

## ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΜΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΙΜΟ\*

«Ἡ δραστηριότητα του (τοῦ E. Mach) ὑπῆρξε ιδιαίτερα εὐεργετική, ὅταν ἀπέδειξε μὲ σαφήνεια ὅτι τὰ πιὸ σπουδαῖα προβλήματα τῆς φυσικῆς δὲν εἶναι μαθηματικο-ἀπαγωγικῆς φύσης, ἀλλὰ ἐκεῖνα ποὺ ἀναφέρονται στὶς βασικὲς ἀρχές». (A. Einstein, ἐπιστολὴ στὸν M. Besso, Γενάρης 1948, στὸ Einstein, Besso - Correspondance, 1905 - 1955, Hermann, Paris, 1972).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οἱ ἀπόπειρες ἐρμηνείας τῆς στοιχειώδους κβαντικῆς μηχανικῆς, μὲ τὴ βοήθεια βεβαιώσεων ποὺ ἀφοροῦν τὰ ἴδια τὰ φυσικὰ συστήματα, συναντοῦν ὀρισμένες δυσκολίες ποὺ ἀπὸ καιρὸ ἔχουν ἐκτεθεῖ καὶ συζητηθεῖ. Ἀντικείμενο τοῦ σημερινοῦ κειμένου εἶναι νὰ τραβήξει τὴν προσοχὴ στὸ γεγονός ὅτι μερικὲς, τουλάχιστον, ἀπ' αὐτὲς τὶς δυσκολίες συναντῶνται καὶ σὲ μιὰ πολὺ πιὸ γενικὴ θεωρία, τῆς ὁποίας εἰδικὴ περίπτωση ἀποτελεῖ ἡ συνήθης κβαντικὴ μηχανικὴ — ποὺ διατυπώνεται μὲ τὴ βοήθεια τοῦ χώρου τοῦ Hilbert.

Ἡ θεωρία, ποὺ μελετοῦμε ἐδῶ, ἀποτελεῖ γενίκευση τοῦ λογισμοῦ τῶν προτάσεων ποὺ λέγεται ἐπίσης (ἀντικανονικά, σύμφωνα μὲ ὀρισμένους συγγραφεῖς) κβαντικὴ λογικὴ. Μὲ ἀφετηρία τὶς ἐργασίες τῶν Birkhoff καὶ Von Neumann<sup>1</sup>, ὁ λογισμὸς αὐτὸς ἀναπτύχθηκε κυρίως, καθὼς εἶναι γνωστό, ἀπὸ τοὺς Jauch καὶ Piron<sup>23456</sup> (βλ. ἐπίσης Mackey<sup>7</sup> καὶ Weizsäcker<sup>8</sup>). Πρόκειται πράγματι γιὰ γενίκευση τῶν ἀρχῶν αὐτοῦ τοῦ λογισμοῦ, γιὰτὶ στὴ συνέχεια δὲν θὰ εἶναι κἀν ἀνάγκη νὰ κάνουμε τὴν παραδοχὴ ὅτι τὸ θεωρούμενο σύνολο προτάσεων ἔχει ὅλες τὶς μαθηματικὲς ιδιότητες ἑνὸς πλέγματος. Οὐσιαστικὰ θὰ εἶναι ἀρκετὸ νὰ σημειώσουμε ὅτι πρόκειται γιὰ ἕνα μερικὰ διατεταγμένο σύνολο, στὸ ὁποῖο ἔχει ὀριστεῖ ἕνα ὀρθογωνικὸ συμπλήρωμα. Καί, φυσικά, αὐτὰ ποὺ ἔχουμε νὰ ποῦμε συμβιβάζονται μὲ τὴν ὑπόθεση — κατὰ τὰ ἄλλα, πολὺ φυσικὴ — ὅτι πράγματι πρόκειται γιὰ πλέγμα.

Ἐπιπλέον, ἡ ἐπιχειρηματολογία ποὺ θὰ ἀναπτυχθεῖ δείχνει — ἐλπίζουμε — τὴν ἀνάγκη νὰ προστεθεῖ ἕνα συμπλήρωμα στὶς ἤδη ὑπάρχουσες ἐργασίες σ' αὐτὸν τὸν τομέα. Προτίθεται πράγματι νὰ εἰσαγάγει στοιχεῖα, τὰ ὁποῖα

\*«Logique quantique et non - separabilité». Ἀνακοίνωση τοῦ συγγραφέα στὸ Συμπόσιο «On the Development of the Physicists's Conception of Nature», Τεργέστη, Σεπτέμβριος 1972, μὲ τὰ στοιχεῖα LPTHE 72/44. Δημοσιεύτηκε καὶ στὰ ἀγγλικά μὲ ἑλαφρὲς τροποποιήσεις καὶ μία συνοπτικὴ περίληψη, στὸ βιβλίο The Physicists's Conception of Nature (ἐκδ. Mehra) Dordrecht — 1973, σ. 714 - 735. Δημοσιεύεται μὲ τὴν ἄδεια τοῦ συγγραφέα.

ἐπιτρέπουν νὰ πλησιάσουμε ἓνα θέμα ποὺ δὲν ἔχει ἀκόμα μελετηθεῖ ἀρκετὰ στὶς ἐργασίες ποὺ ἀναφέραμε, δηλαδὴ τὸ πρόβλημα τοῦ διαχωρισμοῦ τῶν φυσικῶν συστημάτων. Ἐνα σύνολο ἀπὸ θεωρητικὲς καὶ πειραματικὲς ἐρευνες, ἄλλες παλαιές<sup>10</sup> καὶ ἄλλες πολὺ πρόσφατες<sup>11 12 13 14</sup>, ἀπέδειξαν ὅτι ἡ περιγραφή, ἰδιαίτερα τῶν συσχετίσεων (correlations) ἀνάμεσα σὲ συστήματα ἀπομονωμένα κατὰ τὴ θεωρούμενη στιγμή, ἀλλὰ τὰ ὅποια εἶχαν προηγουμένως ἀλληλεπιδράσει, θέτει θεμελιώδη ἐρωτήματα, ποὺ ἡ σημασία τους, ἀπὸ τὴν ἄποψη τῆς κατανόησης τῶν θεωριῶν, εἶχε ἀναμφίβολα μέχρι σήμερα ὑποτιμηθεῖ σὲ μεγάλο βαθμὸ, ἀκόμα καὶ στὶς μαθηματικὰ πιὸ προχωρημένες ἀξιωματικὲς διατυπώσεις. Θὰ προσπαθήσουμε νὰ καλύψουμε κάπως αὐτὸ τὸ κενό, σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὶς θεωρίες ποὺ θεμελιώνονται στὴ μελέτη τοῦ λογισμοῦ τῶν προτάσεων. Ὅπως θὰ φανεῖ, αὐτὸ ὑποχρεώνει νὰ περιορίσουμε σημαντικὰ τὸ φάσμα τῶν δυνατῶν διατυπώσεων ἀναφορικὰ μὲ τὰ ἀξιώματα καὶ τὶς θεμελιώδεις ἔννοιες αὐτῶν τῶν θεωριῶν, καὶ εἰδικὰ σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν ἔννοια τῶν χωριστῶν φυσικῶν συστημάτων.

Θὰ ἦταν ἄχρηστο καὶ κουραστικὸ γιὰ τὸν ἀναγνώστη νὰ ἐπαναλάβουμε λεπτομερειακὰ τὴ συστηματικὴ ἐκθεση τοῦ λογισμοῦ τῶν προτάσεων. Οἱ σπάνιοι τεχνικοὶ ὅροι, ποὺ τὸ νόημά τους δὲν ὀρίζεται ρητὰ, ἀνήκουν στὴ συμβατικὴ γλῶσσα τῆς θεωρίας αὐτῆς. Θὰ βρεῖ κανεὶς τοὺς σχετικοὺς ὀρισμοὺς στὶς ἐργασίες τῶν συγγραφέων ποὺ παρατίθενται, καὶ ἰδιαίτερα στὸ ἔργο τοῦ Jauch, *Foundations of Quantum Mechanics*<sup>4</sup>.

Ἡ μέθοδος ποὺ ἀκολουθοῦμε εἶναι νὰ κάνουμε πιὸ ἀκριβεῖς μερικοὺς ἄλλους ὀρισμοὺς (τμῆμα 2) ποὺ ἀνήκουν ἐπίσης στὴ συμβατικὴ γλῶσσα τῆς θεωρίας τῶν προτάσεων, ἀλλὰ ποὺ, κατὰ τὴ γνώμη μας, τὸ διεργασιακὸ (opérationnel) τους νόημα δὲν ἔχει μέχρι σήμερα ἐξηγηθεῖ ὀλοκληρωτικὰ καὶ ἰδιαίτερα σὲ σχέση μὲ ἐρωτήματα ποὺ θέτει ἡ ἔνωση καὶ ὁ διαχωρισμὸς τῶν φυσικῶν συστημάτων. Πρόκειται ἐπίσης νὰ διατυπώσουμε μὲ περισσότερη ἀκρίβεια, στὰ πλαίσια αὐτῶν τῶν ὀρισμῶν, μερικὲς ὑποθέσεις ποὺ συχνὰ δὲν ἦταν ρητὰ διατυπωμένες καὶ οἱ ὅποιες ἐπιτρέπουν νὰ πραγματοποιηθοῦν τὸ παρὸν καὶ τὸ παρελθὸν μὲ τὴ βοήθεια ἑνὸς καὶ μόνου ἐννοιολογικοῦ συστήματος. Μὲ μιὰ γενίκευση γνωστῶν ἐπιχειρημάτων, ποὺ ὀφείλονται στοὺς Einstein, Podolsky, Rosen<sup>10</sup>, Bell<sup>11</sup> καὶ Wigner<sup>16</sup>, θὰ δείξουμε ἀργότερα (τμῆμα 3) ὅτι ἂν δὲν εἶναι κανεὶς πολὺ συνετὸς σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὶς περιοχὲς ἐφαρμογῆς τῶν ἐννοιῶν τοῦ φυσικοῦ συστήματος καὶ τοῦ διαχωρισμοῦ αὐτῶν τῶν συστημάτων, τότε τὸ σύνολο τῶν προτάσεων, ποὺ διαμορφώνεται μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο, εἶναι ἀσυμβίβαστο μὲ τὰ γνωστὰ γεγονότα. Στὴν πραγματικότητα, ἡ ἀναγκαία αὐτῆ σύνεση ἰσοδυναμεῖ μὲ τὴν ἀνάγκη γιὰ μιὰ πραγματικὴ τροποποίηση τῆς ἄποψης ποὺ υἱοθετεῖται ἀρχικά. Ἡ μελέτη τῶν δυνατοτήτων, ποὺ ὑπάρχουν πρὸς αὐτὴ τὴν κατεύθυνση, εἶναι τὸ θέμα τοῦ τμήματος 4. Παρὰ τὶς ἀμοιβαῖες διαφορὲς τους, οἱ δυνατότητες αὐτὲς συνεπάγονται τὸ μὴ διαχωρίσιμο. Τὸ τμῆμα 5 ἀξιοποιεῖ αὐτὸ τὸ συμπέρασμα.

Ἀπὸ αὐστηρὰ ἐπιστημονικὴ ἄποψη, τὰ πέντε πρῶτα τμήματα αὐτοῦ τοῦ

ἄρθρου συνιστοῦν ἓνα ὄλο, στὸ ὁποῖο τὸ ἕκτο δὲν προσθέτει τίποτα. Ἐκτὴν ἄποψη τῆς κατανόησης τῆς Φύσης — θέμα τοῦ σημερινοῦ συμπόσιου — εἴμαστε ἀντίθετα πεπεισμένοι γιὰ τὴ μεγάλη σοβαρότητα τῶν προβλημάτων πού ἐπιχειρήσαμε νὰ θέσουμε σ' αὐτὸ τὸ τμῆμα, τὸ ὁποῖο χρησιμεύει σὰν παράρτημα τοῦ ἄρθρου.

## 2. ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

### 2. 1. Φυσικὰ συστήματα

Στὴν κβαντική θεωρία ἡ ἔννοια τοῦ φυσικοῦ συστήματος εἶναι μιὰ σχετική ἔννοια: ὑπάρχουν πειραματικές καταστάσεις τὶς ὁποῖες ἡ κλασικὴ φυσικὴ θὰ ἀνέλυε μὲ βάση περισσότερα συστήματα (πού καθένα θὰ εἶχε αὐστηρὰ καθορισμένες ιδιότητες), ἐνῶ ἡ κβαντικὴ φυσικὴ ἀπαγορεύει ἢ ὑποβάλλει σὲ πολυάριθμους περιορισμούς κάθε ἀνάλυση αὐτοῦ τοῦ εἴδους. Τὸ κύριο ἀποτέλεσμα τῆς μελέτης τούτης θὰ εἶναι, τελικά, μιὰ πολὺ γενικὴ ἐπιβεβαίωση αὐτοῦ τοῦ γεγονότος. Πράγματι, θὰ πρέπει νὰ συμπεράνουμε ὅτι ἡ πολὺ μεγάλη σχετικότητα τῆς ἔννοιας τοῦ φυσικοῦ συστήματος δὲν εἶναι ἰδιομορφία τῆς λεγόμενης στοιχειώδους κβαντικῆς μηχανικῆς — πού ὀρίζεται σὲ ἓνα χῶρο Hilbert μὲ συνιστώσες στὸ πεδίο τῶν μιγαδικῶν ἀριθμῶν — ἀλλὰ ἰσχύει, ὅποιος καὶ νὰ εἶναι, τελικά, ὁ φορμαλισμὸς πού ἐπιλέγεται, ἀρκεῖ αὐτὸς νὰ μὴν ὀδηγεῖ σὲ ἀντίφαση μὲ μερικὰ γεγονότα, πού διαπιστώθηκαν πρόσφατα.

Ἐκόμα καὶ στὴ συνήθη κβαντικὴ μηχανικὴ δὲν μποροῦμε, ὡστόσο, νὰ ἀποφύγουμε τὴν ἔννοια τοῦ συστήματος. Πράγματι, ἂν δὲν θεωροῦμε παρά μόνο ἓνα δοσμένο σύνολο πειραμάτων, μποροῦμε συχνὰ — γιὰ νὰ τὰ ἀναλύσουμε ἢ νὰ τὰ προβλέψουμε — νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἔννοια τῶν φυσικῶν συστημάτων καὶ μάλιστα τῶν ἐντοπισμένων φυσικῶν συστημάτων. Γιὰ νὰ καθορίσουμε τὰ γενικὰ ὅρια τῆς ἔννοιας τοῦ συστήματος, θὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν μέθοδο τῆς εἰς-ἄτοπον-ἀπαγωγῆς. Δηλαδή θὰ κάνουμε καταρχὴν ἀφαίρεση κάθε περιορισμοῦ τῆς ἔννοιας, πράγμα πού θὰ μᾶς ἐπιτρέψει νὰ ἐντοπίσουμε καλύτερα τὶς δυσκολίες πού συνεπάγεται μιὰ τέτοια στάση. Θὰ δεχτοῦμε λοιπὸν προσωρινὰ — κι ἂν χρειαστεῖ θὰ ἀναθεωρήσουμε τὴ θέση μας — νὰ ἐννοοῦμε μὲ τὸν ὄρο «φυσικὸ σύστημα» (ἢ, γιὰ συντομία, «σύστημα») καθετὶ πού ὀνόμαζε ἔτσι ἡ κλασικὴ φυσικὴ, συμπεριλαμβανομένων καὶ τῶν «μικροσυστημάτων» (ἀτόμων, σωμάτων) σὲ ὅλη τους τὴ γενικότητα, ὅπως ἔμμεσα κάνουν οἱ ἀξιοματικές διατυπώσεις πού χρησιμοποιοῦν χωρὶς περιορισμούς τὴν ἰδέα τοῦ ἀτομικοῦ συστήματος.

