

Χώρος, χρόνος και κίνηση: Το πρόβλημα της ασυνέχειας

Στο προηγούμενο τεύχος (75) της *Ουτοπίας* δημοσιεύθηκε ένα πολύ ενδιαφέρον άρθρο του Θόδωρου Κουτσομπού με τίτλο: *Αναζητώντας τα χρονοάτομα (Η διαμάχη για το συνεχές και το ασυνεχές)*. Στο άρθρο αυτό ο Θ.Κ. κάνει μια τεκμηριωμένη κριτική παρουσίαση των σχετικών αντιλήψεων, αρχίζοντας από τους Έλληνες ατομικούς φιλοσόφους και προχωρώντας στους Άραβες, στους Εβραίους και τους Μεσαιωνικούς. Στη συνέχεια, διερευνά το πρόβλημα με βάση νεώτερα επιστημονικά δεδομένα και επιχειρήματα. Για τη φιλοσοφική θεμελίωση της άποψής του, αναφέρεται και στις απόψεις του Χέγκελ, του Ένγκελς και του Λένιν.

Το πρόβλημα της συνέχειας ή μη του χώρου και του χρόνου δεν έχει λυθεί. Αποτελεί αντικείμενο διχογνωμιών, τόσο μεταξύ των Φιλοσόφων, όσο και μεταξύ των φυσικών και των κοσμολόγων. Ένας διάλογος σχετικά μ' αυτό το θέμα είναι, συνεπώς, ενδιαφέρων και χρήσιμος. Η παρέμβασή μου αποτελείται από δύο μέρη: Πρώτα συζητώ τις σχετικές απόψεις των κλασικών διαλεκτικών. Στη συνέχεια συζητώ ορισμένα σχετικά δεδομένα, κυρίως από το χώρο της μικροφυσικής.

1. Τυπική και διαλεκτική λογική

Είναι γνωστή η αντίθεση της διαλεκτικής του Ηράκλειτου και της τυπικής λογικής των Ελεατών. Για τον πρώτο ισχύει το *Είναι και δεν Είναι*. Για το δεύτερο, το *Είναι ή δεν Είναι*. Ο Αριστοτέλης, δημιουργός της τυπικής λογικής, ξεπέρασε το άκαμπτο σχήμα της, εισάγοντας το χρόνο, την κίνηση, τη διαλεκτική του *Δυνάμει* και του *Ενεργεία*. Αλλά ας περάσουμε απ' ευθείας στους νεώτερους.

Είναι και δεν Είναι: παραλογισμός από την άποψη της τυπικής λογικής. Ποιο είναι, όμως, το συγκεκριμένο αντίκρουσμα αυτής της φιλοσοφικής θέσης στην

Ο Ευτύχης Μπιτσάκης είναι ομότιμος καθηγητής Φιλοσοφίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και άμισθος επίκ. καθηγητής Θεωρητικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

υπαρκτή πραγματικότητα; Είναι και δεν Είναι. Αλλά το τραπέζι πάνω στο οποίο γράφω αυτή την παρέμβαση, Είναι. Είναι παρόν και αυτούσιο τούτη, την παρούσα στιγμή. Αν, όμως, εισαγάγω τον χρόνο στη συλλογιστική μου, τότε το τραπέζι είναι και δεν είναι διότι, συνεχώς, έστω και αργά, μεταβάλλεται: φθείρεται και κάποτε θα καταστραφεί ολοκληρωτικά.

Αλλά το Είναι και δεν Είναι, δεν αφορά μόνο την αρνητικότητα – τη φθορά. Αφορά ταυτόχρονα τη γένεση και τη φθορά, το γίνεσθαι των πραγμάτων. «Αυτό που αρχίζει δεν είναι ακόμα. Τείνει να υπάρξει». Πρόκειται για μια φράση του ιδεαλιστή Χέγκελ. Ανάμεσα στο μη εισέτι υπάρχον και σ' αυτό που θα υπάρξει υπεισέρχεται ο χρόνος και η διαλεκτική σχέση του δυνάμει και του ενεργεία.

Είναι και δεν Είναι, αφηρημένα, είναι παραλογισμός. Συγκεκριμένα, είναι μια κύρια όψη της διαλεκτικής κοσμοαντίληψης. Αυτή η χρονική σχέση ανάμεσα στο Είναι και στο δεν Είναι, ανάμεσα στο μη εισέτι υπάρχον και στην πραγματικότητα, έχει αποκτήσει πλούσιο, συγκεκριμένο περιεχόμενο και στις φυσικές επιστήμες. Τη διαλεκτική αυτή την ανάλυσαν και ο Ένγκελς και ο Λένιν. Οι νόμοι διατήρησης της σημερινής φυσικής ουσιαστικοποιούν μια τοπική διαλεκτική ανάμεσα στη διατήρηση και στη μεταβολή (κάθε διατήρηση αναδικνύεται μέσω της μεταβολής και κάθε μεταβολή προϋποθέτει κάποια διατήρηση).

