

ταχύτητα τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἔτσι τὰ φαινόμενα γίνονται, καί ἡ σχέση αἰτίας - ἀποτελέσματος παρουσιάζεται φυσική καί κατανοητή. Ὁ χρόνος μέ τή σειρά του παύει νά εἶναι παγκόσμιος. Συνδέεται μέ τὰ γεγονότα καί τήν κίνηση, εἶναι χρόνος τοπικός καί ἀποκτᾶ μονοσήμαντη κατεύθυνση: ἀπό τό παρελθόν πρός τό μέλλον. Στή φυσική εἰσέρχεται λοιπόν ἡ ἔννοια τοῦ γίνεσθαι. Στό ἐπίπεδο τῶν κλασικῶν πεδιακῶν θεωριῶν τό γίνεσθαι θεωρεῖται συνεχές. Ἀντίστοιχα ἡ μαθηματική ἔκφραση τῶν νέων σχέσεων (γεωμετρικές πολλαπλότητες, κυματικές ἐξισώσεις, τανυστές), προϋποθέτουν καί βεβαιώνουν τή συνέχεια.

Γιά τοὺς θετικιστές, ἡ συνέχεια τῆς φύσης εἶναι ἡ συνέχεια τῶν συμβάντων. Ἀλλά τὰ συμβάντα στίς φιλοσοφίες αὐτές εἶναι κενά ἀπό περιεχόμενο. Ἡ συνέχεια πού μελετᾶμε, ἀντίστροφα, σχετίζεται μέ ριζικές ἀνατροπές στή φυσική κοσμοεικόνα. Ἡ ἐκπομπή καί ἡ ἀπορρόφηση ἠλεκτρομαγνητικῆς ἢ βαρυτικῆς ἀκτινοβολίας προϋποθέτει σχέσεις γενετικές, καί συγκεκριμένες δομές καί ποιότητες τῶν φυσικῶν συστημάτων. Ἡ ἔννοια τοῦ πεδίου ἐπικαλύπτει ἀκόμα τόν ἀσυνεχῆ χαρακτήρα αὐτῶν τῶν φαινομένων, καί ἡ γλώσσα καί οἱ τεχνικές ἐφαρμογές τῆς κυματικῆς ὀπτικῆς ὑπῆρξαν ἰσχυρά ἐπιχειρήματα ὑπέρ τῆς συνέχειας. Ὡστόσο οἱ νέες θεωρίες, ἀνοίγοντας ἕνα παράθυρο πρός τό μικρόκοσμο, προετοίμασαν τή μεγάλη ἐπιστημονική ἀνατροπή πού θά εἰσήγαγε τήν ἀσυνέχεια.

Οἱ ρελατιβιστικές θεωρίες ἀποκάλυψαν ἀπό τήν ἄλλη πλευρά τό δυναμικό χαρακτήρα τοῦ μήκους καί τοῦ χρόνου, τή σχέση ἀνάμεσα στή μάζα καί τήν ἐνέργεια, τή διαμόρφωση τῆς τετραδιάστατης χωροχρονικῆς πολλαπλότητας ἀπό τήν κατανομή τῆς ὕλης, ὀδήγησαν δηλαδή σέ μιά εὐπλαστη καί αἰτιοκρατημένη ἀντίληψη γιά τό σύμπαν. Τό μέρος καί τό ὅλον συνδέονται ἐδῶ μέ τρόπο συνεχῆ. Ὡστόσο ἡ ἀσυνέχεια βρισκόταν ἤδη -στό κατώφλι τῆς φυσικῆς.

7.4. Ἡ κβαντική φυσική: συνέχεια ἢ ἀσυνέχεια;

Ἡ συνέχεια τῆς κλασικῆς ἐπικαλύπτει τήν ἀσυνέχεια τῶν μικροσκοπικῶν συστατικῶν τῆς ὕλης. Ἡ κβαντική φυσική, ἀντίστροφα, θεωρήθηκε ἡ φυσική τοῦ ἀσυνεχοῦς. Θά δοῦμε ὅτι κι ' ἐδῶ οἱ τυπικές ἀντιθέσεις εἶναι ἀνεπαρκεῖς, προκειμένου νά ἐκφράσουν τήν ἀντιφατικότητα τῶν φυσικῶν μεγεθῶν.

Ἡ κβαντική μηχανική δέν ἦταν βέβαια ἡ πρώτη φυσική θεωρία τοῦ ἀσυνεχοῦς. Ἡ κινητική θεωρία τῶν ἀερίων, ἡ στατιστική μηχανική, ἡ κλασική θερμοδυναμική, θεωροῦν στατιστικά σύνολα καί χρησιμοποιοῦν τό λογισμό τῶν πιθανοτήτων. Ἀλλά οἱ θεωρίες αὐτές δέχονται τό

ἀξίωμα γιά τή συνέχεια τῶν ἐνεργειακῶν ἀνταλλαγῶν. Αὐτό πού διαφοροποιεῖ τήν κβαντική φυσική ἀπό τίς προκβαντικές στατιστικές θεωρίες, εἶναι ἡ εἰσαγωγή τῆς ἀρχῆς γιά τήν ἀσυνέχεια τῶν ἐνεργειακῶν ἀνταλλαγῶν.

Εἶναι γνωστή ἡ τολμηρή ὑπόθεση τοῦ Planck (1900), ἡ ὑπόθεση τοῦ Einstein γιά τά φωτόνια (1905), ἡ εἰσαγωγή τῶν κβαντικῶν κανόνων ἀπό τόν Bohr (1913) πού ἐξήγησαν τά ἀτομικά φάσματα μέ τήν ἀποδοχή διάκριτων στάσιμων καταστάσεων,¹¹ καί τέλος ἡ «ἐξήγηση» τῆς σταθερότητας τῶν ἠλεκτρονικῶν τροχιῶν μέ τήν ὑπόθεση τοῦ de Broglie γιά τά κύματα ὕλης (1923)¹² καί μέ τή συνακόλουθη δυνατότητα γιά δημιουργία καταστάσεων συντονισμοῦ (resonance) στίς ἠλεκτρονικές τροχιές.¹³

Τό χαρακτηριστικό τῆς νέας μηχανικῆς εἶναι ἡ εἰσαγωγή τῆς σταθερᾶς τοῦ Planck, δηλαδή τῆς ἀσυνέχειας τῶν ἐνεργειακῶν ἀνταλλαγῶν. Ἀλλά οἱ ἀσυνεχεῖς τιμές τῆς ἐνέργειας τῶν στάσιμων καταστάσεων, δέν εἶναι ἡ μοναδική ἐκδήλωση ἀσυνέχειας. Ὁ ἴδιος ὁ χαρακτήρας τῶν φυσικῶν μεγεθῶν μεταμορφώνεται: στά κλασικά συνεχῆ μεγέθη ἀντιστοιχοῦν τώρα οἱ τελεστές, πού χαρακτηρίζονται γενικά ἀπό τήν παρουσία τοῦ κβάντου δράσης καί εἶναι ἡ τυπική-μαθηματική ἔκφραση τῆς ἀσυνέχειας τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ὁ λογισμός τῶν μητρῶν γίνεται βασικό λογιστικό ὄργανο τῆς νέας φυσικῆς, καί ὁ λογισμός αὐτός προϋποθέτει τήν ἀσυνέχεια. Ἀντί γιά δυναμικούς νόμους ἔχουμε τώρα νόμους πιθανοκρατικούς. Τέλος, ἀντί γιά συνεχεῖς συναρτήσεις, ἡ κβαντική μηχανική χρησιμοποιεῖ μιά νέα οἰκογένεια συναρτήσεων, τίς κατανομές (distributions), πού εἶναι συναρτησιακά πάνω στό διανυσματικό χῶρο τῶν συναρτήσεων μέ πεπερασμένο φορέα. Οἱ νέες αὐτές συναρτήσεις ἐκφράζουν συνεπῶς τό χωρικό ἐντοπισμό τῶν κβαντικῶν ὄντοτήτων, ἄρα τήν ἀσυνέχεια τῆς ὕλης σ' αὐτό τό ἐπίπεδο.

Ἡ εἰδοποιός διαφορά τῆς κλασικῆς ἀπό τήν κβαντική φυσική, εἶναι λοιπόν ἡ εἰσαγωγή τῆς ἀσυνέχειας τῶν φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἡ

11. Τό ἄτομο ἀκτινοβολεῖ όταν ἓνα ἠλεκτρόνιο περνᾷ ἀπό μιά ἀνώτερη σέ μιά κατώτερη τροχιά, ἀποδίδοντας ἐνέργεια $h\nu = E_p - E_q$.

12. Κατά τήν ὑπόθεση αὐτή σέ κάθε σωματίο μέ ὄρμη p , ἀντιστοιχεῖ ἓνα μήκος κύματος $\lambda = \frac{h}{p}$ ὅπου h ἡ σταθερά τοῦ Planck.

13. Τέτοιες καταστάσεις συντονισμοῦ, ἄρα στασιμότητας, δημιουργοῦνται όταν τό μήκος τῆς τροχιᾶς εἶναι ἀκέραιο πολλαπλάσιο τοῦ «μήκους κύματος» τοῦ ἠλεκτρονίου.

νέα μηχανική είναι κβαντική. Ωστόσο πολλοί τήν αποκαλούν ακόμα κυματομηχανική. Γιατί; Έπειδή μέσα στις ιδιόμορφες συνθήκες όπου διαμορφώθηκε και έπρεπε να κατανοηθεί, ή κυματική γλώσσα επικάλυψε - ως ένα βαθμό - τή νέα, κβαντική πραγματικότητα. Οί όροι: κυματική εξίσωση, κυματοσυνάρτηση, κύμα, κυματοδέσμη, κυματοσυρμός, κύμα πιθανότητας, κύματα ύλης, κλπ., είναι καρπός μιᾶς μεταφορᾶς έννοιων από τή φυσική τοῦ συνεχοῦς στή νέα φυσική, καί συνιστοῦν ένα επιστημολογικό εμπόδιο στήν κατανόηση τῶν φυσικῶν της θεμελίων.

Οί αἰτίες αὐτῆς τῆς επικάλυψης είναι πολλές. Θα ἀναφερθοῦμε ἐδῶ στις πύ βασικές καί ένδογενεῖς, ἀφίνοντας κατά μέρος τίς ιδεολογικές - φιλοσοφικές.

