

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ*

Ἡ ἀξία τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν γιὰ τὴ φιλοσοφία συνίσταται ὄχι μόνο στὸ ὅτι ἀξάνουν συνεχῶς τὴν ποσότητα τῶν γνώσεών μας σχετικὰ μὲ τὴν ἄψυχη ὕλη, ἀλλὰ κυρίως στὸ ὅτι ἐπιτρέπουν νὰ ὑποβάλλομε σὲ βάσανο τὶς βάσεις πάνω στὶς ὁποῖες στηρίζονται οἱ πρῶτες μας ἔννοιες, καὶ νὰ ξεκαθαρίζομε τὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τους. Ἡ συσσώρευση τῶν πειραματικῶν δεδομένων καὶ ἡ ἀνάπτυξη τῶν θεωρητικῶν ἐννοιῶν ἀναμφίβολα ὀδηγοῦν στὴν τελειοποίηση τῆς ὁρολογίας. Ὡστόσο, κάθε περιγραφή τῶν φυσικῶν γεγονότων βασίζεται, σὲ τελευταία ἀνάλυση, στὴν τρέχουσα γλώσσα ποὺ εἶναι κατάλληλη γιὰ τὴν κατανόηση αὐτῶν ποὺ μᾶς περιστοιχίζουν καὶ τὴν κατανόηση τῶν δεσμῶν ἀνάμεσα στὶς αἰτίες καὶ στὰ ἀποτελέσματα. Τὸ πρόγραμμα τοῦ Γαλιλαίου, σύμφωνα μὲ τὸ ὁποῖο ἡ περιγραφή τῶν φυσικῶν φαινομένων πρέπει νὰ στηρίζεται σὲ μεγέθη ποὺ μετροῦνται ποσοτικά, πρόσφερε στερεές βάσεις γιὰ τὴ διευθέτηση τῶν πειραματικῶν δεδομένων σὲ ἓνα ὅλο καὶ πιὸ ἐκτεταμένο πεδίο.

Στὴ νευτώνεια μηχανικὴ, ἡ κατάσταση ἑνὸς συστήματος ὑλικῶν σωμάτων ὀρίζεται ἀπὸ τὶς θέσεις τους καὶ τὶς στιγμιαῖες ταχύτητές τους. Ἄν γνωρίζομε τὴν κατάσταση τοῦ συστήματος σὲ μιὰ δεδομένη στιγμή καὶ ἂν γνωρίζομε τὶς δυνάμεις ποὺ δροῦν πάνω στὰ σώματα, αὐτὰ καὶ μόνο τὰ δεδομένα ἐπιτρέπουν τὸν καθορισμὸ, στὴ νευτώνεια μηχανικὴ, τῆς κατάστασης τοῦ συστήματος κάθε ἄλλη στιγμή μὲ τὴν ἐφαρμογὴ ἀπλῶν γνωστῶν νόμων. Μιὰ περιγραφή αὐτοῦ τοῦ εἶδους ἀντιπροσωπεύει, προφανῶς, τὴν ἰδανικὴ μορφή τοῦ αἰτιατοῦ δεσμοῦ, ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὴν ἔννοια τοῦ ντετερμινισμοῦ. Καὶ ἀποδείχθηκε ὅτι μιὰ τέτοια περιγραφή ἔχει ἐφαρμογὴ καὶ σὲ ἓνα ἐκτενέστερο πεδίο. Ἐτσι, στὴν παράσταση τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν φαινομένων, ὅπου πρέπει νὰ θεωρήσομε τὴ μετάδοση δυνάμεων μὲ πεπερασμένες ταχύτητες, ἀποδείχθηκε δυνατό νὰ διατηρήσομε τὴ ντετερμινιστικὴ περιγραφή ἀφοῦ περιλάβομε στὴν ἔννοια τῆς κατάστασης ὄχι μόνο τὶς θέσεις καὶ τὶς ταχύτητες τῶν φορτισμένων σωματίων, ἀλλὰ καὶ τὶς ἠλεκτρι-