Ο χρόνος συνδέθηκε, από την απαρχή της φιλοσοφίας, με την κίνηση. Η κίνηση, π.χ., κατά τον Αριστοτέλη, είναι ενδογενής ιδιότητα της ύλης και η αιωνιότητα της κίνησης θεμελιώνει την αιωνιότητα του χρόνου, αποκλείοντας κάποια αρχή (όπως π.χ. δέχεται η καθολική εκκλησία και οι σημερινοί οπαδοί της λεγόμενης Μεγάλης Έκρηξης). Ο Αριστοτέλης δίνει έναν αυθεντικά διαλεκτικό ορισμό της συνέχειας του χρόνου: Η παρούσα στιγμή είναι τελευταία του παρελθόντος και αρχή του μέλλοντος χρόνου. Εισάγει διαισθητικά την έννοια της συνέχειας, του απειροστού και του ορίου, πολύ πριν από τη μαθηματική τους διατύπωση. Και η θέση αυτή είναι συμβατή με το τετραδιάστατο χωροχρονικό συνεχές της ειδικής σχετικότητας, κατά την οποίαν οι φυσικές διεργασίες πραγματοποιούνται ακολουθώντας το βέλος του χρόνου, το οποίο έχει μια και μοναδική κατεύθυνση από το παρελθόν προς το μέλλον. Η παρούσα στιγμή συμπίπτει με την κοινή κορυφή των δυο κώνων (του κώνου του παρελθόντος και τον κώνο του μέλλοντος). Οι κλασικές πεδιακές θεωρίες της Φυσικής προϋποθέτουν τη συνέχεια του χρόνου και τον τοπικό και αιτιοκρατικό χαρακτήρα των φαινομένων. Το πρόβλημα της ασυνέχειας το οποίο εξετάζει ο Θ.Κ. τέθηκε με βάση τις ιδιομορφίες της μικροφυσικής.

Μια άλλη πλευρά μιας «αφηρημένης διαλεκτικής» την οποία συζητά ο Θ.Κ. αφορά τη θέση ότι ένα πράγμα βρίσκεται στη θέση Α και όχι στη Β. Σύμφωνα με τον Λένιν, τον οποίο παραθέτει ο Θ.Κ.: αναφερόμενος στην κίνηση, ο Λένιν γράφει σχολιάζοντας την άποψη του Χέγκελ: «Κάτι κινείται, όχι επειδή βρίσκεται εδώ σε μια ορισμένη στιγμή και πιο πέρα σε μια άλλη χρονική στιγμή, αλλά επει-

δή την ίδια χρονική στιγμή βρίσκεται εδώ και όχι εδώ». Και ο Ένγκελς: «Η κίνηση καθαυτή αποτελεί μια αντίφαση [...]. Ένα σώμα σε μια και την αυτή χρονική στιγμή βρίσκεται σε μια θέση και ταυτόχρονα σε μια άλλη θέση, βρίσκεται αλλά και δεν βρίσκεται στην ίδια θέση». Κατά τον Λένιν και τον Ένγκελς, η λύση της αντίφασης συνιστά την κίνηση.

Εδώ και όχι Εδώ. Και η θέση αυτή αποτελεί παραλογισμό από την άποψη της τυπικής λογικής. Αποτελεί, επίσης, παραλογισμό και από την άποψη της διαλεκτικής αν το εδώ και το όχι εδώ χωρίζονται από ένα πεπερασμένο χωρικό διάστημα· αν τα σημεία Α και Β απέχουν μεταξύ τους κατά μία πεπερασμένη απόσταση. Ας εισαγάγουμε, όμως, στη συλλογιστική μας την έννοια της κίνησης και την έννοια του απειροστού.

Είναι στο Α και ταυτόχρονα στο Β, αν το διάστημα ΑΒ είναι πεπερασμένο, αποτελεί παραλογισμό. (Ένας σύγχρονος επιστημονικοφανής παραλογισμός είναι η άποψη ότι εκτός από το τοπικό σώμα μας, διαθέτουμε και ένα αστρικό σώμα, που εκτείνεται στο σύμπαν. Είμαστε, λοιπόν, και δεν είμαστε εδώ: είμαστε πανταχού παρόντες και μπορούμε να δούμε το παρελθόν και να προβλέψουμε το μέλλον). Ας θεωρήσουμε εντούτοις ένα κινητό πάνω (έστω) σε μια ευθεία γραμμή. Το κινητό μας κατά την στιγμή t_0 τείνει να είναι στο σημείο Α και ταυτόχρονα τείνει να το ξεπεράσει. Συνέχεια της κίνησης, εισαγωγή του χρόνου και του απειροστού. Το κινητό μας τείνει στο Α και ταυτόχρονα τείνει να το υπερβεί. Ένα παράδειγμα: Ένα ηλεκτρόνιο κινείται πάνω σε μια ευθεία γραμμή. Σύμφωνα με τη θεωρία των γενικευμένων συναρτήσεων (distributions), η τιμή της συνάρτησης που περιγράφει την κίνηση του ηλεκτρονίου κατά τη στιγμή t_0 , είναι παντού μηδενική και λαμβάνει άπειρη τιμή κατά τη στιγμή που το ηλεκτρόνιο τείνει στο σημείο x_0 . Κατά την κλασική θεωρία των συναρτήσεων, το ολοκλήρωμα μιας συνάρτησης που είναι παντού μηδενική εκτός από ένα σημείο, είναι μηδέν. Κατά τη θεωρία των γενικευμένων συναρτήσεων, το ολοκλήρωμα είναι ίσο με τη μονάδα (το ηλεκτρόνιο υπάρχει κάπου – πλησιάζει κατά ένα απειροστό διάστημα στο χημείο x_0 και ταυτόχρονα τείνει να το υπερβεί). Άλλος ένας γρίφος της διαλεκτικής, εκτός από τα παράδοξα του Ζήνωνα.