Ἀπό τή γένεσή της ή κβαντομηχανική σημαδεύτηκε ἀπό τή δυαδικότητα σωματίου - κύματος, ἄρα ἀπό τίς κυματικές έννοιες τῆς συχνότητας καί τοῦ μήκους κύματος. Είναι γεγονός ὅτι ὁ de Broglie προσπάθησε συστηματικά, καί σύμφωνα μέ τίς ρελατιβιστικές ἀντιλήψεις του, νά δώσει φυσικό περιεχόμενο σ' αὐτή τή δυαδικότητα, νά ένσωματώσει τό σωματίο στό κύμα, νά τό δεῖ σά σταθερή ιδιομορφία μέσα σ' ένα κύμα ἐκτεταμένο, νά τοῦ προσδώσει ἐσωτερική κίνηση καί δομή.¹⁴ Ωστόσο στήν κβαντική μηχανική ἐπεκράτησε τελικά ή κυματική γλώσσα. Οί αἰτίες είναι πολλές.

Ἡ ὑπόθεση τοῦ σωματίου κύματος «ἐξήγησε» τή σταθερότητα τῶν τροχιῶν τοῦ Bohr. Τά πειράματα Davisson-Germer «ἐπιβεβαίωσαν» τήν ὕπαρξη τοῦ σωματίου κύματος, ἀποκαλύπτοντας τήν ὕπαρξη φαινομένων περίθλασης καί συμβολῆς, ἀκριβῶς ὁμοίων μέ τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας καί σέ πλήρη συμφωνία μέ τίς θεωρητικές προβλέψεις. Οί λύσεις τῆς εξίσωσης τοῦ Schrödinger προβλέπουν τήν ὕπαρξη κυμάτων (στήν πραγματικότητα ἐλεύθερων σωματίων) τά ὅποια διαδίδονται στό χῶρο, ὅπως καί «στάσιμων κυμάτων» γύρω ἀπό τόν ἀτομικό πυρήνα. Ωστόσο ένα «ἐπίπεδο κύμα» δέν ἔχει φυσική ὑπόσταση. Γιά νά έντοπισθεῖ τό σωματίο στό χῶρο χρησιμοποιήθηκε ή έννοια τῆς κυματοδέσμης, πού προκύπτει ἀπό τήν ἐπαλληλία ενός τεράστιου ἀριθμοῦ κυμάτων μέ πολύ κοντινή συχνότητα, καί πού έντοπίζεται στό χῶρο.¹⁵

14. Βλ. σχετικά: 1) Louis de Broglie, *Physicien et Penseur*, Ed. Albin Michel, Paris 1952 (συλλογή ἄρθρων). 2) L. de Broglie, *La Physique Quantique Restera-t elle Indeterministe?* Gauthier - Villars, Paris 1953. 3) Τοῦ ἴδιου: *Introd. à la nouvelle Théorie des Particules*, Gauthier - Villars, Paris 1961. 4) Τοῦ ἴδιου: *Nouvelles Perspectives en Mikrocophysique*, Albin Michel, Paris 1958. Τοῦ ἴδιου: *Recherches d' un demi-siècle*, Albin Michel 1976.

15. Τά «κύματα» συμβάλλουν καταστροφικά σ' ὀλόκληρο τό χῶρο, ἐκτός ἀπό μιᾶ

Ἡ φυσική βρέθηκε μ' αὐτό τόν τρόπο μπροστά σ' ἓνα δύσκολο πρόβλημα: Ὁφείλε νά συνδιάσει τό σωματίο, πού εἶναι ἐντοπισμένο στό χῶρο καί εἶναι φορέας μετρήσιμων φυσικῶν μεγεθῶν, μέ τό επίπεδο μονοχρωματικό κῦμα, πού ἔχοντας τό ἴδιο εὖρος σ' ὁποιοδήποτε σημεῖο τοῦ χῶρου, δέν ἐπιτρέπει τόν ἐντοπισμό τοῦ σωματίου. Μ' ἓνα τέτοιο κῦμα εἶναι ἐπίσης ἀδύνατη ἡ μετάδοση ἑνός σήματος, γιατί ἡ ἠλεκτρομαγνητική διαταραχή πρέπει νά εἶναι ἐντοπισμένη. Μέ τήν ἐπαλληλία κυμάτων πολύ γειτονικῆς συχνότητας, ἐπιτυγχάνεται ὁ ἐντοπισμός τοῦ «σήματος»: ἡ διαταραχή ἀποκτᾶ ἓνα μέγιστο, πού διαδίδεται μέ τήν «ταχύτητα ὁμάδας» στό χῶρο. Ἀλλά τό κέρδος αὐτῆς τῆς μαθηματικῆς τεχνικῆς εἶναι συζητήσιμο: ἐκτός ἀπό τή χρησιμοποίηση μιᾶς προκβαντικῆς γλώσσας καί ἑνός προκβαντικοῦ φορμαλισμοῦ (ἀνάλυση Fourier), εἴμαστε ἀναγκασμένοι νά ἐξομοιώνουμε ἓνα ὄν μέ καθορισμένη μᾶζα, φορτίο, σπίν, κλπ., μέ τό μή παρατηρήσιμο πλάσμα τῆς κυματοδέσμης.

Ἔστω ὅτι θέλουμε τώρα νά προβλέψουμε τήν παρουσία τοῦ σωματίου σ' ἓνα στοιχεῖο ὄγκου ΔV . Ἡ «κυματοσυνάρτηση» μᾶς δίνει μόνο τήν πιθανότητα ἐντοπισμοῦ.¹⁶ Ἄν πάλι θέλουμε νά μετρήσουμε τήν τιμή ἑνός παρατηρήσιμου μεγέθους πού χαρακτηρίζει τό σύστημα, ἡ μέτρηση δέν δίνει συνήθως ἓνα καί μοναδικό ἀποτέλεσμα, ἀλλά μιά σειρά τιμές πού ἐξαρτιόνται ἀπό τό σύστημα, τό ὄργανο τῆς μέτρησης καί τίς συνθήκες. Οἱ *ιδιοτιμές* αὐτές ἀκολουθοῦν ἐπίσης ἓνα πιθανοκρατικό νόμο¹⁷. Ἄν τέλος προκαλέσουμε σκέδαση τῶν σωματίων ἀπό ἓνα κρύσταλλο, ἡ κατανομή τοῦ σκεδαζόμενου ρεύματος σωματίων ἔχει μιά συμμετρική κατανομή στό χῶρο, πού ἀντιστοιχεῖ σέ ἀνάλογα κυματικά φαινόμενα.

Οἱ προηγούμενες εἶναι μερικές ἀπό τίς κυματικές ἐκδηλώσεις τῆς νέας πραγματικότητας. Τό φυσικό λοιπόν ἐρώτημα πού προκύπτει εἶναι τό ἀκόλουθο: τά κβαντικά συστήματα εἶναι σωματία, εἶναι κύματα, ἢ εἶναι σύνθεση τῶν δύο ἀντίθετων ὄψεων τῆς πραγματικότητας;

Ἀπό κείνη τήν ἐποχή (1923) ὁ Duane εἶχε ἐρμηνεύσει ὀρισμένα ἀπό

μικρή περιοχή, ἐκεῖ ὅπου βρίσκεται τό σωματίο. Ἡ ἰδιόμορφη αὐτή περιοχή, προχωρεῖ στό χῶρο μέ τήν «ταχύτητα ὁμάδας», πού εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ κλασικοῦ σωματίου.

16. Ἡ πιθανότητα dP εἶναι ἴση μέ τό τετράγωνο τῆς κυματοσυνάρτησης, πολλαπλασιασμένο ἐπί τό στοιχεῖο ὄγκου ΔV : $dP = |\Psi|^2 \Delta V$. (Ἡ $|\Psi|^2$ εἶναι συνεπῶς μιά πυκνότης πιθανότητας).

17. Ἡ πιθανότητα νά λάβουμε κατά τή μέτρηση τήν ἰδιοκατάσταση Ψ_i εἶναι: $P_i = |c_i|^2 = |\langle \Psi, \Psi_i \rangle|^2$ ὅπου Ψ_i εἶναι ἡ ἰδιοκατάσταση πού ἀντιστοιχεῖ στήν ἰδιοτιμή λ_i .

τά κυματικά φαινόμενα, σά στατιστικές κατανομές σωματίων¹⁸. 'Ωστόσο οί έργασίες του δέν είχαν συνέχεια καί ή άπάντηση πού επικράτησε ήταν μιά άπάντηση διαφορούμενη, γνωστή μέ τό όνομα, *άρχή τής συμπληρωματικότητας* (Bohr). Κατά τήν άρχή αύτή, στή μικροφυσική χρησιμοποιούμε άμοιβαία άποκλειόμενα όργανα μέτρησης, πού μάς δίδουν συμπληρωματικές καί άμοιβαία άποκλειόμενες όψεις τής πραγματικότητας (π.χ. σωματιακές ή κυματικές, θέσης ή όρμή, κλπ.). Δέν έχει λοιπόν νόημα νά ρωτᾶμε αν πρόκειται γιά σωματία ή γιά κύματα, γιά ταυτόχρονη ύπαρξη θέσης καί όρμής, κλπ. 'Οφείλουμε νά άρκεστούμε στίς δύο συμπληρωματικές εικόνες, ή έκδηλώσεις.

'Η προηγούμενη άρχή δέν άπαντᾶ στό έρώτημα πού θέσαμε. Είναι μιά άπάντηση άγνωστικιστική, καί επιβάλλει ένα όριο στή γνώση τών κβαντικῶν όντοτήτων: τό τελικό όριο είναι οί δύο άμοιβαία άποκλειόμενες όψεις τής πραγματικότητας. 'Ωστόσο μέ άφετηρία αύτή τήν άρχή, δόθηκαν διάφορες, περισσότερο σαφείς άπαντήσεις. 'Ο ίδιος ό Bohr θεωροῦσε τά φαινόμενα συμβολής, άσυμβίβαστα μέ μιά σωματιδιακή φύση τοῦ ήλεκτρονίου. 'Άλλοι διατύπωσαν άπόψεις άγνωστικιστικές: δέν ξέρουμε ποιά είναι ή πραγματική φύση τών σωματίων, τό έρώτημα δέν έχει νόημα, κλπ. 'Ο Heisenberg ήταν έναντίον τής δυαδικότητας καί ανήγαγε τό όλο πρόβλημα, σέ πρόβλημα γλώσσας. Τέλος ό V. Fock θεωροῦσε ότι τό σωματίο - κύμα έχει φυσική ύπόσταση καί άποτελεῖ διαλεκτική σύνθεση αντίθετων ιδιοτήτων τής ύλης.¹⁹ 'Ωστόσο ή άρχή πού επικράτησε στήν έρμηνεία τής Σχολής τής Κοπεγχάγης, ήταν ή *άρχή τής άνυπαρξίας τών μή παρατηρήσιμων μεγεθῶν* (Heisenberg). Σύμφωνα μ' αύτή τήν άρχή - πού είναι μεταφορά τοῦ θετικιστικοῦ αξιώματος στή φυσική - *ένα μέγεθος μή παρατηρήσιμο δέν υπάρχει*. "Ένα σωματίο λοιπόν είναι ή σωματίο ή κύμα, έχει θέση ή έχει όρμή, μιά περιγραφή είναι ή χωροχρονική ή αίτιοκρατική, κλπ. Κατά τήν έπίσημη σχολή, τό σωματίο δέν έχει ούτε θέση ούτε όρμή, καί άποκτᾶ ή τό ένα ή τό άλλο, κατά τή μέτρηση.