*Δημοσιεύτηκε στὸ σοβιετικὸ περιοδικὸ *Ouspekhi fizicheskikh nauk*, 1959 τ. 67, 1, ὡς ἀπάντηση στὸ σημείωμα «Ἡ ἀπάντησή μου στὸν καθηγητὴ Bohr» τοῦ σοβιετικοῦ φυσικοῦ V. Fock, καὶ ἡ πλήρης συζήτηση ξαναδημοσιεύτηκε μὲ τὸν τίτλο «Συζήτηση μὲ τὸν Niels Bohr» στὸ *Voprossy Filosofii*, ἀρ. 8, 1964, ὑπογραμμμένη ἀπὸ τὸν V. Fock. Ἡ μετάφραση βασίστηκε στὴν κάπως ἄκομψη γαλλικὴ ἀπόδοση τοῦ Vladimir Frolow ποὺ δημοσιεύτηκε στὸ περιοδικὸ *Sciences et Matérialisme dialectique*, τετράδιο 54, ἔτος 9 (1966), σ. 97 - 104, τῶν Editions de la Nouvelle Critique.

κές και μαγνητικές δυνάμεις που το μέτρο και η διεύθυνσή τους δίνονται για κάθε σημείο του χώρου κατά τη στιγμή που εξετάζουμε.

Από αυτή την άποψη, η κατάσταση πραγμάτων δεν άλλαξε ουσιαστικά όταν αναγνωρίστηκε ότι η περιγραφή των φυσικών φαινομένων εξαρτάται σε καθορισμένο βαθμό από το σύστημα ανάγνωσης που υιοθετεί ο παρατηρητής. Η αναγνώριση αυτού του περιστατικού αποτελεί το περιεχόμενο της έννοιας της σχετικότητας. Έχουμε εδώ να κάνουμε με έναν εξαιρετικά γόνιμο επιστημονικό προσανατολισμό που επέτρεψε τη διατύπωση φυσικών νόμων, κοινών για όλους τους παρατηρητές, και τη σύνδεση φαινομένων που πρώτα φαίνονταν να μην έχουν δεσμούς. Μολονότι σ' αυτές τις διατυπώσεις εφαρμόζονται οι μαθηματικές αφαιρέσεις, όπως η μη-ευκλείδεια τετραδιάστατη μετρική, ή φυσική έρμηνεία βασίζεται, για κάθε συγκεκριμένο παρατηρητή, στη συνηθισμένη διάκριση του χώρου και του χρόνου και διατηρείται ο ντετερμινιστικός χαρακτήρας της περιγραφής. Επιπλέον, όπως έδειξε ο Einstein, ο συντονισμός των συμβάντων στο χώρο και στο χρόνο, για τους διάφορους παρατηρητές, είναι τέτοιος ώστε ποτέ να μην αντικαθιστά τη δεδομένη αίτιακή διαδοχή με την αντίστροφή της. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο η θεωρία της σχετικότητας όχι μόνο διεύρυνε το πεδίο εφαρμοσιμότητας, αλλά και ενίσχυσε τις βάσεις της ντετερμινιστικής περιγραφής που χαρακτηρίζει το επιβλητικό αυτό οικοδόμημα που λέγεται κλασική φυσική.

Ωστόσο, με την ανακάλυψη του *κβάντου στοιχειώδους δράσης* από τον Planck εγκαινιάστηκε μία νέα περίοδος των φυσικών επιστημών. Αυτή η ανακάλυψη κατάδειξε τον *ακέραιο* χαρακτήρα των ατομικών διεργασιών που ξεπερνά κατά πολύ την αρχαία ιδέα της διαιρετότητας της ύλης. Έγινε σαφές ότι η εικονική (*imagée*) περιγραφή, που είναι κατάλληλη για τις κλασικές φυσικές θεωρίες, είναι μία εξιδανίκευση που εφαρμόζεται μόνο στα φαινόμενα που ικανοποιούν την ακόλουθη συνθήκη: όλα τα μεγέθη διαστάσεων της δράσης που απαντούν στην ανάλυσή τους είναι τόσο μεγάλα ώστε, σε σύγκριση με αυτά, μπορούμε να αγνοήσουμε το κβάντο δράσης. Στα φαινόμενα συνηθισμένης κλίμακας αυτή η συνθήκη ισχύει με το παραπάνω· αντίθετα, στα πειραματικά δεδομένα που αναφέρονται στα ατομικά σωμάτια, συναντάμε νόμους ενός νέου τύπου που δεν υπόκεινται στη ντετερμινιστική ανάλυση. Αυτοί οι κβαντικοί νόμοι θέτουν τους όρους της αξιοσημείωτης σταθερότητας του ατομικού συστήματος και καθορίζουν τις αντιδράσεις του· γι' αυτό ακριβώς και εθύνονται, σε τελευταία ανάλυση, για τις ιδιότητες της ύλης από τις οποίες εξαρτώνται οι μέθοδοί μας της παρατήρησης.