Συνεπώς, το Είναι και δεν Είναι πρέπει να συσχετιστεί με την κίνηση, το χρόνο και το όριο, για να αποκτήσει συγκεκριμένο διαλεκτικό περιεχόμενο.

Όσα σημείωσα έως εδώ αποτελούν επιχειρήματα υπέρ της συνέχειας του χώρου και του χρόνου και της εσωτερικής τους συσχέτισης. Όπως σημειώθηκε ήδη, το πρόβλημα της ασυνέχειας τέθηκε στο πεδίο της μικροφυσικής. Στη συνέχεια θα συμπληρώσουμε αυτή την πλευρά του προβλήματος.

2. Η μικροδομή του χώρου και του χρόνου*

Θεωρήσαμε το χώρο και το χρόνο συνεχείς. Τι συμβαίνει, όμως, σε διαστάσεις της τάξεως των 10^{-13} cm (δηλαδή της διαμέτρου των μικροσωματίων) και σε χρονικά διαστήματα της τάξεως των 10^{-23} δευτερόλεπτα, που είναι ο χαρακτηριστικός χρόνος των ισχυρών αλληλεπιδράσεων; Ποια θα μπορούσε να είναι η μορφή του χώρου σ' αυτή την κλίμακα; Και πώς ρέει ο χρόνος κατά τη διάρκεια αυτών των φαινομένων;

Η ανάπτυξη των κλασικών πεδιακών θεωριών (του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και κυρίως της θεωρίας της βαρύτητας του Αϊνστάιν), απέδειξε το αβάσιμο του παλαιού διϋισμού ανάμεσα στο κενό και στην ύλη. Ο χώρος συνδέθηκε ενδογενώς με την κατανομή της ύλης και η ύπαρξη του κενού έγινε προβληματική. Κατά συνέπεια, η αντίληψη των Αριστοτέλη-Καρτέσιου-Φαρανταίου-Αϊνστάιν, εκτόπισε την μεταφυσική αντίληψη του Νεύτωνα (και του Δημόκριτου).

Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι το πρόβλημα της συνέχειας είχε τεθεί από τον Ρήμαν. Στη συνέχεια, ο Αϊνστάιν έθετε το ερώτημα (1921) αν η γεωμετρία του Ρήμαν θα ίσχυε στο υπομοριακό επίπεδο. Είναι, επίσης, γνωστό ότι το 1928 ο Ντιράκ είχε θεωρήσει το κενό όχι ως το «μη όν», αλλά ως ένα μέσον, έναν «ωκεανό» σωματίων με αρνητική ενέργεια. Οι χβαντικές θεωρίες αντιμετωπίζουν το κενό σαν ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει έναν απεριόριστο αριθμό δυνάμει σωματίων: σαν ένα είδος «*éserenoir*», απ' όπου αναδύονται τα σωματίδια.

Το μέσον αυτό, εξάλλου, αλληλεπιδρά με τα σωματίδια. Έτσι, η μετατροπή ενός φωτονίου σε ένα ηλεκτρόνιο και σε ένα ποζιτρόνιο, απαιτεί τη συμμετοχή του κενού. Επίσης, το 1947 η Lamb και Retherford παρατήρησαν μια ελαφρά μετατόπιση των ενεργειακών επιπέδων του ατόμου του υδρογόνου. Τα δεδομένα αυτά υποδήλωναν ότι ο φορμαλισμός του Ντιράκ δεν εξέφραζε με απόλυτα ορθό τρόπο την φύση του φάσματος του υδρογόνου. Η χβαντική ηλεκτροδυναμική ερμήνευσε αυτό το φαινόμενο ως οφειλόμενο στην αλληλεπίδραση του ατόμου με το κενό (παρεμβαίνουν και άλλοι παράγοντες εκτός απ' αυτή την αλληλεπίδραση). Μια ορισμένη αύξηση της μαγνητικής ροπής του ηλεκτρονίου ερμηνεύθηκε με βάση την πόλωση του κενού. Το κενό, γενικότερα, πολώνεται στη γειτονία των στοιχειωδών σωματίων και προπαντός των βαρέων πυρήνων. Ο χώρος, συνεπώς, μετέχει σε διαδικασίες και η παρουσία της ύλης τροποποιεί τη δομή του.