'Η έρμηνεία τής Σχολής τής Κοπεγχάγης επικάλυψε τό πρόβλημα τής συνέχειας στήν κβαντική φυσική. 'Η έρμηνεία αύτή δέσποσε σχεδόν ολοκληρωτικά επί 30 χρόνια, καί συνεχίζει νά άποτελεῖ τήν

18. Βλ. σχετικά: A. Landé 1) From dualisme to unity in Quantum Physics, Cambridge Univ. Press, 1965.

19. Βλ. σχετικά: 1) N. Bohr, Atomic Physics and human Knowledge, Wiley, 1958. 2) Τοῦ ίδιου, Atomic Theory and the Description of Nature, Cambridge, 1961. 3) V. Fock, Dialectica, 19, 223 (1965). 4) W. Heisenberg, Physics and Philosophy, Allen and Unwin, 1958 5) A. Landé, op. cit.

κυρίαρχη έρμηνεία τής κβαντικής μηχανικής. Στη συνέχεια θά αναλύσουμε όρισμένες από τής αντίφατικές βεβαιώσεις αυτής τής έρμηνείας, πού σχετίζονται περισσότερο μέ τό θέμα μας.²⁰

1. Σημειώσαμε ότι από τό 1923 ό άμερικανός φυσικός Duane είχε περιγράψει τά φαινόμενα περίθλασης και συμβολής, μέ βάση τήν έννοια του σωματίου και τήν κβάντωση τής γραμμικής όρμης. Προς τήν ίδια κατεύθυνση εργάστηκε αργότερα ό A. Landé γενικεύοντας τό σωματιδιακό φορμαλισμό. Ό Landé θεωρεί τό κυματικό φαινόμενο σαν έπιφαινόμενο: σαν τό συνολικό αποτέλεσμα τής στατιστικής κατανομής σωματίων πού σκεδάζονται π.χ. προς όρισμένες κατευθύνσεις, εξαιτίας τής κβάντωσης τής όρμης. Βέβαια ό φορμαλισμός του Landé έχει αδύνατα σημεία και δέν είναι πλήρης. Όστόσο αποφεύγει τής άφύσικες υποθέσεις τής επίσημης έρμηνείας, όπου π.χ. τό κύμα ανακλάται κατά ένα ποσοστό και διαθλάται κατά ένα άλλο, ένω τό σωματίο ύπάρχει στό ένα από τά δύο κύματα, κλπ. Αποφεύγει επίσης τής άπίθανες έρμηνείες του νοητικού πειράματος μέ τής δύο τρυπίτσες, σύμφωνα μέ τής όποιες τό σωματίο περνά κι' από τής δυό μαζί, ή «γνωρίζει» άν και οι δύο είναι άνοιχτές, εκτείνεται σε συνέχεια σε όλο τό διαθέσιμο χώρο αλλά «καταπίνεται» από ένα σημείο του διαφράγματος,²¹ κλπ.

Τό συνεχές των δακτυλίων συμβολής αποτελείται στην πραγματικότητα από μία άσυνεχη στατιστική κατανομή ίχνων μικροσωματίων πάνω στη φωτογραφική πλάκα. Οι φωτεινές ταινίες βρίσκονται στις περιοχές όπου πέφτουν πολλά φωτόνια. Οι σκοτεινές, εκεί πού πέφτουν λίγα ή καθόλου. Μπορούμε νά εξαποστείλουμε στό διάφραγμα ένα - ένα τά ηλεκτρόνια. Ό εικόνα δέν θά αλλοιωθεϊ. Δέν πρόκειται λοιπόν για φαινόμενα συμβολής ενός κύματος, αλλά για άτομικά ίχνη μικροσωματίων. Ό συμμετρική κατανομή των ίχνων θά μπορούσε νά εξηγηθεϊ μέ τής κβαντισμένες αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων μέ τό άτομα τής όπης. Όλλά ή άκριβής λύση ενός τέτοιου προβλήματος - άν ή παραπάνω πρόταση έχει νόημα - δέν είναι καθόλου εύκολο έγχείρημα.

20. Στην ίντετερμινιστική έρμηνεία τής κβαντικής μηχανικής, πού άρθρώνεται μέ κύριο στοιχείο τή γλώσσα τής συνέχειας, αντιτάχθηκαν επίμονα πολλοί από τους μεγαλύτερους φυσικούς του αιώνα μας (de Broglie, Einstein, Langevin, Planck, Schrödinger, και άλλοι). Ειδικά ό Einstein, και πολλοί μετά άπ' αυτόν, διαμόρφωσαν μία στατιστική έρμηνεία τής κβαντικής μηχανικής, πού δέν χρησιμοποιεί υποχρεωτικά τήν έννοια του κύματος.

21. Βλ. σχετικά τήν ενδιαφέρουσα προσπάθεια του Janossy (Recherches Intern. Physique), 4 (1957) νά εξηγήσει από φυσική άποψη τό φαινόμενο, πού δέν καταλήγει σε πειστικά αποτελέσματα, γιατί ό συγγραφέας στηρίζεται στη δυαδικότητα του σωματίου - κύματος.

2. Τό καταστατικό διάνυσμα ενός ελεύθερου σωματίου (ή συνάρτηση ενός επίπεδου κύματος κατά τή γλώσσα τής συνέχειας) δέν προσφέρει καμιά ουσιαστική γνώση γιά τό σωματίο. Γιά νά αποκτήσει τό «επίπεδο κύμα» φυσική σημασία πρέπει, καθώς είπαμε, νά δημιουργήσουμε μιά κυματοδέσμη. Ἄλλά ἡ κυματοδέσμη δέν εἶναι σταθερή: ἀπλώνεται μέ τό πέρασμα τοῦ χρόνου σ' ὄλο τό χῶρο (διαστέλλεται) ἐνῶ φυσικά τό ἠλεκτρόνιο πού περιγράφει, εἶναι σταθερό. Κι' ἐνῶ εἶναι φυσικό νά ὑποθέσουμε ὅτι ἕνα ἠλεκτρόνιο μέ ὀρισμένη ταχύτητα διαγράφει κάποια τροχιά στό χῶρο, οἱ ἀνισότητες τοῦ Heisenberg καί ἡ ἀρχή τής ἀνυπαρξίας μᾶς ἀπαγορεύουν ἕναν τέτοιο ἰσχυρισμό: ἂν τό σωματίο ἔχει καθορισμένη ταχύτητα, τότε δέν εἶναι πουθενά καί ἀντίστροφα! (Ἄν μετρήσουμε τήν ταχύτητα του στόν ἐπιταχυντή τοῦ Brookhaven, τότε δέ βρίσκεται μέσα στόν ἐπιταχυντή - θά παρατηρήσει εἰρωνικά ὁ Mehlberg). Κι' ἂν θελήσουμε νά προσδιορίσουμε τή θέση του, θά ἔχουμε πάντα μιά στατιστική διασπορά, πού γιά τήν ἐπίσημη, κυματική καί μή στατιστική ἐρμηνεία, σημαίνει ὅτι τό ἠλεκτρόνιο βρίσκεται τήν ἴδια στιγμή σέ διαφορετικά σημεία τοῦ χώρου, καί πῶς ἐντοπίζεται χωρίς αἰτιοκρατικό καθορισμό, μέ τή μέτρηση. Ἄλλά στήν πραγματικότητα τό καταστατικό διάνυσμα τοῦ ελεύθερου σωματίου δέν εἶναι «κανονικοποιημένο». Γιά νά τό «κανονικοποιήσουμε» χρησιμοποιοῦμε τήν κατανομή τοῦ Dirac, πού τό ἐντοπίζει σ' ἕνα σημείο τοῦ χώρου. Ἡ χρησιμοποίηση αὐτῆς τῆς κατανομῆς φανερώνει πῶς τό σωματίο βρίσκεται σέ μιά ὀρισμένη στιγμή σ' ἕνα ὀρισμένο σημείο τοῦ χώρου, καί ὅτι ἡ διασπορά ἀφορᾷ ἕνα στατιστικό σύνολο σωματίων, πρᾶγμα ἄλλωστε σύμφωνο μέ τό θεώρημα τοῦ Ehrenfest²². Τό ελεύθερο σωματίο μπορεῖ νά ἔχει ὁποιαδήποτε τιμή κινητικῆς ἐνέργειας καί τά καθαυτό κβαντικά φαινόμενα ἐμφανίζονται μόνο ὅταν ὑπάρχει ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα στά κβαντικά συστήματα.

3. Ἐνα φωτόνιο ἔχει καθορισμένη ἐνέργεια $E = h\nu$ καί ὄρμη $p = \frac{h\nu}{c}$ καί εἶναι μιά σταθερή ὄντοτητα στό χωρόχρονο (τό φῶς μακρινῶν ἀστέρων φτάνει σ' ἐμᾶς μετά ἀπό ἑκατομμύρια χρόνια). Ἄλλά ἂν τό φωτόνιο εἶναι κυματοδέσμη, τότε δέν ἔχει καθορισμένη ἐνέργεια, ἄρα οὔτε καθορισμένη ὄρμη, ἀλλά μιά διασπορά τιμῶν πού δίδεται ἀπό τίς ἀνισότητες τοῦ Heisenberg. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τά ὑπόλοιπα κβαντικά σωματία. Ὅλες αὐτές οἱ ἀπίθανες ιδιότητες βρίσκονται σέ ἀντίθεση μέ

22. Κατά τό θεώρημα τοῦ Ehrenfest, οἱ ἐξισώσεις κίνησης τῶν μέσων τιμῶν τῶν συντεταγμένων καί τῆς ὄρμης, εἶναι ταυτόσημες μέ τίς ἐξισώσεις τοῦ Hamilton τῆς κλασικῆς μηχανικῆς. Ἡ ἀντιστοιχία αὐτή εἶναι ἕνα ἀκόμα ἐπιχείρημα ὑπέρ τῆς στατιστικῆς ἐρμηνείας.