Το πρόβλημα λοιπόν μπροστά στο οποίο βρέθηκαν οι φυσικοί συνίσταται στη γενίκευση της κλασικής φυσικής με όρθολογικό τρόπο ώστε να περιλάβει το κβάντο δράσης. Μετά από μια προκαταρκτική μελέτη των πειραματικών δεδομένων, που έγινε με πιο χοντροειδείς μεθόδους, αυτό το δύσκολο πρόβλημα τελικά λύθηκε με την εισαγωγή κατάλληλων μαθημα-

τικῶν ἀφαιρέσεων. Ἔτσι, στὸν ὄπλισμό τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, στὴ θέση τῶν μεγεθῶν τὰ ὁποῖα στὴ συνήθη μηχανικὴ χαρακτηρίζουν τὴν κατάσταση ἑνὸς φυσικοῦ συστήματος, ἐμφανίζονται οἱ συμβολικοὶ τελεστῆς (opérateurs) ποὺ ὑπόκεινται στὸν κανόνα τοῦ μὴ-ἀντιμεταθετοῦ τοῦ πολλαπλασιασμοῦ ποὺ ἐνέχει τὴ σταθερὰ τοῦ Planck. Αὐτὴ ἢ διατύπωση παραμερίζει τὸν προσδιορισμὸ μεγεθῶν αὐτοῦ τοῦ εἴδους μὲ τὴν ἀκρίβεια ποὺ εἶναι ἀναγκαία γιὰ τὴν καθοριστικὴ περιγραφή ποὺ υἰοθετεῖ ἡ κλασικὴ φυσικὴ, ἀλλὰ, συνάμα, ἐπιτρέπει νὰ βρίσκομε τὴ φασματικὴ κατανομὴ αὐτῶν τῶν μεγεθῶν σύμφωνα μὲ τὰ δεδομένα γιὰ τὶς ἀτομικῆς διεργασίες. Σύμφωνα μὲ τὸ χαρακτήρα τῆς ποὺ στερεῖται μοντέλου, ἡ ἐρμηνεία τοῦ μαθηματικοῦ ὄπλισμοῦ βρίσκει ἔκφραση σὲ νόμους οὐσιαστικὰ στατιστικοῦς (πιθανοκρατικοῦς) ποὺ ἀναφέρονται στὰ ἀποτελέσματα παρατηρήσεων οἱ ὁποῖες ἔγιναν σὲ δεδομένες πειραματικῆς συνθῆκες.

Μολονότι ἡ κβαντικὴ μηχανικὴ προσφέρει ἓνα ἰσχυρὸ μέσο γιὰ τὴ διευθέτηση τοῦ κολοσσιαίου πειραματικοῦ ὕλικου ποὺ συλλέχτηκε σχετικὰ μὲ τὰ ἀτομικὰ ἀντικείμενα, τὸ γεγονός ὅτι ἀπομακρύνεται τόσο πολὺ ἀπὸ τὶς συνηθισμένες ἀπαιτήσεις τῆς αἰτιατικῆς ἐξήγησης τῶν φαινομένων προκάλεσε τὸ εὐλόγο ἐρώτημα ἂν στὴν περίπτωσι αὐτὴ εἴχαμε πραγματικὰ νὰ κάνομε μὲ μία πλήρη περιγραφή αὐτοῦ ποὺ μᾶς δίνει ἡ ἐμπειρία. Γιὰ νὰ δώσομε ἀπάντησι, πρέπει νὰ ἐξετάσομε προσεχτικὰ τὶς ἀναγκαῖες συνθῆκες γιὰ τὴ μονοσήμαντη ἐφαρμογὴ τῶν ἐννοιῶν τῆς κλασικῆς φυσικῆς στὴν ἀνάλυσι τῶν ἀτομικῶν φαινομένων. Ἐδῶ εἶναι ἀποφασιστικὸς παράγων τὸ νὰ ἀναγνωρίσομε ὅτι ἡ περιγραφή τῆς πειραματικῆς ἐγκατάστασις καὶ τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς παρατήρησις πρέπει νὰ γίνῃ μὲ μιὰ σαφὴ γλώσσα, κατάλληλα τελειοποιημένη ἀπὸ τὴ χρησιμοποίησι τῆς τρέχουσας φυσικῆς ὁρολογίας. Αὐτὴ εἶναι μιὰ ἀπλὴ ἀξίωσι τῆς λογικῆς, ἀφοῦ μὲ τὸν ὄρο «ἐμπειρία» δὲν ἐννοοῦμε παρὰ μόνο τὴ διαδικασίαν σχετικὰ μὲ τὴν ὁποία μποροῦμε νὰ μεταδώσομε στοὺς ἄλλους αὐτὰ ποὺ κάναμε καὶ αὐτὰ ποὺ ἀναγνωρίσαμε.

