

ΟΓΔΟΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ*

*‘Ανάμεσα στο κενό και τό καθαρό συμβάν
P. Valery*

Μιλᾶμε συνεχῶς γιά μικροσωμάτια καί μικροσυστήματα, ἀλλά δέν ἐξετάσαμε τό γενικό θεωρητικό πλαίσιο τῶν-μικροφυσικῶν θεωριῶν. Τό πλαίσιο αὐτό τό ἀποτελοῦν ἡ μή ρελατιβιστική κβαντική μηχανική καί οἱ ρελατιβιστικές κβαντικές θεωρίες. Μιά ἀνάλυση αὐτῶν τῶν θεωριῶν εἶναι ἔξω ἀπό τά ὄρια αὐτοῦ τοῦ βιβλίου. Ὡστόσο στό κείμενο πού ἀκολουθεῖ θά σκιαγραφήσουμε τό πρόβλημα τῆς φυσικῆς ἐρμηνείας τῆς μή ρελατιβιστικῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Τό πρόβλημα αὐτό παρουσιάζει ἐξαιρετικό ἐνδιαφέρον, γιατί ὅπως εἶναι γνωστό, ἡ θεωρία αὐτή ἔθεσε θεμελιώδη ἐπιστημολογικά καί φιλοσοφικά ἐρωτήματα καί σημάδεψε τήν ἐπιστημολογία καί τή φιλοσοφία τοῦ αἰῶνα μας σέ ὅτι ἀφορᾷ τήν αἰτιοκρατία καί τήν πραγματικότητα στό μικρόκοσμο, ἀλλά καί σέ ὅτι ἀφορᾷ γενικότερα τό γνώσεολογικό πρόβλημα.

8. 1. Εἰσαγωγικές παρατηρήσεις

Ὄταν μιλᾷ κανεῖς σήμερα γιά ἐρμηνεία τῆς Κβαντικῆς μηχανικῆς κινδυνεύει νά δώσει τήν ἐντύπωση ὅτι κάνει ἀρχαιολογία. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι ὁ κλάδος αὐτός διαμορφώθηκε πρῖν ἀπό μισό αἰῶνα, καί ὅτι ἡ «ὀρθόδοξη» ἐρμηνεία τῆς (ἡ ἐρμηνεία τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης) διατυπώθηκε, στά οὐσιαστικά σημεῖα τῆς, μεταξύ 1925 καί 1930. Ἀλλά καθώς γράφει ὁ Scheibe, ἡ «ὀρθοδοξία δέν στερεῖται ἀπό σκοτεινά σημεῖα, ἀσάφειες καί κενά¹». Σαράντα χρόνια μετά τό «τέλος» τῆς διαμάχης κατά

* Δημοσιεύθηκε στό γαλλικό περιοδικό *La Nouvelle Critique*, ἀρ. 92, Μάρτιος 1976.
Ἡ ἐλληνική μετάφραση δημοσιεύθηκε στά *Χημικά Χρονικά*, 42, Ἰανουάριος 1977.
Στό ἀρχικό κείμενο ἐγιναν βελτιώσεις καί προσθήκες.

1. E. Scheibe, *The Logical Analysis of Quantum Mechanics*, Pergamon Press, 1973.

τήν ὁποία ἐπεκράτησε ἡ θετικιστική ἄποψη, τίποτα δέν φαίνεται νά ἔχει λυθεῖ. Τά προβλήματα εἶναι πάντοτε παρόντα, καί πολλές ὁμάδες φυσικῶν καί ἐπιστημολόγων ἐργάζονται σήμερα στό χῶρο τῶν ἐννοιολογικῶν θεμελιῶν τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Θά ἐπιχειρήσουμε νά σκιαγραφήσουμε σέ τοῦτο τό κεφάλαιο τίς κύριες θέσεις τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς συμπληρώνοντας ὅσα εἰπώθηκαν στό προηγούμενο. Θά προσπαθήσουμε ἐπίσης νά παρουσιάσουμε ὀρισμένα ἐπιχειρήματα τῶν νέων ἐρμηνειῶν, τῶν ὁποίων κοινός παρονομαστής εἶναι ὁ ρεαλισμός.

8.2. Ἡ ἐρμηνεία τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης

Ποιές εἶναι οἱ βασικές θέσεις αὐτῆς τῆς ἐρμηνείας; Θά πρέπει νά εἰπωθεῖ ἀπό τήν ἀρχή, ἡ ἐρμηνεία τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης δέν εἶναι ἀπαλλαγμένη ἀπό ἐσωτερικές ἀντιφάσεις, ἀπό ἀσάφειες, ἀπό «*clairs-obscurés*». Ἡ Σχολή ἐπί πλέον δέν εἶχε ποτέ ὁμοιογένεια: βρῖσκει κανεῖς ἐκεῖ καθαρούς θετικιστές, ἰδεαλιστές, ἀμφίβολουσ ρεαλιστές, ἀκόμα καί ἐπιστήμονες πού θεωροῦνται διαλεκτικοί ὕλιστές.

Ἡ ἐρμηνεία τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης διαρθρώνεται μέ ἀφετηρία τά μεγάλα προβλήματα τῆς αἰτιοκρατίας καί τῆς ἀντικειμενικότητας (τά δύο αὐτά προβλήματα συνδέονται ἄλλωστε ὀργανικά).

Ἡ κλασική φυσική δέχεται ὅτι ἡ ταυτόχρονη καί ἀκριβῆς γνώση τῆς θέσης καί τῆς ὀρμῆς ἑνός σωματίου εἶναι - θεωρητικά τουλάχιστον - δυνατή. Γνωρίζοντας τίς δυναμικές παραμέτρους ἑνός συστήματος, μπορούμε νά προβλέψουμε τήν ἐξέλιξή του καί νά ἐπαληθεύσουμε τήν κλασική αἰτιοκρατία (τέτοια αἷτια τέτοιο ἀποτέλεσμα). Ὅμως οἱ σχέσεις τοῦ Heisenberg ἀπαγορεύουν τήν ταυτόχρονη γνώση τῆς θέσης καί τῆς ὀρμῆς ἑνός σωματίου: μιά ὄλο καί πῖο ἀκριβῆς γνώση τῆς μιᾶς ἀπό τίς δύο συζυγεῖς παραμέτρους, συνεπάγεται μιά ὄλο καί μεγαλύτερη ἀβεβαιότητα γιά τήν ἄλλη. Τό γινόμενο τῶν δύο ἀβεβαιότητων εἶναι τῆς τάξης τῆς σταθερᾶς τοῦ Planck.

Ποιά εἶναι ἡ βαθύτερη αἷτια αὐτῶν τῶν σχέσεων;

Γιά τούς μέν, εἶναι ἡ διαταραχή πού προκαλεῖ τό ὄργανο τῆς μέτρησης σέ συστήματα ἐξαιρετικά εὐαίσθητα, ὅπως τά μικροφυσικά συστήματα (ὀπερασιοναλιστική ἄποψη). Γιά ἄλλους, ἡ φύση τῶν μικροσωματίων εἶναι τέτοια, πού ἡ ἴδια ἡ ταυτόχρονη ὕπαρξη τῆς θέσης καί τῆς ὀρμῆς δέν ἔχει νόημα (ὀντολογική ἄποψη). Κι' αὐτό, γιάτί τό κβαντικό σωματίο ἐξομοιώνεται ἀπό τήν ἐπίσημη ἄποψη μέ σωματίο - κῦμα καί τελικά μέ κυματοδέσμη, ἡ ὁποία παρουσιάζει μιά διασπορά, τόσο στό φυσικό χῶρο, ὅσο καί στό χῶρο τῶν ὀρμῶν (στήν ἐνέργεια).

Εἶναι ἐν τούτοις γνωστό, ὅτι οἱ δημιουργοί τῆς κβαντικῆς

μηχανικής (καί προπαντός ὁ Heisenberg) θέλησαν νά οἰκοδομήσουν αὐτή τήν ἐπιστήμη χρησιμοποιώντας μόνο παρατηρήσιμα μεγέθη. Γι' αὐτούς, ἕνα μή παρατηρήσιμο μέγεθος δέν ὑπάρχει («ἀρχή τῆς μή πραγματικότητας τῶν μή παρατηρήσιμων μεγεθῶν», πού στήν πραγματικότητα δέν εἶναι παρά μιά λεπτή διατύπωση τοῦ θετικιστικοῦ ἀξιώματος, ὅτι οἱ μόνες πραγματικότητες εἶναι τά δεδομένα τῆς αἰσθητηριακῆς μας ἐμπειρίας, ἢ τά δεδομένα πού καταγράφονται ἀπό τά ἐπιστημονικά μας ὄργανα).

Τό πρόβλημα εἶναι λοιπόν καθαρό γιά τό θετικισμό: ἕνα σωματίο πού ἔχει ὀρισμένη ὄρμη, δέν μπορεῖ νά ἔχει ὀρισμένη θέση καί ἀντίστροφα.² Ἄλλά τότε ἡ αἰτιότητα καί ἡ αἰτιοκρατία δέν μποροῦν νά ἐπαληθευθοῦν. Νά ἰσχυρίζομαστε κατά συνέπεια ὅτι ἰσχύουν στό μικρόκοσμο, σημαίνει ὅτι κάνουμε μεταφυσική.