Το κενό δεν θεωρείται πλέον ως το μη Ον. Κατά την χβαντική μηχανική, ακόμα και στο απόλυτο μηδέν υπάρχει κάποια μορφή κίνησης, στην οποίαν αντιστοιχεί η ενέργεια του σημείου μηδέν (zero point energy). Και στις περιοχές όπου δεν

* Το κείμενο που ακολουθεί αποτελεί απόσπασμα από το 7ο κεφάλαιο του βιβλίου μου *Physique et Matérialisme*, Ed. Sociales, Paris, 1983, σσ. 247-253. Το βιβλίο δεν έχει μεταφραστεί στα ελληνικά.

υπάρχουν φωτόνια, η ενέργεια δεν μηδενίζεται. Τα υλικά πεδία πληρούν τον χώρο, όπως το είχε προβλέψει ο Φαραντάι. Επί πλέον, ο χώρος, σύμφωνα με την γενική θεωρία της σχετικότητας, δεν έχει νόημα χωρίς τα υλικά πεδία. Επίσης, μπορούμε να τον θεωρήσουμε ως ενδογενώς συνδεδεμένο με ένα υλικό μέσον απ' όπου αναδύονται τα σωματίια και όπου «ξαναπέφτουν» κατά τη διάρκεια των μετασχηματισμών, οι οποίες χαρακτηρίζουν τις μορφές της ύλης¹.

Οι προηγούμενες ιδέες παρουσιάζουν το κενό σαν μια οντότητα, η οποία μετέχει ενεργά στις διαδικασίες του μικρόκοσμου και το γεγονός αυτό μας θυμίζει τις ιδέες του Αριστοτέλη, ο οποίος απέρριπτε το κενό, επειδή δεν ενέχει καμιά διαφορά. Μας θυμίζουν, επίσης, ένα σχόλιο του Λένιν, αναφορικά με την εγγλεινή αντίληψη του κενού: «Το *Εν* – είναι η αρχαία αρχή του ατόμου (και του κενού). Το κενό θεωρείται ως πηγή της κίνησης (185), όχι μόνο με την έννοια ότι ο χώρος δεν είναι κατειλημμένος, αλλά ότι περιέχει επίσης «την βαθύτερη ιδέα ότι γενικά στο αρνητικό βρίσκεται το θεμέλιο του γίνεσθαι, της κίνησης, της αυτοκίνησης»². Το «αρνητικό» εδώ είναι το «μέσον» των δυνάμει σωματίων, τα οποία αλληλεπιδρούν με τα σωματίια του μικροφυσικού επιπέδου (τα λεγόμενα πραγματικά) και το οποίο έτσι γίνεται η αιτία του γίνεσθαι, της ενδογενούς κίνησης.

Η φυσική δέχεται σήμερα ότι το κενό δεν είναι το μη Ον. Ότι ο χώρος δεν έχει νόημα χωρίς την ύλη. Η εξερεύνηση ενός βαθύτερου επιπέδου οργάνωσης της ύλης θα μπορούσε να φωτίσει τις ιδιότητες αυτού του μέσου, το οποίο θεωρείτο παλαιότερα ως η άρνηση του υλικού. Αυτό θα ήταν μια ακόμα επιβεβαίωση της διαλεκτικής αντίληψης του κόσμου.

Συνεπώς, το πρόβλημα της μικροδομής του χώρου και του χρόνου δεν είναι δυνατόν να ερευνηθεί ανεξάρτητα από τις θεωρίες της δομής της ύλης και ειδικά ανεξάρτητα από τις κβαντικές θεωρίες.

Εδώ συνεπώς τίθεται εκ νέου το ερώτημα: Ο χώρος και ο χρόνος είναι ασυνεχείς;

Κατά την κλασική φυσική, ο χώρος και ο χρόνος είναι συνεχή μεγέθη. Η άποψη αυτή είναι σύμφωνη με την αντίληψη κατά την οποία οι ενεργειακές ανταλλαγές ανάμεσα στα φυσικά συστήματα είναι συνεχείς, όπως και με το γεγονός ότι η κίνηση περιγράφεται ως συνεχής μετατόπιση σε έναν χώρο ομογενή και ισότροπο. Ο μαθηματικός formalισμός της κλασικής φυσικής, εξάλλου, δεν αντιφάσκει με το αίτημα της συνέχειας: ο απειροστικός λογισμός, καθώς και η τοπολογία της ευθείας των πραγματικών αριθμών, προϋποθέτουν και ουσιαστικοποιούν τη συνέχεια του χώρου.

