισοτήτων τοῦ heisenberg, βλ. Ε. Μπιτσάκη, *Τά έννοιολογικά θεμέλια τῆς Κβαντικῆς Μηχανικῆς*, Δωδώνη, 1980 (ὑπό ἐκτύπωση).

πιό μικρά διαστήματα,  $[x_i, x_{i+1}]$ . \* Αν τὰ διαστήματα αὐτὰ γίνονται ὄλο καί πιό μικρά, θά ἔχουμε ὀριακά:

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

\* Ἡ ταχύτητα ἐμφανίζεται ἐδῶ σάν ὁ λόγος δύο ἀπειροστώδων. \* Ἀλλά τό ὄριο (καί ἡ παράγωγος) προϋποθέτουν τή συνέχεια, τόσο τοῦ χώρου (μετάβαση ἀπό σημεῖο σέ σημεῖο) ὅσο καί τοῦ χρόνου (χρονικά διαστήματα αὐθαίρετα μικρά, πού τείνουν στό μηδέν). \* Ἡ στιγμιαία ταχύτητα προϋποθέτει ὅτι τό κινητό τείνει στό σημεῖο X καί ὅτι τήν ἴδια στιγμή τείνει νά τό ὑπερβεί.

\* Ἀλλά τό ὄριο αὐτό δέν εἶναι δυνατό νά προσδιοριστεῖ στό κβαντικό ἐπίπεδο ἐξαιτίας τῆς ἰσχύος τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Heisenberg, κατά τίς ὁποῖες, ὅταν ἡ ἀπροσδιοριστία τῆς θέσης τείνει στό μηδέν, ἡ ἀπροσδιοριστία τῆς ὀρμῆς τείνει στό ἄπειρο. Βέβαια δέν εἶναι ὑποχρεωτικό νά δεχτοῦμε τήν ἐπίσημη ἄποψη, κατά τήν ὁποία τό ὄριο αὐτό δέν εἶναι πεπερασμένο. Μποροῦμε νά ὑποθέσουμε ὅτι ἔχει πάντα κάποια πεπερασμένη τιμή, ἔστω καί ἂν πειραματικά δέ μποροῦμε νά τήν ὀρίσουμε. \* Ἀλλά καί στήν περίπτωση πού θά ἀπορρίψουμε τήν «ἀρχή» τῆς ἀνυπαρξίας τῶν μή παρατηρήσιμων μεγεθῶν, καί πάλι βρισκόμαστε μπροστά σέ δυσκολίες πού ἀφοροῦν τή συνέχεια στήν κβαντομηχανική κίνηση. Καθώς γράφει ὁ D. Bohm, οἱ συνεχεῖς συναρτήσεις δέν ἐπαρκοῦν γιά τήν περιγραφή τῆς κίνησης στήν περιοχὴ αὐτή. \* Ἡ χρήση ἄλλωστε τῶν γενικευμένων συναρτήσεων (κατανομῶν), ἐκφράζει τόν ἐντοπισμό καί μέ τήν ἔννοια πού ὀρίσαμε παραπάνω, τή συνέχεια - ἀσυνέχεια τῶν κβαντικῶν ὄντοτήτων.

\* Ἡ κλασική, ὅπως καί ἡ νεώτερη φυσική, δέχεται τήν ὀμοιογένεια τοῦ χρόνου. Μέ τήν ὀμοιογένεια τοῦ χρόνου συνδέεται ἡ ἀρχή τῆς διατήρησης τῆς ἐνέργειας. \* Ἡ διατήρηση τῆς ὀρμῆς συνδέεται μέ τήν ὀμοιογένεια τοῦ χώρου, καί ἡ διατήρηση τῆς στροφορμῆς μέ τήν ἰσοτροπία τοῦ χώρου. Στή θεωρία τῆς σχετικότητας ἡ διατήρηση τῆς ὀρμῆς καί ἡ διατήρηση τῆς ἐνέργειας ἐκφράζονται μέ ἓνα καί μοναδικό νόμο: τό νόμο διατήρησης τοῦ τετραδιανύσματος ὀρμῆς - ἐνέργειας, τοῦ ὁποῖου οἱ τρεῖς χωρικές συνιστώσες ἀντιστοιχοῦν στήν ὀρμή καί ἡ χρονική συνιστώσα στήν ἐνέργεια. Οἱ νόμοι αὐτοί ἔχουν ἀπόλυτο χαρακτήρα καί ἰσχύουν τόσο γιά τὰ κλασικά, ὅσο καί γιά τὰ κβαντικά συστήματα.