Ἄλλο θέλησε νά δώσει συχνά μιά ἀπάντηση μέ περισσότερες ἀποχρώσεις: Τα ὄργανα τῆς μέτρησης εἶναι τέτοια, ὥστε δέν μποροῦν νά μετρήσουν κάθε φορά παρά μιά ἀπό τίς ὄψεις τῆς πραγματικότητας: ἢ τή θέση ἢ τήν ὄρμη. Οἱ δύο αὐτές ἔννοιες εἶναι λοιπόν «συμπληρωματικές» καί ἡ γνώση τῆς μιᾶς ἀποκλείει τή γνώση τῆς ἄλλης. Ἔτσι ἡ χωροχρονική περιγραφή εἶναι συμπληρωματική τῆς αἰτιοκρατικῆς καί ἀντίστροφα. (Ἄλλο θέλησε νά γενικεύσει τήν ἀρχή τῆς συμπληρωματικότητας, νά τήν ἐφαρμόσει στό χῶρο ἄλλων ἐπιστημῶν, καί νά τήν ἀναγάγει σέ γνωσεολογική ἀρχή). Ὡστόσο ἡ συμπληρωματικότητα δέν εἶναι μονοσήμαντη ἔννοια: ἐρμηνευόμενη θετικιστικά, ὁδηγεῖ στήν ἄρνηση τῆς ταυτόχρονης ὑπαρξῆς στοιχείων τῆς πραγματικότητας πού ἐκφράζονται ἀπό παρατηρήσιμα μεγέθη, τά ὅποια δέν μποροῦν νά μετρηθοῦν τήν ἴδια στιγμή (παρατηρήσιμα μεγέθη πού δέν ἀντιμετατίθενται). Ἐρμηνευόμενη μέ τήν ἀγνωστικιστική ἔννοια (δέν μποροῦμε νά ἀποφανθοῦμε γιά τήν ταυτόχρονη ὑπαρξη συμπληρωματικῶν μεγεθῶν) ἀποτελεῖ μιά ἐπιστημολογική ἀνάσχεση στήν ἐρμηνεία τῶν ἐννοιολογικῶν θεμελίων καί στήν ἀνάπτυξη τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἄλλά ἡ ἴδια ἔννοια ἐρμηνεύτηκε ἀπό μερικούς σά μιά ἔννοια διαλεκτική πού ἐκφράζει τήν ὑπαρξη συμπληρωματικῶν ἀντίθετων μέσα στήν ἴδια τήν πραγματικότητα.

Τό πρόβλημα δέν ἔχει τεθεῖ σωστά - ἀντιπαρατηρεῖ ὁ Paul Langevin, καί πολλοί μετά ἀπ' αὐτόν. Τό κβαντικό σωματίο δέν ταυτίζεται μέ τό κλασικό. Πρέπει λοιπόν νά βροῦμε νέες ἔννοιες, πού νά ἐκφράζουν σωστά τήν νέα πραγματικότητα.

Ἡ νέα ἔννοια, εἶναι ἡ ἔννοια τοῦ καταστατικοῦ διανύσμα-

2. Βλ. προηγούμενο κεφάλαιο.

τ ο ς³, πού δέν συνεπάγεται κανένα ίντετερμινισμό. Πραγματικά, τό καταστατικό διάνυσμα, από τή στιγμή πού όρίζεται, εξελίσσεται μέ αίτιοκρατικό τρόπο. (Τό διάνυσμα αυτό είναι λύση μιᾶς διαφορικής εξίσωσης πρώτου βαθμοῦ ὡς πρός τό χρόνο καί ὑπακούει σ' ἓνα «κλασικό» τύπο αίτιοκρατίας). Ἡ κατάσταση, από τή στιγμή πού θά όριστεῖ, εξελίσσεται μέ αίτιοκρατικό τρόπο ἀνάμεσα σέ δύο μετρήσεις. Ὁ λεγόμενος ίντετερμινισμός (αὐταρχία) δέν ἐκδηλώνεται παρά τή στιγμή πού τό σύστημα διαταράσσεται ἀπό μιᾶ ἐξωτερική παρατήρηση. Ἀλλά θά ἐπανέλθουμε σ' αὐτό τό πρόβλημα.

Ἡ ἀπάντηση δέν ρυθμίζει τό θέμα. Τό πρόβλημα: ποιά εἶναι ἡ φυσική σημασία τῶν ἐννοιῶν τῆς θέσης καί τῆς ὀρμῆς σ στο κβαντικό ἐπίπεδο, παραμένει ἀνοικτό. Ὑπάρχουν, μέ νέο ἔστω περιεχόμενο; Καί οἱ διασπορές (dispersions) πού προβλέπονται ἀπό τίς σχέσεις τοῦ Heisenberg ἀφοροῦν τό ἀτομικό σωματίο, ὅπως γίνεται σιωπηρά δεκτό, ἢ ἐκφράζουν στατιστικές διασπορές ἑνός μεγάλου συνόλου κβαντικῶν σωματίων. Τά συζυγή μεγέθη θά ἔπαιρναν τότε τυχαῖες τιμές, ἐξ αἰτίας τῶν τυχαίων ἀλληλεπιδράσεων τῶν σωματίων μέ τό περιβάλλον τούς (ἢ μέ τό ὑποκβαντικό ἐπίπεδο τῶν de Broglie - Bohm - Vigier). Καί ἂν τά σώματα δέν εἶναι «κυματοδέσμες», ἀλλά ὄντοτητες μέ ἓνα ὀρισμένο χωρικό ἐντοπισμό καί μέ ἐσωτερική δομή, δέ θά μπορούσε ἄραγε νά ἀναζητηθεῖ ἡ συγκεκριμένη διαλεκτική τῶν συμπληρωματικῶν ζευγῶν τῆς διαφορούμενης φιλοσοφίας τοῦ Niels Bohr? Τά ἐρωτήματα αὐτά δέν εἶναι μόνο φιλοσοφικοῦ χαρακτήρα. Βρίσκονται στό κέντρο συγκεκριμένων ἐρευνῶν, κατά τά τελευταῖα εἴκοσι ἔτη.

8.3. Τό πρόβλημα τῆς ἀντικειμενικότητας

3. Τό πρόβλημα τῆς ἀντικειμενικότητας στήν κβαντική μηχανική εἶναι γενικώτερο πρόβλημα. Ἡ γνώση μιᾶς κλασικῆς κατάστασης ἐπιτρέπει μιᾶ βέβαιη πρόβλεψη (πιθανότητα ἴση μέ 1) γιά κάποιο συμβάν (événement). Ἀλλά τό καταστατικό διάνυσμα ἑνός κβαντικοῦ συστήματος μᾶς δίνει μόνο τήν πιθανότητα γιά τοῦτο ἢ ἐκεῖνο τό γεγονός. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι σέ μερικές περιπτώσεις, ἡ πιθανότητα αὐτή εἶναι ἴση μέ 1. Ἐν τούτοις, ὁ πιθανοκρατικός χαρακτήρας τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς εἶναι γενικός. Ἐτσι δέν μπορούμε νά προβλέψουμε παρά τήν πιθανότητα νά ἐκπεμφθεῖ μιᾶ ὀρισμένη ἀκτινοβολία ἀπό

3. Πρόκειται γιά ἓνα διάνυσμα πού περιγράφει τήν κατάσταση τοῦ κβαντικοῦ σωματίου σέ μιᾶ δοσμένη στιγμή. Ἡ κατάσταση μπορεῖ π.χ. νά προσδιοριστεῖ ἀπό τήν ὅλική ἐνέργεια τοῦ σωματίου.

ένα άτομο, να διασπασθεί ένας πυρήνας, να ακολουθηθεί τούτη ή εκείνη ή όδός κατά την αντίδραση ανάμεσα σε σωμάτια, κ.λ.π. Ποιά είναι λοιπόν ή σημασία του γεγονότος ότι μία αρχική κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε μία σειρά διαφορετικές καταστάσεις; Και πώς μέσα στις συνθήκες αυτές μπορούμε να μιλάμε για αίτιότητα και για νόμους αντικειμενικούς; Και ποιά είναι αυτή ή πραγματικότητα, πού μπορεί να συμπεριφέρεται κατά πολλούς τρόπους; Ποιά είναι λοιπόν ή νομιμότητα της όντολογικής και γνωσεολογικής αντικειμενικότητας στην κβαντική μηχανική;

Αλλά δέν είναι μόνον αυτό: "Αν μετρήσετε ένα φυσικό μέγεθος, τό αποτέλεσμα είναι μοναδικό μόνο σε μερικές περιπτώσεις. Γενικά παίρνετε διαφορετικά αποτελέσματα, σύμφωνα μ' ένα νόμο πιθανοτήτων. Κατά μία έκφραση, ή μέτρηση αναλύει τό καταστατικό διάνυσμα στις συνιστώσες του και ή ανάλυση αυτή (ή αναγωγή της κυματοδέσμης σύμφωνα με μία άλλη όρολογία) είναι μή αίτιοκρατημένη. Αλλά ποιές είναι οί πραγματικές διαδικασίες πού κρύβονται κάτω από τή γεωμετρική αυτή γλώσσα;

Η Σχολή της Κοπεγχάγης έφτασε να θέσει σε άμφισβήτηση όχι μόνο τήν αίτιοκρατία, αλλά και τήν αντικειμενικότητα και τήν ίδια τήν πραγματικότητα στο μικροφυσικό επίπεδο.

Σύμφωνα με τήν αυστηρά θετικιστική έρμηνεία, τό μικροσωμάτιο (ή οί δυναμικές μεταβλητές του) δέν έχει ύπαρξη ανεξάρτητη από τόν παρατηρητή (ή τό όργανο μέτρησης). Η παρατήρηση δημιουργεί τό σύστημα (τά μεγέθη πού τό χαρακτηρίζουν). Νά μιλάμε για ύπαρξη ανεξάρτητη από τήν παρατήρηση, σημαίνει ότι κάνουμε μεταφυσική. Είναι, σημαίνει αντίληψη, μέτρηση, καταγραφή. Οριακά, ό παρατηρητής δημιουργεί τήν πραγματικότητα.