Το πρόβλημα της ασυνέχειας του χώρου είχε ήδη τεθεί από τον Δημόκριτο. Ο Μαχ είχε θέσει το πρόβλημα το 1908, στη βάση νέων δεδομένων, και θεωρούσε τη συνέχεια φαινομενική. Κατ' αυτόν, ο χώρος και ο χρόνος ήταν, πιθανώς, ασυνεχείς³. Με την ανακάλυψη των στοιχειωδών σωματίων πολλοί φυσικοί έθεσαν στη

συνέχεια το ερώτημα αν ο χώρος και ο χρόνος έχουν ασυνεχή δομή στην κβαντική κλίμακα (Ιβανέκκο και Αμπαρτσουμιάν, 1930, Παολί, 1933, Χάιζεμπεργκ, 1938, Ντε Μπρέιγ, 1943, Snyders, 1947 κ.λπ.)⁴.

Η βασική ιδέα συνίσταται στην αποδοχή ενός στοιχειώδους μήκους, l_0 , της τάξεως των 10^{-13} cm και ενός χρονικού κβάντου, t_0 (χρονόνιον) της τάξεως των 10^{-23} sec. Αυτή η επιλογή δεν ήταν τυχαία: η απόσταση των 10^{-13} cm, αντιστοιχεί στη «διάμετρο» των στοιχειωδών σωματιίων. Τα 10^{-23} sec, είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση να διασχίσει το στοιχειώδες μήκος⁵. Η γνώση των ασθενών αλληλεπιδράσεων υπέβαλε την ιδέα για ένα μήκος της τάξεως των 10^{-17} cm. Τέλος, διατυπώνεται η ιδέα για ένα στοιχειώδες μήκος ίσο με το βαρυτικό μήκος, της τάξεως των 10^{-33} cm.

Ας δεχτούμε ότι υπάρχει ένα στοιχειώδες μήκος l_0 . Αυτό σημαίνει ότι δεχόμαστε ένα στοιχειώδες χωρικό κβάντο, με όγκο $V_0 = l_0^3$. Τον όγκο αυτό θα τον κατείχε ένα στοιχειώδες σωματίο. Αλλά το σωματίο αυτό θα έπρεπε να είναι μια ομογενής οντότητα, χωρίς δομή. Ένα είδος έσχατου και συμπαγούς στοιχείου, σύμφωνα με την παλαιά ατομιστική αντίληψη. Εντούτοις, πέρα από τις φιλοσοφικές αντιρρήσεις εναντίον μιας τέτοιας υπόθεσης, γνωρίζουμε σήμερα ότι τα στοιχειώδη σωματίια έχουν δομή. Αλλά τότε, θα έπρεπε να υποδιαίρεσουμε το αρχικό κβάντο σε έναν αριθμό υποκβάντων, πράγμα αντίθετο με την αρχική μας υπόθεση. Επί πλέον: με ποια κριτήρια μια τέτοια υποδιαίρεση θα ήταν η τελευταία;

Υπάρχει και άλλη μια άποψη του προβλήματος. Οι φυσικές αλληλεπιδράσεις διαδίδονται με συνεχή τρόπο από ένα σημείο σε άλλο, και τα πεδία μεταβάλλονται με συνεχή τρόπο στις επιφάνειες που χωρίζουν τα δύο υλικά μέσα. Τι είδους αλληλεπιδράσεις θα μπορούσαν τότε να έχουν αυτές οι οντότητες, οι έγκλειστες στη στοιχειώδη «κυψελίδα» τους; Εξαιτίας της υποτιθέμενης ασυνέχειας του χώρου, θα έπρεπε να υποθέσουμε την ύπαρξη αλληλεπιδράσεων με άπειρη ταχύτητα, πράγμα αντίθετο με τα δεδομένα της φυσικής. Ακόμα θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι η αλληλεπίδραση θα ήταν αδύνατη ανάμεσα στα διαφορετικά κβάντα του χώρου. Πράγματι, πώς θα μπορούσαμε να φανταστούμε τα δυναμικά και τα πεδία σ' αυτή την περιοχή, όπου τα στοιχειώδη κύτταρα χωρίζονται απολύτως μεταξύ τους;

Τα στοιχειώδη σωματίια είναι διακριτές οντότητες. Επί πλέον, χαρακτηρίζονται από έναν αριθμό διακριτών μεγεθών (μάζα, φορτίο, σπιν, μηχανική και μαγνητική ορμή κ.λπ.). Αλλά τα στοιχειώδη σωματίια είναι ταυτόχρονα δυνατόν να θεωρηθούν κβάντα ενός συνεχούς υλικού πεδίου και συνδέονται μεταξύ τους με αλληλεπιδράσεις που μεταδίδονται με συνεχή τρόπο στο χώρο και στο χρόνο.