Δυὸ συστήματα μπορεῖ νὰ διαφέρουν εἴτε στὴ γενικὴ τους δομὴ, εἴτε στὶς εἰδικὲς διατάξεις τους (συμπεριλαμβανομένων θέσεων, ταχυτήτων, κτλ.). Δυὸ

συστήματα που δέν διαφέρουν παρά μόνο στις ειδικές διατάξεις τους, θά λέγονται τοῦ *ιδίου τύπου*.

Τέλος, ὅπως καί στην κλασική μηχανική, θά θεωρήσουμε ἀπομονωμένα μεταξύ τους, σέ μιὰ ὀρισμένη χρονική στιγμή, δυὸ συστήματα που τή στιγμή ἐκείνη δέν ἀλληλεπιδροῦν μέσω καμιάς «δύναμης». Ἰδιαίτερα, δυὸ συστήματα, που ἡ ἀμοιβαία τους ἀπόσταση εἶναι αὐθαίρετα μεγάλη, θά θεωροῦνται πάντα ἀπομονωμένα μεταξύ τους.

## 2. 2. Παρατηρήσιμα μεγέθη (καὶ μέτρηση)

Τὰ παρατηρήσιμα μεγέθη ὀρίζονται, σ' ἓνα δοσμένο τύπο συστημάτων, μέ τήν περιγραφή τοῦ ὄργάνου που χρησιμοποιεῖται γιά τή μέτρησή τους. Τὸ ἴδιο παρατηρήσιμο μέγεθος μπορεῖ, φυσικά, νά ἀντιστοιχεῖ σέ περισσότερες πειραματικές διαδικασίες (στίς ὁποῖες πρέπει ἐνδεχομένως νά προσθέσουμε κατάλληλους κανόνες ὑπολογισμοῦ). Δεχόμεστε ὅτι κάθε παρατηρήσιμο μέγεθος ἐπιδέχεται μέτρηση *πρώτου εἴδους* (καμιά φορά θά τὸ λέμε καί «ἰδεῶδες»). Συνοπτικά, μιὰ μέτρηση πρώτου εἴδους εἶναι τέτοια ὥστε, ἂν στὸ σύστημα κάνουμε μιὰ δεύτερη μέτρηση τῆς ἴδιας ποσότητας, ἀμέσως μετά τήν πρώτη, τὰ ἀποτελέσματα θά συμπέσουν. Ἀπὸ ἐδῶ καί πέρα μέ τὸν ὄρο «μέτρηση» θά ἐννοοῦμε πάντοτε μετρήσεις πρώτου εἴδους.

## 2. 3. Συμβατὰ παρατηρήσιμα μεγέθη

Μποροῦμε νά ὀρίσουμε τήν ἐννοια τῆς συμβατότητας (*compatibilité*) ἀνάμεσα σέ δυὸ παρατηρήσιμα μεγέθη A καί B που ἀνήκουν σέ ἓνα τύπο T συστήματος, μέ τρόπο διεργασιακό. Ἐς φανταστοῦμε ὅτι σέ καθένα ἀπὸ τὰ στοιχεῖα ἑνὸς στατιστικοῦ συνόλου E συστημάτων τύπου T κάνουμε διαδοχικά μιὰ μέτρηση τοῦ A καί κατόπιν μιὰ μέτρηση τοῦ B καί σέ συνέχεια πάλι μιὰ μέτρηση τοῦ A σ' ἓνα χρονικὸ διάστημα «ἄπειρα» μικρό. Ἐν, ὅποια καί ἂν ἦταν ἡ ἀρχική προπαρασκευὴ τῶν συστημάτων, τὸ ἀποτέλεσμα τῆς τρίτης μέτρησης συμπίπτει, γιά κάθε στοιχεῖο, μέ τὸ ἀποτέλεσμα τῆς πρώτης, τότε λέμε ὅτι τὸ B εἶναι συμβατὸ μέ τὸ A. Ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ συμβατότητα εἶναι μιὰ αὐτόπαθη σχέση (*reflexive*).

*Σημείωση.* Στην περίπτωση τῆς συνηθισμένης κβαντικῆς μηχανικῆς, τὰ παρατηρήσιμα μεγέθη A καί B ἀντιπροσωπεύονται μέ ἔρμιτιανούς τελεστές. Ἐν  $P_j$  ( $Q_k$ ) εἶναι οἱ προβολεῖς (*projecteurs*) που ἐμφανίζονται κατὰ τή φασματικὴ ἀνάπτυξη τῶν A καί B ἀντίστοιχα, εἶναι εὐκόλο νά δειχτεῖ ὅτι ὁ προηγούμενος ὀρισμὸς ὀδηγεῖ στή συνθήκη ὅτι

$$\langle u | P_j Q_k P_j Q_k P_j | u \rangle = \langle u | P_j Q_k P_j | u \rangle$$

για κάθε  $u$  του  $H$  όπου  $H$  είναι ο χώρος Hilbert που συσχετίζεται με τον  $T$ . Είναι εύκολο ναδειχτεί ότι ο όρος αυτός συνεπάγεται ότι  $[P_j, Q_k] = 0$ , άρα  $[A, B] = 0$ . Το αντίστροφο ισχύει πάντοτε.

#### 2. 4. Βέβαιη γνώση. Άμεσες και έμμεσες μετρήσεις

Δεχόμαστε την έγκυρότητα της μὴ ἐξαντλητικής ἐπαγωγής. Θεωρούμε κατὰ συνέπεια ὅτι ἂν ἓνα πρόσωπο ἐπαναλάβει ἓνα ὀρισμένο πείραμα πάρα πολλές φορές, ἂν τὰ συστήματα στὰ ὁποῖα πειραματιζόταν ἦταν ὅλα προπαρασκευασμένα μετὸν ἴδιο τρόπο καὶ ἂν τὰ ἀποτελέσματα πού πέτυχε ἦταν ὅλα ταυτόσημα, τότε γνωρίζει (με «βεβαιότητα», ἀλλὰ τὸ ὑπονοοῦμε καὶ γι' αὐτὸ παραλείπουμε αὐτὴ τὴ λέξη) ὅτι ἂν ξαναρχίσει τὴν ἴδια μέτρηση σὲ ἓνα σύστημα προπαρασκευασμένο ὅπως καὶ τὰ προηγούμενα, τότε θὰ πετύχει πάλι τὸ ἴδιο ἀποτέλεσμα.

Οἱ μετρήσεις πού ἐξετάζουμε μπορεῖ νὰ εἶναι ἄμεσες, δηλ. νὰ γίνονται στὰ ἴδια τὰ συστήματα, ἢ ἔμμεσες, δηλαδή νὰ γίνονται σὲ ἄλλα συστήματα γιὰ τὰ ὁποῖα γνωρίζουμε, ἐξάλλου, ὅτι, ἐξαιτίας τῆς προηγούμενης ἀλληλεπίδρασής τους μετὰ τὰ συστήματα πού μᾶς ἐνδιαφέρουν, ἔχουν μετὰ αὐτὰ ἀσθηρὲς συσχετίσεις, οἱ ὁποῖες ἐμπεριέχουν τὸ παρατηρήσιμο μέγεθος πού μᾶς ἐνδιαφέρει.

#### 2. 5. Προτάσεις

Οἱ προτάσεις εἶναι παρατηρήσιμα μεγέθη, τέτοια ὥστε ἡ μέτρησή τους δὲν μπορεῖ νὰ δώσει παρὰ τὴ μιὰ ἢ τὴν ἄλλη ἀπὸ δύο τιμές, πού θὰ ὀνομάσουμε συμβατικὰ *ναί* καὶ *ὄχι*. Ἔτσι, μιὰ βεβαίωση δὲν εἶναι πρόταση, παρὰ μόνο ἂν εἶναι δυνατὸ νὰ φανταστοῦμε ἓνα ὄργανο μετὸ ὁποῖο νὰ μπορεῖ νὰ ἐπαληθευτεῖ τὸ περιεχόμενό της. Στὶς προτάσεις τῆς στοιχειώδους κβαντικής μηχανικῆς συσχετίζουμε προβολεῖς.

Σὲ κάθε πρόταση  $a$ , μποροῦμε νὰ ἀντιστοιχίσουμε μιὰν ἄλλη πρόταση  $a'$ , πού ὀρίζεται μετὶς ἴδιες πειραματικές διαδικασίες καὶ τέτοια ὥστε τὸ ἀποτέλεσμα τῆς μέτρησης τῆς  $a'$  νὰ εἶναι *ναί*, κάθε φορά πού τὸ ἀποτέλεσμα τῆς μέτρησης τῆς  $a$  εἶναι *ὄχι*, καὶ ἀντίστροφα. Ἡ  $a'$  λέγεται ὀρθογωνικὸ συμπλήρωμα τῆς  $a$ .

*Παρατήρηση.* Εἶναι νοητὴ ἡ ἐξάρτηση τοῦ γεγονότος ὅτι μιὰ ὁποιαδήποτε βεβαίωση εἶναι πρόταση ἀπὸ τὶς γενικὲς ἱκανότητες τῆς κοινότητας τῶν θεωρούμενων παρατηρητῶν. Αὐτὸ λ.χ. συμβαίνει στὴν περίπτωση τῶν θεωριῶν μετὰ λανθάνουσες παραμέτρους, μόλις φανταστοῦμε «δαίμονες» στοὺς ὁποῖους οἱ τιμές αὐτῶν τῶν μεταβλητῶν θὰ ἦταν προσιτές. Θὰ δεχτοῦμε ὅτι ἡ ἀνθρώπινη κοινότητα ἔχει, ἀπ' αὐτὴ τὴν ἀποψη, καθορισμένες ἱκανότητες, πού θὰ χρησιμεύσουν ὡς σημεῖα ἀναφορᾶς.

## 2. 6. Ἀλήθεια μιᾶς πρότασης

i) Ὄταν, με βάση μετρήσεις τοῦ τύπου ποῦ ἐξετάσαμε στὴ 2.4, ἄμεσες ἢ ἔμμεσες, ἓνα ἢ περισσότερα πρόσωπα γνωρίζουν ὅτι μιὰ μέτρηση μιᾶς πρότασης  $a$ , στὸ σύστημα  $\Sigma$ , θὰ ἔδινε τὸ ἀποτέλεσμα *ναί*, ἂν ἀποφάσιζε κανεὶς νὰ τὴν κάνει, ἢ πρόταση  $a$  εἶναι ἀληθοῦς στὸ  $\Sigma$ .

ii) Ὡστόσο, γνωρίζουμε καλά, λ.χ. ἀπὸ τὴν κλασικὴ φυσικὴ, ὅτι ἡ περιπτώση ποῦ θεωρήσαμε στὴν (i) δὲν εἶναι κατανάγκη ἢ μόνη ὅπου — σύμφωνα με τὴ γλώσσα ποῦ γενικὰ γίνεται δεκτὴ — μιὰ πρόταση θὰ μπορούσε νὰ εἶναι ἀληθοῦς.

Ἀπὸ μιὰ πλευρά, πράγματι, γνωρίζουμε περιπτώσεις ὅπου εἶναι δυνατόν νὰ ἀποφανθοῦμε γιὰ τὴν ἀλήθεια μιᾶς πρότασης ποῦ ἀφορᾷ τὸ παρελθόν κι ἀπὸ τὴν ἄλλη ὑπάρχουν στὴν κλασικὴ φυσικὴ πολλές προτάσεις ποῦ μποροῦν νὰ εἶναι ἀντικειμενικὰ ἀληθεῖς — με τὴν ἔννοια τῆς συμφωνίας (adéquation) με τὸ πράγμα, ὅπως πράγματι εἶναι — ἂν καὶ κανεὶς δὲν γνωρίζει τίποτε σχετικὰ.

Ἔτσι ἔχουμε τὸν πειρασμὸ νὰ συμπληρώσουμε τὴ διατύπωση τῆς (i) με τὴ βοήθεια τῶν δύο ἀκόλουθων ὁρισμῶν.

### Ὁρισμὸς A

Μποροῦμε νὰ βεβαιώσουμε στὸ χρόνο  $t_1$ , ὅτι μιὰ πρόταση  $a$  ποῦ ἀφορᾷ τὸ σύστημα  $\Sigma$  θὰ εἶναι (ἦταν) ἀληθοῦς κατὰ τὴ στιγμὴ  $t > t_1$  ( $< t_1$ ), ἂν καὶ μόνον ἂν ἱκανοποιεῖται ἡ ἀκόλουθη συνθήκη:

Γνωρίζουμε ὅτι ἂν μιὰ μέτρηση τῆς  $a$  γίνε (εἶχε γίνε) στὸ  $\Sigma$ , ἄμέσως μετὰ τὴ στιγμὴ  $t$ , θὰ ληφθεῖ (θὰ εἶχε ληφθεῖ) τὸ ἀποτέλεσμα *ναί*.

### Ὁρισμὸς B

Λέγεται ὅτι μιὰ πρόταση  $a$ , ποῦ ἀφορᾷ τὸ σύστημα  $\Sigma$  μπορεῖ νὰ εἶναι ἢ θὰ μπορούσε νὰ εἶναι ἀληθοῦς, κατὰ τὴ στιγμὴ  $t$  (ποῦ διαφέρει ἢ ποῦ συμπίπτει με τὴ στιγμὴ  $t_1$ , ὅπου τοποθετούμαστε) τότε καὶ μόνο ὅταν εἶναι δυνατόν νὰ φανταστοῦμε ἓνα ἢ περισσότερα πρόσωπα ποῦ θὰ εἶχαν κατὰ τὴ στιγμὴ  $t_1$  τίς ἀναγκαῖες πληροφορίες γιὰ νὰ γνωρίζουν τὸ ἀποτέλεσμα ποῦ θὰ ἔδινε — ἢ ποῦ θὰ εἶχε δώσει — μιὰ μέτρηση τῆς  $a$  ποῦ θὰ γινόταν ἄμέσως μετὰ τὴ στιγμὴ  $t$  ἂν αὐτὴ ἢ μέτρηση γινόταν — ἢ εἶχε γίνε (τὸ ἂν συνεπάγεται ὅτι οἱ πληροφορίες ποῦ ἀναφέραμε δὲν προέρχονται ἀπὸ αὐτὴ τὴ μέτρηση).

Ἄντὶ γιὰ «μπορεῖ νὰ εἶναι ἀληθοῦς», θὰ λέγαμε ἐπίσης «εἶναι ἀληθοῦς ἢ ψευδῆς» ἢ «εἶναι κοινότοπα ἀποσδιόριστη» (irrésolue, undecided).

## 2. 7. Συνεπαγωγὴ (implication)

Ἐχοντας ὀρίσει τὴν ἀλήθεια μιᾶς πρότασης, εἶναι εὐκόλο νὰ ὀρίσουμε τὸ ρῆμα «συνεπάγομαι» ποῦ ἐφαρμόζεται στὶς προτάσεις. Λέμε ὅτι ἢ  $a$  συνεπάγεται τὴ  $\beta$ , ἂν ἢ  $\beta$  εἶναι ἀληθοῦς κάθε φορὰ ποῦ ἢ  $a$  εἶναι ἀληθοῦς.