Στὶς πραγματικῆς πειραματικῆς ἐγκαταστάσεις, ἡ ἱκανοποίησι τῶν ἀξιῶσεων αὐτοῦ τοῦ εἴδους ἐξασφαλίζεται γιὰ τὴν χρησιμοποίησι ὡς ὄργανα μέτρησις στερεὰ σώματα ποὺ εἶναι ἀρκετὰ βαρῖα ὥστε νὰ μποροῦμε νὰ χαρακτηρίσομε τὶς ἀμοιβαῖες θέσεις καὶ ταχύτητες μὲ τρόπο καθαρὰ κλασικὸ. Ἐδῶ ἔχει σημασίαν νὰ σημειώσομε ὅτι κάθε μονοσήμαντη πληροφορία σχετικὰ μὲ τὰ ἀτομικὰ ἀντικείμενα συνάγεται ἀπὸ τὴ θέση ἀνεξίτηλων σημείων πάνω στὰ σώματα ποὺ ὀρίζουν τὶς πειραματικῆς συνθῆκες, σημείων ποὺ μοιάζουν μὲ τὴν κηλῖδα ποὺ προκαλεῖ ἡ κρούσι ἑνὸς ἠλεκτρονίου πάνω στὴ φωτογραφικὴ πλάκα. Τὰ μὴ ἀντιστρέψιμα μεγεθοντικὰ ἀποτελέσματα πάνω στὰ ὁποῖα στηρίζεται ἡ ἐγγραφή τῆς παρουσίας ἀτομικῶν ἀντικειμένων δὲν προκαλοῦν, ἐδῶ, καμὴν ἰδιαίτερι δυσκολία, ἀλλὰ μόνο μᾶς ὑπενθυμίζουν ὅτι ἡ ἴδια ἢ ἐννοια τῆς παρατήρησις συνδέεται μὲ τὴν οὐσιαστικὴ μὴ ἀντιστρεψιμότητα. Ἡ περιγραφή τῶν ἀτομικῶν φαινομένων ἔχει, κατ'

αυτό, έναν απόλυτα αντικειμενικό χαρακτήρα, με την έννοια ότι δεν έχει ανάγκη από το ρητό προσδιορισμό ενός επιμερικευμένου παρατηρητή· για τον ίδιο λόγο ή μετάδοση της πληροφορίας δεν συνδέεται με μια οποιαδήποτε αμφισημία, φτάνει να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις της θεωρίας της σχετικότητας.

Σ' αυτό, το πρόβλημα της παρατήρησης στην κβαντική φυσική δεν διαφέρει καθόλου από τον τρόπο προσέγγισης στην κλασική φυσική. Ωστόσο, ένα ουσιαστικά νέο γνώρισμα στην ανάλυση των κβαντικών φαινομένων συνίσταται στην εισαγωγή της θεμελιακής διαφοροποίησης ανάμεσα στο όργανο μέτρησης και στα υπό μελέτη αντικείμενα. Αυτή προέρχεται άμεσα από την ανάγκη να περιγραφεί το έργο των οργάνων μέτρησης στη γλώσσα της κλασικής φυσικής χωρίς να είσασθαι ρητά το κβάντο δράσης. Από την άλλη μεριά, τα κβαντικά γνωρίσματα του φαινομένου περιέχονται στην πληροφορία σχετικά με τα ατομικά αντικείμενα που συνάγεται από τις παρατηρήσεις. Ένώ στην κλασική φυσική μπορούμε να αγνοήσουμε ή να αντισταθμίσουμε, αν είναι ανάγκη, την αλληλεπίδραση αντικειμένου και οργάνου, στην κβαντική φυσική αυτή ή αλληλεπίδραση αποτελεί άρρηκτο μέρος της παρατήρησης. Έτσι ή μονοσήμαντη περιγραφή ενός καθαυτού κβαντικού φαινομένου πρέπει να περιέχει καταρχήν την περιγραφή όλων των ουσιαστικών μερών της πειραματικής εγκατάστασης.