τό χωροχρονικό έντοπισμό τῶν σωματίων, τίς σταθερές φυσικές τους ιδιότητες, τήν ὕπαρξη καθορισμένων κβαντικῶν ἀριθμῶν καί ἐσωτερικῆς δομῆς.

4. Ἄς ὑποθέσουμε τώρα πῶς ἡ «κυματοσυνάρτησή» μας εἶναι ἐπαλληλία καταστάσεων. Μέ τή μέτρηση πραγματοποιεῖται μιά ἀπό τίς ιδιοκαταστάσεις τοῦ συστήματος. Τό σύστημα δηλαδή περνᾷ ἀπό τήν κατάσταση $\Psi = \sum c_i \Psi_i$ στήν κατάσταση Ψ_i μέ πιθανότητα $P_i = |c_i|^2$. Ἄλλά πῶς γίνεται αὐτό τό πέρασμα, δηλαδή ἡ πραγματοποίηση τῆς ιδιοκατάστασης Ψ_i ; Ἡ μετάβαση αὐτή δέν περιγράφεται ἀπό τόν τωρινό φορμαλισμό τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἐπί πλέον τό «ἄλμα» δέ θεωρεῖται ταχύτατη φυσική διαδικασία, ἀλλά στιγμιαῖο συμβάν: μετάπτωση πού πραγματοποιεῖται σέ μηδενικό χρόνο. Ἄλλά μιά τέτοια ἀποψη εἶναι ἐντελῶς ἀφύσικη καί τό κβαντικό ἄλμα παρουσιάζεται «σά μᾶλλον μυστηριακό γεγονός» (Schrodinger). Ἀντίθετα ἄλλοι φυσικοὶ ἀποδεικνύουν ὅτι ἡ μετάπτωση αὐτή - ἡ ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης - δέν πραγματοποιεῖται ποτέ, γιατί ὁ ἀπαιτούμενος χρόνος εἶναι ἄπειρος. Σύμφωνα μέ τήν ἐπίσημη ἐρμηνεία, κατά τήν ἀλληλεπίδραση ὀργάνου - σωματίου τό ὅλο σύστημα μεταπίπτει σέ ἐπαλληλία καταστάσεων, καί ἡ «ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης», δηλαδή ὁ σχηματισμός τῆς ιδιοκατάστασης, εἶναι ἀδύνατος. (Στό παράδοξο τοῦ Schrodinger, π.χ. ὁ γάτος καί τό ὄργανο βρίσκονται σέ ἐπαλληλία δύο καταστάσεων: γάτος νεκρός καί γάτος ζωντανός). Γιά νά γίνει ἡ ἀναγωγή χρειάζεται ἡ ἐπέμβαση ἑνός παρατηρητή: ἡ ἐπέμβαση μιᾶς συνείδησης προκαλεῖ τήν ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης καί τήν πραγματοποίηση τῆς ιδιοκατάστασης. Πέρα ἀπό τήν ἀπιθανολογία αὐτῆς τῆς ἐρμηνείας, εἶναι προφανές ὅτι μέ τήν παρατήρηση ὁ παρατηρητής γίνεται μέρος τοῦ ὅλου συστήματος, καί χάνει τή μαγική δύναμη τῆς «ἀναγωγῆς». Θά χρειαστεῖ λοιπόν ἕνας νέος παρατηρητής κ.ο.κ., ὡς τό ἄπειρο. Ὅριακά πρέπει νά ἐμπλακεῖ ὀλόκληρο τό σύμπαν σ' αὐτή τή διαδικασία... χωρίς ἀποτέλεσμα!

5. Οἱ ἀντιφάσεις τῆς κυματικῆς - ἰντετερμινιστικῆς ἐρμηνείας εἶναι φανερές. Ἄς τίς ἀγνοήσουμε ὅμως πρός στιγμὴν, καί ἄς ρωτήσουμε: Οἱ ιδιοκαταστάσεις προϋπάρχουν, ὅποτε ἡ ἐπαλληλία εἶναι πραγματική κατάσταση, ἢ δημιουργοῦνται κατά τή μέτρηση; Οἱ ἀπαντήσεις καί ἐδῶ εἶναι ἀντιφατικές: Γιά τούς μὲν ἡ ἐπαλληλία εἶναι πραγματική²³. Γιά τούς

23. Ὁ L. de Broglie, ἀνασκευάζοντας τό θεώρημα τοῦ Von Neumann, γράφει ὅτι ἡ ἀπόδειξη τοῦ θεωρήματος αὐτοῦ στηρίζεται οὐσιαστικά στό ἀξίωμα ὅτι ἡ στατιστικὴ κβαντικὴ κατανομή «ἔχει φυσικὴ ὕπαρξη προτοῦ πραγματοποιηθεῖ τό πείραμα πού δημιουργεῖ αὐτὴ τὴν κατανομή». Κατά τόν de Broglie, ἀντίθετα, οἱ κατανομές αὐτές, ἢ ἔστω μερικὲς ἀπ' αὐτές, μποροῦν νά πραγματοποιηθοῦν κατά τὴ μέτρηση «καί δέν ὑπάρχουν πρὶν ἀπ' αὐτὴ». (Βλ. La Physique Quantique

δέ, οί ιδιοκαταστάσεις δέν προϋπάρχουν. Δημιουργοῦνται ἀπό τήν ἀλληλεπίδραση σωματίου - ὄργάνου, καί ἡ ἐπαλληλία δέν εἶναι ἄλλο ἀπό τήν ἔκφραση τῶν δυναμικοτήτων τοῦ συστήματος στίς δοσμένες συνθήκες. (Φυσικά ὑπάρχουν περιπτώσεις ὅπου τό σύστημα βρίσκεται σέ ιδιοκατάσταση. Ἄλλά ἡ περίπτωση αὐτή, ὅπως καί ἡ περίπτωση τοῦ μείγματος, δέν ἀφορᾷ τό συζητούμενο πρόβλημα. (Βλ. ὑποσημείωση ἀρ. 23).

6. Ἡ ἀρχή τῆς ἐπαλληλίας, πού οἱ ρίζες της βρίσκονται στή φυσική τοῦ συνεχοῦς, εἶναι κεντρική ἔννοια ἀπό τήν ὁποίαν ἀπορρέουν οἱ ἀντιφάσεις πού σκιαγραφήσαμε. Ποιά εἶναι ὅμως ἡ φυσική σημασία αὐτῆς τῆς ἀρχῆς; Καί ποιά εἶναι ἡ ἰσχὺς της; (Εἶναι γνωστό ὅτι ὅπου ἰσχύουν κανόνες ὑπερεπιλογῆς, ἡ ἀρχή αὐτή παραβιάζεται). Στά ἐρωτήματα αὐτά δέν ὑπάρχει ἐπί τοῦ παρόντος ἀπάντηση. Καί πολλοί θέτουν τό ἐρώτημα, μήπως ἡ ἀρχή αὐτή πρέπει νά ἐγκαταληφθεῖ.²⁴

7.5. Γιά μιά συνεπῆ στατιστική ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς

Σημειώσαμε μερικές ἀπό τίς ἀσάφειες καί τίς ἀντιφάσεις τῆς κυματικῆς γλώσσας. Θά διατυπώσουμε τώρα ὀρισμένες σκέψεις γιά μιά στατιστική ἐρμηνεία τῶν κβαντικῶν φαινομένων. Αὐτό δέ σημαίνει ὅτι ἀπαντοῦμε στό βασικό μας ἐρώτημα γιά τή συνέχεια ἢ τήν ἀσυνέχεια. Ὑποδεικνύουμε ἀπλῶς μιά δυνατότητα διαφορετική ἀπό τήν προκβαντική ἀντίληψη πού ἀναλύσαμε.

Ἡ βασική ἀρχή γιά τή στατιστική ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, διατυπώθηκε ἀπό τόν Max Born τό 1926. Σύμφωνα μ' αὐτή τήν ἐρμηνεία, τό τετράγωνο τοῦ καταστατικοῦ διανύσματος ἐκφράζει τήν πυκνότητα πιθανότητας γιά παρουσία τοῦ σωματίου σ' ἓνα σημεῖο τοῦ χώρου. Ἡ ἐρμηνεία αὐτή εἶναι θεωρητικά δεκτῆ, πρᾶγμα πού δέν

restera - t - elle Indéterministe?, σελ. 17). Πράγματι, στήν περίπτωση τῆς «ἐπαλληλίας», ὁ ρόλος τοῦ ὄργάνου συνίσταται ἀκριβῶς στή δημιουργία ιδιοκαταστάσεων, μέ τόν ποιοτικό μετασχηματισμό τοῦ συστήματος. Οἱ ιδιοκαταστάσεις προϋπάρχουν στίς καθαρές καταστάσεις μέ τήν στενή ἔννοια (μία μόνο ιδιοκατάσταση) καί στά μείγματα (πολλές ιδιοκαταστάσεις).

24. Γιά τά παραπάνω προβλήματα, καί ἐκτός ἀπό τά κείμενα τῶν Bohr, Fock, Heisenberg, καί Landé, πού σημειώσαμε, βλ: 1) Ballentine L. E., *Rev. Mod. Physics*, 42, 358 (1978) 2) Bell J.S., *Preprint, Th. 1923 - LERN*. 3) Einstein A. in: A. Eistein, *Philosopher - Scientist* (Schilpp, Ed.), *The library of living philos.* 1951 4) Jauch J. M., *op. cit.* 5) Wigner E., *Am. J. of Phys.*, 31, 6 (1963) 6) Van Zandt L.L., *Am. J. of Phys.* 45, 52 (1977) 7) Γιά μιά συστηματική κριτική τῆς ἐπίσημης ἐρμηνείας, βλ. Ε. Μπιτσάκη. *Τά ἐννοιολογικά θεμέλια τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς* Δωδώνη (ὑπό ἔκδοση).

εμπόδισε νά επικρατήσῃ στήν πράξη ἡ κυματική, καί ἔμμεσα μή στατιστική ἔρμηνεία.

Καθώς σημειώσαμε, οἱ ἔννοιες τοῦ κύματος, τῆς κυματοδέσμης, τῆς ἐπαλληλίας, κλπ., εἶναι κυματικές *προκβαντικές* ἔννοιες, πού ἐνσωματώθηκαν στήν κβαντική μηχανική σέ μιά ἐποχή πού δέν εἶχε ἀκόμα κατανοηθεῖ ἡ φυσική σημασία τοῦ φορμαλισμοῦ της.