Κατά τήν κλασική ἄποψη, ὁ χῶρος εἶναι συμμετρικός σέ σχέση μέ τήν ἀναστροφή (π.χ. μέ τή βοήθεια ἐνός καθρέφτη). \* Ἡ φυσική τῶν μικροσωματίων ἔθεσε σέ δοκιμασία αὐτή τήν παραδοχή. \* Ἡ δυαδικότητα (parity) ἐνός κβαντικοῦ συστήματος σχετίζεται μέ τό

συμμετρικό ή 'άντισυμμετρικό χαρακτήρα του καταστατικού του διανύσματος. 'Η διατήρηση τής δυαδικότητας δέν παραβιάζοταν από κανένα φυσικό μετασχηματισμό και ύπῆρχε ή έντύπωση ότι έπρόκειτο για απόλυτο νόμο. 'Αποδείχτηκε όμως ότι ή διατήρηση τής δυαδικότητας παραβιάζεται από -τίς άσθενείς άλληλεπιδράσεις. 'Η άλληλεπίδραση αυτή δέν είναι λοιπόν συμμετρική ως προς τήν άντιστροφή του χώρου (ή «φύση» μπορεί σ' αυτά τά φαινόμενα νά «διακρίνει» ανάμεσα στό άριστερά και δεξιά). Διατυπώθηκε ή υπόθεση ότι ένας συνδυασμός άναστροφής στό χώρο και περάσματος από τό σωματίο στό άντισωματίο θά μπορούσε νά έχει απόλυτο χαρακτήρα (διατήρηση τής συνδυασμένης δυαδικότητας - PC). Αυτό θά σήμαινε ότι ή άναστροφή του χώρου και τής ήλεκτρικής δομής του σωματίου θά άφηνε άμετάβλητο τό σύστημα. 'Αποδείχτηκε ότι ούτε και αυτός ό νόμος είναι απόλυτος. "Ένας πιο σύνθετος συνδυασμός, είναι ό συνδυασμός άναστροφής στό χώρο, πέραςμα από τό σωματίο στό άντισωματίο, και άντιστροφή του χρόνου (PCT). Μέχρι σήμερα τά πειράματα δέν έδειξαν καμία παραβίαση αυτής τής πιο σύνθετης συμμετρίας. Τό έξαιρετικά ένδιαφέρον αυτό πρόβλημα συνδέεται μέ τό χαρακτήρα του χώρου και του χρόνου, των φυσικών άλληλεπιδράσεων και τής έσωτερικής δομής των κβαντικών σωματίων.

Μέ τό πρόβλημα τής διαμόρφωσης και τής συνέχειας του χώρου σχετίζεται μέ τήν έννοια του φυσικού συστήματος. 'Η μικροδομή των κβαντικών συστημάτων σχετίζεται άσφαλώς μέ άγνωστες χωροχρονικές σχέσεις στό έσωτερικό τους. Ποιά είναι ώστόσο ή δομή των μικροσωματίων; Και πώς μορφώνεται ό χώρος στό έσωτερικό τους; Και πώς ρέει ό χρόνος πού περιγράφει τίς έσωτερικές διαδικασίες τους; Και τί διαδραματίζεται σέ μιά άντίστροφη κλίμακα - στήν κλίμακα των αστρικών σχηματισμών και των γαλαξιών - εκεί όπου ή ύλη βρίσκεται σέ άφάνταστα ύψηλές πυκνότητες, ό χώρος άντίστοιχα καμπυλώνεται έντονα, και ή ροή του χρόνου τροποποιείται σύμφωνα μέ τή θεωρία τής σχετικότητας;

#### 6.5. 'Από τό μικρόκοσμο στό Ζήνωνα τόν 'Ελεάτη

Τά προβλήματα αυτά μάς έπαναφέρουν στις πρώτες έκδηλώσεις του φιλοσοφικού λόγου: στήν έλληνική άρχαιότητα. Τήν έποχή εκείνη τέθηκαν τά προβλήματα του συνεχούς και τής κίνησης - μέ τόν τρόπο πού μπορούσαν τότε νά τεθοῦν - και οι λύσεις πού προτάθηκαν δέν μάς είναι σήμερα άδιάφορες. Θα περιοριστούμε έδω στα παράδοξα του Ζήνωνα, πού σχετίζονται άμεσα μέ τό θέμα μας.

"Ας θυμηθοῦμε τρία από τά παράδοξα του σοφου τής 'Ελέας, πού

θεωρούνται σάν προσπάθεια νά ἀποδειχτεῖ ὅτι ἡ κίνηση εἶναι ἀδύνατη.