Η επανάληψη του ίδιου πειράματος, που περιγράφεται όπως είπαμε πιο πάνω, δίνει, γενικά, διαφορετικά αναγνώσματα σχετικά με το αντικείμενο· αυτό το γεγονός οδηγεί άμεσα στο συμπέρασμα ότι ή διατύπωση που ενσωματώνει τα αποτελέσματα του πειράματος σ' αυτό τον τομέα πρέπει να γίνει αντικείμενο έμπειρίας με τη μορφή στατιστικών νόμων (πιθανοκρατικών). Δεν είναι ανάγκη να επιμείνουμε ιδιαίτερα στο ότι εδώ διόλου δεν έχουμε να κάνουμε με κάτι ανάλογο προς μια συνηθισμένη εφαρμογή της στατιστικής στην περιγραφή φυσικών συστημάτων που είναι πολύ πολύπλοκα ώστε να μπορούμε πρακτικά να δώσουμε έναν πλήρη όρισμό της κατάστασής τους, έπαρκή για μια ντετερμινιστική περιγραφή. Αυτή ή περιγραφή υπονοεί τη δυνατότητα να υποδιαιρέσουμε επ' άπειρον και να εκθέσουμε λεπτομερειακά τα γεγονότα, ενώ στην περίπτωση των κβαντικών φαινομένων αυτή ή δυνατότητα αποκλείεται καταρχήν λόγω της ανάγκης να υποδειχθούν με συγκεκριμένο τρόπο οι πειραματικές συνθήκες. Πράγματι, ό χαρακτήρας της τυπικής ένότητας των καθαυτών κβαντικών φαινομένων εκφράζεται λογικά, σ' αυτή την περίπτωση, με το ότι κάθε προσπάθεια υποδιαίρεσης ενός δεδομένου φαινομένου με όριστικό τρόπο θα απαιτούσε μία τροποποίηση της πειραματικής εγκατάστασης, τροποποίηση ασυμβίβαστη με τον όρισμό του δεδομένου φαινομένου.

Στον τομέα εφαρμογής της κλασικής φυσικής, όλες οι πλευρές συμπεριφοράς ενός δεδομένου αντικειμένου μπορούν καταρχήν να αναγνωριστούν με τη βοήθεια μιας πειραματικής διάταξης, αν και στην πράξη είναι συχνά

βολικό να χρησιμοποιούμε διαφορετικές πειραματικές συσκευές για τη μελέτη των διαφόρων πλευρών του φαινομένου. Πράγματι, τα δεδομένα που λαμβάνουμε μ' αυτό τον τρόπο αθροίζονται απλά και μπορούν να συνδυαστούν σ' ένα μη αντιφατικό πίνακα της συμπεριφοράς που μελετάμε. Αντίθετα, στην κβαντική φυσική, τα δεδομένα τα σχετικά με τα άτομικά αντικείμενα, που λαμβάνονται σε διαφορετικές πειραματικές συσκευές, έχουν μεταξύ τους μιάν ιδιαίτερη συμπληρωματική σχέση. Πράγματι, πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι τέτοια δεδομένα, που φαίνονται να είναι αντιφατικά όταν προσπαθούμε να τα συνδυάσουμε σ' έναν πίνακα, στην πραγματικότητα εξαντλούν όλα όσα μπορούμε να γνωρίζουμε για το αντικείμενο. Χωρίς διόλου να περιορίζει τις τάσεις μας να θέτομε έρωτήματα στη φύση με τη μορφή πειραμάτων, ή έννοια της συμπληρωματικότητας δεν χαρακτηρίζει παρά μόνο τις δυνατές απαντήσεις που λαβαίνομε ως αποτέλεσμα μιᾶς τέτοιας έρευνας, στην περίπτωση όπου ή αλληλεπίδραση ανάμεσα στο όργανο μέτρησης και στο αντικείμενο αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του φαινομένου.