Τα ασυνεχή, «κβαντωμένα», μεγέθη εμφανίζονται σε μια κλίμακα της τάξεως των 10^{-13} cm. Αλλά, ακόμα και αν δεν θα δεχόμασταν την υπόθεση της ασυνέχειας, θα ήταν εύλογο να υποθέσουμε ότι η περιοχή η οποία καταλαμβάνεται από ένα στοιχειώδες σωματίο, κατέχει ιδιότητες οι οποίες αντιστοιχούν στα κβαντω-

μένα μεγέθη. Θα μπορούσαμε τότε να θεωρήσουμε την ιδιόμορφη περιοχή του χώρου όπου υπάρχει κάτι, ως ένα στοιχειώδη όγκο ο οποίος έχει ειδικές ιδιότητες. Εν τούτοις, ο στοιχειώδης αυτός όγκος δεν θα χωριζόταν από το περιβάλλον του από κάποια τομή, με την αυστηρά έννοια του όρου. Θα αντιπροσώπευε, συνεπώς, ένα είδος σύνθεσης συνέχειας και ασυνέχειας, η οποία θα υπερέβαινε την τυπική ασυνέχεια, όπως και την απλοϊκή αντίληψη ενός άμορφου χώρου. Μια τέτοια άποψη εξάλλου θα ήταν συμβατή με τις πεδιακές θεωρίες, οι οποίες απορρίπτουν την παλαιά δημοκρίτεια αντίληψη των «κοκκωδών» σωματίων.

Ο χαρακτηριστικός χρόνος των φυσικών αλληλεπιδράσεων, εξάλλου, υποβάλλει την ιδέα για ένα χρονικό κβάντο⁶. Τα κβαντικά φαινόμενα (διεγέρσεις, αποδιεγέρσεις, μετασχηματισμοί, διασπάσεις κ.λπ.) αντιστοιχούν γενικά σε διάκριτους χαρακτηριστικούς χρόνους. Όμως τα φαινόμενα αυτά δεν είναι στιγμιαία. Είναι διαδικασίες. Η αποδοχή ενός τυπικού χρονικού κβάντου θα σήμαινε ότι τεμαχίζουμε το γίνεσθαι των κβαντικών φαινομένων και τα αντιλαμβάνομαστε σαν μια σειρά καταστάσεων ακινησίας: το σωματίο διατηρεί την ταυτότητά του και κατόπιν, σε μια δεδομένη στιγμή, μεταπίπτει στιγμιαία σε μια νέα κατάσταση.

Ο μετασχηματισμός των κβαντικών συστημάτων, που στη γλώσσα της τυπικής ερμηνείας της κβαντικής μηχανικής ονομάζεται «αναγωγή της κυματοδέσμης», είναι ένα θεμελιώδες φαινόμενο, το οποίο η κυρίαρχη ερμηνεία αντιμετωπίζει τυπικά. Αλλά η πραγματοποίηση μιας ιδιοκατάστασης Ψ_i , με αφετηρία μια αρχική κατάσταση Ψ , είναι ένας ποιοτικός, μη γραμμικός μετασχηματισμός, ο οποίος, υπό ορισμένες συνθήκες είναι μια αυστηρά καθορισμένη μετάπτωση από το δυνάμει στο ενεργεία. Κατά την «ορθόδοξη» ερμηνεία, η μετάπτωση αυτή πραγματοποιείται σε μηδενικό χρόνο. Κατά την ίδια ερμηνεία, η «αναγωγή» είναι ουσιαστικά ανέφικτη (απαιτεί την παρέμβαση μιας «συνειδητής»). Τέλος, σύμφωνα με μια άλλη άποψη, η μετάπτωση απαιτεί θεωρητικά άπειρο χρόνο⁷. Το αδιέξοδο της ορθόδοξης ερμηνείας είναι προφανές.

Οι προηγούμενες αντιφάσεις ξεπερνιούνται, κατ' αρχήν, αν θεωρήσουμε αυτά τα φαινόμενα ως διαδικασίες μη γραμμικού, ποιοτικού μετασχηματισμού, οι οποίες δεν περιγράφονται από τον σημερινό γραμμικό φορμαλισμό. Μπορούμε, εντούτοις, να θεωρήσουμε αυτό το φαινόμενο ως διαδικασία που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια ενός πεπερασμένου και χαρακτηριστικού χρόνου. Θα είχαμε τότε το δικαίωμα να μιλάμε για χρονικό κβάντο, σύμφωνα με την προηγούμενη έννοια: ως ενότητα συνέχειας και ασυνέχειας.

Η εξέλιξη και η αλλαγή πραγματοποιούνται μέσα στον χρόνο. Θα μπορούσαμε να ονομάσουμε στοιχειώδη χρόνο το χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου γίνεται κάτι (ένας ποιοτικός μετασχηματισμός, η καταστροφή ή η δημιουργία μιας μορφής κ.λπ.). Θα δεχόμασταν τότε την ύπαρξη διαφορετικών στοιχειωδών χρονικών διαστημάτων, τα οποία θα αντιστοιχούσαν στην πολλαπλότητα

των φυσικών διεργασιών. Τα χρονικά αυτά διαστήματα θα συνιστούσαν ιδιόμορφη διαστήματα στο εσωτερικό του καθολικού γίνεσθαι, χάρις στα οποία η συνέχεια και η ασυνέχεια θα συνδέονταν διαλεκτικά.