Κατά τή στατιστική ἀντίληψη, τό καταστατικό διάνυσμα ἀφορᾷ ἕνα σύνολο σωματίων, ἐκτός ἀπό τήν κοινότοπη περίπτωση ὅπου τό σύστημα βρίσκεται ἤδη σέ κάποια ἰδιοκατάσταση, (ὡς πρός τό χῶρο τοῦ ὄργάνου) ὅποτε μποροῦμε νά θεωρήσουμε ὅτι τό καταστατικό διάνυσμα περιγράφει κάθε ἀτομικό σύστημα. Τό στατιστικό σύνολο βρίσκεται σέ ἀλληλεπίδραση μέ τό περιβάλλον του, καί μέ τό ὄργανο τῆς μέτρησης. Οἱ τιμές τῶν παρατηρήσιμων μεγεθῶν παρουσιάζουν συνεπῶς στατιστικές διασπορές. Οἱ ἀνισότητες τοῦ Heisenberg ἐκφράζουν ἀκριβῶς αὐτές τίς διασπορές τοῦ στατιστικοῦ συνόλου, καί ὄχι τοῦ ξεχωριστοῦ σωματίου. Ἡ ἀνισότητα $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$ π.χ. ἐκφράζει τή διασπορά ἑνός μεγάλου ἀριθμοῦ μετρήσεων. Ἐπίσης ἡ σχέση $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ δέν ἐκφράζει τή διασπορά τῆς ἐνέργειας τοῦ ἀτομικοῦ φωτονίου, ἀλλά τή διάσπορά τῆς ἐνέργειας ἑνός μεγάλου πλήθους φωτονίων πού ἐκπέμπονται ὑπό ταυτόσημες συνθηκες. (Κάθε φωτόνιο ἔχει ὀρισμένη ἐνέργεια. Τό στατιστικό σύνολο παρουσιάζει μιά ὀρισμένη διασπορά, ἔκφραση τῶν τυχαίων διαταραχῶν τῶν ἀρχικῶν συνθηκῶν).

Κατά τή μέτρηση ἔχουμε μιά ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα στό κβαντικό ὄργανο καί τό σύστημα. Ἡ στατιστική κατανομή καθορίζεται ἀπό τίς οὐσιώδεις μεταβλητές, τόσο τοῦ συστήματος, ὅσο καί τοῦ ὄργάνου. Ἡ σκέδαση π.χ. ἑνός συνόλου ἠλεκτρονίων ἀπό ἕνα κρύσταλλο, δίδει μιά στατιστική κατανομή ἰχνῶν, πού ἔχει τή μορφή τῶν γνωστῶν δακτυλίων περίθλασης καί συμβολῆς. Αὐτό δέ σημαίνει ὅτι σκεδάζεται ἡ κυματοδέσμη, ὅτι τό κῶμα χωρίζεται στά δύο ἐνῶ τό σωματίο μένει στό ἕνα τμήμα, καί ὅτι «καταπίνεται» καί ἐντοπίζεται κλπ. Ἦδη ὁ Duane περίγραψε, καθῶς εἶπαμε, αὐτά τά φαινόμενα, χρησιμοποιώντας τόν κανόνα του γιά τήν κβάντωση τῆς γραμμικῆς ὀρμῆς. Γενικεύοντας θά λέγαμε, ὅτι οἱ ἀσυνεχεῖς, στατιστικές κατανομές, προκύπτουν ἀπό τόν *κβαντικό χαρακτήρα τῶν ἀλληλεπιδράσεων* καί ὅτι τό κυματικό ἐπιφαινόμενο εἶναι ἔκφραση τῶν συμμετριῶν πού χαρακτηρίζουν τόσο τόν κρύσταλλο, ὅσο καί τό μικροσωμάτιο. (Οἱ τελευταῖες πρέπει νά σχετίζονται μέ τήν ἐσωτερική του δομή).

Ἄς δοῦμε τώρα, μέ ὀδηγό τή στατιστική ἀντίληψη, τό πρόβλημα τοῦ ἐντοπισμοῦ καί τῆς «ἀναγωγῆς τῆς κυματοδέσμης». Ἐνα σωματίο ἐντοπίζεται σ' ἕνα σημεῖο τοῦ χῶρου μέ πιθανότητα $dP = |\Psi|^2 dV$. Αὐτό

δέ σημαίνει ότι τό σωματίο είναι ένα είδος κύματος που εκτείνεται σ' όλοκληρο τό διαθέσιμο χώρο, αλλά ότι τό στατιστικό σύνολο παρουσιάζει, λόγω τῶν ἀλληλεπιδράσεων του μέ τό περιβάλλον καί μέ τό ὄργανο, μιά στατιστική διασπορά που περιγράφεται ἀπό τήν Ψ . Ἡ δημιουργία ἀσυνεχῶν ἰδιοκαταστάσεων ἐξάλλου δέν προκύπτει, κατά τή στατιστική ἀντίληψη, ἀπό τήν «ἀναγωγή τῆς κυματοδέσμης». Ὁ σχηματισμός ἰδιοκαταστάσεων είναι στήν πραγματικότητα ποιοτικός μετασχηματισμός τοῦ συστήματος, προϊόν τῆς ἀλληλεπίδρασης σωματίου-ὄργάνου.

Ἡ κυματική ἀντίληψη βλέπει στά δύο προηγούμενα φαινόμενα, τό ἀποτέλεσμα μιᾶς ταυτόσημης διαδικασίας. Κατά τήν ἀποψη που ἀναπτύσσουμε ἐδῶ, μιά τέτοια ταύτιση είναι λάθος. Στήν περίπτωση τοῦ ἐντοπισμοῦ δέν ἔχουμε ποιοτικό μετασχηματισμό, καί ἡ διασπορά στό χώρο είναι αὐτή που προβλέπεται ἀπό τίς ἀνισότητες τοῦ Heisenberg. Στή δεύτερη περίπτωση ἔχουμε ποιοτικό μετασχηματισμό τοῦ συστήματος καί δημιουργία νέων καταστάσεων, που δέν ὑπῆρχαν πρίν τή μέτρηση. Στήν περίπτωση αὐτή τό σύστημα πραγματώνει τίς δυναμικότητες του, οἱ ὁποῖες ἐξαρτιόνται ἀπό τή φύση του, τή φύση τοῦ ὄργάνου καί τίς συνθήκες. Ἡ στατιστική κατανομή ἔχει συνεπῶς ἐδῶ, διαφορετικό χαρακτήρα.

Ὁ ποιοτικός μετασχηματισμός τοῦ σωματίου είναι φαινόμενο μή ἀντιστρεπτό. Προκύπτει ἀπό τή θερμοδυναμική ἀστάθεια τοῦ συστήματος μικροσωματίου - ὄργάνου καί πραγματοποιεῖται ὄχι στιγμιαῖα, ἀλλά σέ πεπερασμένο χρόνο.²⁵ Κατά τήν ἀλληλεπίδραση δέν πραγματοποιεῖται καμμιά ἐπαλληλία καί καμμιά ἀναγωγή. Ἄρα ὁ παρατηρητής είναι περιττός, τόσο αὐτός, ὅσο καί τά παράδοξά του. Τό πραγματικό πρόβλημα είναι ὅτι ἡ σημερινή κβαντική μηχανική ἀδυνατεῖ νά περιγράψει τό φαινόμενο τῆς «ἀναγωγῆς», σά φυσική διαδικασία που ἀπαιτεῖ πεπερασμένο χρόνο καί που πραγματώνει νέες δυναμικότητες τοῦ συστήματος.

Ἡ ἀρχική κατάσταση Ψ δέν ταυτίζεται λοιπόν μέ τήν τελική $\{\Psi_i\}$ που είναι μείγμα καταστάσεων, ἀντίθετα μέ ὅτι ὑπονοεῖ ἡ κυματική ἐρμηνεία. Τό ὄργανο μετασχηματίζει ποιοτικά τό στατιστικό σύνολο. Ἄρα ἡ ἐξίσωση $\Psi = \sum c_i \Psi_i$ δέν είναι ἔκφραση ταυτότητας, ἀλλά ἔκφραση τῶν δυναμικότητων τοῦ συστήματος σέ καθορισμένες συνθήκες. Ἡ

25. Γιά τό πρόβλημα τῆς ἀντιστρεψιμότητας, βλ. 1) Davies P.C.W. The physics of time Assymetry, Un. of California Press, 1974. 2) Fer. F., L ' Irreversibilité, Gauthier - Villars, 1977. 3) Prigogine I., Introd. à la thermodyn. des processus Irréversibles, Dunod, 1968.

έννοια τής ποιότητας και τής ποιοτικής μεταβολής είναι απαραίτητες για να κατανοήσουμε - έστω και ποιοτικά - αυτά τά φαινόμενα, και να αποφύγουμε τις αντιφάσεις και τό άδιέξοδο τής γλώσσας τής συνέχειας.

Μπορούμε τώρα να διατυπώσουμε ένα άριθμό προτάσεων, πού επιτρέπουν να χρησιμοποιούμε μιά συνεπή στατιστική και σωματιδιακή γλώσσα, για τήν περιγραφή τών κβαντικών φαινομένων.

1. Τά κβαντικά συστήματα αποτελούνται από σωματία (κβαντόνια - M. Bunge), δηλαδή από όντότητες έντοπισμένες στό χώρο και στό χρόνο.

2. Τά κβαντικά σωματία δέν ταυτίζονται μέ τά σωματία τής κλασικής φυσικής. Είναι όντότητες μέ έσωτερική δομή και μέ καθορισμένα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά.

3. Τά κβαντικά συστήματα βρίσκονται σέ άέναη άλληλεπίδραση μέ τό περιβάλλον τους. 'Η κίνηση και οί ποιοτικοί μετασχηματισμοί τους καθορίζονται από τήν άλληλεπίδραση τών έσωτερικών μεταβλητών του συστήματος (άλληλεπιδράσεις τύπου Α) και τών έξωτερικών καθορισμών (άλληλεπιδράσεις τύπου Β (περιβάλλον) ή Γ (όργανο)). Τά κβαντικά συστήματα μπορούν συνεπώς να θεωρηθούν σάν άνοικτά - κλειστά, ή ήμιανοικτά.

4. Οί φυσικές άλληλεπιδράσεις είναι κβαντιομένες, άπ' όπου και ό άσυνεχής χαρακτήρας τών καθαυτό κβαντικών φαινομένων. 'Η ύπαρξη κβάντων δράσης για τίς τέσσερις γνωστές άλληλεπιδράσεις, συγκεκριμενοποιεί αυτή τήν άποψη.