Είναι φανερό ότι ή κλασική περιγραφή της πειραματικής εγκατάστασης και το μη-αντιστρέψιμο των αναγνωσμάτων που αναφέρονται στο ατομικό αντικείμενο εξασφαλίζουν τη συνέχεια ανάμεσα στην αίτια και το αποτέλεσμα σύμφωνα με την προφανή και στοιχειώδη αξίωση της αιτιότητας. Ταυτόχρονα, ή όριστική απόρριψη του κλασικού ιδανικού του ντετερμινισμού εκφράζεται με σαφή τρόπο στις σχέσεις συμπληρωματικότητας που αποτελούν τις συνθήκες της μονοσήμαντης εφαρμογής των βασικών εννοιών, των οποίων ή χωρίς όρους και όρια εφαρμογή συνιστά τη βάση της κλασικής περιγραφής. Και πράγματι, για να διαπιστώσομε την παρουσία ενός ατομικού σωματίου σ' ένα περιορισμένο πεδίο χρόνου και χώρου, πρέπει να διαθέτομε μιᾶ πειραματική εγκατάσταση που να συσχετίζει τη μεταβίβαση της ποσότητας κίνησης και της ενέργειας με σώματα όπως οί αμετάβλητες κλίμακες και τα συγχρονισμένα εκκρεμῆ· αλλά αυτή ή μεταβίβαση δεν μπορεί να περιληφθεῖ στην περιγραφή της λειτουργίας των συσκευών χωρίς να πάσουν να είναι κατάλληλες να παίζουν το ρόλο που τους αρμόζει, δηλαδή να προσδιορίσουν ένα σύστημα αναφοράς. Και αντίστροφα, κάθε αυστηρή εφαρμογή των νόμων της διατήρησης της ποσότητας κίνησης και της ενέργειας στις ατομικές διαδικασίες, στην αρχή της, προϋποθέτει την απόρριψη του λεπτομερειακού έντοπισμού των σωματίων στο χώρο και στο χρόνο.

Αυτά τα πράγματα εκφράζονται ποσοστικά στις σχέσεις απροσδιοριστίας του Heisenberg που δίνουν τη σχέση (αντίστροφη αναλογία) ανάμεσα στις ανακρίβειες του προσδιορισμού, που είναι παραδεκτός στην κβαντική μηχανική, των κινηματικών και δυναμικών μεταβλητών οί οποίες στην κλασική μηχανική καθορίζουν την κατάσταση ενός φυσικού συστήματος. Γιατί το μη-αντιμεταθετό των μαθηματικών συμβόλων που αντιπροσωπεύουν τις μετα-

βλητές στη συσκευή της κβαντικής μηχανικής αντιστοιχεί στο ασυμβίβαστο των πειραματικών εγκαταστάσεων που είναι αναγκαίες για το μονοσήμαντο όρισμό τους. Σε σχέση μ' αυτό, πρέπει να παρατηρήσουμε ότι έδω προφανώς έχουμε να κάνουμε όχι με τα όρια ακριβείας των μέτρων, αλλά με έναν περιορισμό της εφαρμοσιμότητας των έννοιων χώρου-χρόνου και των δυναμικών νόμων διατήρησης· αυτή ή περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογής σχετίζεται με την ανάγκη να διακρίνομε ανάμεσα στη συσκευή μέτρησης και τα άτομικά αντικείμενα.

Στη μελέτη των προβλημάτων της ατομικής φυσικής, είναι πιο εύχρηστο να χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση κατάστασης του Schrödinger. Εφαρμόζοντας καθορισμένες μαθηματικές πράξεις, από αυτή τη συνάρτηση μπορούμε να συναγάγομε τους στατιστικούς νόμους που πορίζουν τα αποτελέσματα που άντλοουμε από τις παρατηρήσεις σε καθορισμένες συνθήκες. Πρέπει όμως να αναγνωρίσουμε ότι έδω πρόκειται για έναν καθαρά συμβολικό τρόπο έπεξεργασίας, της οποίας ή φυσική έρμηνεία απαιτεί, σε τελευταία ανάλυση, την αναφορά σε μία καθορισμένη πειραματική εγκατάσταση. Το να το άγνοήσουμε οδηγεί καμιά φορά σε παρανοήσεις. Ιδιαίτερα, ή χρήση έκφρασεων όπως «ή παρατήρηση άλλοιώνει το φαινόμενο» ή «το μέτρο δημιουργεί τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων» είναι ίσως ασυμβίβαστη με την τρέχουσα σημασία των όρων και με τη συνήθη γλώσσα.