1. Γιά νά διανύσουμε ἓνα διάστημα AB, πρέπει νά διανύσουμε πρῶτα τό

$\frac{1}{2}$  τοῦ AB. Ἄλλά γιά νά γίνει αὐτό, πρέπει πρῶτα νά διανύσουμε τό

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \dots$ , ξανά τό  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ , κ.ο.κ, ὡς τό ἄπειρο. Συμπέρασμα:

ἡ κίνηση δέν ἔχει ἀρχή. Ἀντίθετα, γιά νά φτάσουμε ἀπό τό A στό B,

πρέπει πρῶτα νά διανύσουμε τό  $\frac{1}{2}$ , σέ συνέχεια τό μισό τοῦ ὑπόλοι-

που καί ξανά τό μισό τοῦ νέου ὑπόλοιπου, κ.ο.κ., ὡς τό ἄπειρο. Ἄρα: ἡ κίνηση δέν ἔχει τέλος (δέν θά φτάσουμε ποτέ στό B).

2. Ὁ Ἀχιλλέας δέ μπορεῖ νά φτάσει τή χελώνα. Γιατί ὡσπου νά φτάσει στό σημεῖο ἀπ' ὅπου αὐτή ξεκίνησε, ἡ χελώνα θά ἔχει διανύσει ἓνα νέο διάστημα. Ὡσπου νά φτάσει ὁ Ἀχιλλέας στό νέο σημεῖο, αὐτή θά ἔχει διανύσει ἓνα ἀκόμα πιά μικρό διάστημα, κ.ο.κ., ὡς τό ἄπειρο. Ὁ Ἀχιλλέας θά πλησιάζει λοιπόν ὄλο καί πιά πολύ τή χελώνα, χωρίς ποτέ νά τή φτάνει.

3. Τό βέλος δέν φτάνει στό στόχο: ἄν κινεῖται, δέν κατέχει κάποιον χῶρο, ἀφοῦ κινεῖται. Ἄν πάλι βρίσκεται κάπου, τότε δέν κινεῖται, ἀφοῦ κατέχει κάποιον χῶρο. Ἄρα, τό κινούμενο βέλος εἶναι ἀκίνητο.

Ἄνάμεσα στά δύο πρῶτα παράδοξα καί τό τρίτο, ὑπάρχει προφανῶς μιά οὐσιαστική διαφορά: τά δύο πρῶτα ὀδηγοῦν στήν ἔννοια τοῦ ἀπειροστοῦ καί τοῦ ὀρίου, δηλαδή σέ ἔννοιες δυναμικές, πού μᾶς διευκολύνουν νά κατανοήσουμε τό φαινόμενο τῆς κίνησης. Τό τρίτο, ἀντίθετα, θεωρεῖ τήν κίνηση σά διαδοχική σειρά καταστάσεων ἀκινήσιας. Ὁ Ζήνων, θεωρώντας πεπερασμένα χωρικά καί χρονικά διαστήματα, καθιστᾷ πράγματι ἀδιανόητη τήν κίνηση, καί ἀκριβῶς αὐτό τονίζει καί ὁ Ἀριστοτέλης στήν ἀναίρεσή του.

Στά νεώτερα χρόνια ὁ Hegel ἐπεχείρησε νά ἀναιρέσει τό παράδοξο τοῦ βέλους: τό κινητό εἶναι καί δέν εἶναι σέ μιά θέση σέ μιά δοσμένη στιγμή, εἶναι σέ μιά θέση καί ταυτόχρονα σέ ἄλλη. Ἀνάλογες ἀπόψεις διατύπωσε ἀργότερα ὁ Ἐνγκελς καί σέ συνέχεια ὁ Λένιν. Ὁ τελευταῖος μάλιστα ἀνέλυσε καί τήν ὑποκειμενική ἀντίληψη τῆς κίνησης πού διαιρεῖ, ἀκινητοποιεῖ, διακόπτει τή συνέχεια τῆς κίνησης. Ὡστόσο τό ἐπιχείρημα: εἶναι καί δέν εἶναι σέ μιά θέση, εἶναι κάπου καί ταυτόχρονα κάπου ἄλλοῦ, παρά τή διαλεκτική του χροιά, παραμένει ἀόριστο. Ἄλλά τά δύο πρῶτα παράδοξα μᾶς ὑποδεικνύουν ἴσως τό δρόμο γιά τήν ἀναίρεση καί τοῦ τρίτου.

Ἡ κίνηση δέν εἶναι διαδοχική σειρά καταστάσεων ἀκινήσιας. Σέ μιά δοσμένη στιγμή τό κινητό βρίσκεται σέ κάποιον σημεῖο τοῦ χώρου, ἀλλά τόσο ἡ στιγμή, ὅσο καί τό σημεῖο, πρέπει νά νοηθοῦν δυναμικά. Ἔτσι ὀδηγοῦμαστε στήν ἔννοια τοῦ ὀρίου, καί στήν ἔννοια τῆς συνέχειας τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου, πού εἶναι προϋπόθεση γιά τήν ἔννοια τοῦ ὀρίου.