Είναι γεγονός ότι οί μικροφυσικές όντότητες είναι έξαιρετικά ευαίσθητες και ότι τροποποιούνται και συχνά μετασχηματίζονται ποιοτικά, από τή μέτρηση. Αλλά ή διαλεκτική αυτή ανάμεσα στο κβαντικό σύστημα και τό όργανο της μέτρησης δέν έχει σχέση με τόν ύποκειμενισμό της όρθόδοξης σχολής. Προϋποθέτει τήν αντικειμενική ύπαρξη του σωματίου. Ταυτόχρονα λαμβάνει ύπ' όψη της τήν κινητικότητα και τίς ποικίλες δυναμικότητές του, μέσα στις συγκεκριμένες συνθήκες.

Ο άκρος ύποκειμενισμός δέν γίνεται αποδεκτός άπ' όλους τούς όπαδούς της όρθόδοξης σχολής. Μία άγνωστικιστική θέση διακηρύχτηκε από πολλούς: δέν μπορούμε να άποφανθοϋμε για τήν πραγματικότητα πριν από τήν μέτρηση. Αλλά τό κυρίαρχο ρεύμα υπήρξε τό αντιρεαλιστικό. Από τή μικροφυσική δέ διώχτηκε λοιπόν μόνον ή

αίτιοκρατία. Ἡ ἴδια ἢ πραγματικότητα μετατράπηκε σέ κύματα πιθανότητας, σέ δυναμικότητα, ἢ ἀκόμα καί σέ κύματα γνώσης.

«Τό κύμα πιθανότητας τῶν Bohr, Kramers καί Slater, σημαίνει ἐν τούτοις κάτι περισσότερο ἀπ' αὐτό: σημαίνει τήν τάση πρὸς κάτι. Ὑπῆρξε ἡ ποσοτική ἔκφραση τῆς παλαιᾶς ἔννοιας τοῦ «δυνάμει» τῆς ἀριστοτελικῆς φιλοσοφίας. Εἰσήγαγε κάτι πού βρίσκεται στή μέσῃ, ἀνάμεσα στή δυνατότητα καί τήν πραγματικότητα» (Heisenberg).

Ἡ ἔννοια τοῦ δυνάμει μπορεῖ νά εἶναι μιά ἔννοια διαλεκτική: μπορεῖ νά ἐκφράσει τή σχέση ἀνάμεσα στό δυνατό καί στήν πραγματοποίησή του. Ἀλλά ὁ Heisenberg χρησιμοποιεῖ αὐτή τήν ἔννοια μέ ἄλλο νόημα. «Ἡ ὄντολογία τοῦ ὕλισμοῦ στηρίχθηκε στήν πλάνη ὅτι τό εἶδος τῆς ὕπαρξης, ἡ ἀμεση πραγματικότητα τοῦ κόσμου πού μᾶς περιβάλλει, μπορεῖ νά ἐπεκταθεῖ στήν ἀτομική κλίμακα. Ἀλλά ἡ ἐπέκταση αὐτή εἶναι ἀδύνατη». Ὁ ἴδιος μέγας φυσικός ἔλεγε σέ ἄλλη περίπτωση, ὅτι «ἡ πραγματικότητα τῆς μικροφυσικῆς διαλύθηκε στή διάφανη καθαρότητα τῶν μαθηματικῶν συμβόλων», διαμορφώνοντας μέ αὐτόν τόν τρόπο ἕνα εἶδος νεοπυθαγορισμοῦ καί νεοπλατωνισμοῦ⁴.

Ἡ λεγόμενη ὀρθόδοξη ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς εἶναι μιά συγκεκριμένη ἐκδήλωση τῆς ἀλληλεξάρτησης τῆς ἐπιστήμης καί τῆς ιδεολογίας. Οἱ ὁπαδοί αὐτῆς τῆς σχολῆς ἔζησαν σ' ἕνα περιβάλλον διαποτισμένο ἀπό τήν κυρίαρχη ιδεολογία καί εἰδικά ἀπό τό θετικισμό. Δέν εἶναι ἡ ἐπιστήμη τους πού γέννησε τήν ιδεολογία τους. Ἀλήθεια εἶναι τό ἀντίθετο.

Ἡ κβαντική μηχανική ἔπρεπε νά διατυπωθεῖ καί ταυτόχρονα νά κατανοηθεῖ. Οὔτε ἡ μιά οὔτε ἡ ἄλλη ἀπό τίς δύο ὁψεις αὐτῆς τῆς ἐξαιρετικά πρωτότυπης διαδικασίας δέν περιεῖχε αὐταπόδεικτες ἀλήθειες. Σ' αὐτή τήν προσπάθεια, μιά ὀρισμένη φιλοσοφία μπολιάστηκε στήν ἐπιστήμη. Τό ὑπόστρωμα ἦταν γόνιμο. Ξανάδωσε λοιπόν ἐκεῖνο πού δέχτηκε ἀπ' ἔξω, πολλαπλάσιο καί ἐπενδυμένο μέ τό κύρος μιᾶς πρωτοποριακῆς ἐπιστήμης. Ἡ λεγόμενη ὀρθόδοξη ἐρμηνεία εἶναι ἀξεχώριστη ἀπό τούς ιδεολογικούς καί πολιτικούς ἀγῶνες τῆς περιόδου τοῦ μεσοπολέμου.

Ἡ ὀρθόδοξη ἐρμηνεία διατυπώθηκε οὐσιαστικά ἀνάμεσα στό 1924 καί τό 1927. Ἐγινε ἀποδεκτὴ ἀπό τήν ὁλότητα σχεδόν τῶν φυσικῶν καί κυριάρχησε σχεδόν ἀποκλειστικά μέχρι τήν περίοδο τοῦ 1950. Ἐν

4. Βλ. σχετικά, W. Heisenberg: 1) *Physics and Philosophy*, Allen and Unwin, 1959 2) *La Nature dans la Physique Contemporaine, Idées*, Gallimard, 1962 3) Κείμενο στό: N. Bohr and the development of Physics, Pergamon Press, 1955.

τούτοις από τήν ἀρχή δέν ἔγινε ἀποδεκτὴ χωρὶς ἀντιδράσεις. Μερικοὶ μεγάλοι φυσικοὶ τοῦ αἰώνα μας, ὅπως ὁ Einstein καὶ ἄλλοι, ἀντιτάχθηκαν σ' αὐτὴ τὴν ἀντίληψη, πού ἦταν ἀντίθετη μέ τό ρεαλιστικό πνεῦμα ὁλόκληρης τῆς ἐπιστημονικῆς παράδοσης. Ἡ ἀντίθεσή τους προερχόταν ἀπό ρεαλιστικές καὶ μερικές φορές ὑλιστικές θέσεις. Οἱ ἐπιστήμονες αὐτοὶ ὑπερασπίζονταν τὴν ἀντικειμενικότητα τῆς πραγματικότητας καὶ τῆς γνώσης. Ἀλλά ἡ διαμάχη συγκεντρώθηκε κυρίως γύρω ἀπὸ τό πρόβλημα τῆς αἰτιοκρατίας.

8.4. Τό πρόβλημα τῆς αἰτιότητας

Ἡ de Broglie διαμόρφωσε τό 1927 μιὰ αἰτιοκρατικὴ ἀντίληψη τῆς κίνησης στό κβαντικό ἐπίπεδο, γνωστὴ μέ τό ὄνομα, θεωρία τῆς διπλῆς λύσης. Ἐγκατέλειψε ὥστόσο τὴν προσπάθειά του μπροστά στίς ἐπιθέσεις τῶν ἰντετερμινιστῶν καὶ ἰδιαίτερα τοῦ Pauli (συνέδριο τοῦ Solvay) καὶ ἀποδέχτηκε τὴν ὀρθόδοξη ἐρμηνεία⁵. Τό 1935, οἱ Einstein, Podolsky, Rosen ἀνέπτυξαν μιὰ ἐπιχειρηματολογία πού ἔθετε σέ ἀμφισβήτηση τὴν πληρότητα τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς⁶. Στὴν ἀπάντησή του ὁ Bohr διατύπωσε, ὅπως ἀναφέραμε, τὴν ἔννοια τοῦ μή διαχωρισμοῦ (τοῦ φυσικοῦ συστήματος καὶ τοῦ ὄργανου τῆς μέτρησης) καὶ ἡ γενικὴ ἐντύπωση ἦταν ὅτι, παρά τὴν ἀντίσταση τοῦ Einstein, τό πρόβλημα εἶχε πρακτικὰ λυθεῖ.

Ἡ ἀντίθεση στὴν ὀρθόδοξη ἐρμηνεία δέν ἔπαυσε ποτέ, κυρίως ἐκ μέρους τῶν σοβιετικῶν φυσικῶν καὶ τῶν φυσικῶν τῶν λαϊκῶν δημοκρατιῶν μετὰ τὸν πόλεμο. Ἀλλά οἱ ἰδέες πού διατυπώθηκαν ἦταν συχνά ἀόριστες καὶ συχνότερα δογματικές (προσπαθοῦσαν νά λύσουν συγκεκριμένα προβλήματα, ξεκινώντας ἀπὸ γενικὲς θέσεις τοῦ διαλεκτικοῦ ὑλισμοῦ) καὶ δέν κατόρθωναν συχνά νά θέσουν νέα ἐπιστημονικὰ ἐρωτήματα καὶ νά ἐλκύσουν τὴν προσοχὴ τῶν φυσικῶν τοῦ καπιταλιστικοῦ κόσμου. Παράλληλα μ' αὐτὲς τίς προσπάθειες, στὴν περίοδο τοῦ 1950, μιὰ ὁμάδα ἐρευνητῶν τοῦ Institut Poincaré (de Broglie, Bohm, Vigier καὶ ἄλλοι) ξαναγύρισαν στίς παλαιὲς ἰδέες τοῦ de Broglie καὶ θέλησαν νά δώσουν ὄχι μόνον μιὰ ἐρμηνεία, ἀλλὰ καὶ μιὰ διατύπωση αἰτιοκρατικῆς τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς.