Σχετικά μ' αυτό, τέθηκε το έρώτημα της χρήσης της λογικής με περισσότερες τιμές αλήθειας για ακριβέστερη αναπαράσταση της κατάστασης που δημιουργήθηκε. Άλλά οί παραπάνω σκέψεις δείχνουν ότι όλες οί αποκλίσεις από τη συνήθη γλώσσα και λογική καταλύονται αν χρησιμοποιήσουμε τον όρο «φαινόμενο» αποκλειστικά με την έννοια ενός πράγματος για το οποίο δέν μπορούμε να δώσουμε μονοσήμαντη πληροφορία, ένω ό όρος «μέτρο» πρέπει να χρησιμοποιείται με την άμεση έννοιά του μιās ποσοτικής σύγκρισης (σχετικά με το πρότυπο). Αυτή ή περίσκεψη στην έπιλογή της όρολογίας είναι ιδιαίτερα σημαντική στη μελέτη ένός νέου πεδίου όπου ή πληροφορία δέν μπορεί να περιληφθεί στο συνηθισμένο σχήμα που είχε τόσο έκτεταμένη εφαρμογή στην κλασική φυσική.

Μόνο αν λάβομε υπόψη μας όλα αυτά μπορούμε να πεισθοουμε ότι ή κβαντική μηχανική, έξαιτίας του μη-άντιφατικού της και της πληρότητάς της, ίκανοποιεί όλες τις απαιτήσεις μιās όρθολογικής έξήγησης. Έτσι, για να έρμηνεύσομε χωρίς αντιφάσεις το οικοδόμημα της κβαντικής μηχανικής, είναι ούσιώδες το να ξεκινήσομε από ένδείξεις συσκευών που ή ανάγνωσή τους γίνεται σε έντελως καθορισμένες πειραματικές συνθήκες. Αυτή ή έπιμονή στις συγκεκριμένες ένδείξεις των συσκευών αντικαθιστᾶ την ούσιαστική προϋπόθεση (premise) της κλασικής φυσικής περιγραφής, σύμφωνα με την όποία κάθε κρίκος της αίτιακής διαδοχής των συμβάντων δέχεται, καταρχήν, μιάν άμεση έπαλήθευση — ένω, την πληρότητα της περιγραφής, την παρόμοια με εκείνην στην όποια έτεινε ή κλασική φυσική, έξασφαλίζει

ή καταρχήν δυνατότητα να ληφθούν υπόψη όλες οι δυνατές πειραματικές εγκαταστάσεις.

Βέβαια, αυτό το είδος οι διαλογισμοί διόλου δεν σημαίνουν ότι η ατομική φυσική δεν θα μάς φέρει τίποτε το καινούριο σ' ό,τι αφορά τις πειραματικές ανακαλύψεις και τα μαθηματικά μέσα περιγραφής και κατανόησης τους. Στην πραγματικότητα, για την εξήγηση των νέων νόμων που ανακαλύπτομε μελετώντας τις ατομικές διαδικασίες πολύ μεγάλης ενέργειας, είναι πολύ πιθανό να πρέπει να είσαχθούν νέες αφαιρέσεις στο μαθηματικό όπλισμό. Ωστόσο, το αποφασιστικό γεγονός είναι ότι δεν μπορεί να γίνει λόγος για επιστροφή στη μέθοδο περιγραφής που ανταποκρίνεται καλύτερα στις συνήθεις απαιτήσεις για εικονική παράσταση — με μοντέλο — της σχέσης αίτιας και αποτελέσματος.

Το γεγονός ότι οι κβαντικοί νόμοι δεν μπορούν να αναλυθούν με την κλασική έννοια αποτελεί, όπως είδαμε, όρο για την ανάγκη είσαγωγής στην περιγραφή αυτού που γνωρίζομε από την εμπειρία μιᾶς λογικής διάκρισης ανάμεσα στη μετρητική συσκευή και τα ατομικά αντικείμενα· και αυτή η διάκριση αποκλείει — καταρχήν — τη δυνατότητα μιᾶς ντετερμινιστικής περιγραφής. Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το ευρύτερο πλαίσιο της συμπληρωματικότητας διόλου δεν σημαίνει την αυθαίρετη παραίτηση από το ιδανικό της αιτιότητας. Η έννοια της συμπληρωματικότητας είναι ή άμεση έκφραση της τοποθέτησης μας στο πρόβλημα της παράστασης των θεμελιακών ιδιοτήτων της ύλης, ιδιοτήτων που κρίνονται ότι θα άπορρεαν από την κλασική φυσική περιγραφή, και που ώστόσο βρέθηκαν να υπερβαίνουν τα όρια εφαρμογής τους.