Κατά τόν 'Αριστοτέλη, τόσο ὁ χώρος, ὅσο καί ὁ χρόνος, εἶναι (δυνάμει) ἄπειρα διαιρετοί. Ἡ παροῦσα στιγμή (τό νῦν) εἶναι συνέχεια χρόνου: «Συνέχει γάρ τόν χρόνον τόν παρελθόντα καί ἐσόμενον καί πέρας χρόνου ἐστίν· ἐστί γάρ τοῦ μέν ἀρχή τοῦ δέ τελευτή». Τό κινητό εἶναι λοιπόν στό σημεῖο  $x$  κατά τή χρονική στιγμή  $t$ , μέ τήν ἔννοια ὅτι κατά τή στιγμή  $t_0$ - βρίσκεται στό σημεῖο  $x_0$ - καί τείνει νά φτάσει στό σημεῖο  $x_0$ + στό χρόνο  $t_0$ +. Ἐδῶ δηλαδή ἐπεμβαίνει ἡ ἔννοια τῆς συνέχειας, τοῦ ἀπειροστοῦ καί τοῦ ὄριου, πού εἶναι ἔννοιες δυναμικές, ἐνῶ στό τρίτο παράδοξο ὁ Ζήνων παίρνει πεπερασμένα διαστήματα καί διάκριτες χρονικές στιγμές, πού κάνουν πραγματικά ἀδιανόητη τήν κίνηση.

Ὁ χώρος εἶναι συνεχής, ἄρα ἄπειρα διαιρετός. Ὁ χρόνος εἶναι συνεχής, ἄρα ἄπειρα διαιρετός. Ἡ ταχύτητα εἶναι ὄριο ὅπου ὁ λόγος δύο ἀπειροστοῶν δίδει ἕνα πεπερασμένο μέγεθος. Τό βέλος ἀντίστοιχα θά φτάσει στό στόχο του διανύοντας τό διάστημα  $AB$ , σά συνέπεια τῆς ὀλοκλήρωσης ἑνός ἀπειρου ἀριθμοῦ ἀπειροστοῶν διαστημάτων, πού διανύονται σέ ἀπειροστους χρόνους. Γιά τόν ἴδιο λόγο ὁ Ἀχιλλέας θά φτάσει τή χελώνα. Ἐπίσης ἡ κίνηση ἔχει ἀρχή καί τό πεπερασμένο διάστημα  $AB$  διανύεται σέ πεπερασμένο χρόνο. (Ἐνα ἄπειρο πλῆθος διανυσμάτων ἀμελητέου μέτρου μπορεῖ νά ἔχει μέτρο πεπερασμένο)<sup>16</sup>.

Τά παράδοξα τοῦ Ζήωνα μάς θέτουν μπροστά στά μεγάλα προβλήματα τῆς συνέχειας, τοῦ ἀπειροστοῦ καί τοῦ ἀπείρου, πού θά διεγείρουν πάντοτε τόν ἐπιστημονικό καί τό φιλοσοφικό στοχασμό.<sup>17</sup>

## 6.6. Τό βέλος τοῦ χρόνου

Συχνά χρησιμοποιεῖται ἡ ἔκφραση, βέλος τοῦ χρόνου, γιά νά ἀπεικονισθεῖ ἡ μονοσήμαντη κατεύθυνση τῆς ροῆς τοῦ χρόνου στό σύμπαν τῆς σχετικότητας. Ἀλλά τό βέλος τοῦ χρόνου δέν ἔχει νόημα, παρά μόνο σέ σχέση μέ τή μή ἀντίστρεψιμότητα.

Ἡ ἔννοια τοῦ χρόνου εἶναι ἀναπόσπαστη ἀπό τήν ἔννοια τῆς κίνησης: ὁ χρόνος μετρίεται μέ τήν κίνηση, καί ἡ διάρκεια μιᾶς διαδικασίας δέν εἶναι παρά ὁ χρόνος ὁ ἀναγκαῖος γιά τήν πραγματοποιήσῃ της. Ἡ κοσμική ἐξέλιξη, τά γεωλογικά φαινόμενα, τά

16. Μιά ἐνδιαφέρουσα ἀνάλυση τῶν παραδόξεων σέ σχέση μέ τή συνέχεια τοῦ χώρου θά βρεῖ κανεῖς στό: E. Marquit, *Dialectics of Continuous and Discrete Spaces*, Univ. of Minnesota, Preprint, 1977.

17. Εἶναι προφανές ὅτι ἂν οἱ προηγούμενες σκέψεις ἔχουν κάποια ἀξία, αὐτή ἀφορᾷ τό μή κβαντικό ἐπίπεδο τῆς κίνησης. Στήν κβαντομηχανική παρουσιάζονται, ὅπως σημειώσαμε, εἰδικά προβλήματα.