5. Τά καθαυτό κβαντικά φαινόμενα (ένεργειακές στάθμες, ποιοτικοί μετασχηματισμοί, κβάντωση στροφορμής, κλπ.) εμφανίζονται μόνο μέ τήν άλληλεπίδραση τών κβαντικών συστημάτων μεταξύ τους, ή μέ τά όργανα τής μέτρησης. Τό έλεύθερο σωματίο μπορεί να έχει όποιαδήποτε ένέργεια.

6. Τά κβαντικά συστήματα έχουν καθορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μπορούν να ύφίστανται ποιοτικούς μετασχηματισμούς στή φύση, ή έξ αίτίας του όργάνου μέτρησης.

7. Τό καταστατικό διάνυσμα περιγράφει τήν κατάσταση του κβαντικού συστήματος. Συνεπώς περιγράφει τήν κίνησή του στό χώρο, ή τίς δυναμικότητές του, υπό καθορισμένες έξωτερικές συνθήκες. 'Η έννοια τής κυματοδέσμης δέν ανταποκρίνεται σέ κάποια φυσική πραγματικότητα. Είναι άπλως έκφραση τών δυναμικότητων του συστήματος. 'Η πραγμάτωση διαφορετικών δυναμικότητων, μπορεί να έρμηνευθεί μέ τήν έννοια τής λεπτής ύφης τής κβαντικής καταστάσεως.

8. Τά κβαντικά σωματία έχουν έσωτερική δομή. Πρέπει λοιπόν να χαρακτηρίζονται από ένα άριθμό έσωτερικών κινήσεων και συμμετριών. Οί στατιστικές, και είδικά οί κυματικές κατανομές στό κβαντικό επίπεδο,

θά μπορούσαν νά ἐρμηνευθοῦν μέ βάση τήν ἐσωτερική δυναμική τῶν σωματίων.

9. Ἡ ἐννοια τῆς δομῆς εἰσάγει τήν ἐννοια τοῦ ὑποκβαντικοῦ ἐπιπέδου (de Broglie, Bohm, Vigier, κ.ἄ.). Οἱ νόμοι τοῦ σημερινοῦ κβαντικοῦ ἐπιπέδου θά ἦταν δυνατόν νά προκύψουν σά στατιστικές κατανομές ἄλλων κινήσεων καί διεργασιῶν, πού θά ἀφοροῦν τό βαθύτερο αὐτό ἐπίπεδο.

10. Ἡ σημερινή κβαντομηχανική περιγραφή δέν εἶναι ὑποχρεωτικά πλήρης. Ὁ κβαντικός στατιστικός καθορισμός θά μπορούσε νά ἐρμηνευθεῖ δυναμικά, μέ τήν εἰσαγωγή νέων παραμέτρων στό φορμαλισμό τῆς θεωρίας (ἀξίωμα μή πληρότητας - Einstein).

7.6. Συνέχεια καί ἀσυνέχεια

Ἐπιστρέφουμε στό βασικό μας ἐρώτημα: τά μικροσωμάτια εἶναι σωματία, κύματα, ἢ σύνθεση δυό ἀντίθετων κατηγορημάτων; Γενικότερα, ὁ φυσικός κόσμος μπορεῖ νά διαιρεθεῖ σέ διάκριτα μέρη, ἢ ἀποτελεῖ μιά ὁλότητα μή διαχωρίσιμη;

Οἱ ἀλληλεπιδράσεις καί ὁ ἀμοιβαῖος καθορισμός τῶν φυσικῶν συστημάτων, συνηγοροῦν ὑπέρ τῆς ὁλότητας. Ἀλλά ἡ ὁλότητα δέν μπορεῖ νά εἶναι τό ἀδιαφοροποίητο ὄλον τῆς ἀρχαίας φιλοσοφίας. Δέν μπορεῖ ἐπίσης νά ἀποκλείει τή σχετική αὐτοτέλεια τῶν μερῶν της. Τό πρόβλημα τοῦ μέρους καί τοῦ ὄλου τίθεται σήμερα στό ἐπίπεδο τοῦ συγκεκριμένου.

Τό προηγούμενο πρόβλημα τέθηκε τό 1935 μέσα ἀπό ἕνα εἰδικό πρόβλημα. Μέ τή βοήθεια ἑνός νοητικοῦ πειράματος, οἱ Einstein, Podolsky καί Rosen κατέληξαν στό συμπέρασμα ὅτι: ἢ 1) ἡ κβαντομηχανική περιγραφή δέν εἶναι πλήρης, ἢ 2) δυό ποσότητες πού οἱ τελεστές τους δέν ἀντιμετατίθενται, δέ μποροῦν νά ἔχουν ταυτόχρονη ὑπαρξη. Οἱ συγγραφεῖς ὑποστήριξαν τήν ἀποψη τῆς μή πληρότητας. Ἀπαντώντας ὁ Bohr, στήριξε τήν επιχειρηματολογία του ὑπέρ τῆς πληρότητας τῆς κβαντομηχανικῆς περιγραφῆς, στή θέση ὅτι τό μικροσωμάτιο καί τό ὄργανο ἀποτελοῦν μιά ὁλότητα μή διαχωρίσιμη καί μή ἀναλύσιμη.²⁶ Ἀπό τότε ἀναπτύχθηκε μιά ὁλόκληρη φιλοσοφία γύρω ἀπό τό μή διαχωρίσιμο, πού ἀποτελεῖ βασική θέση τῆς ἐπίσημης ἐρμηνείας τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς.

Ἐντούτοις ἡ ἀποψη γιά τό μή διαχωρίσιμο πάσχει ἀπό ἕνα βασικό

26. Einstein - Podolsky - Rosen, Phys. Rev., 41, 777 (1935). N. Bohr, Phys. Rev, 48, 696 (1935).

μειονέκτημα: προϋποθέτει, σιωπηρά ή άμεσα, τήν ύπαρξη στιγμιαίων δράσεων, πράγμα αντίθετο μέ τήν άρχή τής σχετικότητας, πού έχει έπαληθευθεί σέ όλους τούς τομείς τής φυσικής. 'Η πρώτη μάλιστα διατύπωση τής κβαντικής μηχανικής μέ λανθάνουσες παραμέτρους (D. Bohm, 1952), ύποφέρει καί αύτή άπό τό ίδιο μειονέκτημα (δέ σέβεται τήν άρχή τής τοπικότητας).²⁷ 'Αργότερα ό J. S. Bell απέδειξε, ότι κβαντικές θεωρίες μέ λανθάνουσες παραμέτρους, πού θά σέβονταν τίς άρχές τής τοπικότητας καί τής αιτιότητας, θά μπορούσαν νά έλθουν σέ αντίθεση μέ τίς στατιστικές προβλέψεις τής τωρινής κβαντικής μηχανικής.²⁸ 'Η τυχόν έπαληθευση τών «άνισοτήτων» του Bell, θά ήταν ισχυρό έπιχείρημα ύπέρ τής αιτιότητας, τής τοπικότητας καί συνεπώς του διαχωρίσιμου. 'Η έννοια του διαχωρίσιμου βρίσκειται άλλωστε σέ άρμονία μέ τήν όλη επιστημονική κοσμοεικόνα, ένώ τό μή διαχωρίσιμο όδηγεί έπιπλέον στίς αντιφάσεις καί στά παράδοξα πού σημειώσαμε σέ σχέση μέ τή θεωρία τής μέτρησης: όλόκληρο τό σύμπαν - μαζί κι' ό παρατηρητής - θά πρέπει νά περιγράφεται άπό μία κυματοσυνάρτηση, καί τελικά σ' αυτό τό σύμπαν δέν θά μπορεί νά συμβεί καμία ποιοτική μεταβολή.²⁹

Τό πρόβλημα μέρος-όλον, πρέπει νά εξετασθεί συγκεκριμένα, καί μέ βάση τό αξίωμα για τήν πεπερασμένη ταχύτητα τών φυσικών άλληλεπιδράσεων. Τό πρόβλημα συνέχεια - άσυνέχεια, έξάλλου, συνδέεται όργανικά μέ τό προηγούμενο καί στήν περίπτωση τής μικροφυσικής άποκρυσταλλώνεται στό έρώτημα: «Πώς νά συνδιάσουμε μέ τό κύμα, τό γεγονός ότι τό σωματίο είναι έντοπισμένο: ότι έχει μία θέση στό χώρο»; (de Broglie).

Τί είναι τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο; Κύμα ή ροή φωτονίων; 'Η κυματική όπτική, ένεργειακές ιδιομορφίες, κλπ., συνηγορούν ύπέρ τής συνέχειας. Τό φαινόμενο Compton, τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, γενικότερα ή άσυνέχεια τών κβαντικών μεταπτώσεων, συνηγορούν ύπέρ

27. Bohm D., Phys. Rev., 85, 166 καί 180 (1952)

28. Bell J. S, Physics, 1, 195 (1964). 'Η όρθότητα τής άπόδειξης άμφισβητήθηκε άπό τόν L. de Broglie, (C. R. Acad. Sc. Paris, 278, 721 (1974), καί άπό άλλους έρευνητές.

29. Σχετικά μ' αυτά τά ζητήματα, βλ. 1) Ballentine L.E., Found. of Phys., 3, 229 (1973). 2) Bitsakis E., Revue des Quest. Scientifiques, 148, 205 καί 279 (1977). 3) Everett H., Rev. Mod. Phys. 29, 454 (1957). 4) Wheeler J. A., Fundamenta Scientiae, 25 (1976). 5) J.S. Bell, Preprint Th. 1599 - GERN. (1972). 6) Winger E., Am. J. of Phys. 31, 6 (1963). Στή γλώσσα μας: Δευκαλίων άρ. 20 (1977) άρθρα τών I. Κωνσταντόπουλου, L. de Broglie, B. d'. Espagnat καί E. Μπιτσάκη.