Παρ' όλες τις διαφορές στις χαρακτηριστικές καταστάσεις για την εφαρμογή των έννοιων της σχετικότητας και της συμπληρωματικότητας, αυτές οι καταστάσεις παρουσιάζουν μεγάλη όμοιότητα από γνωσιολογική άποψη. Πράγματι, και στις δύο περιπτώσεις έχομε να κάνομε με τη μελέτη νόμων που δεν μπορούν να περιληφθούν στις εικονικές παραστάσεις που είναι έγκυρες για την παράσταση των φυσικών γεγονότων σ' ένα πιο περιορισμένο πεδίο. Αυτό όμως που είναι αποφασιστικής σημασίας είναι το γεγονός ότι, σε καμία από τις δύο αυτές περιπτώσεις, ή διεύρυνση του έννοιολογικού μας πλαισίου δεν προϋποθέτει μία οποιαδήποτε αναφορά στον υποκειμενικό παρατηρητή (αυτή ή αναφορά θα ήταν έμπόδιο στη μονοσήμαντη μεταβίβαση των γεγονότων της εμπειρίας).

Στους διαλογισμούς της θεωρίας της σχετικότητας, αυτή ή αντικειμενικότητα εξασφαλίζεται από το ότι λαμβάνεται υπόψη ή εξάρτηση των φαινομένων από το σύστημα αναφοράς του παρατηρητή, ενώ στη συμπληρωματική περιγραφή αποκλείεται κάθε υποκειμενικότητα χάρη στο ότι λαβαίνονται υπόψη οι περιστάσεις που κάνουν μονοσήμαντη την εφαρμογή των πρώτων έννοιων μας.

Από γενική φιλοσοφική άποψη, είναι σημαντικό το ότι σχετικά με την

ἀνάλυση καὶ τὴ σύνθεση συναντᾶμε, σ' ἄλλους τομεῖς τῆς γνώσης, καταστάσεις ποὺ θυμίζουν τὴν κατάσταση τῆς κβαντικῆς φυσικῆς. Ἔτσι ἡ ἐνότητα τῶν ζώντων ὀργανισμῶν καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν ἀνθρώπων ποὺ εἶναι προικισμένοι μὲ συνείδηση, τὸ ἴδιο ὅπως οἱ ἀνθρώπινες κουλτοῦρες, παρουσιάζουν γνωρίσματα ὀλότητας ποῦ, γιὰ νὰ τὰ σκεφτοῦμε, ἀπαιτοῦν μίαν τυπικὰ συμπληρωματικὴ μέθοδο περιγραφῆς. Ἡ μεταβίβαση τῶν πραγμάτων τῆς ἐμπειρίας ἀπαιτεῖ, σ' αὐτοὺς τοὺς ἐκτεταμένους τομεῖς τῆς γνώσης, ἓνα πλούσιο λεξιλόγιο· καί, ἐπειδὴ καμιά φορά δίνομε διαφορετικὸ νόημα στοὺς ὅρους καί, προπάντων, ἐπειδὴ οἱ ἐξηγήσεις τῆς ἔννοιας τῆς αἰτιότητας ποὺ βρίσκομε στὴ φιλοσοφικὴ βιβλιογραφία εἶναι τόσο διαφορετικές, συχνὰ παρερμηνεύτηκε ὁ σκοπὸς μιᾶς τέτοιας σύγκρισης. Ἀλλὰ ἡ προοδευτικὴ ἀνάπτυξη τῆς ὀρολογίας, ποὺ ταιριάζει στὴν περιγραφὴ μιᾶς πὺ ἀπλῆς κατάστασης στὴ φυσικὴ, δείχνει ὅτι ἐδῶ ἔχομε νὰ κάνομε, ὄχι μὲ ἀναλογίες λίγο ἢ πολὺ νεφελώδεις, ἀλλὰ μὲ παραδείγματα λογικῶν δεσμῶν ποὺ ἀπαντοῦν, σὲ διαφορετικὰ συμφραζόμενα, σὲ πολὺ εὐρύτερους τομεῖς τῆς γνώσης.

Μετάφραση: Π. Χριστοδουλίδης