Στην κλασική μηχανική, ο χρόνος είναι μια παράμετρος και προϋποθέτει τη συνέχεια και την αιτιακή σύνδεση των φαινομένων. Στην κβαντική μηχανική, ο χρόνος είναι, επίσης, μια παράμετρος στην οποία δεν αντιστοιχεί τελεστής, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει με τα παρατηρήσιμα μεγέθη (observables)⁸. Παρά ταύτα, οι ανισότητες του Χάιζενμπεργκ, ισχύουν για τις σχέσεις χρόνου-ενέργειας. Για τα κβαντικά συστήματα έχουμε: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ (ΔE είναι η στατιστική διασπορά της ενέργειας και Δt η στατιστική διασπορά του χαρακτηριστικού χρόνου του συστήματος). Οι ανισότητες αυτές δεν σημαίνουν ότι ο χρόνος είναι ασυνεχής. Η διασπορά της ενέργειας, όπως και η διασπορά του χρόνου, χαρακτηρίζουν ένα στατιστικό σύνολο κβαντικών σωματίων και μπορούν να εξηγηθούν με βάση τις τυχαίες αλληλεπιδράσεις του συστήματος με το περιβάλλον⁹.

Τέλος, στην κβαντική φυσική η κίνηση θέτει νέα προβλήματα, τόσο στο πειραματικό, όσο και στο εννοιολογικό επίπεδο. Αν θελήσουμε, π.χ., να παρακολουθήσουμε την ακριβή τροχιά ενός σωματίου, είμαστε υποχρεωμένοι να την διαιρέσουμε σε μια σειρά όλο και περισσότερο μικρών διαστημάτων ($x_i, x_i + 1$). Αν τα διαστήματα γίνονται όλο και περισσότερο μικρά, θα έχουμε στο όριο:

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

Η ταχύτητα εμφανίζεται εδώ ως σχέση δύο απειροστών. Αλλά το όριο (και η παράγωγος) προϋποθέτουν την συνέχεια, τόσο του χώρου (μετατόπιση από ένα σημείο σε άλλο απειροστά γειτονικό) όσο και του χρόνου (χρονικά διαστήματα οσοδήποτε μικρά τα οποία τείνουν στο μηδέν). Η στιγμιαία ταχύτητα προϋποθέτει ότι το κινητό τείνει προς στο σημείο x_0 και ότι ταυτόχρονα τείνει να το ξεπεράσει.

Είναι, εντούτοις, αδύνατο να καθορίσουμε αυτό το όριο στο κβαντικό επίπεδο εξαιτίας των ανισοτήτων του Χάιζενμπεργκ, κατά τις οποίες, όταν η απροσδιοριστία της θέσης τείνει στο μηδέν, η απροσδιοριστία της ταχύτητας τείνει στο άπειρο. Παρά ταύτα, δεν είναι υποχρεωτικό να δεχτούμε την ορθόδοξη άποψη, κατά την οποία το όριο αυτό δεν είναι πεπερασμένο. Μπορούμε, αντίθετα, να υποθέσουμε ότι υπάρχει πάντοτε μια πεπερασμένη ταχύτητα, που ο πειραματικός καθορισμός της είναι ανέφικτος. Αλλά, έστω και αν απορρίψουμε την θετικιστική αρχή της ανυπαρξίας των μεγεθών που δεν έχουν μετρηθεί, ακόμα και τότε βρισκόμαστε μπροστά σε δυσκολίες αναφορικά με το κβαντικό επίπεδο. Όπως γράφει ο Ντ. Μπωμ (D. Bohm), οι συνεχείς συναρτήσεις δεν επαρκούν για την περιγραφή της κίνησης στην κβαντική μηχανική. Η χρησιμοποίηση των γενικευμένων συναρτήσεων (distributions) εξάλλου, εκφράζει τον εντοπισμό των κβαντικών σωματίων: το γεγονός ότι τα σωματίδια αυτά συνιστούν ενότητα της συνέχειας και της ασυνέ-

χειας. Είναι, εξάλλου, γνωστό ότι υπάρχουν και άλλες μαθηματικές τεχνικές για τον εντοπισμό των φυσικών μεγεθών σε μια ορισμένη περιοχή του χώρου.

Η κλασική φυσική, όπως και η νεώτερη, δέχονται την ομοιογένεια του χρόνου. Αλλά η ομοιογένεια του χρόνου συνδέεται με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Η διατήρηση της ορμής συνδέεται με την ομοιογένεια του χώρου και η διατήρηση της στροφορμής με την ισοτροπία του χώρου. Στη σχετικότητα, η διατήρηση της ορμής και της ενέργειας εκφράζεται από ένα και μόνο νόμο: το νόμο της διατήρησης του τετραδιανύσματος ορμής-ενέργειας. Οι νόμοι αυτοί είναι απόλυτοι και για τα κλασικά και για τα κβαντικά συστήματα. Ποια είναι όμως η σημασία αυτών των νόμων ως προς τη συνέχεια του χώρου και του χρόνου;