Ἡ βασικὴ ἰδέα συνίσταται στό νά θεωρήσουμε τό στατιστικὸ φαινόμενο σάν ἀποτέλεσμα τῶν τυχαίων ἀλληλοεπιδράσεων τοῦ

5. Γιά τὰ πρωτότυπα κείμενα τοῦ de Broglie, βλ. L. de Broglie, *La Physique Quantique restera-t-elle indéterministe?* Gauthier - Villars, 1953.

6. Einstein, Podolsky, Rosen, *Phys. Rev.*, 47, 777 (1935).

σωματίου μέ τό περιβάλλον του (καί ἴσως μέ ἓνα ὑποκβαντικό επίπεδο). Ὁ Bohm εἰδικά πέτυχε ἐπίσης νά δώσει μιά αἰτιοκρατική διατύπωση τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς τό 1952, εἰσάγοντας στό φορμαλισμό νέες παραμέτρους, τίς περίφημες *λανθάνουσες παραμέτρους*⁷.

Ἡ διαμάχη πού ξανάρχισε μέ νέα ἔνταση ἐκείνη τήν ἐποχή, συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Πολλές φορές οἱ θεωρητικοί ἀπέδειξαν τήν ἀνυπαρξία τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων. (Ἔλλωστε τό ἀδύνατο γιά τέτοιες παραμέτρους εἶχε «ἀποδειχτεῖ» πρῖν ἀπό τόν πόλεμο ἀπό τόν Von Neumann μέ βάση τό περίφημο θεώρημά του· τό θεώρημα αὐτό μέ τή σειρά του ἀποδείχτηκε μή βάσιμο, ἀπό λογική ἄποψη). Πρῖν ἀπό μερικά χρόνια τό πρόβλημα πέρασε σέ ἀποφασιστική φάση, γιατί ἀποδείχτηκε ὅτι μπορεῖ νά κριθεῖ στό πειραματικό επίπεδο.⁸ Ἀπό τότε ἔγιναν πολλές πειραματικές προσπάθειες. Τά ἀποτελέσματα δέν εἶναι τελεσίδικα. Ἀλλά τούτη τή στιγμή διεξάγονται πειράματα πού θά δώσουν ἴσως μιά σαφή ἀπάντηση στό πρόβλημα τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων.

Πολλές ομάδες φυσικῶν ἐργάζονται σήμερα ὑπέρ τῆς ὑποθέσεως τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων. Ἄλλοι ἐναντίον. Καί εἶναι ἐνδιαφέρον νά σημειώσουμε ὅτι πολλοί φυσικοί τῶν σοσιαλιστικῶν χωρῶν τοποθετήθηκαν ἐναντίον αὐτῆς τῆς ὑποθέσεως. Σύμφωνα μέ τή συλλογιστική τους, ἡ ὑπόθεση τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων θέλει νά ἐπαναφέρει στήν περιοχή τῆς μικροφυσικῆς, ἓνα εἶδος *μηχανιστικῆς αἰτιοκρατίας*, ἄρα ἀποτελεῖ *ὀπισθοδρόμηση*.

Γιά πολλούς ἀπό τούς φυσικούς αὐτούς, ἡ ἀναζήτηση μιᾶς αἰτιοκρατικῆς διατύπωσης τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς ἀποτελεῖ ἀπλῶς μεθοδολογικό σφάλμα. Οἱ πιθανότητες, ἰσχυρίζονται, δέν ἀποδεικνύουν τήν ἀπουσία αἰτιότητας στό κβαντικό επίπεδο - αὐτό εἶναι σωστό - ἀλλά τίς δυναμικότητες τῶν μικροσωματίων πού πραγματοποιοῦνται στή φύση ἢ κατά τό πείραμα. Τό καταστατικό διάνυσμα ἐκφράζει, κατά τούς φυσικούς αὐτούς, τίς δυναμικότητες, ἄρα τόν πλοῦτο τῶν δυνατοτήτων τοῦ πραγματικοῦ.

Ἡ συλλογιστική αὐτή προϋποθέτει, κατά τήν γνώμη μου, δύο σφάλματα, φιλοσοφικοῦ χαρακτήρα.

Τό πρῶτο ἀφορᾷ τό περιεχόμενο τῆς ἔννοιας τῆς αἰτιοκρατίας. Εἶχαμε τήν μηχανιστική (ἢ λαπλασιανή) μορφή αἰτιοκρατίας, πού χαρακτηρίζει τή μηχανιστική φυσική πού θέλει νά ἐξηγήσει τό σύνολο

7. Βλ. Physical Review, 83, 166 (1952).

8. Μέ ἀφετηρία τίς ἀνισότητες τοῦ Bell, πού προβλέπουν στατιστικές κατανομές διαφορετικές ἀπό τίς προηγούμενες ἀπό τήν τωρινή θεωρία, γιά ὀρισμένους τύπους πειραμάτων.

τῶν φαινομένων μέ ὄντοτητες καί μέ «δυνάμεις» μηχανιστικοῦ χαρακτήρα. Τά ἠλεκτρομαγνητικά φαινόμενα καί τά φαινόμενα τῆς βαρύτητας (στά πλαίσια τῆς σχετικότητας) ὑπακούουν σ' ἓνα δυναμικό τύπο αἰτιοκρατίας. Οἱ νόμοι τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς εἶναι νόμοι πιθανοκρατικοί. Θά μπορούσαμε νά ὀνομάσουμε τή νέα αὐτή μορφή αἰτιοκρατίας, ἀκολουθώντας τόν P. Langevin, *στατιστική κβαντική αἰτιοκρατία*. Τό ἐρώτημα: νά ἀναγάγουμε τή στατιστική μορφή αἰτιοκρατίας σέ δυναμική, εἶναι κατά τή γνώμη μου ἓνα θεμιτό ἐρώτημα, πού δέν φανερώνει καθόλου μηχανιστικό πνεῦμα. Ἡ ἰδέα μάλιστα τῶν τυχαίων ἀλληλοεπιδράσεων τοῦ σωματίου μέ τό περιβάλλον του, καί προπαντός ἡ ἰδέα γιά ἓνα βαθύτερο ἐπίπεδο ὀργάνωσης τῆς πραγματικότητας, εἶναι ἰδέες βαθειά διαλεκτικές.

Τό δεύτερο λάθος, κατά τή γνώμη μου, ἀφορᾷ τήν ἔννοια τῆς δυναμικότητας (potentialité). Αὐτό πού εἶναι δυνάμει, πραγματοποιεῖται μέσα σέ συγκεκριμένες συνθῆκες. Μέσα σέ συνθῆκες διαφορετικές, μπορεῖ νά πραγματοποιηθεῖ μέ διαφορετικούς τρόπους. Τό γεγονός ὅτι τό καταστατικό διάνυσμα πραγματοποιεῖ κάθε φορά τούτη τή δυναμικότητα καί ὄχι κάποια ἄλλη, σημαίνει συνεπῶς ὅτι οἱ συνθῆκες εἶναι διαφορετικές. Πρέπει λοιπόν νά ξεπεράσουμε τήν ἀφηρημένη διαλεκτική τῆς δυναμικότητας καί νά θέσουμε τό ἐρώτημα συγκεκριμένα: Ποιές εἶναι οἱ διαφορετικές συνθῆκες πού ὀδηγοῦν ἀπό «μιά» ἀρχική κατάσταση, σέ καταστάσεις διαφορετικές;

Προτοῦ προσπαθήσουμε νά συγκεκριμενοποιήσουμε περισσότερο τό πρόβλημα, πρέπει νά μιλήσουμε γιά μιά πολύ διαδομένη σύγχυση πού ἀφορᾷ τίς κατηγορίες τῆς *αἰτιότητας* (causalité) καί *αἰτιοκρατίας* (determinisme).

Ἡ ὕπαρξη στατιστικῶν νόμων δέν εἶναι ἀσυμβίβαστη μέ τήν ὕπαρξη αἰτιακῶν σχέσεων, καθώς εἶχε ἤδη ὑπογραμμίσει ὁ M. Planck. Ἡ αἰτιότητα δέν τέθηκε σέ ἀμφισβήτηση ἀπό τήν κλασική στατιστική φυσική. Ἀλλά τά κβαντικά φαινόμενα - μᾶς λέν - εἶναι ἀπό τή φύση τους ἀνάτια (acausals) μιά καί δέν ὑπακούουν σέ μιά αἰτιοκρατία δυναμικῆς μορφῆς. Γιατί; Ποιά εἶναι αὐτή ἡ εἰδική «φύση»;

Μερικοί φυσικοί ἐπιμένουν στήν ἀναλογία ἀνάμεσα στήν κλασική καί τήν κβαντική μηχανική. Στήν κλασική περίπτωση, οἱ στατιστικοί νόμοι ἑνός συνόλου N σωματίων, εἶναι ἡ συνολική ἔκφραση αἰτιοκρατημένων κινήσεων τῶν σωματίων, κινήσεων πού εἶναι τό ἀποτέλεσμα τῶν κλασικῶν «λανθανουσῶν παραμέτρων». Κατ' ἀναλογίαν, ἡ κβαντική μηχανική ὑπακούει σέ στατιστικούς νόμους πού προκύπτουν ἀπό τυχαῖες, ἀλλά αἰτιακές κινήσεις τῶν μικροσωματίων.