## 2. 8. Προτάσεις εξακολουθητικά αληθείς

Σ' ένα δοσμένο τύπο συστημάτων  $T$ , υπάρχουν συχνά προτάσεις που έχουν την ακόλουθη ιδιότητα: αν μια απ' αυτές είναι αληθής για ένα απομονωμένο σύστημα  $\Sigma$  του τύπου  $T$ , κατά τη στιγμή  $t$ , παραμένει αληθής κατά τις επόμενες στιγμές  $t'$ , με την προϋπόθεση ότι κατά το διάστημα  $(t, t')$ , το  $\Sigma$  παραμένει διαρκώς απομονωμένο. Θα ονομάσουμε αυτές τις προτάσεις εξακολουθητικά αληθείς μέσα στη δοσμένη κατάσταση. Είναι εύκολο να δούμε ότι το ορθογωνικό συμπλήρωμα μιᾶς εξακολουθητικά αληθοῦς πρότασης είναι εξακολουθητικά αληθής πρόταση.

Στην κβαντική μηχανική, όλες οι προτάσεις, τῶν οποίων ὁ τελεστής (προβολέας) αντιμετατίθεται με την ἐλεύθερη χαμιλτονιακή τοῦ συστήματος, εἶναι εξακολουθητικά αληθείς. Ἐδῶ γενικεύουμε τὸ ἀποτέλεσμα καὶ προσθέτουμε μιὰ νέα ὑπόθεση.

### Ἀξίωμα 1

(i) Τὸ ορθογωνικὸ συμπλήρωμα μιᾶς εξακολουθητικά αληθοῦς πρότασης εἶναι μιὰ εξακολουθητικά αληθής πρόταση.

(ii) Ἐστω  $a$  μιὰ εξακολουθητικά αληθής πρόταση στὸ σύστημα  $\Sigma$ . Ἄν ἡ  $a$  εἶναι αληθής γιὰ τὸ  $\Sigma$  στὴ στιγμή  $t$ , καὶ ἂν τὸ  $\Sigma$  παραμένει ἀπομονωμένο σ' ἓνα χρονικὸ διάστημα  $(t_0, t_2)$  ποὺ περιλαμβάνει τὴν  $t_1$ , τότε μπορούμε (κατὰ τὴ στιγμή  $t_1$ ) νὰ βεβαιώσουμε ὅτι, ἂν εἶχε γίνει μιὰ μέτρηση κατὰ τὴ στιγμή  $t$  ποὺ περιλαμβάνεται μεταξύ  $t_0$  καὶ  $t_1$ , τὸ ἀποτέλεσμα τῆς μέτρησης θὰ ἦταν *ναί*.

Ἡ σημασία αὐτοῦ τοῦ ἀξιώματος θὰ συζητηθεῖ στὸ τμῆμα 4.

### Συνέπεια.

Σύμφωνα με τὸν ὀρισμὸ  $A$ , ἡ πρόταση, ποὺ θεωρήσαμε προηγούμενα, ἦταν ἤδη αληθής κατὰ τὴ στιγμή  $t$ .

## 2. 9. Σχόλια

### Προβλήματα τῆς ἔννοιας τῆς ἐπιμέρους κατάστασης. Αἰτιότητα.

Οἱ ὀρισμοὶ  $A$  καὶ  $B$  καὶ τὸ Ἀξίωμα 1 φαίνονται ἰδιαίτερα φυσιολογικοὶ στὰ πλαίσια μιᾶς ρεαλιστικῆς ὑπόθεσης, ἡ ὁποία θὰ ἐκτείνεται σὲ καθετὶ ποὺ μπορεῖ, σύμφωνα με τὴ σύμβαση τῆς 2.2, νὰ ὀνομαστεῖ «σύστημα» (καὶ τὸ ὁποῖο — προσωρινά — περιλαμβάνει τὰ ἀπομονωμένα μικροσυστήματα, σ' ὅποιες περιστάσεις καὶ ἂν βρίσκονται). Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, οἱ ὀρισμοὶ αὐτοὶ καὶ τὸ ἀξίωμα δὲν συνεπάγονται τὴν ἀνάγκη μιᾶς ρεαλιστικῆς ὑπόθεσης σχετικὰ με τὰ συστήματα: μπορούμε λοιπὸν νὰ τὰ δεχτοῦμε χωρὶς νὰ διατυπώσουμε κανένα ἀξίωμα ποὺ θὰ ξεπερνοῦσε τὰ πλαίσια μιᾶς αὐστηρὰ ὀπερασιοναλιστικῆς μεθόδου.

Κατὰ τὰ ἄλλα, ἂν στήν τάξη τῶν «συστημάτων» κατατάξει κανείς ὁποιοδήποτε μικροσύστημα (ὅπως θέλει ἡ σύμβαση 2.1), τότε γιὰ  $t < t_1$ , οἱ ὀρισμοὶ A καὶ B μποροῦν νὰ συγκρουστοῦν μὲ τὴν ἰδέα ὅτι ἓνα μικροσύστημα ἀποτελεῖ κατὰ κάποιον τρόπο ἓνα «ἀδιαίρετο ὄλον» μὲ τὸ ὄργανο τῆς μέτρησης ποῦ χρησιμεύει γιὰ νὰ τὸ παρατηρήσουμε. Θὰ ἐπανέλθουμε στὸ σπουδαῖο αὐτὸ σημεῖο. Γιὰ τὴν ὥρα, παρὰ τὴν ἐπιφύλαξη αὐτή, ὡς ὑπόθεση ἐργασίας υἱοθετοῦμε τὴν ἐγκυρότητα τῶν ὀρισμῶν A καὶ B.

Ἐξάλλου ἡ ἐπιλογή αὐτὴ μᾶς ἐπιβάλλεται, ἂν θέλουμε νὰ μποροῦμε νὰ ἐφαρμόσουμε τὰ ἴδια ἐννοιολογικὰ σχήματα τόσο στὸ παρελθόν, ὅσο καὶ στὸ παρόν, διατηρώντας ταυτόχρονα τὴν ἀρχή, κατὰ τὴν ὁποία τὸ μέλλον δὲν μπορεῖ νὰ ἐπιδράσει στὸ παρελθόν καὶ ἐπίσης τὴ συνήθη ἐννοια τοῦ συστήματος (βλ. 1.2). Πράγματι, ἂς ξαναδοῦμε τὸν κλασικὸ ὀπερασιοναλιστικὸ ὀρισμὸ τῆς ἀλήθειας μᾶς πρότασης (βλ. 2.6 i):

#### Ὁρισμὸς α

Τὴ στιγμὴ  $t_1$ , λέμε ὅτι μιὰ πρόταση  $a$  εἶναι ἢ θὰ εἶναι ἀληθής, τὴ στιγμὴ  $t \geq t_1$ , ὅταν εἶναι γνωστὸ ὅτι μιὰ μέτρηση τῆς  $a$  ποῦ γίνεται ἀμέσως μετὰ τὴ στιγμὴ αὐτὴ θὰ ἔδινε μὲ βεβαιότητα τὸ ἀποτέλεσμα *ναί*.

Θὰ συμπληρώσουμε αὐτὴ τὴν πρόταση, μὲ τὴν ἀκόλουθη, ποῦ μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ σὰν ἀπλή διατύπωση τῆς ἀρχῆς τῆς αἰτιότητας:

#### Ἀξίωμα 2 (Αἰτιότητα)

Τὸ σύνολο τῶν ἀληθῶν προτάσεων κατὰ τὴ στιγμὴ  $t$ , στὸ ἀπομονωμένο σύστημα  $\Sigma$ , δὲν τροποποιεῖται ἂν ἐπιδράσουμε στίς διατάξεις — πειραματικὲς ἢ ἄλλες — μὲ τίς ὁποῖες τὸ  $\Sigma$  θὰ ἀλληλεπιδράσει σὲ χρονικὲς στιγμὲς  $t' > t$  οὔτε, a fortiori, δρώντας σὲ χρονικὲς στιγμὲς  $t'' \geq t$ , σὲ ἄλλα συστήματα, ἀπὸ τὰ ὁποῖα τὸ  $\Sigma$  εἶναι ἀπομονωμένο κατὰ τὸ χρόνο  $t$ .

Ὁ παραπάνω ὀρισμὸς (α) παρέχει ἀπευθείας τὸν ὀρισμὸ A, στήν περίπτωση  $t \geq t_1$  (τὴ μόνη κρίσιμη περίπτωση). Στὴν περίπτωση  $t < t_1$  τὸ νὰ ποῦμε — ὅπως κάνει ὁ ὀρισμὸς A — ὅτι ἂν γινόταν μιὰ μέτρηση τῆς  $a$  ἐπὶ τοῦ  $\Sigma$  ἀμέσως μετὰ ἀπὸ τὸ χρόνο  $t$ , τὸ ἀποτέλεσμα θὰ ἦταν *ναί*, σημαίνει πὼς δεχόμαστε ἔμμεσα, ὅτι ἤδη ἀπὸ τὴ στιγμὴ  $t$ , τὸ  $\Sigma$  ὑπῆρχε ὡς σύστημα. Ἀλλὰ αὐτὸ εἶναι θεμιτό, ἀφοῦ συμφωνεῖ μὲ τὴν ἐπέκταση τοῦ πεδίου ἐφαρμογῆς τοῦ ὅρου «σύστημα» ὅπως ἔγινε στὸ τμῆμα 2.1. Θὰ σήμαινε ἀκόμη ὅτι ἂν μιὰ μέτρηση τοῦ  $a$ , ποῦ στήν πραγματικότητα δὲν εἶχε γίνει (ἀλλιῶς τὸ ἀντίστοιχο ὄργανο θὰ εἶχε κατανάγκη ἀλλοιώσει τὴν ὑποτιθέμενη ἐξέλιξη τοῦ συστήματος), γινόταν στὸ  $\Sigma$  ἀμέσως μετὰ τὴ στιγμὴ  $t$ , τότε θὰ εἶχαμε μὲ βεβαιότητα τὸ ἀποτέλεσμα *ναί*. Ἀλλὰ ἂν ἡ ἀλληλεπίδραση τοῦ  $\Sigma$  μὲ ἓνα τέτοιο ὄργανο, σὲ μιὰ χρονικὴ στιγμὴ  $t'$  ἑλαφρῶς μεταγενέστερη ἀπὸ τὴν  $t$ , μποροῦσε νὰ ἐπηρεάσει τὴν κατάσταση τοῦ  $\Sigma$  στὸ χρόνο  $t$ , τότε δὲν θὰ ἦταν νόμιμο νὰ φανταστοῦμε μιὰ τέτοια μέτρηση καὶ νὰ θελήσουμε νὰ συναγάγουμε ἀπ' αὐτὴν μιὰ βεβαίωση ποῦ θὰ εἶχε νόημα καὶ ποῦ θὰ ἀφοροῦσε τὸ  $\Sigma$  τὴ



στιγμή  $t$ . Το αξίωμα 2 μᾶς εξασφαλίζει ἀπ' αὐτὴ τὴν ἀντίρρηση. Μποροῦμε λοιπὸν νὰ ἐφαρμόσουμε τὸν ὄρισμὸ (α) στὸ χρόνο  $t$ , καὶ αὐτὸ αἰτιολογεῖ τὸν ὄρισμὸ Α.

Στὰ πλαίσια τῶν ἴδιων λογικῶν ἀπαιτήσεων ὁ ὄρισμὸς Β αἰτιολογεῖται μὲ ἐντελῶς ὅμοιο τρόπο. Ἐάν μιὰ πρόταση, ἢ τὸ ὀρθογωνικὸ τῆς συμπλήρωμα, ἦταν ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t$ , μὲ τὴν ἔννοια τοῦ ὄρισμοῦ (α), μποροῦμε προφανῶς νὰ φανταστοῦμε, πάντοτε ἓνα πρόσωπο ποὺ θὰ εἶχε στὸ χρόνο  $t_1$  τὶς ἀναγκαῖες πληροφορίες γιὰ νὰ γνωρίζει τί συνέβη. Ἀντίστροφα, ἂν μποροῦμε νὰ φαντασθοῦμε, στὸ χρόνο  $t_1$ , ἓνα πρόσωπο ποὺ κατέχει τὶς ἀπαραίτητες πληροφορίες ὥστε νὰ γνωρίζει τί θὰ ἔδινε μιὰ μέτρηση τῆς πρότασης  $a$  στὸ χρόνο  $t$ , ἂν ἡ μέτρηση αὐτὴ γινόταν, τότε μποροῦμε νὰ ταυτίσουμε αὐτὸ τὸ πρόσωπο μὲ ἐκεῖνον ποὺ στὸν ὄρισμὸ Α ὑποτίθεται ὅτι ξέρει πῶς τὸ ἀποτέλεσμα θὰ εἶναι *ναὶ* (στὴν ἀντίθετη περίπτωση ὁ συλλογισμὸς ἀφορᾷ τὸ  $a$ ). Ἐνα τέτοιο πρόσωπο θὰ μποροῦσε λοιπὸν νὰ βεβαιώσῃ, στὸ χρόνο  $t_1$ , ὅτι εἴτε ἡ  $a$ , εἴτε ἡ  $a'$  ἦταν ἀληθὴς τὴ στιγμὴ  $t$ . Μποροῦμε λοιπὸν νὰ ποῦμε, στὸ χρόνο  $t_1$ , ὅτι ἡ  $a$  ἦταν κοινότοπα ἀπροσδιόριστη στὸν χρόνο  $t$  (ἴσως ἀληθὴς).

Τέλος, ἄς διατυπώσουμε τὸ

### *Ἀξίωμα 3*

Ἐάν ἡ  $a$  εἶναι μιὰ πρόταση γιὰ τὴν ὁποία μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι εἶναι ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t_1$  (ὅτι ἦταν ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t < t_1$ ) σὲ ἓνα φυσικὸ σύστημα  $\Sigma$ , τότε μποροῦμε νὰ βεβαιώσουμε ὅτι ἡ  $a$  εἶναι ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t$  (ἦταν ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t$ ) καὶ γιὰ κάθε σύνθετο φυσικὸ σύστημα  $\Sigma + T$ , τοῦ ὁποίου τὸ  $\Sigma$  ἀποτελεῖ μέρος.

Τὸ αξίωμα αὐτὸ φαίνεται προφανὲς στὰ πλαίσια κάθε ρεαλιστικοῦ μοντέλου, γιὰτὶ σημαίνει ὅτι ἂν τὸ ἀντικείμενο  $\Sigma$  ἔχει τὴν ιδιότητα  $a$ , τότε δὲν παύει νὰ τὴν ἔχει ἂν τὸ θεωρήσω μαζί μὲ τὸ ἀντικείμενο  $T$ , καὶ ὅτι αὐτὸ ἰσχύει καὶ γιὰ τὸ παρελθόν. Ἡ ἐγκυρότητά του σὲ ἓνα ὀπερασιοναλιστικὸ σχῆμα θὰ συζητηθεῖ στὸ τμῆμα 4.

## 3. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΟΦΑΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Γιὰ νὰ μελετήσουμε τὴν ἐπάρκεια, σὲ σχέση μὲ τὴ φυσικὴ, τῶν ἐννοιῶν, τῶν ὀρισμῶν καὶ τῶν ἀξιωμάτων ποὺ θεωρήσαμε προηγούμενα, εἶναι ἀνάγκη νὰ λάβουμε ὑπόψη μας μερικὰ γεγονότα. Ἄς τὰ συστηματοποιήσουμε μὲ τὴ βοήθεια δύο ἀποφάνσεων.