Σύμφωνα με την κλασική φυσική, ο χώρος είναι συμμετρικός ως προς την αναστροφή. Η παραβίαση της διαδυκότητας (parity) από τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις ανέδειξε μια θεμελιώδη ασυμμετρία σε σχέση με αυτή την αλληλεπίδραση: η φύση μπορεί να «διακρίνει» ανάμεσα στο αριστερό και το δεξιό. Αλλά αναστροφή του χώρου και της ηλεκτρικής δομής του σωματίου οδηγεί σε μια πιο σύνθετη συμμετρία η οποία, επίσης, είναι σχετική. Τέλος, ο συνδυασμός της αναστροφής του χώρου, της ηλεκτρικής δομής και του χρόνου, οδηγεί σε ένα απόλυτο νόμο διατήρησης. Ποια είναι η σημασία αυτών των δεδομένων αναφορικά με το πρόβλημα των σχέσεων ανάμεσα στη δομή του χώρου, του χρόνου, τις φυσικές αλληλεπιδράσεις και την εσωτερική δομή των σωματίων;

Το πρόβλημα της μικροδομής του χώρου συνδέεται με το πρόβλημα της εσωτερικής δομής των στοιχειωδών σωματίων. Η δομή των κβαντικών σωματίων είναι βέβαιο ότι συνδέεται με άγνωστες χωροχρονικές σχέσεις στο εσωτερικό τους. Ποια είναι όμως η δομή αυτών των σωματίων και πώς διαμορφώνεται ο χώρος στο εσωτερικό τους; Και πώς ρέει ο χρόνος, ο οποίος μετράει τις εσωτερικές διεργασίες τους;¹⁰ Και τι συμβαίνει στην αντίστροφη κλίμακα, στην κλίμακα των αστρικών σχηματισμών και των γαλαξιών, όπου η πυκνότητα της ύλης είναι τεράστια, όπου ο χώρος, κατά τη θεωρία της σχετικότητας καμπυλώνεται και η ροή του χρόνου τροποποιείται επίσης; Ερωτήματα επιστημονικά, με κεφαλαιώδεις φιλοσοφικό ενδιαφέρον. Και η απάντηση; Αν θα υπάρχει, θα προκύψει από τη δημιουργική σύζευξη της φυσικής με τη φιλοσοφία.

Παραπομπές και Σημειώσεις

1. Υπάρχει μια άφθονη παραγωγή ζευγών ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου, αν η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι τέτοια, ώστε το έργο για μια απόσταση της τάξεως του μήκους κύματος Κόμπτον, είναι της ίδιας τάξεως μεγέθους με την ενέργεια που αντιστοιχεί στην ίδια μάζα των δύο σωματίων, δηλαδή της τάξεως των $3 \cdot 10^{16}$ v/c. Πεδία λιγότερο ισχυρά παράγουν λιγότερο άφθονα ζεύγη ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου. E. Bitsakis, *Physique et Matérialisme*, op. cit., σ. 247.

2. Lénine, *Cahiers Philosophiques*, Ed. Sociales, Paris, 1971, τόμ. 38, σ. 94.
 3. E. Mach, *Knowledge and Error*.
 4. Για μιαν ιστορική επισκόπηση και ανάλυση του προβλήματος, βλ. E. Casagrande, *Scientia*, 1976, σ. 417.
 5. Πράγματι έχουμε: $t_0 = \frac{l_0}{c} = \frac{1,5 \times 10^{-13} \text{ cm}}{3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}} = 0,5 \cdot 10^{-23} \text{ sec}$.
- Σύμφωνα με μια παράξενη, αλλά όχι τυχαία σύμπτωση, το κβάντο του χρόνου είναι ίσο με τον χαρακτηριστικό χρόνο των ισχυρών αλληλεπιδράσεων.
6. Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με 10^{-9} sec για τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις, 10^{-17} sec για τις ηλεκτρομαγνητικές και 10^{-23} για τις ισχυρές.
 7. Βλ. π.χ. J.S. Bell, CERN Preprint, TH-1923 (1097) και *Itelv. Phys. Acta*, 93, 1975, σ. 48.
 8. Παρατηρήσιμα: Κβαντομηχανικά μεγέθη, όπως η θέση, η ορμή, η ενέργεια, η στροφορμή κ.λπ., τα οποία είναι δυνατόν να «παρατηρηθούν», δηλαδή να μετρηθούν, για ένα κβαντομηχανικό σύστημα.
 9. Βλ. E. Bitsakis, *Le problème des déterminisme in Physique*, Thèse d' Etat, Paris, 1976. Ibid., *Τα εννοιολογικά θεμέλια της κβαντικής μηχανικής*, διατριβή για Υψηγασία, Αθήνα, 1979.
 10. Σήμερα ξέρουμε ότι τουλάχιστον τα αδρόνια (πρωτόνιο, νετρόνιο κ.λπ.) είναι σύνθετα. Αποτελούνται από κουάρκς, τα οποία συνδέονται με τα γλυσόνια.