Ἡ ἀναλογία αὐτή εἶναι ἐπικίνδυνη. Δημιουργεῖ τόν κίνδυνο ν'

άγνοηθεῖ ἢ ποιοτική διαφορά ἀνάμεσα στήν κλασική καί τήν κβαντική στατιστική. Ἄλλά ὁ στατιστικός χαρακτήρας τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, δέν ἀποδεικνύει τήν ἀπουσία αἰτιότητας στό ἐπίπεδό της. Οἱ φυσικές ἄρα ἀντικειμενικές αἰτίες τῶν φαινομένων εἶναι γνωστές. Πρόκειται γιά τίς ἀλληλεπιδράσεις ἀνάμεσα στά κβαντικά συστήματα καί τά ὄργανα μέτρησης. Αὐτό πού δέν ἐπιβεβαιώνεται πιά, εἶναι μιά μορφή δυναμικῆς αἰτιοκρατίας.

Ἡ εἰσαγωγή λανθάνουσῶν παραμέτρων δέ θά εἶχε λοιπόν σά σκοπό νά ἀποκαταστήσει τήν αἰτιότητα, ἢ ὁποία εἶναι πανταχοῦ παροῦσα, οὔτε μιά μηχανική μορφή αἰτιοκρατίας. Θᾶχε σάν ἀντικείμενο ν' ἀναγάγει τούς στατιστικούς νόμους σέ νόμους δυναμικούς, καί χαρακτηριστικά κβαντικούς.

8.5. Μέτρηση καί αἰτιοκρατία

Ἄλλά ἄς ἐπανέλθουμε στό πρόβλημα τῆς μέτρησης καί τῶν πιθανοτήτων. Ἄς φανταστοῦμε ἕνα σύνολο ἀπό N κβαντικά σωματία, τό ὁποῖο κατά ἕνα ὀρισμένο τόπο ἔχει «προετοιμαστεῖ». Τό σύνολο αὐτό ἐξελίσσεται αἰτιοκρατικά μέσα στό χῶρο καί τό χρόνο.

Ἄς ὑποθέσουμε τώρα ὅτι πραγματοποιοῦμε μιά μέτρηση πού ἀφορᾷ ἕνα ἀπό τά παρατηρήσιμα τοῦ συστήματος. Ἄν τό σύνολο ἀποτελεῖ μιά καθαρή κατάσταση, ἄν δηλαδή ὅλες οἱ συνιστώσες τοῦ καταστατικού διανύσματος, ἐκτός ἀπό μιά, εἶναι μηδενικές, τότε τό ἀποτέλεσμα μπορεῖ, κάτω ἀπό ὀρισμένες συνθήκες, νά προβλεφθεῖ μέ βεβαιότητα, δηλαδή μέ πιθανότητα ἴση μέ τή μονάδα: κανεῖς «ἰντετερμινισμός» δέν ἐκδηλώνεται σ' αὐτή τήν περίπτωση, κατά τή μέτρηση.

Ἄς ὑποθέσουμε τώρα ὅτι ἔχουμε μιά ἐπαλληλία καταστάσεων. Ἡ κατάσταση αὐτή θεωρεῖται πάντα σάν μιά καθαρή κατάσταση. Στήν περίπτωση αὐτή δέν θάχουμε ἕνα μοναδικό ἀποτέλεσμα ἀλλά περισσότερα, μέ καθορισμένες πιθανότητες. Μήπως ἔχουμε στή περίπτωση αὐτή μιά ἐκδήλωση ἰντετερμινισμοῦ;

Ἡ ἐπαλληλία καταστάσεων⁹ θεωρήθηκε, κατά τή γνώμη μου, σάν καθαρή κατάσταση, μέ μιά ἐπιστημολογική μεταφορά ἀπό τό χῶρο τῆς φυσικῆς τοῦ συνεχοῦς (κλασικός ἠλεκτρομαγνητισμός), στή φυσική τοῦ ἀσυνεχοῦς. Οἱ ἔννοιες τῆς ἐπαλληλίας καταστάσεων καί τῆς κυματοδέσμης προέρχονται ἀπό τόν κλασικό ἠλεκτρομαγνητισμό.

9. Ἐπαλληλία καταστάσεων: ἡ κατάσταση ἑνός κβαντικοῦ συστήματος μπορεῖ νά εἶναι γραμμική ἐπαλληλία περισσοτέρων καταστάσεων. Ἡ μέτρηση σέ ἕνα τέτοιο σύστημα δέν δίδει ἕνα μοναδικό, ἀλλά περισσότερα ἀποτελέσματα, σύμφωνα μέ καθορισμένες πιθανότητες.

Αλλά μιά συγκεκριμένη ανάλυση φανερώνει ότι ή μεταφορά αυτή δέν είναι θεμιτή.

Θά μπορούσαμε νά ποῦμε ότι ή έννοια τής έπαλληλίας άφορᾶ ὄχι τό άτομικό σωμάτιο, αλλά ένα στατιστικό σύνολο μικροσωμάτων. Οί καταστάσεις πού πραγματοποιοῦνται κατά τή μέτρηση αντίστοιχα, ανήκουν σέ ένα καταστατικό χῶρο πού δέν είναι ὁ χῶρος τοῦ συστήματος πρίν από τή μέτρηση, αλλά ὁ χῶρος τῶν δυναμικότητων τοῦ στατιστικοῦ συνόλου¹⁰. Οί πιθανότητες δέν προέρχονται κατά συνέπειαν από τήν άναγωγή (ανάιτια, ἄρα μυστηριώδη) τοῦ καταστατικοῦ διανύσματος, αλλά από τήν άποσύνθεση τοῦ δυνάμει στατιστικοῦ συνόλου στίς καθαρές συνιστώσες του.

Μποροῦμε νά ὀνομάσουμε αὐτό τό σύνολο, *δυνάμει συνεκτικό μείγμα* γιά νά τό διαστείλουμε από τό συνηθισμένο στατιστικό μείγμα (άλλά ή δικαιολόγηση τοῦ ὄρου βρίσκεται ἔξω από τίς δυναμικότητες αὐτοῦ τοῦ κειμένου).

Θά μπορούσαμε λοιπόν νά ποῦμε ότι στήν περίπτωση μιᾶς έπαλληλίας καταστάσεων (δυνάμει συνεκτικό μείγμα), δέν ὑπάρχει ἴντετερμινισμός: Οί πιθανότητες αντιστοιχοῦν στή σύσταση τοῦ συνόλου N τῶν κβαντικῶν συστημάτων πού ναι μέν είναι «καθαρή κατάσταση», αλλά μποροῦμε νά θεωρήσουμε ότι ἔχει μιά λεπτή ὑφή δυναμικοῦ χαρακτήρα καί γι' αὐτό ἀντιδρᾶ διαφορετικά στό ὄργανο, στήν κάθε άτομική μέτρηση.

Τό σύνολο αὐτό μπορεῖ νά παρασταθεῖ μέ ένα καταστατικό διάνυσμα, πράγμα πού σημαίνει ότι ἔχουμε ένα σύνολο κβαντικῶν μικροσυστημάτων τής ἴδιας φύσης, αλλά σέ καταστάσεις δυνάμει διαφορετικές. Αὐτό σημαίνει ἐπίσης ότι μποροῦμε νά ἔχουμε συσχετίσεις (correlations) ανάμεσα στά μικροσυστήματα, οί ὁποῖες ἀλλοιώνουν τήν κατανομή τῶν πιθανοτήτων.

Ἡ περίπτωση τέλος ενός στατιστικοῦ μείγματος είναι κατ' ἀρχήν ἀπλή: Τό ὄργανο τής μέτρησης διαχωρίζει τό σύνολο στίς συνιστώσες του καί οί πιθανότητες ἐκφράζουν τίς ἀναλογίες τῶν διαφόρων καταστάσεων μέσα στό μείγμα. Κι ἔδῳ ἐπίσης δέν ὑπάρχει ἴντετερμινισμός.

Πρόβλημα τής αἰτιότητας προκύπτει λοιπόν μόνο στήν περίπτωση

10. Ἐχουμε στήν περίπτωση αὐτή: Πρίν από τή μέτρηση: $\Psi = \sum c_i \Psi_i$ (καθαρή κατάσταση, έπαλληλία) (1). Μετά τή μέτρηση $\{\Psi_i\}$: στατιστικό σύνολο καταστάσεων Ψ_i . Συνεπῶς ή (1) πού είναι σχέση ἰσότητας (ή ταυτότητα) δέν ἐκφράζει τό πραγματικό περιεχόμενο αὐτοῦ τοῦ εἶδους μετρήσεων, πού είναι ὁ μετασχηματισμός τής ἀρχικῆς καθαρῆς κατάστασης, σέ μείγμα: Ψ μέτρηση $\rightarrow \{\Psi_i\}$.