της ασυνέχειας. Πώς συνυπάρχουν δυναμικά τό φορτίο και τό πεδίο του; Ποιές φυσικές δομές και διαδικασίες εκδηλώνονται μακροσκοπικά σά φορτίο; Και τί σημαίνει «δυνάμει» σώματα, μέ τά όποια άλληλεπιδροϋν τά φορτισμένα σώματα; Μέσα άπό ποιούς συγκεκριμένους μηχανισμούς τά ήλεκτρισμένα σώματα έλκονται ή άπωθοϋνται; Και ποιά είναι ή φυσική σημασία της έλξης και της άπωσης;

Τά πεδία γενικότερα είναι κυματικό, συνεχές φαινόμενο, ή ροή φωτονίων, π-μεσονίων, βαρυτονίων και ένδιάμεσων μποζονίων; Και πώς συνδιάζεται ό συνεχής χαρακτήρας τών πεδίων μέ τήν άσυνέχεια τών κβάντων τους; Και ποιά ή βαθύτερη αίτία της ένότητας τών πεδίων, πού διαφαίνεται σέ όρισμένες σχέσεις τους; Και τί σημαίνει ότι τά «πεδία» άποτελοϋνται άπό μποζόνια και ή «ϋλη» άπό φερμιόνια; Και ποιά είναι ή φυσική βάση της ένότητας ϋλης - πεδίου, και της άντιμεταθετικότητας τών δύο όψεων;

Τά έρωτήματα αυτά - και πολλά άλλα - άπασχόλησαν άπό διάφορες όπτικές γωνίες, τή νεώτερη μικροφυσική. 'Ο Schrödinger θέλησε νά άποδώσει φυσική σημασία στά κύματα ϋλης, και νά δει τά σώματα σάν κυματοσυρμούς. 'Αλλά καθώς σημειώσαμε, οί κυματοσυρμοί δέν είναι σταθεροί, ένϋ τά βασικά σώματα της ϋλης είναι σταθερά και έντοπισμένα. 'Ο Einstein άγωνίστηκε νά παραστήσει τήν άτομικότητα τών σωματίων μέ τή βοήθεια ιδιομορφιών τοϋ πεδίου βαρύτητας. 'Ο de Broglie, στίς έργασίες της περιόδου 1925 - 27, έπιχείρησε νά περιγράψει τό σώματιό σάν ιδιομορφία στό έσωτερικό τοϋ εκτεταμένου κυματικού φαινομένου, όπου τό όλον άποτελεί ένιαία φυσική πραγματικότητα. 'Ο D. Bohm, ξεκινώντας άπό παρόμοιες σκέψεις, πέτυχε μιá αίτιοκρατική διατύπωση της κβαντικής μηχανικής, μέ τή βοήθεια λανθανουσών παραμέτρων (1952). Τήν περίοδο εκείνη ή Σχολή de Broglie, μέ άφετηρία ρελατιβιστικές άντιλήψεις, προσπάθησε νά έπεξεργασθει μιá αίτιοκρατική άντίληψη της φυσικής, όπου τό σώματιό θά άποτελοϋσε ιδιομορφία τοϋ ϋλικοϋ πεδίου, σύμφωνα μέ τίς άντιλήψεις τοϋ Einstein και de Broglie. Στην ίδια περίοδο άνήκει και ή θεωρία τοϋ ύποκβαντικοϋ έπιπέδου (Bohm, Vigier), πού θέλει νά έξηγήσει τίς στατιστικές κβαντικές κατανομές σάν τό συνολικό άποτέλεσμα βαθύτερων αίτιοκρατημένων κινήσεων.

'Ανεξάρτητα άπό τό μέλλον αυτών τών προσπαθειών, καθώς και άπό τό γεγονός ότι ή έννοια της δυαδικότητας όφείλεται στόν ίδιο τόν de Broglie, είναι εκδηλο ότι ή έννοια αυτή δέ σημαίνει έδϋ μιá άπλή αναλογία ανάμεσα στη γεωμετρική και στην κυματική όπτική, αλλά μιá ρεαλιστική άντίληψη της πραγματικότητας, όπου υπεισέρχεται ή έννοια της δομής και της ποιότητας. 'Ο de Broglie παρομοιάζει συχνά τό σώματιό

σά ρολοῖ μέ δική του συχνότητα, ἄρα σάν πραγματικότητα μ' ἐσωτερικές κινήσεις καί δομή.³⁰

Ἡ σημειακότητα τοῦ ἠλεκτρονίου (καί τῶν ἄλλων μικροσωματίων) εἶναι ἀφαίρεση καί ἀνάγκη τοῦ φορμαλισμοῦ. Τά πραγματικά σωμάτια ἔχουν πεπερασμένα ἄκτινα, καί οἱ φυσικοὶ αἰσθάνονται ὅλο καί περισσότερο τήν ἀνάγκη «νά ὀρίσουν μιά δομή τῶν σωματίων καί κυρίως νά μπορέσουν νά εἰσαγάγουν μιά «ἄκτινα» γιά τό ἠλεκτρόνιο, ὅπως στήν παλαιά θεωρία τοῦ Lorentz» (de Broglie). Τό πρόβλημα τῆς δομῆς βρίσκεται σήμερα στό ἐπίκεντρο τῶν προσπαθειῶν τῆς θεωρητικῆς φυσικῆς.

Δομή σημαίνει πρὶν ἅπ' ὅλα, ἐντοπισμό. Ἄλλά ὁ ἐντοπισμός δέν ἀποκλείει, καί ἀντίθετα προϋποθέτει τήν ἀλληλεπίδραση καί τόν ἀμοιβαῖο καθορισμό, πού σημαίνουν μεταβολή, καταστροφή, ἀναδημιουργία, ταυτότητα καί ἑτερότητα. Ἡ δομή εἶναι ἔννοια δυναμική καί τά ἀποτελέσματα μιᾶς ἀλληλεπίδρασης δέν εἶναι συνήθως μονοσήμαντα καθορισμένα.

Οἱ μετασχηματισμοί τῶν μικροσωματίων ἀποτελοῦν πρόσθετη μαρτυρία ὑπέρ τῆς δυναμικῆς ἔννοιας τῆς δομῆς. Ἀποτελοῦν ἐπίσης συγκεκριμένη ἔκφραση ἐνότητας, πού δέν ἀντιτίθεται τυπικά στή διαφορότητα τῶν μορφῶν τῆς ὕλης. Τό σταθερό καί τό μεταβλητό, ἐξάλλου, εἶναι ἔννοιες σχετικές στή μικροφυσική. Αὐτό πού εἶναι σταθερό στίς χαμηλές ἐνέργειες «ἀποσταθεροποιεῖται» στίς ὑψηλές, καί ἐκδηλώνει τό πλῆθος τῶν δυναμικότητων του. Σ' αὐτή τήν περιοχὴ ἐκδηλώνεται, περισσότερο ἀπὸ ἄλλοῦ, ἡ ποιοτική καί ἡ ποσοτική σχέση ἀνάμεσα στό δυνάμει καί στό ἐνεργεῖα. Τό πέρασμα ἀπὸ τό δυνάμει στό ἐνεργεῖα δέν εἶναι στιγμιαῖο φαινόμενο. Εἶναι διαδικασία. Ἐδῶ εἰσέρχεται ἡ ἔννοια τῆς μὴ ἀντιστρεψιμότητας καί τῆς ποιοτικῆς μεταβολῆς, σά χαρακτηριστικῶν τοῦ γίνεσθαι τῶν πραγμάτων.

Ἄλλά τά μικροσωμάτια εἶναι σωμάτια, εἶναι «πράγματα», εἶναι συμβάντα, ἢ καθαρὲς μορφές; Δέ θά εἰσέλθουμε στή φιλοσοφικὴ αὐτὴ διαμάχη. Ὡστόσο ἡ τυπικὴ ἀντίθεση συμβάντος καί πράγματος, ὕλης καί μορφῆς, εἶναι μιά μονόπλευρη ἀντίληψη τῆς μικροφυσικῆς πραγματικότητας, ἡ ὁποία εἶναι ὕλη καί μορφή, καί ὅπου ἡ παρουσία ἢ ἡ ἀλλαγή εἶναι συμβάν μέ συγκεκριμένο φυσικό περιεχόμενο.

Ἐπὶ τῆς ἀσυνέχειας τῆς μάζας καί ταυτόχρονα διασπορά καί συνέχειας. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τήν ἐνέργεια. Ἐπὶ τῆς ἀσυνέχειας τῆς μάζας καί ταυτόχρονα διασπορά καί συνέχειας. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τήν ἐνέργεια. Ἐπὶ τῆς ἀσυνέχειας τῆς μάζας καί ταυτόχρονα διασπορά καί συνέχειας. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τήν ἐνέργεια.

30. Ἐκτός ἀπὸ τίς προαναφερόμενες ἐργασίες τοῦ de Broglie, βλ. 1) D. Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge and Kegan Paul, 1958. 2) J. P. Vigièr, *La Pensée*, No. 99 (1961).

σταθερά και σώματα άσταθῆ. Μὲ τὴν κίνηση μεταβάλλεται ἡ μάζα τῶν σωμάτων, πού εἶναι ἐπίσης συνάρτηση τῶν πεδίων μὲ τὰ ὁποῖα ἀλληλεπιδροῦν. (Τὰ σώματα εἶναι «γυμνά» στὴν περίπτωση ἰδανικῆς ἀπομόνωσης, καὶ «ντυμένα» ὅταν ἀλληλεπιδροῦν μὲ ἄλλα σώματα). Τό φορτίο ἀντίθετα εἶναι πάντοτε κβαντισμένο. Ἐκόμα καὶ τὰ ὑποθετικά quarks ἔχουν φορτίο ἀσυνεχές. Ἐλλά τί σημαίνει αὐτὴ ἡ ἀσυνέχεια; Καὶ τίνων κινήσεων, συμμετριῶν καὶ δομῶν εἶναι ἔκφραση; Ὁ βαρυονικός καὶ ὁ λεπτονικός ἀριθμὸς εἶναι ἀπόλυτοι, στίς ἐνεργειακές κλίμακες πού γνωρίζουμε σήμερα. Ὡστόσο ὁ συνολικός ἀριθμὸς τῶν μποζονίων δέν εἶναι σταθερός. Ἡ διατήρηση τοῦ φορτίου, ἀντίθετα, εἶναι ἀπόλυτη. Ποιές πραγματικότητες βρίσκονται πίσω ἀπ' αὐτούς τοὺς νόμους; Ἡ φυσικὴ περιγράφει σήμερα φαινόμενα καταστροφῆς καὶ δημιουργίας μικροσωμάτων. Ἐλλά οἱ καταστροφές καὶ οἱ δημιουργίες, μὲ τὴ βοήθεια τῶν ἀντίστοιχων τελεστῶν, εἶναι περισσότερο τυπικές περιγραφές, παρά ἀποκάλυψη πραγματικῶν φυσικῶν διεργασιῶν. Καὶ τέλος, τί γίνεται ἡ ἔννοια τοῦ κενοῦ, πού ἔπαψε νά εἶναι τό τίποτα, μετέχει στὰ φυσικά φαινόμενα, καὶ παρουσιάζεται πλέον σὰ «μέσον» μὲ φυσικές ιδιότητες;

Τό πρόβλημα τῆς ἐνότητας τῆς ὕλης εἶναι ἀνεξάντλητο. Ὡστόσο, μὲ τίς μορφές πού ἐκδηλώνεται στό σημερινό ἐπίπεδο τῶν φυσικῶν θεωριῶν, ἡ ἐνότητα εἶναι: 1) Συγκεκριμένη: ἀφορᾷ συγκεκριμένες ὄντοτητες, ἐνυπάρχει μέσα στή διαφορά καὶ τὴν ἀντίθεση. 2) Προϋποθέτει τὴν ἔννοια τῆς δομῆς, τῆς ἀλληλεξάρτησης, τῆς καταστροφῆς καὶ τῆς δόμησης τῶν μορφῶν. 3) Εἶναι δυναμική: ἀφορᾷ τὴν ἐνότητα σωματίου - περιβάλλοντος, σωματίου - πεδίου, δομῆς καὶ συνθηκῶν. Τό σημερινό ἐπίπεδο τῆς μικροφυσικῆς ἐπιτρέπει νά εἰσαγάγουμε τὴν ἔννοια τῆς ἀνοικτῆς ἀτομικότητας: νά ἀντιπαραθέσουμε διαλεκτικά τό μέρος καὶ τό ὅλον. Ἡ ἀντίθεση σωματίου καὶ κύματος, εἶναι μιά ἀντίθεση πού ἐπικαλύπτει ἄλλες βαθύτερες.