### *Ἀπόφανση 1*

Ἐστω ὅτι  $U$  καὶ  $V$  εἶναι δύο συστήματα. Ἐστω ὅτι  $u_1, u_2, u_3, \dots$ , εἶναι προτάσεις ὀριζόμενες στὸ  $U$ . Τὸ ἴδιο γιὰ τὶς  $v_1, v_2, v_3, \dots$ , στὸ  $V$ . Γιὰ μερικὰ

σύνολα από  $u_k$  και  $v_k$ , μπορούμε να παρασκευάσουμε σύνθετα συστήματα  $U+V$  (όπου τα  $U$  και  $V$  είναι απομονωμένα), τέτοια ώστε, αν κανείς μετρήσει σ' αυτά τις  $u_k$  και  $v_k$  ταυτόχρονα, θα πάρει αναγκαστικά δυο φορές *ναί* ή δυο φορές *όχι*, και αυτό θα αληθεύει για περισσότερους δείκτες  $k$ , που αφορούν διακεκριμένα ζεύγη προτάσεων.

### Ἀπόφαση 2

Ἀνάμεσα στα δυνατά σύνολα τῶν  $u_k$  (καὶ τῶν  $v_k$ ), πού θεωρήσαμε στὴν ἀπόφαση 1, ὑπάρχουν μερικὰ πού εἶναι τέτοια ὥστε, καθένα ἀπὸ τὰ  $u_k$  (καὶ καθένα ἀπὸ τὰ  $v_k$ ) νὰ εἶναι μιὰ ἐξακολουθητικὰ ἀληθοῦς πρόταση (βλ. 2.8).

### 3. 1. Συνέπειες

Ἐστω ὅτι οἱ  $u_k$  καὶ  $v_k$  ἱκανοποιοῦν τὴν ἀπόφαση 2. Ἄς θεωρήσουμε ἓνα σύνθετο σύστημα  $U+V$ , τοῦ τύπου πού περιγράψαμε στὴν ἀπόφαση 1, καὶ πού διατηρεῖ αὐτὸ τὸν τύπο κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ χρονικοῦ διαστήματος  $(t_0, t_1)$ . Ἄς ὑποθέσουμε ὅτι τὸ  $V$  παραμένει ἀπομονωμένο στὴ διάρκεια τοῦ διαστήματος  $(t_0, t')$ , μὲ  $t' > t_1$ , ἀλλὰ ὅτι κατὰ τὴ στιγμὴ  $t$  μετῶμε τὴν  $u_1$  στὸ  $U$  καὶ παίρνουμε *ναί*. Γνωρίζουμε τότε, σύμφωνα μὲ τὴν Ἀπόφαση 1, ὅτι ἂν μετροῦσαμε ταυτόχρονα τὴ  $v_2$ , θὰ παίρναμε *ναί*. Σύμφωνα μὲ τὸν ὀρισμὸ  $\Lambda$ , ἢ  $v_1$  εἶναι ἀληθοῦς στὸ  $V$ . Ἀλλὰ τὸ  $V$  ὑπάρχει ὡς σύστημα (βλ. 2.1) καὶ εἶναι ἀπομονωμένο κατὰ τὴ διάρκεια τοῦ διαστήματος  $(t_0, t')$ . Σύμφωνα μὲ τὸ Ἀξίωμα 1, ἢ  $v_1$  ἦταν λοιπὸν ἤδη ἀληθοῦς στὸ  $V$ , κατὰ τὴ στιγμὴ  $t_0 < t' < t_1$ .

Ἄς ὑποθέσουμε τώρα ὅτι, κατὰ τὴ στιγμὴ  $t_1$ , ἡ μέτρηση τῆς  $u_1$  ἔδωσε *όχι*. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ἡ μέτρηση μιᾶς ἄλλης πρότασης, δηλαδὴ τῆς  $u_1$ , ἔδωσε *ναί*. Ἀλλὰ κατὰ τὴν Ἀπόφαση 1, οἱ  $u_1$  καὶ  $v_1$ , κατανάγκη συνδέονται ἀκριβῶς ὅπως καὶ οἱ  $u_k$  καὶ  $v_k$ . Ἐφαρμόζουμε τὸν ἴδιο συλλογισμό, καὶ μπορούμε νὰ συμπεράνουμε ὅτι, κατὰ τὸ χρόνο  $t'$ , τὸ  $V$  ἦταν στὴν κατάσταση  $v'_1$ .

Οἱ δύο ὑποθέσεις μας ἐξαντλοῦν τὰ δυνατὰ ἀποτελέσματα, σχετικὰ μὲ τὴ θεωρούμενη μέτρηση. Ἄν λοιπὸν θεωρήσουμε ἓνα στατιστικὸ σύνολο  $E$  ἀπὸ σύνθετα συστήματα  $U+V$ , τοῦ τύπου πού μελετᾶμε ἐδῶ, καὶ τὰ ὁποῖα ἔχουν προετοιμαστεῖ μὲ τὸν ἴδιο τρόπο καὶ ὑφίστανται τὴν ἴδια μεταχείριση, ὀφείλουμε νὰ συμπεράνουμε, ἀπὸ τὰ προηγούμενα καὶ τὸ Ἀξίωμα 3, ὅτι τὸ σύνολο αὐτὸ συνέθετε, κατὰ τὴ στιγμὴ  $t'$ , δυὸ ὑποσύνολα: ἓνα (ἂς τὸ ὀνομάσουμε  $E_1$ ) τέτοιο ὥστε ἢ  $v_1$  νὰ ἦταν ἀληθοῦς γιὰ ὅλα τὰ στοιχεῖα του, καὶ ἓνα ἄλλο (ἂς τὸ ὀνομάσουμε  $E'_1$ ) τέτοιο ὥστε ἢ  $u'_1$  νὰ ἦταν ἀληθοῦς γιὰ ὅλα τὰ στοιχεῖα του. Ἡ Ἀπόφαση 1 μᾶς μαθαίνει ἐπιπλέον ὅτι, στὸ σύνολο  $E'_1$ , ἢ  $u_1$  ἦταν ἀληθοῦς καὶ ὅτι στὸ σύνολο  $E_1$ , ἢ  $u'_1$  ἦταν ἀληθοῦς. Ἐδῶ στὴν πραγματικότητα πρόκειται γιὰ ἀπλὴ ἐφαρμογὴ τοῦ ὀρισμοῦ  $\Lambda$ .

Σύμφωνα με τὸ Ἀξίωμα 2 τοῦ προηγούμενου τμήματος, ἡ κατάσταση ποῦ περιγράψαμε σχετικά με τὴ δομὴ τοῦ στατιστικοῦ συνόλου  $E$  στὸ χρόνο  $t'$ , δὲν μπορεῖ νὰ τροποποιηθεῖ, ἂν τροποποιηθεῖ τὸ πρόγραμμα τῶν ἀλληλεπιδράσεων ποῦ θὰ ὑποστοῦν τὰ συστήματα μετὰ τὴ στιγμή  $t'$ . Ἰδιαίτερα δὲν τροποποιεῖται, ἂν καταργηθεῖ ἡ μέτρηση στὸ  $U$  τὴ στιγμή  $t_1$ , οὔτε ἂν ἀντικατασταθεῖ με μιὰ μέτρηση τῆς  $u_2$ . Ἄς θεωρήσουμε αὐτὸ τὸ τελευταῖο ἐνδεχόμενο. Στὰ πλαίσιά του μποροῦμε νὰ ἐπαναλάβουμε ὅλους τοὺς προηγούμενους συλλογισμούς, ἀλλάζοντας ἀπλῶς τὸ δείκτη 1 με τὸ δείκτη 2. Τὸ ἀποτέλεσμα θὰ εἶναι ὅτι, στὸ χρόνο  $t'$ , τὸ στατιστικὸ σύνολο  $E$  χωρίζεται ἐπίσης σὲ δυὸ ὑποσύνολα: στὸ ἓνα, γιὰ τὸ ὁποῖο οἱ  $u_2$  καὶ  $v_2$  ἦταν ἀληθεῖς καὶ στὸ ἄλλο, γιὰ τὸ ὁποῖο οἱ  $u'_2$  καὶ  $v'_2$  ἦταν ἀληθεῖς.

Ἔτσι, μιὰ συνέπεια τοῦ συστήματος τῶν ἐννοιῶν (βλ. 2.1), τῶν ὁρισμῶν (ὁρισμὸς A) καὶ τῶν ἀξιωμάτων (1, 2 καὶ 3) ποῦ μελετᾶμε εἶναι εἰδικὰ ὅτι, γιὰ κάθε σύστημα  $V$ , ὑπάρχουν στὸ χρόνο  $t'$  περισσότερες προτάσεις, ὅχι κατανάγκη συμβατὲς (ἢ συμβατότητα τῶν  $v_k$  δὲν ὑποτέθηκε πουθενὰ) καὶ ποῦ ὡστόσο εἶναι ταυτόχρονα ἀληθεῖς. Οἱ προτάσεις αὐτὲς εἶναι, λ.χ., γιὰ μερικὰ συστήματα οἱ  $v_1$  καὶ  $v_2$  γιὰ ἄλλα οἱ  $v'_1$  καὶ  $v'_2$ , κ.ο.κ.

Ἄς παρατηρήσουμε, τέλος, ὅτι ἀπὸ τὴ στιγμή ποῦ ἡ Ἀπόφανση 1 θεωρεῖται ὅτι ἰσχύει σχετικά με τὰ συστήματα  $U+V$ , μποροῦμε νὰ ἰσχυριστοῦμε ὅτι κατὰ τὸ χρόνο  $t'$ , ἡ  $u_1$  ἦταν ἀληθὴς γιὰ ὅλα τὰ στοιχεῖα τοῦ ὑποσυνόλου  $E'_1$ : Γιατὶ ξέρουμε ἀπὸ τὴν Ἀπόφανση 1 ὅτι ἂν ἡ  $u_1$  παρατηρήθηκε ἀκριβῶς μετὰ τὴ στιγμή  $t'$  σὲ ἓνα στοιχεῖο τοῦ  $E_1$ , θὰ μποροῦσε νὰ ἔχει ληφθεῖ ἓνα ἀποτέλεσμα *ναὶ* καὶ μποροῦμε νὰ ἐφαρμόσουμε τὸν ὁρισμὸ A. Τὸ ἴδιο, φυσικά, ἰσχύει γιὰ τὰ ὑποσύνολα  $E'_1$ ,  $E_2$ ,  $E'_2$ . Ἄρα ἓνα σύστημα  $U+V$ , στὸ ὁποῖο ἡ  $v_1$  ( $v'_1$ ) ἦταν ἀληθὴς στὸ χρόνο  $t'$ , εἶναι ἐπίσης ἓνα σύστημα στὸ ὁποῖο ἡ  $u_1$  ( $u'_1$ ) ἦταν ἀληθὴς κατὰ τὴν ἴδια χρονικὴ στιγμή.

### 3. 2. Συζήτηση

Γιὰ νὰ μελετήσουμε τίς συνέπειες τοῦ ἀποτελέσματος ποῦ πετύχαμε, καὶ γιὰ νὰ δείξουμε τίς δυσκολίες ποῦ προκύπτουν, δὲν εἶναι καθόλου ἀνάγκη, καθὼς θὰ δοῦμε, νὰ εἰσαγάγουμε τὴν ἐννοια τῶν ἀτομικῶν προτάσεων. Ὡστόσο στὴ συνήθη κβαντικὴ μηχανικὴ ἡ ἐννοια αὐτὴ εἶναι σπουδαιότατη, καὶ παίζει ρόλο στὴ συζήτηση νοητικῶν πειραμάτων ποῦ ἀφοροῦν συστήματα τοῦ τύπου ποῦ μελετᾶμε ἐδῶ. Ταιριάζει λοιπὸν νὰ ἀνοίξουμε μιὰ παρένθεση γιὰ τὴν ἐννοια τῆς ἀτομικῆς πρότασης.

#### Ὅρισμὸς

Μιὰ πρόταση  $a$ , ποῦ ἀφορᾷ ἓνα σύστημα  $\Sigma$ , εἶναι ἀτομικὴ ἂν δὲν ὑπάρχει πρόταση  $b$ , ποῦ νὰ ἀφορᾷ μόνο τὸ  $\Sigma$  διαφορετικὴ ἀπὸ τὴ «μηδενικὴ» πρόταση  $\phi$  καὶ ἡ ὁποία νὰ συνεπάγεται τὴν  $a$ , χωρὶς νὰ ταυτίζεται με αὐτήν.

Για την περίπτωση τῶν συστημάτων  $U + V$  πού εἰσάχθηκαν πιό πρίν, μπορεῖ νά συμβεῖ, γιά ὁποιοδήποτε  $k$ , οἱ  $u_1, u'_1, v_1, v'_1$ , νά εἶναι ὅλες τους ἀτομικές. Στή συνήθη κβαντική μηχανική, λ.χ., τέτοια εἶναι ἡ περίπτωση ἑνὸς συνόλου στό ὁποῖο θά ἀναφερόμαστε συχνά: Τό σύνολο στό ὁποῖο τὸ σύστημα  $U + V$  συνίσταται ἀπό δύο σωματία μέ σπῖν  $1/2$ , τὰ ὁποῖα (ἐξαιτίας προηγούμενων ἀλληλεπιδράσεων) βρίσκονται σέ κατάσταση ὀλικοῦ σπῖν μηδέν (ἢ  $u_1$  ἀντιστοιχεῖ στή συνιστώσα τοῦ σπῖν τοῦ  $U$  σύμφωνα μέ ὀρισμένη διεύθυνση  $e_k$  καί ἢ  $v_1$  στή συνιστώσα τοῦ σπῖν τοῦ  $V$  σύμφωνα μέ τή διεύθυνση  $-e_k$ ). Στίς περιπτώσεις αὐτές πρέπει νά ὑπάρχει, σύμφωνα μέ τὸ ἀποτέλεσμα τοῦ τμήματος 3.1, ἀναφορικά μέ κάθε σύστημα  $V$ , μιὰ τουλάχιστον βεβαίωση, δηλαδή μιὰ ἀπό τίς βεβαιώσεις « $v_1$  καί  $v_2$ », « $v'_2$  καί  $v_2$ », « $v'_1$  καί  $v_2$ », ἢ « $v'_1$  καί  $v_2$ », ἢ ὁποῖα: 1) δέν ταυτίζεται μέ τήν  $\phi$  ἐφόσον εἶναι ἀληθῆς σέ ὀρισμένες περιπτώσεις καί 2) προφανῶς συνεπάγεται μιὰ πρόταση πού ὀρίζεται ἐπίσης στό  $V$  ( θά εἶναι, λ.χ., ἢ  $v_1$  ἢ  $v'_1$ , κατὰ τήν περίπτωση) μέ τήν ὁποῖα δέν ταυτίζεται.