καθαρῶν καταστάσεων πού μετατρέπονται μέ τή μέτρηση σέ μεῖγμα, μέ τούτη ἢ ἐκείνη τή σύνθεση. Παράδειγμα: ἕνα ρεῦμα φωτονίων πολωμένων σύμφωνα μέ μιá διεύθυνση, μετατρέπεται σέ μεῖγμα δύο καταστάσεων σύμφωνα μέ τούς ἄξονες ox καί oy . Ἄν ἡ διεύθυνση σχηματίζει γωνίες 45° μέ τούς ἄξονες τότε $N/2$ ἀπό τά φωτόνια θά εἶναι πολωμένα πρὸς τή διεύθυνση Ox καί $\frac{N}{2}$ πρὸς τή διεύθυνση oy . Στήν

περίπτωση αὐτή ὑπάρχει πραγματικά «δημιουργία» καταστάσεως ἀπό τήν μέτρηση. Ἄλλά αὐτή ἡ δημιουργία:

1) Δέν εἶναι δημιουργία *ex nihilo*.

2. Ὑπακούει σ' ἕνα πιθανοκρατικό νόμο. Ἡ τροποποίηση τῶν συνθηκῶν μεταβάλλει τίς πιθανότητες, πρᾶγμα πού φανερώνει τόν αἰτιακό χαρακτήρα τοῦ φαινομένου.

3. Μποροῦμε νά φανταστοῦμε ὅτι ὑπάρχουν φυσικές διεργασίες πού καθορίζουν τήν μετατροπή τῆς ἀρχικῆς καταστάσεως σέ δύο ἢ περισσότερες καταστάσεις διαφορετικές. Οἱ διεργασίες αὐτές εἶναι συχνά γνωστές ἀπό φυσική ἄποψη.

Κι ἐδῶ λοιπόν δέν ὑπάρχουν ἀναίτιες διεργασίες, ἀλλά ποιοτικές μετατροπές πού ἔχουν τίς αἰτίες τους καί ἐκφράζονται μέ μιá αἰτιοκρατία στατιστικῆς μορφῆς.

Ὑπάρχουν ἐν τούτοις φαινόμενα στή φύση, πού πραγματοποιοῦνται ἀνεξάρτητα ἀπό ὅποιονδῆποτε «παρατηρητή», καί πού ὁ πιθανοκρατικός χαρακτήρας τους δέν μπορεῖ νά ἐξηγηθεῖ μέ τήν στατιστική ἐρμηνεία τοῦ καταστατικοῦ διάνυσματος πού σκιαγραφήσαμε.

Ἄλλά καί σ' αὐτή τήν περίπτωση μπορεῖ κανεῖς νά ἀποφύγει τήν ἰντετερμινιστική θέση (ἀπό μιá ἀρχική κατάσταση περισσότερες τελικές καταστάσεις) εἰσάγοντας μιá λεπτή δομή στήν ἀρχική κατάσταση (στό σύνολο τῶν ἀτόμων πού διασπῶνται, πού ἐκπέμπουν ἀκτινοβολία, στό σύνολο τῶν σωματίων πού ὑφίσταται κρούσεις μέ τά άτομα ἐνός κρυστάλλου, τῶν ζευγῶν πρωτονίου - ἀντιπρωτονίου πού μποροῦν νά δώσουν διάφορες ὁμάδες π-μεσονίων ἀπό διαφορετικούς δρόμους, κλπ.). Ἡ λεπτή αὐτή δομή δέ θάταν παρά μιá διαφορετική ἔκφραση τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων (τυχαῖες ἀλληλεπιδράσεις μέ τό περιβάλλον, ἰδιομορφίες πού δέν εἰσάγονται στό καταστατικό διάνυσμα, κλπ).

Οἱ παράμετροι αὐτές δέν θάταν μυστηριώδεις ὀντότητες, ἀπόκρυφες ιδιότητες ἢ δυνάμεις. Ἡ διασπορά τῆς θέσης, ἡ διασπορά τῆς ὀρμῆς, οἱ διακυμάνσεις τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου, ἡ ἄλλων φυσικῶν πεδίων, τό ἔδεχόμενο ὑποκβαντικό ἐπίπεδο ἢ ἄλλα ἀκόμα ἄγνωστα, δυναμικά, ἀκόμα καί οἱ διακυμάνσεις τῶν ἐσωτερικῶν μεταβλητῶν τοῦ

συστήματος, δέ θάταν παρά μεταβλητές πού δέν υπεισέρχονται στήν χαμιλτονιανή συνάρτηση¹¹ καί κατά συνέπεια στό καταστατικό διάνυσμα, στόν τωρινό φορμαλισμό τῆς κβαντικής μηχανῆς. Ἡ εἰσαγωγή τέτοιων μεταβλητῶν (λανθανουσῶν παραμέτρων) θά μπορούσε νά ἀναγάγει τό στατιστικό νόμο σέ νόμο δυναμικό (ἀλλά ὄχι μηχανιστικό). Οἱ μεταβλητές αὐτές θά ἦταν ἔκφραση τῆς ἐνότητας τοῦ σωματίου μέ τό περιβάλλον του, καί τῆς περίπλοκης καί δυναμικῆς φύσης τοῦ ἴδιου τοῦ μικροσωματίου.

8.6. Ἀναγκαιότητα καί τυχαῖο

Τί θά σήμαινε ὁμως ἡ εἰσαγωγή τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων; Ἀντίθετα μέ ὅτι λέγεται συνήθως, ἡ εἰσαγωγή τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων δέν ἐπιδιώκει ὑποχρεωτικά - ἢ ἀποκλειστικά - νά δώσει μιά δυναμική διατύπωση στήν κβαντική μηχανική. Ἄλλωστε ἡ πρακτική χρησιμότητα μιᾶς τέτοιας μηχανικῆς δέν εἶναι δεδομένη α priori. Ἡ εἰσαγωγή τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων συνιστᾷ, κατ' ἀρχήν, μιά ἐπιστημολογική πρόκληση στό θετικιστικό - μηχανιστικό πνεῦμα τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς. Θά μπορούσε ἐπίσης νά ἐρμηνεύσει καταστάσεις πού παρουσιάζουν σήμερα πιθανοκρατικό χαρακτήρα. Τελικά μπορεῖ νά βοηθήσει τήν πρόσβαση, ἢ νά ὀδηγήσει στήν γνώση ἐνός βαθύτερου ἐπιπέδου ὀργάνωσης τῆς πραγματικότητας. Ἡ ὑπόθεση τῶν λανθανουσῶν παραμέτρων ἀποτελεῖ ἕνα ἐπιστημολογικό καταλύτη στήν περιοχή τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς.

Τά κβαντομηχανικά συστήματα εἶναι ἐξαιρετικά εὐμετάβλητα. Εἶναι συστήματα ἀνοιχτά - κλειστά (ἢ ἡμιανοιχτά). Ἡ κίνησή τους (μέ τήν εὐρύτερη ἔννοια) προσδιορίζεται ἀπό ἕνα σύνολο ἐσωτερικῶν μεταβλητῶν (ἀλληλεπιδράσεις τυπου A) σύν ἕνα σύνολο ἐξωτερικῶν μεταβλητῶν (ἀλληλεπιδράσεις τύπου B) πού χαρακτηρίζουν τήν ἐνότητα τοῦ συστήματος μέ τό περιβάλλον του. Οἱ ἐξωτερικές μεταβλητές δροῦν διά μέσου τῶν δομῶν τοῦ σωματίου, ἀπ' ὅπου ὁ δυναμισμός τοῦ συστήματος καί οἱ πολλαπλές δυναμικότητές του, ἀνάλογα μέ τίς συνθήκες (ἀλληλεπιδράσεις B). Στήν περίπτωση τῆς μέτρησης, τό ἀποτέλεσμα ἐξαρτᾷται ἀπό τήν ἀλληλεπίδραση τῶν μεταβλητῶν τύπου A (ἐσωτερικές) καί C (πού χαρακτηρίζουν τό ὄργανο τῆς μέτρησης). Καί ἐδῶ ἐκδηλώνονται περισσότερες ἀπό μιά δυνατότητες, πού προκύπτουν

11. Χαμιλτονική συνάρτηση: ἐκφράζει τήν ἐνέργεια τοῦ κβαντικοῦ σωματίου. Μέ βάση τήν συνάρτηση, καταστρώνεται ἡ ἐξίσωση Schrödinger. Οἱ λύσεις τῆς τελευταίας εἶναι τά καταστατικά διανύσματα (ἢ οἱ κυματικές συναρτήσεις στή γλώσσα τῆς κυματομηχανικῆς).

από τό παιγνίδι τῶν ἀλληλεπιδράσεων A καί C. Οἱ πιθανότητες, ἄρα τό τυχαῖο στήν κβαντική μηχανική, εἶναι μιά κατηγορία ὄντολογική, καί ὄχι ἀπλά ἐπιστημολογική. Μέ ἄλλα λόγια: οἱ στατιστικοί νόμοι εἶναι ἀντικειμενικοί καί δέν προκύπτουν ἀπό τήν ἄγνοιά μας.