Ἐπάρχει μιά ἐνεργητικὴ κλίμακα, στὴν ὁποῖαν ἀντιστοιχεῖ μιά κλίμακα διαστάσεων καὶ μιά κλίμακα δομῶν. Φαίνεται ὅτι στὴν κλίμακα τῶν διαστάσεων τοῦ πυρῆνα βρίσκονται τὰ ὅρια ἰσχύος τῆς ἠλεκτροδυναμικῆς, καὶ ὅτι τὰ ἰσχυρά καὶ βραχείας ἀκτίνας πεδία πού δροῦν σ' αὐτὴ τὴν κλίμακα, ἀπαιτοῦν νέους τρόπους περιγραφῆς καὶ ὑποδηλώνουν νέες πραγματικότητες.³¹ Σ' αὐτὴ τὴν κλίμακα τίθεται φυσιολογικά καὶ τό πρόβλημα τῆς ἀσυνέχειας τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου.

31. Βλ. π.χ. L. Rosenfeld, in: N. Bohr and the devel. of Physics, W. Pauli Ed., Mc.-Graw - Hill, 1955.

‘Ο χώρος και ο χρόνος είναι μεγέθη συνεχή για την κλασική φυσική. ‘Η ανακάλυψη των ενεργειακών κβάντων και των μικροσωματίων, των «άσυνεχων» μεταβολών, και η δημιουργία «μαθηματικών τής ασυνέχειας», γέννησε την προβληματική για την κβάντωση του χώρου και του χρόνου. Οι πρώτοι σχετικοί προβληματισμοί ανάγονται στις αρχές του αιώνα μας (Mach - 1908, Poincaré - 1914, Thomson - 1925, και άλλοι). ‘Αλλά τό θέμα έγινε πιο ουσιαστικό μέ την ανάπτυξη τής φυσικής των μικροσωματίων τά επόμενα χρόνια (Heisenberg, Ambartsoumian, Ivanenko, Dirac και άλλοι).³²

‘Από πολλούς προτάθηκε - όπως έχουμε αναφέρει - ένα στοιχειώδες μήκος τής τάξεως των 10^{-13} cm, όπως και ένας στοιχειώδης χρόνος τής τάξεως των 10^{-23} sec. Οι επιλογές αυτές δέν είναι τυχαίες. Τό στοιχειώδες μήκος αντιστοιχεί στή «διάμετρο» των μικροσωματίων. ‘Ο στοιχειώδης χρόνος είναι ίσος μέ τό χρονικό διάστημα πού χρειάζεται τό φως για νά διανύσει τήν περιοχή πού κατέχει τό μικροσωμάτιο. Κατά μιά περίεργη, αλλά όχι τυχαία συγκυρία, ο χρόνος αυτός είναι ίσος μέ τό χαρακτηριστικό χρόνο των ισχυρών αλληλεπιδράσεων.

‘Η προηγούμενη υπόθεση δέν είναι πρόβλημα άπλης περιέργειας ή μεταφυσικής άνησυχίας. Συνδέεται μέ συγκεκριμένα προβλήματα στην περιοχή των μικροσωματίων και τής σχετικότητας. Θα θέλαμε νά υπενθυμίσουμε όρισμένες δυσκολίες πού συνδέονται μέ την άπόπειρα τής κβάντωσης.

1. *Ας υποθέσουμε ότι δεχόμαστε ένα στοιχειώδες μήκος l_0 και συνεπώς ένα στοιχειώδη όγκο V_0 . Τό στοιχειώδες σωματίο πού θα κατέχει αυτό τόν όγκο, πρέπει νά μήν έχει δομή. ‘Αλλά η δομή των μικροσωματίων είναι περίπου δεδομένη, όποτε τό αρχικό κβάντο θα πρέπει νά διαιρεθεί σε υποκβάντα. Καί τίποτα δέ βεβαιώνει ότι η διαίρεση αυτή θα ήταν η έσχατη.

2. *Αν δεχτούμε ένα στοιχειώδη όγκο, τότε είναι δύσκολο νά κατανοήσουμε τό πρόβλημα τής διάδοσης των φυσικών αλληλεπιδράσεων. Είναι γνωστό ότι τά πεδία μεταβάλλονται μέ τρόπο συνεχή στις διαχωριστικές επιφάνειες. ‘Αλλά μιά ασυνέχεια του χώρου θα έκανε άδύνατη τή διάδοση των αλληλεπιδράσεων, η θα άπαιτούσε μιά άπειρη ταχύτητα.

3. *Αν δεχτούμε ένα στοιχειώδη χρόνο t_0 , η συνέχεια τής κίνησης γίνεται προβληματική. ‘Η κίνηση θα έπρεπε τότε νά αναλύεται σε άσυνεχη διαστήματα άκίνησις και στιγμιαίων άλμάτων.

32. Για την ιστορία του προβλήματος, βλ. F. Casagrande, *Scientia*, 112, 417 (1977).

Ἡ τυπική ἀντίθεση συνέχειας καί ἀσυνέχειας δέ φαίνεται νά ἀνταποκρίνεται στή φύση τῶν μικροφυσικῶν ὄντοτήτων καί διεργασιῶν. Ἴσως κι' ἐδῶ ἀπαιτεῖται μιά συγκεκριμένη σύνθεση τῶν δύο ἐννοιῶν.

Στή μικροφυσική ἀντιμετωπίζουμε διάκριτες, ἐντοπισμένες ὀντότητες, μέ ἀσυνεχῆ χαρακτηριστικά (μάζα, φορτίο, σπίν, κλπ.). Τά στοιχειώδη αὐτά ὄντα ἔχουν ἐπίσης καθορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, καί ἔχουν ὀρισμένη ἀτομικότητα, χωρίς νά ἀποκόπτονται τυπικά ἀπό τό περιβάλλον τους. Θά μπορούσαμε συνεπῶς νά θεωρήσουμε σά στοιχειώδη ὄγκο, τήν περιοχὴ ὅπου ὑπάρχει μιά τέτοια ποιότητα - ἀτομικότητα: σωματίο, ἰδιομορφία, ὕλικός σχηματισμός. Μιά τέτοια στοιχειώδης περιοχὴ δέ θά ἦταν ἀποκομμένη ἀπό τό περιβάλλον της, παρόλο πού θά ἀντιστοιχοῦσε σέ μιά ὀντότητα μέ καθορισμένα ποιοτικά καί ποσοτικά χαρακτηριστικά.

Στή μικροφυσική ἔχουμε νά κάνουμε μέ γεγονότα-διεγέρσεις, ἀποδιεγέρσεις, μεταπτώσεις, διασπάσεις, συνθέσεις - πού παρουσιάζουν ἀσυνεχῆ χαρακτήρα. Ὁ σημερινός φορμαλισμός ἀδυνατεῖ νά περιγράψει αὐτά τά φαινόμενα σά διαδικασίες μέσα στό χρόνο. Ὡστόσο εἶναι βέβαιο πῶς δέν πρόκειται γιά στιγμιαῖα ἄλματα. Ἀπορρίπτοντας λοιπόν τήν τυπική ἀσυνέχεια, θά μπορούσαμε νά θεωρήσουμε σά στοιχειώδη χρόνο, τό χρόνο στή διάρκεια τοῦ ὁποίου γίνεται κάτι: μιά μετάπτωση, ἓνας ποιοτικός μετασχηματισμός κλπ. Ἀλλά τότε θά εἶχαμε περισσότερους ἀπό ἓνα στοιχειώδους χρόνους (10^{-23} sec γιά τίς ἰσχυρές, 10^{-16} sec γιά τίς ἠλεκτρομαγνητικές, 10^{-8} sec γιά τίς ἀσθενεῖς ἀλληλεπιδράσεις). Οἱ χρόνοι αὐτοί δέ θά ἀποτελοῦσαν ἀσυνεχῆ τμήματα τῆς εὐθείας τοῦ χρόνου. Θά συνδέονταν μέ τά φαινόμενα, καί πῶς συγκεκριμένα, μέ τίς ποιοτικές μεταβολές τῶν φυσικῶν ὀντοτήτων.

Ἐπάρχει ποικιλία δομῶν καί μετασχηματισμῶν, καί ὑπάρχουν διαφορετικά ἐπίπεδα ὀργάνωσης τῆς φυσικῆς πραγματικότητας, ὅπου δέν ἰσχύουν ὑποχρεωτικά οἱ ἴδιοι νόμοι, οὔτε ἐμφανίζονται τά ἴδια χαρακτηριστικά. Στήν ποικιλία τῶν δομῶν τῆς ὕλης εἶναι δυνατόν νά ἀντιστοιχοῦν διαφορετικά χαρακτηριστικά τοῦ χώρου, ἄρα διαφορετικές τοπολογίες καί μετρικές. Ἀντίστοιχα ἡ ροή, ἡ «πυκνότητα» τοῦ χρόνου, ἐξαρτᾶται ἀπό τήν κίνηση, τήν παρουσία τῆς ὕλης καί τό χαρακτῆρα τῶν φαινομένων. Στήν πολυμορφία τῆς φύσης θά ἦταν εὐλόγο νά ἀντιστοιχεῖ μιά πολυμορφία χωροχρονικῶν σχέσεων. Τό πρόβλημα τῆς συνέχειας καί τῆς ἀσυνέχειας θά παρουσιαζόταν τότε διαφορετικό, στά διάφορα ἐπίπεδα τῆς φυσικῆς πραγματικότητας.