Φαίνεται λοιπόν νά ὑπάρχει μιὰ ἀντίφαση μέ τήν ἀτομικότητα τῶν  $v_k$  καί τῶν  $v'_k$  τίς ὁποῖες ὑποθέτει ἡ συνήθης κβαντική μηχανική στό θεωρούμενο παράδειγμα. Στήν πραγματικότητα τὸ πρᾶγμα ἀπαιτεῖ μιὰ πιό προχωρημένη συζήτηση, γιὰτί θά μπορούσε νά θεωρηθεῖ ὅτι ἡ βεβαίωση  $a$  δέν εἶναι πρόταση, μέ τήν ἔννοια τοῦ ὀρισμοῦ 2.5 (πράγματι, ἂν καί γνωρίζουμε, στά πλαίσια τοῦ ἐννοιολογικοῦ καί ἀξιωματικοῦ μας συστήματος, ὅτι ὑπάρχουν συστήματα  $V$  γιά τὰ ὁποῖα ἡ  $a$  εἶναι ἀληθῆς, δέν μπορούμε νά τὰ σταχυολογήσουμε). Ἀλλά ἀπό μιάν ἄλλη πλευρά, ἡ ἀντίρρηση αὐτή συνεπάγεται τήν ὑπαρξη βεβαιώσεων ὄχι «μηδενικῶν» πού ἀφοροῦν φυσικά συστήματα, καί πού ὥστόσο διακρίνονται ἀπό τίς προτάσεις. Κι ἀκόμα, δέν ξέρουμε νά εἰσαγάγουμε τέτοιες βεβαιώσεις, παρά μόνον ὅταν ἀφοροῦν τὸ παρελθόν. Καθῶς διεκδικούμε τὸ δικαίωμα νά διαπραγματευόμαστε τὸ παρὸν καί τὸ παρελθόν μέ τή βοήθεια τῶν ἴδιων ἐννοιολογικῶν σχημάτων, ἡ τελευταία αὐτή παρατήρηση θά ἦταν ἀρκετή γιά νά ἄρει τήν ἀντίρρηση καί συνεπῶς γιά νά δείξει ὅτι ἡ ἀντίφαση πού σημειώσαμε εἶναι πραγματική. Ἀλλά πιό κάτω θά φανεῖ, μέ τρόπο ἴσως περισσότερο πειστικό, ὅτι τὸ πρόβλημα ὑπάρχει καί ὅτι ἡ λύση του δέν περνᾷ ἀπό ἐννοιολογικὲς ἐπεξεργασίες τοῦ τύπου πού εἶδαμε.

Πρέπει νά σημειωθεῖ ὅτι τέτοιες δυσκολίες δέν ὑπάρχουν στήν κλασική μηχανική. Ἐκεῖ οἱ ἀτομικὲς προτάσεις εἶναι σημεῖα τοῦ χώρου τῶν φάσεων, καί τὰ συμπληρώματα τῶν ἀτομικῶν προτάσεων δέν εἶναι ἀτομικὲς προτάσεις. Ἄν ἢ  $v_1$  καί  $v_2$  ἦταν ἀτομικὲς καί διακεκριμένες, τὸ σύνολο τῶν συστημάτων  $U$ , στά ὁποῖα θά ἦταν ταυτόχρονα ἀληθεῖς ἢ  $v_1$  καί ἢ  $v_2$ , θά ἦταν βέβαια κενό, ἀλλά αὐτὸ θά ἀντισταθμιζόταν ἀπὸ τή μὴ-κενότητα τῶν συνόλων πού θά ἀντιστοιχοῦσαν σέ ἄλλες δυνατότητες, γιά τίς ὁποῖες ἡ μὴ-κενότητα αὐτή δέν δημιουργεῖ πρόβλημα.

### 3. 3. Συζήτηση (συνέχεια)

Ἡ τελευταία παρατήρηση μᾶς ὀδηγεῖ ἐντελῶς φυσικὰ νὰ ἀντιμετωπίσουμε τὶς δυνατότητες τοῦ νὰ μὴν εἶναι ἀτομικὲς οἱ προτάσεις  $u_1, u_1', v_1, v_1'$  τοῦ παραδείγματος ποὺ μελετήσαμε πιὸ πάνω. Ἀλλὰ μὲ βάση πρόσφατες ἐργασίες<sup>11 15</sup> ποὺ ἀφοροῦν τὴ ρεαλιστικὴ ὑπόθεση (λανθάνουσες παράμετροι), ἀποδείχεται εὐκόλα ὅτι αὐτὸ δὲν ἀποτελεῖ ἀποδεκτὸ τρόπο γιὰ νὰ συμφιλιώσουμε τὸ σύστημα τῶν ἐννοιῶν, τῶν ὀρισμῶν καὶ τῶν ἀξιωμάτων μας μὲ τὰ γεγονότα. Γι' αὐτὸ ἀρκεῖ νὰ ἀναλύσουμε ἓνα παράδειγμα· καὶ εἶναι βολικὸ νὰ διαλέξουμε ξανά τὸ παράδειγμα τῶν σωματίων  $U$  καὶ  $V$ , μὲ σπιν  $1/2$ , ποὺ βρίσκονται στὴν κατάσταση ποὺ περιγράψαμε παραπάνω. Ἡ συλλογιστικὴ ποὺ ἀκολουθεῖ στηρίζεται μόνο στὰ ἀποτελέσματα ποὺ πετύχαμε στὴν 3.1 μὲ βάση τὸ θεωρούμενο ἐννοιολογικὸ σχῆμα, καὶ δὲν ἔχει ἀνάγκη ἀπὸ καμιά ὑπόθεση ποὺ νὰ ἀφορᾷ τὴν ἀτομικότητα. Δὲν χρειάζεται ἐπίσης καμιά ὑπόθεση ποὺ νὰ ἀφορᾷ ἄμεσα τὴν ὑπαρξὴ λανθανουσῶν παραμέτρων, οἱ ὁποῖες θὰ καθόριζαν τὴν ἐξέλιξη τοῦ συστήματος.

Ἄς θεωρήσουμε τὶς τρεῖς διευθύνσεις τοῦ χώρου, ποὺ ὀρίζονται ἀπὸ τὰ μοναδιαῖα διανύσματα  $e_1, e_2$  καὶ  $e_3$ . Ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα τῆς 3.1 προκύπτει ὅτι κατὰ τὸ χρόνο  $t'$  (δηλαδὴ πρὶν ἀπὸ ὁποιαδήποτε μέτρηση), κάθε σύστημα  $V$  εἶναι τέτοιο ὥστε — εἰδικὰ — τρεῖς προτάσεις  $w_1, w_2$ , καὶ  $w_3$ , νὰ εἶναι ταυτόχρονα ἀληθεῖς — ἢ  $w_k$  εἶναι ταυτόσημη εἴτε μὲ τὴν  $v_k$  (γιὰ ὀρισμένα συστήματα  $V$ ) εἴτε μὲ τὴν  $v'_k$  (γιὰ ἄλλα συστήματα  $V$ ). Σύμφωνα μὲ τὸν Ὄρισμὸ  $A$ , αὐτὸ συνεπάγεται ὅτι δὲν στερεῖται νοήματος τὸ νὰ φανταστοῦμε ἓνα πρόσωπο, ἢ ἓνα «δαίμονα», ποὺ τὴ στιγμὴ  $t_1 > t'$  θὰ γνώριζε ταυτόχρονα ὅτι: α) ἂν εἶχε μετρηθεῖ ἢ  $w_1$  στὸ  $V$  κατὰ τὸ χρόνο  $t'$ , θὰ εἶχε ληφθεῖ τὸ ἀποτέλεσμα *ναί*, β) ἂν ἀντὶ γι' αὐτὴ τὴ μέτρηση εἶχε μετρηθεῖ ἢ  $w_2$ , θὰ εἶχαμε ἐπίσης πάρει *ναί* καὶ γ) τέλος, θὰ ἦταν τὸ ἴδιο σχετικὰ μὲ τὴν  $w_3$ . Ἄν θεωρήσουμε ἓνα σύνολο  $E$  ἀπὸ  $N$  συστήματα  $U + V$ , εἶναι λοιπὸν νόμιμο — στὸ πλαίσιο τοῦ θεωρούμενου συστήματος ἐννοιῶν κτλ. — νὰ μιλάμε γιὰ τὸν ἀριθμὸ  $\eta$  ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) συστημάτων  $U + V$ , γιὰ τὰ ὁποῖα εἶναι ταυτόχρονα ἀληθινὸ ὅτι μιὰ μέτρηση τῆς πρότασης  $v_1$  θὰ ἔδινε, ἂν γινόταν, τὸ ἀποτέλεσμα  $\sigma_1$  καὶ μιὰ μέτρηση τῆς  $v_2$  θὰ ἔδινε τὸ ἀποτέλεσμα  $\sigma_2$  καὶ μιὰ μέτρηση τῆς  $v_3$  θὰ ἔδινε, τέλος,  $\sigma_3$  [ $\sigma_k = \pm$ . Τὸ  $\sigma_k = +(-)$  ἀντιστοιχεῖ στὴν ἀπάντηση *ναί* γιὰ τὴ  $v_k$  ( $v'_k$ )]. Τὸ γεγονὸς ὅτι τὸ  $V$  εἶναι ἀπομονωμένο ἀπὸ τὸ  $U$  ἔχει ὡς συνέπεια (βλ. Ἀξίωμα 2) τὸ ὅτι ὁ  $\eta$  ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν προσανατολισμὸ τοῦ ὄργάνου μέτρησης ποὺ προορίζεται νὰ «μετρήσει» τὸ  $U$ . Ἐπιπλέον ἡ συλλογιστικὴ τοῦ τμήματος 3.1 ὀδηγεῖ στὸ νὰ θεωρήσουμε ὅτι κάθε σύστημα  $U + V$ , γιὰ τὸ ὁποῖο μιὰ μέτρηση τῆς  $v_k$  ( $v'_k$ ) θὰ ἔδινε *ναί*, εἶναι ἐπίσης ἓνα σύστημα γιὰ τὸ ὁποῖο μιὰ μέτρηση τῆς  $u_k$  ( $u'_k$ ) θὰ ἔδινε *ναί*, (πράγμα ποὺ μὲ τὶς χρησιμοποιούμενες συμβάσεις ὀδηγεῖ σὲ ἀντίθετες τιμὲς τῶν συνιστωσῶν τῶν ἀντίστοιχων σπίν).

Ἀλλὰ ἀκριβῶς ἐκεῖ βρίσκονται οἱ ὅροι ἐφαρμογῆς μιᾶς ἀπόδειξης τῶν

άνισοτήτων του Bell <sup>11</sup>, τών οποίων ή άρχή όφείλεται στον Wigner <sup>15</sup>. 'Η άπόδειξη αυτή είναι εύκολη και τή δίνουμε έδω έκτενώς. Έστω P (i, j) ή μέση τιμή για τó σύνολο E, του παρατηρήσιμου μεγέθους A<sub>i</sub>, B<sub>j</sub>, όπου A<sub>k</sub> (B<sub>k</sub>) είναι τó διπλάσιο (σέ μονάδες h/2) τής συνιστώσας του σπιν του U (V) κατά τή διεύθυνση e<sub>k</sub>. Άς θεωρήσουμε έξάλλου τó άθροισμα δύο η (σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub>) πού διαφέρουν μόνο κατά τισ τιμές μιās άπό τισ μεταβλητές σ<sub>i</sub> και άς συμβολίσουμε αυτό τó άθροισμα με τή βοήθεια ένός συμβολισμού πού συνίσταται στό νά αντικαταστήσουμε τήν μεταβλητή σ<sub>i</sub> με μιá τελεία:

$$\eta (-, +, \cdot) = \eta (-, +, +) + \eta (-, +, -) \\ \dots\dots\dots$$

Είναι φανερό άπό τά προηγούμενα, ότι ό η(-, +, ·) είναι ό άριθμός τών συστημάτων U + V, πού στό καθένα τους μιá μέτρηση τής B<sub>2</sub> θά έδινε +1 και μιá μέτρηση τής A<sub>1</sub> θά έδινε επίσης +1. Είναι λοιπόν εύκολο νά εκφράσουμε τά P (i, j) συναρτήσεϊ τών η (σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub>). Έτσι, λ.χ.

$$N P (1, 2) = \eta (-, +, \cdot) + \eta (+, -, \cdot) - \eta (+, +, \cdot) - \eta (-, -, \cdot).$$

Ένας λεπτομερειακός ύπολογισμός δίνει τότε:

$$N [P(1, 2) - P(1, 3)] = 2 [\eta (-, +, -) + \eta (+, -, +) - \eta (+, +, -) - \\ - \eta (-, -, +)]$$

$$N [1 + P(2, 3)] = 2 [\eta (+, -, +) + \eta (-, -, +) + \eta (+, +, -) + \eta (-, +, -)]$$

άπό όπου εξάγεται ή άνισότητα του Bell:

$$| P(1, 2) - P(1, 3) | \leq 1 + P(2, 3).$$

Άλλά οί τιμές τών ποσοτήτων P (i, j) μπορούν νά ληφθοϋν πειραματικά, έτσι πού ή άνισότητα του Bell παρέχει ένα μέσον για νά δοκιμαστέϊ ή συμβατότητα του συστήματος τών έννοιών, τών όρισμών και τών άξιωμάτων μας, με τά γεγονότα. Επιπλέον τέτοια πειράματα έγιναν ήδη <sup>13 14</sup> με ζεύγη φωτονίων. Στην τωρινή τους φάση τά πειράματα δέν μπορούν νά θεωρηθοϋν ως έντελώς άποφασιστικά. Όστόσο οί ένδείξεις τους προσανατολίζονται έντονα πρós τήν παραβίαση τής άνισότητας του Bell (άποτέλεσμα πού προβλέπεται ήδη άπό τή συμβατική κβαντική μηχανική). Τó συμπέρασμα αυτό συνιστά τó κύριο μέρος τής άπόδειξης με τήν εις άτοπον άπαγωγή, πού αναφέραμε στην άρχή αυτού του άρθρου. Δείχνει ότι τó σύστημα τών έννοιών, τών όρισμών και τών άξιωμάτων, πού μελετήσαμε, είναι άσυμβίβαστο με τήν πειραματική μας γνώση. Τó συμπέρασμα αυτό ισχύει, παρά τó γεγονός ότι, θεωρούμενα χωριστά, οί έννοιες αυτές, οί όρισμοί και τά άξιώματα φαίνονται έντελώς «φυσικά». Μπορεί λοιπόν νά χρησιμοποιηθεϊ σαν προειδοποίηση έναντίον κάθε ά-κριτικής χρησιμοποίησής τους.

#### 4. ΔΥΝΑΤΕΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

Τὸ προηγούμενο ἀποτέλεσμα ἀπορρέει ἀπὸ μιὰ συλλογιστικὴ πὺ σὲ μερικὰ σημεῖα τῆς μοιάζει μὲ τὴ γνωστὴ συλλογιστικὴ τῶν Einstein, Podolsky καὶ Rosen<sup>10</sup>. Ἀνάμεσα στὶς δύο, ὡστόσο, ὑπάρχουν σημαντικὲς διαφορὲς: ἀντίθετα μὲ αὐτοὺς τοὺς συγγραφεῖς, ἐδῶ ἀναφερόμαστε σὲ πειράματα. Ἐπιπλέον, στὴ θέση τῶν *συμβατῶν* παρατηρήσιμων μεγεθῶν (ὀλικὴ στροφορμὴ καὶ σχετικὲς συντεταγμένες), πὺ χρησιμοποιοῦνται ἀπ' αὐτοὺς τοὺς συγγραφεῖς, εἰσάγουμε παρατηρήσιμα μεγέθη  $u_k$  καὶ  $v_k$  πὺ, γενικά, δὲν εἶναι συμβατά, ἀλλὰ μολοντοῦτο μποροῦν σὲ μερικὲς εἰδικὲς περιπτώσεις νὰ ἔχουν ταυτόχρονα μιὰ γνωστὴ τιμὴ. Ἀντίστοιχα, τὸ ἀποτέλεσμά μας ἐφαρμόζεται σὲ πολὺ πιὸ γενικὲς θεωρίες ἀπὸ τὴ συμβατικὴ κβαντικὴ μηχανικὴ στὸ χῶρο τοῦ Hilbert, καὶ εἶναι λιγότερο τρωτὸ σὲ φιλοσοφικὲς κριτικὲς γιατί οἱ ὑποθέσεις ἐργασίας μας δὲν περιλαμβάνουν μιὰ *ρεαλιστικὴ παραδοχὴ* (τὰ «στοιχεῖα πραγματικότητας»), ἂν καὶ φυσικὰ εἶναι συμβατὸ μὲ αὐτήν. Ἐπίσης, καθὼς θὰ φανεῖ παρακάτω, τὰ συμπεράσματά μας εἶναι διαφορετικὰ. Τέλος, παρόλο πὺ οἱ σκέψεις τοῦτες συνδέονται στενὰ μὲ ἐκεῖνες πὺ ἀναπτύχθηκαν στὸ θέμα τῶν «λανθανουσῶν παραμέτρων», οὔτε οἱ ὑποθέσεις ἐργασίας μας, οὔτε τὰ συμπεράσματά μας συμπίπτουν ἀκριβῶς μὲ τὶς ὑποθέσεις καὶ τὰ συμπεράσματα αὐτῶν τῶν θεωριῶν: χοντρικά, οἱ παραδοχὲς μας εἶναι πιὸ γενικὲς, καθὼς ἀποδείχτηκε παραπάνω, καὶ ἀντίστοιχα, ὁ ἀριθμὸς τύπων συστημάτων, πὺ μποροῦν νὰ μᾶς χρησιμεύσουν σὰν παραδείγματα, μπορεῖ νὰ συμβεῖ νὰ εἶναι πιὸ περιορισμένος. Συγκρινόμενι μὲ τὶς προσεγγίσεις πὺ ἀναφέραμε, ἡ δική μας προκύπτει ἀπὸ μιὰ ἐπιθυμία νὰ ἀκολουθήσουμε τὸ πιὸ σίγουρο δρομολόγιο, αὐτὸ πὺ ἰσχυρίζεται ὅτι προσφέρει ὁ καθαρὸς ὀπερασιοναλισμὸς. Ἡ, ἀκριβέστερα, προκύπτει ἀπὸ τὴ θέληση νὰ ἀκολουθηθοῦν οἱ κανόνες μιᾶς ὀπερασιοναλιστικῆς μεθοδολογίας, πὺ θὰ μποροῦσε νὰ ἐνσωματώσει τὴν ἀπαίτηση νὰ διατηρήσει τὰ ἴδια ἐννοιολογικὰ σχήματα γιὰ τὸ παρὸν καὶ γιὰ τὸ παρελθόν, χωρὶς νὰ ἀναγάγει τὸ παρελθόν στὸ παρὸν.

Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, ὅπως φαίνεται, τὸ ἀποτέλεσμά μας εἶναι ἀρνητικὸ. Φανερώνει λοιπὸν ὅτι πρέπει νὰ ἐγκαταλείψουμε τουλάχιστον μιὰ ἀπὸ τὶς βασικὲς ἐννοιες ἢ τὰ ἀξιώματα, ἀπὸ τὰ ὀποῖα προέκυψε. Ἄς ἐξετάσουμε τῶρα μερικὲς ἀπὸ τὶς δυνατότητες πὺ ὑπάρχουν.

##### 4. 1. Ἐγκατάλειψη τοῦ ἀξιώματος 2 (αἰτιότητα)

Ἡ ἐγκατάλειψη αὐτὴ ἐπιτρέπει νὰ ἀποφύγουμε τὴ δυσκολία, γιατί, ὅπως εἶδαμε, στερεῖ ἀπὸ νόημα τὴ γενικὴ περίπτωσι τῶν ὀρισμῶν A καὶ B τῆς ἀλήθειας τῶν προτάσεων. Ἀλλὰ ἀπὸ μιὰ ἄλλη ἄποψη, ἡ ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας (μὴ ἐπίδρασι τοῦ μέλλοντος στὸ παρὸν) εἶναι σὲ τέτοιο σημεῖο ἀναγκαία

σὲ κάθε εἶδος δράσης, ὥστε νὰ εἶναι ἀδύνατο νὰ τὴν ἐγκαταλείψουμε γενικά. Δὲν μποροῦμε καθόλου νὰ ἀποβλέψουμε σὲ μιὰ παραβίασὴ τῆς, παρὰ μόνο ἴσως στὰ πλαίσια τῆς μικροφυσικῆς ἢ, πιὸ ἀκριβῶς, μὲ μιὰ ἐξασθένιση τῆς γενικῆς ἔννοιας τοῦ «συστήματος», ποὺ θὰ ἦταν ἀποτελεσματικὴ ἀποκλειστικὰ καὶ μόνο γιὰ μικροσυστήματα. Αὐτὸ μπορεῖ νὰ γίνῃ ἂν θέσουμε τὴν ἀρχὴ ὅτι ἓνα μικροσύστημα ἀποτελεῖ ἓνα ἀδιαίρετο ὅλο μὲ τὰ ὄργανα ποὺ τὸ παράγουν καὶ τὸ ἀναλύουν, ὅτι, λοιπόν, δὲν ἔχει — παρὰ συμβατικὰ — ἰδιότητες δικῆς του, καὶ ἐπομένως δὲν εἶναι «ὀλοκληρωμένο» σύστημα. Τὴν ἀρχὴ ποὺ εἰσάγουμε μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο θὰ τὴν ὀνομάσουμε *μη-διαχωρίσιμο σύστημα-ὄργανου*. Στὴ συνήθη κβαντικὴ μηχανικὴ, ἡ ἐρμηνεία τῆς Κοπεγχάγης στηρίζεται, τουλάχιστον μερικὰ, σὲ σκέψεις ποὺ πλησιάζουν πολὺ αὐτὲς τὶς σκέψεις.

#### 4. 2. Ἐπίρριψη τοῦ ἀξιώματος 1.

Μποροῦμε νὰ ἀπορρίψουμε τὸ ἀξίωμα 1, ἂν διατηρήσουμε τὴν ἀξίωση — ποὺ διατυπώθηκε παραπάνω — ὅτι τὸ σύστημα ἔννοιῶν καὶ καθορισμῶν, ποὺ ἐφαρμόζουμε στὸ παρὸν, θὰ μπορεῖ νοητικὰ νὰ ἐφαρμοστῆ καὶ στὸ παρελθόν, τουλάχιστον ὅταν — πάντα νοητικὰ — μποροῦμε νὰ φανταστοῦμε ὅτι στὸ παρελθόν αὐτὸ ὑπάρχουν συνθῆκες ταυτόσημες μὲ ἐκεῖνες ποὺ μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ ἐφαρμόσουμε αὐτὸ τὸ ἐννοιολογικὸ σύστημα στὸ παρὸν.

#### 4. 3. Ἐπίρριψη τοῦ Ἀξιώματος 3.

Στὴν κλασικὴ σκέψη ποὺ στηρίζεται σὲ μιὰ ὄντολογία, τὸ ἀξίωμα 3 εἶναι ἐντελῶς προφανές. Στὸ σύστημα ὀρισμῶν καὶ ἔννοιῶν ποὺ θεωροῦμε ἐδῶ ἢ ἰσχύς του γιὰ τὸ παρὸν προκύπτει προφανῶς ἀπὸ τὸν ἴδιο τὸν ὀρισμὸ τῆς ἀλήθειας μᾶς πρότασης. Δὲν μποροῦμε λοιπόν νὰ τὸ ἐγκαταλείψουμε. Σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὸ παρελθόν, ἀντίθετα, τὰ πράγματα παρουσιάζονται διαφορετικά. Πράγματι, ἂς θεωρήσουμε, λ.χ., μιὰ κατάσταση στὴν ὁποία μιὰ ὀρισμένη πρόταση  $a$  εἶναι ἐξακολουθητικὰ ἀληθῆς. Γιὰ νὰ μποροῦμε νὰ βεβαιώσουμε, κατὰ τὴ στιγμὴ  $t_1$ , ὅτι ἡ  $a$  ἦταν ἀληθῆς κατὰ τὴ στιγμὴ  $t < t_1$ , σὲ ἓνα φυσικὸ σύστημα  $V$ , ἀρκεῖ, σύμφωνα μὲ τὸν ὀρισμὸ  $\Lambda$  καὶ τὸ ἀξίωμα 1, νὰ γνωρίζουμε ὅτι κατὰ τὴ στιγμὴ  $t_1$  ἡ  $a$  ἦταν ἀληθῆς στὸ  $V$  καὶ ὅτι τὸ  $V$  παρέμεινε ἀπομονωμένο κατὰ τὸ διάστημα  $[t_0, t_1]$ . Ἡ γνώση τοῦ γεγονότος ὅτι, στὸ χρόνο  $t_1$ , ἡ  $a$  εἶναι ἀληθῆς στὸ  $V$ , μπορεῖ τότε νὰ προκύψει, ὅπως καὶ στὸ παράδειγμα ποὺ μελετήθηκε πιὸ πάνω, ἀπὸ ἓνα προηγούμενο συσχετισμὸ (corrélation) ἀνάμεσα στὸ  $V$  καὶ ἓνα ἄλλο φυσικὸ σύστημα  $U$  καὶ ἀπὸ μιὰ μέτρηση ποὺ ἔγινε στὸ  $U$ , ἀμέσως πρὶν τὸ  $t_1$ . Ἀλλὰ στίς συνθῆκες αὐτὲς, τὸ  $U + V$  δὲν εἶναι ἀπομονωμένο στὴ διάρκεια ὀλόκληρου τοῦ διαστήματος



$(t_0, t_1)$ . Στο φυσικό αυτό σύστημα δεν μπορεί λοιπόν να εφαρμοστεί το 'Αξίωμα 1, ἄρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ὁ ὀρισμός  $A$ , καὶ ἔτσι να βεβαιώσουμε ὅτι ἡ  $a$  ἦταν ἀληθής, κατὰ τὸ χρόνο  $t_1$ , στὸ  $U + V$ . Αὐτὸ δείχνει ὅτι τὸ 'Αξίωμα 3 δὲν εἶναι ταυτολογία, ὅταν πρόκειται γιὰ τὸ παρελθόν. "Αν ἀρνηθοῦμε νὰ ἀξιώσουμε τὴ γενικὴ του ἰσχὺ, ἢ συλλογιστικὴ τοῦ τμήματος 3 δὲν εἶναι πλέον δυνατὴ, καὶ ἡ δυσκολία ποὺ συναντήσαμε ἐξαφανίζεται.

'Αλλὰ τὸ νὰ ἀπορρίψουμε τὴν ἰσχὺ τοῦ 'Αξιώματος 3 σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὸ παρελθόν, ἐνῶ δὲν μποροῦμε νὰ τὸ ἀπορρίψουμε σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὸ παρόν, σημαίνει ὅτι εἰσάγουμε ξανά μιὰ μὴ ἀναγώγιμη διαφορὰ ἀνάμεσα στὸν τρόπο μὲ τὸν ὁποῖο ἀντιλαμβανόμαστε τὸ παρελθόν καὶ τὴν παράστασή μας γιὰ τὸ παρόν. "Αν δεχτοῦμε μιὰ τέτοια διαφορὰ, τότε ὀφείλουμε νὰ διατηρήσουμε τὸ 'Αξίωμα 3.

#### 4. 4. "Αρνηση τοῦ ἐποπτικοῦ νοήματος τῆς ἔννοιας τοῦ συστήματος

'Η δυνατότητα ἀμβλυνσης τῆς ἀρχῆς τῆς αἰτιότητας, ποὺ συζητήσαμε στὴν 4.1, μᾶς ὀδήγησε νὰ θεωρήσουμε φυσικὴ τὴ γενικὴ ἔννοια τοῦ συστήματος, ὅπως ὀρίστηκε στὴν 2.1. 'Αλλὰ πρέπει νὰ παρατηρήσουμε ὅτι, ἂν γίνει δεκτὴ μιὰ τέτοια ἰδέα, τότε δὲν εἶναι ἀνάγκη νὰ ἀκολουθήσουμε τὴν πορεία τῆς 4.1 καὶ νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἔννοια τοῦ συστήματος. Πράγματι, γιὰ νὰ ἀναιρέσουμε τὸ ἀποτέλεσμα τοῦ τμήματος 3, φτάνει νὰ θεωρήσουμε ὅτι πρὶν ἀπὸ τὴ χρονικὴ στιγμή  $t_1$ , κατὰ τὴν ὁποία πραγματοποιεῖται ἡ μέτρηση στὸ  $U$ , οἱ «ὄντότητες»  $U$  καὶ  $V$ , ποὺ ἀναφέραμε στὶς 'Αποφάνσεις 1 καὶ 2, δὲν εἶναι «συστήματα» μὲ τὴ νέα, περισσότερο περιοριστικὴ ἔννοια, ποὺ θὰ δίνουμε στὸ ἐξῆς σ' αὐτὴ τὴ λέξη. "Ετσι δὲν θὰ μποροῦμε πιά νὰ μιλάμε γιὰ προτάσεις ὅπως οἱ  $u_k$  ἢ οἱ  $v_k$ , ὀριζόμενες στὸ  $U$  καὶ στὸ  $V$  ἀντίστοιχα, ἀπὸ τὴ στιγμή ποὺ θὰ ἀναφερόμαστε σὲ στιγμή προγενέστερη τῆς  $t_1$ , στὴν ὁποία γίνεται ἡ μέτρηση στὸ  $U$ .

Φυσικά, παραμένει ἀληθινὸ ὅτι, ἀπὸ τὴ στιγμή  $t_1$ , ὅπου γίνεται μιὰ μέτρηση στὸ  $U$ , ὑπάρχει μιὰ πρόταση ἀληθῆς (ἢ ὁποία θὰ ἔδινε *ναί*) στὸ ἀντίστοιχο σύστημα  $V$ , ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴν ἀπόσταση τοῦ  $V$  ἀπὸ τὸ  $U$ . Θὰ πρέπει λοιπόν νὰ ποῦμε ὅτι ἡ μέτρηση αὐτὴ ἐπηρεάζει ἄμεσα τὴν πραγματικότητα τοῦ συστήματος, τουλάχιστον ἂν δεχτοῦμε νὰ ὀνομάζουμε «πραγματικότητα» ἑνὸς συστήματος τὸ σύνολο τῶν προτάσεων τῶν ὁποίων θὰ μπορούσαμε νὰ φανταστοῦμε τὴν ἐπαλήθευση πάνω στὸ σύστημα. 'Υπάρχει λοιπόν, ξανά, τὸ μὴ-διαχωρίσιμο.