Ἡ κίνηση μικροσυστημάτων εἶναι τυχαία, ἐξ αἰτίας τῶν τυχαίων ἀλληλεπιδράσεων. Ἡ τροχιά τοῦ σωματίου εἶναι κατά συνέπεια περίπλοκη, καί ἡ ὄρμη του παίρνει τυχαῖες τιμές. Ἄν θεωρήσουμε ἕνα σύνολο N ἀπό σωματῖα, πού βρίσκονται ὅλα στήν ἴδια «καθαρή» κατάσταση, εἶναι φανερό ὅτι θά ὑπάρχει πάντα μιά διασπορά πού ἀφορᾷ τήν ὑπαρξη ἀλληλεπιδράσεων τύπου B. Καί καθώς οἱ ἀλληλεπιδράσεις εἶναι κβαντισμένες, δέν εἶναι φυσιολογικό, ὅτι τό γινόμενο τῶν δύο διασπορῶν εἶναι τῆς τάξης τοῦ κβάντου δράσης; Δέν θά μπορούσαμε λοιπόν νά βροῦμε σ' αὐτή τήν ἄποψη μιά ὄντολογική καί ὄχι ἀπλά ὀπερασιοναλιστική ἐρμηνεία τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Heisenberg; Ἡ ἐρμηνεία αὐτή θάταν στατιστική, ἄρα σύμφωνη μέ τή γενικότερη στατιστική ἐρμηνεία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Οἱ ἀνισότητες τοῦ Heisenberg (διασπορά θέσης - ὀρμῆς, ἢ εὐρος ἐνέργειας καί χρόνος ζωῆς μιᾶς κατάστασης) θά ἀφοροῦσαν τότε στατιστικά σύνολα καί ὄχι τίς ἀφύσικες ὀντότητες - τίς «κυματοδέσμες» - τῆς συνηθισμένης ἐρμηνείας.

Οἱ σχέσεις ἀπροσδιοριστίας, πού ὁ ἴδιος ὁ ὀρισμός τους εἶναι στατιστικός, ἀφοροῦν στατιστικά σύνολα καί ὄχι ἀτομικά συστήματα. Μποροῦμε νόμιμα νά δεχτοῦμε ὅτι κάθε σωματῖο ἔχει ὀρισμένη θέση καί ὀρμή σέ κάθε στιγμή καί ὅτι τά δύο αὐτά μεγέθη μεταβάλλονται ἀπό τή μιά στιγμή στήν ἄλλη μέ τρόπο τυχαῖο, ἐξ αἰτίας τῆς ἀλληλεπίδρασης τοῦ σωματίου μέ τό περιβάλλον του. Ἐπίσης τό κβαντικό σωματῖο εἶναι μιά ὀντότητα σύνθετη καί εὐαίσθητη, καί ἔτσι ἡ κίνησή της στό χῶρο καί τό χρόνο δέν μπορεῖ νά ταυτισθεῖ μέ μετατόπιση, κατά τήν κλασική ἔννοια.

Κατά τά ἄλλα, οἱ σχέσεις τοῦ Heisenberg δέν συνιστοῦν, σύμφωνα μέ πολλούς φυσικούς καί ἐπιστημολόγους, ἕνα ἀνώτερο ὀριο ταυτόχρονου προσδιορισμοῦ τῆς θέσης καί τῆς ὀρμῆς, ἢ τῆς ἐνέργειας καί τοῦ χρόνου. Στούς θαλάμους φουσαλίδων, π.χ., μποροῦμε νά φωτογραφήσουμε τό ἔχνος ἐνός μικροσωματίου καί νά ἀνασυστήσουμε τήν τροχιά του στό χῶρο. Μέ βάση τά γεωμετρικά δεδομένα, μποροῦμε νά ὑπολογίσουμε τά δυναμικά δεδομένα τοῦ σωματίου. Ἐτσι ἡ γνώση τῆς θέσης χρησιμοποιεῖται γιά τόν ὑπολογισμό τῆς ὀρμῆς, πράγμα πού σημαίνει ὅτι στήν πράξη δεχόμεθα τήν ταυτόχρονη ὑπαρξη καί τῶν δύο, καί τή δυνατότητα νά τίς ὑπολογίζουμε μέ ἀκρίβεια πού μπορεῖ νά ξεπεράσει τήν προβλεπόμενη ἀπό τίς σχέσεις τοῦ Heisenberg.

8.7. Ρεαλισμός και Θετικισμός

Αλλά τό πρόβλημα τῆς αἰτιοκρατίας δέν εἶναι τό μόνο πού τίθεται ἀπό τό νέο, ρεαλιστικό, ρεῦμα. Τό ρεῦμα αὐτό παρουσιάζεται σάν ἡ ἀντίθεση τοῦ συνόλου τῶν θέσεων τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης.

Τό νέο ρεῦμα εἶναι ρεαλιστικό. Ἀντίθετα μέ τήν ὀρθόδοξη σχολή, δέχεται τήν ὑπαρξή μιᾶς πραγματικότητας πού εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπό τά ὄργανα τῆς μέτρησης καί ἀπό τή συνείδησή μας, καί πού ἀποτελεῖ τό ἀντικείμενο τῆς ἐρευνητικῆς μας δραστηριότητας. Γιά τό ρεαλιστικό ρεῦμα ὑπάρχουν μικροφυσικά συστήματα ἀντικειμενικά, πού κατέχουν ἀντικειμενικές ιδιότητες ἀνεξάρτητες ἀπό τή πράξη τῆς μέτρησης. Ἡ ὄντολογική αὐτή ἀντικειμενικότητα ἀποτελεῖ τό θεμέλιο τῆς γνωσεολογικῆς: τῆς δυνατότητας νά ἀνακαλύπτουμε ιδιότητες καί νόμους πού ἐκφράζουν λιγότερο ἢ περισσότερο σωστά τή μικροφυσική πραγματικότητα.

Τό νέο ρεῦμα ἀπορρίπτει τή θετικιστική θέση γιά τό ρόλο τοῦ παρατηρητή στή διαδικασία τῆς μέτρησης. Θεωρεῖ τή μέτρηση (γενικότερα: τό πείραμα) σά μιᾶ ἀντικειμενική διαδικασία, σάν ἀλληλεπίδραση ἀνάμεσα σέ φυσικά συστήματα. Ἀπορρίπτει τόν ὑποκειμενισμό πού συνδέεται μέ τήν ὀρθόδοξη σχολή σέ ὅ,τι ἀφορᾷ τόν παρατηρητή, καθώς καί τήν ἀνυπαρξία ιδιοτήτων ἀνεξάρτητων ἀπό τό ὄργανο τῆς μέτρησης.

Ὁ ρόλος τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς δέ μπορεῖ νά περιορίζεται στήν καταγραφή τῶν δεδομένων καί στή διατύπωση τυπικῶν σχέσεων ἀνάμεσά τους. Ἡ κβαντική μηχανική δέν εἶναι μόνο φορμαλισμός: εἶναι μιᾶ ἐπιστήμη πού ἀφορᾷ τό πραγματικό, θεωρούμενο σέ ἕνα ὀρισμένο επίπεδο ὀργάνωσής του.

Οἱ πιθανότητες δέν θεωροῦνται σάν ἔκφραση τοῦ δῆθεν ἀναίτιου τυχαίου. Ἐκφράζουν ἀντικειμενικές ιδιότητες τῶν κβαντικῶν ὄντοτήτων. Ἡ δυναμικότητα δέν εἶναι ἡ ἄρνηση τοῦ πραγματικοῦ, τοῦ ἀντικειμενικοῦ καί «ἐν ἑαυτῶ» ὄντος, ἀλλά ἡ ἔκφραση τοῦ ἐσωτερικοῦ δυναμισμού του καί τῆς ὀργανικῆς ἐνότητάς του μέ τό περιβάλλον του.

Γιά πολλούς, τέλος, ἡ σημερινή μορφή τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς δέ θάναί ἴσως τελειωτική, καθώς βεβαιώνει ἡ Σχολή τῆς Κοπεγχάγης. Ἄλλες διατυπώσεις θάτανε ἴσως δυνατές καί εἰδικά διατυπώσεις αἰτιοκρατικές (ἄλλωστε μιᾶ τέτοια διατύπωση ὑπάρχει - καθώς εἴπαμε - ἀπό τό 1952). Τό ὀπερασιοναλιστικό ἀξίωμα, ἰδιαίτερα, πού ἀπαγορεύει τήν εἰσαγωγή κάθε μεγέθους μή παρατηρήσιμου, ἀπορρίπτεται ἀπό ἕνα μέρος αὐτοῦ τοῦ ρεύματος. (Οἱ ἴδιοι οἱ ὀρθόδοξοι δέν σεβάστηκαν στήν πράξη αὐτό τό ἀξίωμα, καί εἰσήγαγαν μεγέθη πού δέν εἶναι

παρατηρήσιμα). Τό ρεαλιστικό ρεῦμα ἀμφισβητεῖ λοιπόν τό σύνολο τῆς ἐρμηνείας τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης. Τό ρεῦμα αὐτό εἶναι κυρίως ἐπιστημολογικό. Ἄλλά πρῶτον, εἶναι ἓνα ρεῦμα ἐπιστημολογικό νέου τύπου: ἀποτελεῖται κυρίως ἀπό φυσικούς, προέρχεται λοιπόν ἀπό τό ἐσωτερικό τῆς ἐπιστήμης καί θέτει τά προβλήματα μέ τρόπο συγκεκριμένο. Καί δεύτερο, δέν πρόκειται γιά ρεῦμα μόνον ἐπιστημολογικό: Ἐκτός ἀπό συγκεκριμένες θεωρίες καί τά πειράματα γιά τίς λανθάνουσες παραμέτρους, ὑπάρχουν καί ἄλλες ἐργασίες εἰδικά ἐπιστημονικές, πού ἀφοροῦν τῇ θεωρία τῆς μέτρησης, τήν ἀξιωματοποίηση τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, καί ἄλλα φυσικά προβλήματα, πού τέθηκαν ἀπ' αὐτό τό ρεῦμα.

Τό ρεαλιστικό ρεῦμα ἐνισχύεται ἀπό χρόνο σέ χρόνο. Ἀποτελεῖται ἀπό φυσικούς πού ἐγκατέλειψαν τήν Σχολή τῆς Κοπεγχάγης, ἀπό ἄλλους πού δέν δέχτηκαν ποτέ τήν ἐρμηνεία της καί κυρίως ἀπό νέους ἐρμηνευτές πού θέλουν νά ἀπαλλαγοῦν ἀπό τό θετικισμό τῆς ὀρθόδοξης σχολῆς. Ἄλλά καί ὁ ρόλος τῶν φιλοσόφων - ἐπιστημολόγων δέν εἶναι ἀμελητέος.