"Ετσι διαπιστώνουμε ὅτι, μὲ τὶς τωρινὲς ὑποθέσεις, τὸ μὴ-διαχωρίσιμο δὲν εἶναι μιὰ ἰδιομορφία ἑνὸς φορμαλισμοῦ ἢ μιᾶς ἐρμηνείας, ὅπως λ.χ. τῆς συμβατικῆς κβαντικῆς μηχανικῆς στὸ χῶρο τοῦ Hilbert, ἢ τῆς ἐρμηνείας τῆς Κοπεγχάγης. "Οσο τουλάχιστον δὲν θὰ εἴμαστε ἔτοιμοι νὰ ἀποβλέψουμε σὲ ἀκόμα πιὸ δραστικὲς ἀλλαγὲς στὸν τόπο τῆς σκέψης μας, ὀφείλουμε νὰ

αναγνωρίσουμε ότι το μη-διαχωρίσιμο επιβάλλεται σε όλα τα μοντέλα που μπορούμε να συλλάβουμε και που ικανοποιούν τα πειραματικά αίτηματα. Μπορούμε να διατυπώσουμε με ακρίβεια αυτό το συμπέρασμα, λέγοντας: «υπάρχουν περιστάσεις όπου δεν είναι δυνατόν να αποδώσουμε με τη σκέψη μας τόσες ιδιότητες σε μικροσκοπικά συστήματα, όσες είναι νόμιμο να τους αποδίδουμε σε άλλες περιστάσεις». Στο παράδειγμά μας, οί περιστάσεις είναι εκείνες κατά τις οποίες τα συστήματα αυτά έχουν προγενέστερα αλληλεπιδράσει με άλλα συστήματα. Κι αν πρέπει να πιστεύουμε τη συμβατική κβαντική μηχανική, τότε το κριτήριο θα είχε γενική ισχύ. "Αν συμφωνήσουμε να διατηρήσουμε τον όρο «σύστημα» για τα φυσικά συστήματα που βρίσκονται σε καταστάσεις όπου είναι νόμιμο να τους αποδίδουμε τον μέγιστο αριθμό ιδιοτήτων, θα ξαναβρούμε το γεγονός ότι οί οντότητες  $U$  και  $V$ , για τις οποίες μιλήσαμε πιο πάνω, δεν είναι συστήματα πριν από τη στιγμή  $t_1$ .

#### *Παρατήρηση:*

Μπορούμε επίσης να διατυπώσουμε το μη-διαχωρίσιμο, ως την άρνηση μιᾶς υπόθεσης την οποία ο Einstein θεωρούσε σχεδόν αναγκαία, και την οποία διατύπωσε ως εξής: «Η πραγματική κατάσταση του συστήματος  $V$  είναι ανεξάρτητη από ότιδήποτε υποστεί το σύστημα  $U$ , το οποίο είναι χωρισμένο από το πρώτο μέσα στο χώρο».

## 5. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Παρά τη μεγάλη ένότητα της θεωρίας, πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι τα θεμελιώδη γεγονότα της κβαντικής φυσικής μπορούν κατά το μεγαλύτερο μέρος τους να δεχτούν διάφορες ερμηνείες. Έτσι, λ.χ., το πρόβλημα της αιτιοκρατίας δεν έχει πραγματικά λυθεί από τη σύγχρονη φυσική: αναμφίβολα ή μεγάλη πλειοψηφία των φυσικών πιστεύει στον ίντετερμινισμό, κι έχει εξαιρετικούς λόγους για να σκέφτεται έτσι. Άλλα δεν είναι λιγότερο αληθινά ότι υπάρχουν αιτιοκρατικές (και μη τοπικές, υπέρ του μη-διαχωρίσιμου) θεωρίες<sup>17 18</sup>, οί οποίες αναπαράγουν ακριβώς τις παρατηρήσιμες προβλέψεις του φορμαλισμού. "Ωστε ο ίντετερμινισμός δεν αποδείχτηκε. Παρόμοια, ή συνήθης κβαντική μηχανική — από τη στιγμή που θα διατυπωθεί με τον αναγκαίο βαθμό έσωτερικής συνοχής — περιέχει, στις ίδιες τις διατυπώσεις των αξιωμάτων της, ρητές αναφορές στην έννοια της μέτρησης (ή του όργάνου). Δίνεται λοιπόν ή έντύπωση ότι τα αξιώματα αυτά είναι αντικειμενικά με την άσθενή έννοια, δηλαδή ότι το πολύ μπορούν να θεωρηθούν ότι ισχύουν για *κάθε παρατηρητή* (και όχι ανεξάρτητα από *κάθε παρατηρητή*). Σε μιᾶ θεωρία χωρίς λανθάνουσες παραμέτρους, το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται θεμελιωμένο για κάθε πεπερασμένο  $N$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός

τῶν βαθμῶν ἐλευθερίας. Ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριά, οἱ ἀπόπειρες γιὰ ἀποκατάσταση τῆς ἰσχυρῆς ἀντικειμενικότητας (ἢ τῆς ἀντικειμενικότητας μὲ τὴν κλασικὴ ἔννοια) ποὺ ἐπικαλοῦνται τὴν ἰδεώδη κατάσταση  $N=\infty$ , γιὰ νὰ περιγράψουν τὰ ὄργανα, δὲν φαίνονται νὰ ἔχουν κατορθώσει νὰ ἀντιμετωπίσουν ρεαλιστικὰ (πεπερασμένος χρόνος καὶ ὄγκοι) τὶς διαδικασίες τῆς ἀναγωγῆς τοῦ καταστατικοῦ διανύσματος [τὸ φαινόμενο τῆς «συσσώρευσης τῆς κυματικῆς συνάρτησης»]. Ἀλλὰ ὅσο πειστικὲς καὶ ἂν εἶναι αὐτὲς οἱ παρατηρήσεις, δὲν μποροῦμε νὰ ποῦμε, οὔτε ἐδῶ, ὅτι ἀποδείχτηκε τὸ ἀσύμβατο κάθε προοπτικῆς γιὰ ἰσχυρὴ ἀντικειμενικότητα, μὲ τὶς παραστάσεις μας τῶν πραγματικῶν γεγονότων. Γιατὶ ἀκόμα μιὰ φορά, οἱ θεωρίες μὲ λανθάνουσες παραμέτρους, ποὺ ἀναφέραμε, ἀποτελοῦν ἓνα ἀντιπαράδειγμα, γιὰτὶ δὲν εἶναι προφανὲς σὲ τί θὰ στεροῦνταν ἀντικειμενικότητα, μὲ τὴν ἰσχυρὴ ἔννοια.

Ἐλπίζουμε ἀντίθετα νὰ ἔχουμε πείσει τὸν ἀναγνώστη, ὅτι τὸ μὴ-διαχωρίσιμο εἶναι ἄλλο ζήτημα καὶ ὅτι τὰ ἐπιχειρήματα ὑπὲρ αὐτοῦ εἶναι πολὺ περισσότερα ἀπὸ μιὰ συλλογὴ (ὅσο ἐντυπωσιακὴ καὶ ἂν εἶναι) ἀπὸ ἀπλὲς πιθανολογίες (possibilities). Πράγματι, κάτω ἀπὸ τὴ μιὰ ἢ τὴν ἄλλη μορφή, φαίνεται νὰ ἐπιβάλλεται, ὅποια καὶ ἂν εἶναι ἡ ἐπιλογὴ τῆς θεωρίας, ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ θὰ γίνουν δεκτὰ μερικὰ γενικὰ αἰτήματα τῆς νόησης. Τέτοιες ἀξιώσεις (καὶ κυρίως ἡ ταυτότητα τῶν ἐννοιῶν ποὺ χρησιμεύουν γιὰ τὴν περιγραφή τοῦ παρόντος καὶ τοῦ παρελθόντος) εἶναι ἐγγενῆ γνωρίσματα, ἰδιαίτερα, κάθε «ρεαλιστικῆς» περιγραφῆς. Ἄν λοιπόν, μὲ τὴν ἐλπίδα νὰ αἰτιολογήσουμε καλύτερα τὴ χρήση τῆς ἀρχῆς τῆς μὴ ἐξαντλητικῆς ἐπαγωγῆς, ἢ ἀπὸ ὁποιοδήποτε ἄλλο κίνητρο, καταλήξουμε στὴν ἀποδοχὴ τῆς ἔννοιας μιᾶς πραγματικότητας θεωρούμενης ὡς πηγῆς μέρους τουλάχιστον τῆς ἀνθρώπινης ἐμπειρίας (καὶ μὲ μιὰν ἔννοια, πρότερη ἀπὸ αὐτὴν) τότε εἴμαστε ὑποχρεωμένοι νὰ ἀναγνωρίσουμε τὴν ἀκόλουθη ἀλήθεια: ἡ πραγματικότητα αὐτὴ δὲν ὑπακούει στὴν ἀρχὴ τοῦ μὴ-διαχωρίσιμου. Ἐπομένως, ὅσο χρήσιμη καὶ ἂν εἶναι ἡ ἀτομιστικὴ περιγραφή τῶν γεγονότων ἢ τῶν μικροαντικειμένων, δὲν εἶναι, προφανῶς, παρὰ μόνο ἓνα μοντέλο.

Σχετικὰ μὲ τὸ πρόβλημα τῆς κατασκευῆς μιᾶς ἀξιωματικῆς τῶν προτάσεων τῆς φυσικῆς, τὸ προηγούμενο συμπέρασμα θὰ ἔπρεπε ἀναμφίβολα νὰ καταχωρηθεῖ στὸν κατάλογο τῶν προκαταρκτικῶν ἀπαιτήσεων. Ἄς ὁμολογήσουμε, ὡστόσο, ὅτι ἓνας γενικὸς λογισμὸς, ποὺ θὰ ἐνσωμάτωνε αὐτὲς τὶς συνθήκες, πρέπει ἀκόμα, κατὰ ἓνα μέρος, νὰ δημιουργηθεῖ. Ἄς ἀναγνωρίσουμε ἐπίσης ὅτι, μὲ βάση τὴν προηγούμενη ἀνάλυση, ὁ λογισμὸς αὐτὸς θὰ ἔπρεπε, πιθανόν, γιὰ νὰ ἐξασφαλισθεῖ ἡ ἐσωτερικὴ συνοχή, νὰ πάρει μᾶλλον τὴ μορφή ἐνὸς λογισμοῦ ἐρωτήσεων<sup>7</sup>.

Τέλος, ἡ προηγούμενη συλλογιστικὴ μπορεῖ κατὰ κάποιο τρόπο νὰ ἀντιστραφεῖ. Εἶναι γνωστὸ ὅτι μιὰ ἀντίρρηση, ποὺ καμιά φορά διατυπώνεται ἐναντίον τῶν ἐπιστημολογιῶν ποὺ θεμελιώνονται ἀποκλειστικὰ στὸν ὀπερασιοναλισμό, στηρίζεται στὶς δυσκολίες ποὺ αὐτὲς συναντοῦν γιὰ νὰ δώσουν στὶς προτάσεις, τὶς σχετικὲς μὲ τὸ παρελθόν, ἓνα νόημα ποὺ νὰ ἀναφέ-

ρεται πραγματικά στο παρελθόν, κι όχι μονάχα στο παρόν. Πιστεύουμε ότι ή παρούσα ανάλυση κάνει ακριβέστερη αυτή την αντίρρηση, και ταυτόχρονα επιβεβαιώνει την ισχύ της σε ό,τι αφορά όποιαδήποτε επιστημολογία που αξιώνει να κάνει χρήση προτάσεων οι οποίες αφορούν στοιχειώδη γεγονότα, ή συστήματα. Δείχνει, με άλλα λόγια, ότι σχετικά με το πρόβλημα του διαχωρίσιμου, τέτοιες επιστημολογίες υπόκεινται στους ίδιους περιορισμούς, με εκείνους που αναφέρονται σε κάποια όντολογία.

## 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Έξυπακούεται ότι δεν θα εισέλθουμε στο γενικό πρόβλημα των έννοιολογικών θεμελίων της κβαντικής μηχανικής. Πρόκειται για ένα πρόβλημα που απαιτεί έκτενη ανάπτυξη και το οποίο επιχειρήσαμε να εξετάσουμε άλλο<sup>9</sup> <sup>20</sup>. Άλλα δοθέντος του τίτλου αυτού του συμποσίου έχουμε την εντύπωση ότι δεν θα είναι έντελως άσκοπο το να διευρυνθεί κάπως το πεδίο της προηγούμενης συζήτησης, προκειμένου να μελετήσουμε το ακόλουθο ερώτημα: Ποιές είναι οι δυνατές συνέπειες της γνώσης μας — που είναι τώρα περίπου σίγουρη — για το μη-διαχωρίσιμο στη μικροσκοπική κλίμακα αυτού που μπορεί να ονομαστεί «έξωτερική πραγματικότητα», πάνω στις αντιλήψεις για τη Φύση που ο επιστήμονας οφείλει να προσπαθεί να διαδώσει — δεδομένου ότι ή επιστήμη δεν μπορεί παρά να προβάλλει, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, κάποια άποψη για τη Φύση;

Το πρόβλημα δυστυχώς είναι δύσκολο και δεν ανάγεται στο άπλο σημασιολογικό ερώτημα σχετικά με τον όρισμό — διαφορούμενο, καθώς είναι γνωστό — της λέξης «Φύση». Αντικειμενικά, έχουμε αναμφίβολα όλοι συνείδηση ότι βρισκόμαστε μπροστά σε μιá κατάσταση που έγινε εξαιρετικά πολύπλοκη για συγκεκριμένους λόγους και που τα στοιχεία της, σε μεγάλες γραμμές, είναι τα ακόλουθα: Από τη μιá μεριά διαπιστώνουμε ότι οι πρόοδοι της αστροφυσικής και της βιολογίας επιτρέπουν να εξηγηθούμε όλο και περισσότερα γεγονότα (όριακά, διερωτάται κανείς, γιατί όχι όλα;) με τη βοήθεια των νόμων της φυσικής, πράγμα που είναι κατά κάποιο τρόπο ή όψιμη αλλά συγκεκριμένη πραγματοποίηση της παλαιάς ελπίδας των πολλών στοχαστών επιστημονικών τάσεων του τέλους του ΧΙΧ αιώνα. Επιπλέον, φαίνεται ότι ένα από τα βασικά όργανα αυτού του τρόπου εξήγησης είναι ασφαλώς ή κβαντική φυσική, που εφαρμόζεται ωστόσο έμμεσα, για τον καθορισμό μερικών σταθερών (δεσμευτικές ενέργειες κτλ.) που χρησιμοποιούνται κατόπιν στους κλασικούς υπολογισμούς<sup>10</sup>. Αυτό επιτρέπει να διατηρηθεί ή πλουραλιστική, ή καλύτερα να ποούμε ή πληθυστική (multitudiniste) σύμβαση, σύμφωνα με την όποία την έσχατη πραγματικότητα — αυτό που *υπάρχει* — θα την αποτελούσαν, τελικά, ως προς την ούσία τους, ένας τε-

ράστιος ἀριθμὸς ἀπὸ στοιχειώδη γεγονότα καὶ / ἢ μικροσκοπικὰ ἀντικείμενα προικισμένα μὲ ἀπλὲς ἰδιότητες, καὶ τῶν ὁποίων οἱ τυπικὲς καὶ αἰτιακὲς ἀλληλεπιδράσεις, συνδυασμένες μὲ τὸ τυχαῖο, ὀδηγοῦν στὴν περιπλοκότητα τῶν ἐπιφαινομένων (apparences).<sup>\*</sup> Θεωρημένη ὡς ὄργανο ἐπιστημονικῆς σκέψης, αὐτὴ εἶναι πολὺ εὐχρηστὴ ἀντίληψη.