Δέν θάταν ὑπερβολικό νά λέγαμε ὅτι εἴμαστε μάρτυρες τῆς ἀποσάθρωσης τῆς Σχολῆς τῆς Κοπεγχάγης. Ἡ κριτική στάση ἀπέναντι στίς «προφανεῖς ἀλήθειες» ἐνός ἀπλοϊκοῦ ὕλισμοῦ βοήθησε τούς πρωταγωνιστές της νά θέσουν, καί τελικά νά λύσουν λεπτεπίλεπτα προβλήματα. Παραταῦτα, οἱ θεμελειώδεις ἔννοιες τῆς Σχολῆς: ἀπροσδιοριστία, συμπληρωματικότητα, ὀπερασιοναλισμός, παρατήρηση, ὑπῆρξαν ἔννοιες θετικιστικές, καί ἄσκησαν καί ἀσκοῦν ἀκόμα μιά λειτουργία κατ' ἀρχήν ἰδεολογική.

Δέν εἶναι ἄλλωστε τυχαῖο τό γεγονός ὅτι τήν ἰδεολογία αὐτή δέν τή σεβάστηκαν στήν πράξη οἱ φυσικοί, πού συμπεριφέρονται σά ρεαλιστές κατά τήν ἐρευνητική τους δραστηριότητα. Καί ἀξίζει νά παραθέσουμε ἐδῶ τήν ἄποψη τοῦ Κ. Popper, σχετικά μέ αὐτό τό ζήτημα. «Στήν πράξη οἱ φυσικοί ἐκτελοῦν σήμερα τίς μετρήσεις καί τά πειράματά τους, βασικά ὅπως καί πρῖν ἀπό τό 1925. Ἄν ὑπάρχει μιά σπουδαία διαφορά, αὐτή βρίσκεται στό γεγονός ὅτι ὁ βαθμός τοῦ ἔμμεσου χαρακτήρα τῶν μετρήσεων αὐξήθηκε, ὅπως καί ὁ βαθμός «ἀντικειμενικότητας». Ἐνῶ πρῖν ἀπό τριάντα ἤ σαράντα χρόνια, οἱ φυσικοί παρατηροῦσαν μέσα ἀπό τό μικροσκόπιο γιά νά ἔχουν ἓνα *reading*, σήμερα ὑπάρχουν φωτογραφικά φίλμ ἢ αὐτόματοι μετρητές πού πραγματοποιοῦν τό *reading*. Καί παρά τό γεγονός ὅτι τό φωτογραφικό φίλμ πρέπει νά «ἐρμηνευθεῖ» (στό φῶς κάποιας θεωρίας), ἐν τούτοις ἡ ἐρμηνεία δέ τό ἐπηρεάζει ἀπό φυσική ἄποψη. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι πολλά πειραματικά τέστ ἔχουν τώρα στατιστικό χαρακτήρα, ἀλλά αὐτό δέν τά κάνει λιγότερο

«άντικειμενικά»: ό στατιστικός χαρακτήρας τους (ή έπεξεργασία συχνά γίνεται αυτόματα από μετρητές και ήλεκτρονικούς ύπολογιστές) δέν έχει σχέση μέ τή δήθεν επέμβαση του παρατηρητή, ή του ύποκειμένου, ή τής συνείδησης στή φυσική¹²».

Ή «όρθοδοξία» άμφισβητείται όλο και περισσότερο, όπως και ό τελικός χαρακτήρας τής κβαντικής μηχανικής, πού άποτελεί όργανικό τμήμα αυτής τής αντίληψης. Ή προοπτική μιās άποδέσμευσης από τή σημερινή κατάσταση γίνεται όλο και πιο συγκεκριμένη. Τά νέα δεδομένα των πιο επαναστατικών περιοχών τής μικροφυσικής (στοιχειώδη σωμάτια, περιοχή ύψηλών ενεργειών) θά συνεισφέρουν πιθανόν σ' αυτή τήν άποδέσμευση, προσφέροντας ύλικό και θέτοντας έρωτήματα πού δέν θά μπορούν νά έρμηνευθούν στα πατροπαράδοτα έννοιολογικά πλαίσια. Τό νέο ρεαλιστικό ρεύμα δέν είναι όμογενές, ούτε φιλοσοφικά, ούτε στό επίπεδο των ειδικών έρευνών. Ή ρεαλισμός είναι ό κοινός παρονομαστής. Ήστόσο τό ρεύμα αυτό περιλαμβάνει ρεαλιστές, ύλιστές και διαλεκτικούς ύλιστές. Παρατηρούνται επίσης διαφορετικές θέσεις άκόμα και σέ πιο είδικά θέματα, και κυρίως στό θέμα τής αίτιοκρατίας και των λανθανουσών παραμέτρων. Άλλά τό ουσιαστικό δέν βρίσκεται εκεί. Βρίσκεται στό γεγονός ότι ή θετικιστική άκίνησία τής όρθόδοξης σχολής άμφισβητείται και ότι ήδη διαγράφονται νέοι δρόμοι έρευνας. Μετά από τή μακρά θετικιστική κυριαρχία, άρχίζει μήπως μία νέα έποχή για τήν κβαντική μηχανική;

8.8 Ή τελευταία λέξη;

Στή διαμάχη για τή φυσική έρμηνεία τής κβαντικής μηχανικής αντιπαρατάχθηκαν οι μεγαλύτεροι φυσικοί του αιώνα μας. Στή Σχολή τής Κοπεγχάγης ανήκαν οι Bohr, Heisenberg, Dirac, Pauli, Jordan, και πολλοί άλλοι. Στή ρεαλιστική σχολή ανήκαν οι Einstein, Schrödinger, Planck, de Broglie, Langevin, von Laue, και άλλοι. Οι Fock και Rosenfeld ήταν όπαδοί του Bohr, και ταυτόχρονα του διαλεκτικού ύλισμοϋ.

Ή από τους πρωταγωνιστές αυτής τής μεγάλης διαμάχης, σήμερα ζούν μόνον οι de Broglie και Dirac. Άλλά από τήν έποχή τής γενικής σχεδόν άποδοχής τής ύποκειμενικής έρμηνείας, έχουν αλλάξει πολλά στό χώρο τής Φυσικής. Τό 1953, ό A. Einstein έγραφε στον τιμητικό τόμο του L. de Broglie: «Ή υπάρχει κάτι σαν πραγματική κατάσταση ενός φυσικού συστήματος, πού ύπάρχει άντικειμενικά, ανεξάρτητα από κάθε παρατήρηση ή μέτρηση και πού μπορεί κατ' άρχήν νά περιγραφεί μέ τά

12. K. Popper, in: Quantum Theory and Reality, M. Bunge Ed., Springer - Verlag, 1967.

έκφραστικά μέσα τῆς φυσικῆς [...]. "Όλοι οἱ ἄνθρωποι, ἀκόμα καί οἱ κβαντοθεωρητικοί, βασίζονται πράγματι σταθερά σ' αὐτή τή θέση γιά τήν πραγματικότητα, ἐφόσον δέν συζητοῦν τά θεμέλια τῆς κβαντικῆς θεωρίας. [...]. Μέ τήν ἔννοια πού ὑπέδειξα παραπάνω, δέν κοκκινίζω νά βάζω τήν ἔννοια τῆς πραγματικῆς κατάστασης ἐνός συστήματος, στό κέντρο τῶν διαλογισμῶν μου¹³».

Οἱ γραμμές αὐτές θά ξεσήκωναν θύελλα διαμαρτυριῶν τό 1930. Ἐπίσης ἦταν ιδιαίτερα ἀνορθόδοξες τό 1953. Ἀλλά φαίνεται ὅτι καί στά ζητήματα αὐτά, ἡ τελευταία λέξη δέν εἰπώθηκε ἀκόμα. Ἐτσι ὁ P.A.M. Dirac, μέγας φυσικός καί μέγας ἀντίπαλος τῆς ρεαλιστικῆς σχολῆς, ἔκανε πρὶν ἀπό τέσσερα χρόνια, τήν ἀκόλουθη βαρυσήμαντη ὁμολογία: «Νομίζω ὅτι ἴσως ἀποδειχτεῖ τελικά ὅτι ὁ Einstein εἶχε δίκιο, γιατί ἡ τωρινή μορφή τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, θά μπορούσε νά μή θεωρηθεῖ σάν ἡ τελική της μορφή. [...]. Νομίζω ὅτι εἶναι ἐντελῶς πιθανό, ὅτι σέ κάποιο μελλοντικό χρόνο θά μπορούσαμε νά διαμορφώσουμε μιά βελτιωμένη κβαντική μηχανική, στήν ὁποία θά ὑπῆρχε μιά ἐπιστροφή στήν αἰτιοκρατία καί ἡ ὁποία, συνεπῶς, θά δικαιώνει τήν ἄποψη τοῦ Einstein¹⁴». Ἴσως ὁ «γερο - πεισματάρης» (ὁ Einstein), ἔβλεπε ἀπό τότε βαθύτερα, ἀπ' ὅτι οἱ μοντέρνοι τῆς ἐπίσημης σχολῆς.

13. A. Einstein, in: L. de Broglie, *Physicien et Penseur*, Albin Michel, 1953.

14. P.A.M. Dirac, *Directions in Physics*, Willey - Interscience.