Γι' αὐτό, στὴν πράξη, σχεδὸν πάντα χρησιμοποιεῖται μιὰ περιγραφή αὐτοῦ τοῦ εἴδους, ἐνδεχομένως πιὸ ἐπεξεργασμένη ἀπ' αὐτὴν ποὺ δώσαμε πιὸ πάνω. Ὡστόσο γίνεται δελεαστικὴ ἢ νοητικὴ μεταστροφή τῆς θέσης αὐτῆς τῆς περιγραφῆς: ἀπὸ χρήσιμο μοντέλο γίνεται ἀπόλυτὴ ἀλήθεια. Μὲ ἄλλα λόγια γίνεται δελεαστικὴ ἢ προσχώρηση σὲ μιὰ πληθυστικὴ ὄντολογία. Μ' αὐτὸ ἐννοοῦμε μιὰ μεταφυσικὴ, ποὺ περιορίζει τὴν πραγματικότητα, τόσο ἔξω ἀπὸ μᾶς, ὅσο καὶ μέσα μας, στοὺς στοιχειώδεις μηχανισμοὺς γιὰ τοὺς ὁποίους μιλήσαμε. Καὶ στὴν πραγματικότητα τὸ βῆμα ἀπὸ μιὰ πληθυστικὴ παράσταση, ποὺ θεωρεῖται ὡς μοντέλο, στὴν πληθυστικὴ φιλοσοφία τῆς Φύσης, πραγματοποιεῖται ἔμμεσα ἀλλὰ μὲ πολὺ λαφριά καρδιά (ἂν καὶ κάποτε μὲ μερικὲς ἐπιφυλάξεις) ἀπὸ ἓνα πολὺ μεγάλο ἀριθμὸ ἐπιστημόνων — κυρίως μὴ θεωρητικῶν. Γιὰ πολλοὺς ἀπ' αὐτοὺς εἶναι ἀναμφίβολα σημαντικὸ τὸ ἐπιχείρημα ὅτι ἡ ἄποψη εἶναι *χρήσιμη στὴν πράξη*. Ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριά εἶναι γνωστὸ, ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τῆς διατύπωσης τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, ὅτι αὐτὸ τὸ εἶδος τοῦ κριτικοῦ ρεαλισμοῦ ὀδηγεῖ σύντομα σὲ σημαντικὲς δυσκολίες. Ξέρουμε εἰδικὰ ὅτι τὸ διαχωρίσιμο, μὲ τὸ νόημα τοῦ Einstein (βλ. τμῆμα 4), δὲν μπορεῖ νὰ ληφθεῖ ὡς βάση γιὰ συστήματα ποὺ ἔχουν ἤδη ἀλληλεπιδράσει. Εἶναι ἀληθὲς ὅτι, μέχρι σήμερα, ὑπάρχει μιὰ διέξοδος (λανθάνουσες παράμετροι) ποὺ πρόσφερε ἓνα κατάλοιπο ὀρθολογικῆς δικαίωσης σὲ φιλοσοφίες αὐτοῦ τοῦ εἴδους. Ἐν πάσῃ περιπτώσει, μὲ τὴν παραβίαση τῶν ἀνισοτήτων τοῦ Bell, ἀκόμα καὶ αὐτὴ ἡ δυνατότητα ἐξανεμίζεται. Οἱ ὀπαδοὶ μᾶς τέτοιας ἀντίληψης ὀφείλουν λοιπὸν νὰ τροποποιήσουν τὴ στάση τους. Θὰ πρέπει, πράγματι, νὰ ἀναγνωρίσουν ὅτι παρὰ τὶς τεράστιες ἐπιτυχίες του (στὴν κλασικὴ φυσικὴ, στὴ μοριακὴ βιολογία, κτλ.) τὸ πληθυστικὸ πρότυπο εἶναι ἐντελῶς ἀκατάλληλο γιὰ νὰ ὑψωθεῖ σὲ φιλοσοφία τῆς φύσης.

Ἡ ἐλπίδα αὐτὴ μᾶς θυμίζει ἔντονα (τὸ πράγμα ἦταν γνωστὸ, ἀλλὰ κάπως λησμονημένο) τὴν ὑπαρξὴ μιᾶς κατάστασης: σὲ μιὰ πραγματικὰ μὴ ἀντιφατικὴ ρεαλιστικὴ ἀντίληψη — ὅπου τὸ *Πραγματικὸ* ταυτίζεται μ' αὐτὸ ποὺ *Εἶναι*, ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὶς δικές μας ἰκανότητες καὶ τὰ ὄριά τους — ἡ γονιμότητα ἐνὸς πρότυπου δὲν εἶναι ἐπαρκὴς ἐγγύηση γιὰ τὴν συμφωνία τῶν βασικῶν του ἰδεῶν μὲ τὸ Πραγματικὸ. Πράγματι, ἡ γονιμότητα δὲν ἐγγυᾶται οὔτε μιὰ *προσεγγιστικὴ* συμφωνία αὐτοῦ τοῦ εἴδους. Καὶ ἀπὸ τὴν ἄποψη τοῦ ρεαλισμοῦ, τὸ περιεχόμενο τῶν προηγούμενων τμημάτων ἐπιβεβαιώνει,

<sup>\*</sup>Εἶναι ἀνάγκη νὰ ποῦμε πληθυστικὴ μᾶλλον παρὰ «ἀτομιστικὴ» γιὰτὶ ὑπῆρξαν φιλόσοφοι (λ.χ. ὁ B. Russell μιὰ ἐποχὴ) ποὺ οἰκοδόμησαν πληθυστικὲς θεωρίες, τῶν ὁποίων τὰ στοιχεῖα δὲν ἦταν φυσικὰ σώματα ἀλλὰ αἰσθήματα.

ἀκόμα μιὰ φορά, τὸ θεμελιακὸ αὐτὸ περιορισμό. Αὐτὸ τὸ κάνει μὲ τὸ παράδειγμα, καὶ μὲ μιὰ μέθοδο ποὺ ἀποβλέπει κυρίως στὸ νὰ ἐλευθερώσει τὴ σκέψη ἀπὸ κάθε εἰδικὸ μαθηματικὸ φορμαλισμό.

Ἄναμφίβολα θὰ ἦταν λάθος νὰ ἐρμηνεύσουμε τὰ προηγούμενα μὲ τρόπο ποὺ θὰ περιγραφόταν σὰν κλειστὸς βρόχος, σὰν παλινδρομικὴ κίνηση χωρὶς νόημα, κάτι ποὺ, στὴν πραγματικότητα, θὰ μπορούσε νὰ παραβληθεῖ μὲ ἐλικοειδῆ κίνηση ποὺ ἀντιπροσωπεύει μιὰ πραγματικὴ πρόοδο. Ἡ ἐπιστημονικὴ ἔρευνα ὁδήγησε τοὺς ἀνθρώπους στὴν ἀνακάλυψη τοῦ αὐστηροῦ τρόπου τοῦ σκέπτεσθαι: τοὺς δίδαξε πῶς νὰ ξεπεράσουν τὸν παιδισμό καὶ τὸ «περίπου» στὴν κατασκευὴ τῶν ἐννοιῶν καὶ στὴ γενικὴ χρῆση τῶν λειτουργιῶν τοῦ πνεύματος. Ἡ συμβολὴ τῆς βασικῆς ἐπιστήμης στὴ διαδικασία ὠρίμανσης τῆς διάνοιας ἀποτελεῖ ἀναμφίβολο ἀπόκτημα, ποὺ δύσκολα μπορεῖ κανεὶς νὰ τὸ τονίσει ἀρκετά. Καὶ συγκεκριμένα, ἡ νεοαποκτημένη γνώση τοῦ μὴ-διαχωρίσιμου τῆς Πραγματικότητας — ἢ τοῦ ὅτιδήποτε μπορεῖ νὰ φανταστοῦμε μ' αὐτὸ τὸ ὄνομα στὸ μικροσκοπικὸ ἐπίπεδο — εἶναι πολὺ πιὸ λεπτὴ (ὅσο ἐλλιπὴς καὶ νὰ εἶναι ἀκόμα) ἀπ' ὅ,τι ἦταν ἡ ἐποπτικὴ τῆς σύλληψης ἀπὸ ἓνα στοχαστὴ, λ.χ., τοῦ 17ου αἰῶνα. Ἀπὸ τὴν ἄλλη ὁμως μεριά — καὶ ἀκριβῶς χάρις στὴν ἐμφάνιση νέων γνώσεων αὐτοῦ τοῦ εἴδους — θὰ ἦταν προφανῶς λάθος ἀντίστοιχης σπουδαιότητας (καὶ σημεῖο μεγάλης ἀφέλειας) νὰ ἀγνοήσουμε τὶς φάσεις καὶ τὶς μεταβολὲς θεώρησης ποὺ συνεπιφέρουν τέτοιες πρόοδοι. Γεννημένο σ' ἓναν πολιτισμὸ ποὺ κληρονόμησε τὸ ὄραμα μιᾶς βαθιᾶς ἐνότητας τῆς πραγματικότητας (τὸ «Μεγάλο ὀρθολογισμό» κατὰ τὴν ἔκφραση τοῦ Merleau - Ponty) τὸ ἐπιστημονικὸ κίνημα ὁδηγήθηκε βαθμιαῖα ἀπὸ τὰ γεγονότα νὰ δώσει πίστη, ἢ, ἐν πάσῃ περιπτώσει, νὰ ἐκλαϊκεύσει τὴν πληθυστικὴ ἀντίληψη. Ἔτσι, γιὰ μιὰ ἀκόμα φορά, ἔμμεσα ἢ ἄμεσα, πολλοὶ ἐπιστήμονες καὶ ἐπιστημονικοὶ διδάσκαλοι τὴ θεωροῦν — συχνὰ ἀπλῶς ἀπὸ ἔλλειψη πληροφοριῶν — ὄχι ὡς ἓνα γόνιμο πρότυπο, ἀλλὰ σὰν ὑποτιθέμενη καθολικὰ ἐγκυρὴ περιγραφή ἐκείνου — ὅποιο καὶ ἂν εἶναι — ποὺ ἀξίζει νὰ λέγεται «εἶναι». Ἔτσι, παρὰ τὴν ἐξαιρετικὴ γονιμότητα αὐτοῦ τοῦ προτύπου, ἡ ἀντίστοιχη ἀντίληψη τῆς πραγματικότητας ἀποδείχεται λαθεμένη καὶ βρίσκεται σὲ ἀντίθεση μὲ τὸ πείραμα (μὲ τὴν προϋπόθεση μόνο ὅτι θὰ ἦταν ἀληθεῖς μερικὲς πολὺ ἀληθοφανεῖς τεχνικὲς ὑποθέσεις, ποὺ σύντομα ἴσως δὲν θὰ εἶναι κὰν ἀναγκαῖες). Ἔτσι ἐκεῖνη ἡ ἀντίληψη «ἀποδείχτηκε» λαθεμένη. Ἄναμφίβολα λοιπὸν εἴμαστε τώρα μάρτυρες μιᾶς ἀποφασιστικῆς — ἂν καὶ προοδευτικῆς — μεταβολῆς στὶς ἀντιλήψεις ποὺ ὁποιοσδήποτε ὀπαδὸς ὁποιασδήποτε ρεαλιστικῆς φιλοσοφίας μπορεῖ νόμιμα νὰ ἔχει σχετικὰ μὲ τὸν «πραγματικὸ κόσμος». Ἡ στροφὴ αὐτὴ ὁδηγεῖ ἀναπόφευκτα — ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ δὲν δεχόμαστε μιὰ ρητὴ ἢ μιὰ ἔμμεση ἀναγωγὴ τῆς Φύσης στὸν ἄνθρωπο — σὲ μιὰ ἀντίληψη στὴν ὁποία ὁ ἐνιαῖος χαρακτήρας τῆς Φύσης παίζει ἀποφασιστικὸ ρόλο. Ἄν ἡ ἰδέα μιᾶς Φύσης «καθαρτὴν» ἔχει νόημα, — πράγμα ποὺ κάθε ἄλλο παρὰ γινόταν δεκτὸ ἀπὸ ὅλους — ἡ Φύση αὐτὴ εἶναι στὴν πραγματικότητα

— κατὰ κάποιο τρόπο — μιὰ ὁλότητα, πού μέσα ἀπὸ τὴν περιπλοκότητά της ἢ ὄρασή μας ἀποκόπτει διακεκριμένα τμήματα, μὲ τρόπο πού ἀντανακλᾷ περισσότερο τὶς δυνατότητες τῆς δράσης μας. Περισσότερο ἀπὸ μιὰ συλλογὴ ἀντικειμένων ἢ συμβάντων μὲ ιδιότητες ἐνὸς τύπου πού μᾶς εἶναι γνωστός, μιὰ τέτοια φύση παρουσιάζεται ὡς μιὰ *Natura Naturans* — γιὰ νὰ χρησιμοποιήσουμε μιὰ σχολαστικὴ ἔκφραση, κάπως ὅμοια μὲ τὸ Θεὸ τοῦ Σπινόζα, ἀλλὰ ἀκόμα πιὸ ἀπόμακρη ἀπὸ τὰ πραγματικὰ φαινόμενα. Συγκρίσιμη ἀπ' αὐτὴ τὴν ἄποψη — ἂν καὶ πολὺ πιθανὸν ὄχι ἀπὸ ἄλλες — μὲ τὸ Θεὸ τοῦ Pascal, ἡ Φύση μᾶς ἀποκρύπτει τὴ βασικὴ της ἐνότητα, μακριά, πίσω ἀπὸ τὰ σύννεφα τῆς ἐφαρμοσμένης ὀρθολογικῆς σκέψης μας. . . κι ὥστόσο μᾶς ἀφήνει καμιὰ φορὰ νὰ τῆς ρίχνουμε μιὰ φευγαλέα ματιά.

Κάτω ἀπ' αὐτὲς τὶς συνθῆκες εἶναι ἀπογοητευτικὸ νὰ βλέπει κανεὶς ὅτι ὁ μεγαλύτερος ἀριθμὸς τῶν ἐπιστημόνων συνεχίζει νὰ παραμένει ὀπαδὸς μιᾶς ἀφελοῦς ρεαλιστικῆς φιλοσοφίας τῆς πληθυστικῆς ποικιλίας (ἂς μὴ συζητήσουμε ἐδῶ τὴν ἐξεζητημένη ἰνστρουμενταλιστικὴ ἢ καθαρὰ γλωσσικὴ ἄποψη, γιὰ τὴν ὁποία ὑπάρχουν μερικὰ βασικὰ θετικὰ ἐπιχειρήματα). Εἶναι ἀπογοητευτικὸ, ἀλλὰ σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν ἔρευνα ἴσως δὲν εἶναι ἀνησυχητικὸ. Στὴν ἐπιστήμη, ὅπως καὶ στὶς τέχνες (ὁ Fra Angelico εἶναι ἓνα καλὸ παράδειγμα!), ἓνα κάποιο πνεῦμα ἀφέλειας καὶ ἀθωότητος μπορεῖ νὰ εἶναι γόνιμο, κι ἂν αὐτὸ συμβαίνει, τότε ἡ ἀντίληψη πού ἐμψυχώνεται ἀπὸ ἓνα τέτοιο πνεῦμα εἶναι δυνατόν νὰ μὴν ἀπορριφθεῖ ὡς ὑπερβολικὰ ἀφελής: κατὰ κάποιο τρόπο ὑπερβαίνει τὴν ἀθωότητα, μὲ τὴ λειτουργία τῆς ἴδιας τῆς ἀθωότητος. Καθὼς ἀπέδειξε ὁ Wigner<sup>19</sup>, ἡ ἀφελὴς ρεαλιστικὴ ἀντίληψη τῶν περισσότερων ἀπὸ τοὺς μοντέρνους ἐπιστήμονες (μὲ ἐξαίρεση τοὺς θεωρητικούς!) πέφτει εὐτυχῶς σ' αὐτὴ τὴν κατηγορία καὶ ἡ κατάσταση αὐτὴ καθὼς φαίνεται θὰ διαρκέσει τουλάχιστον μιὰ γενεὰ ἀκόμα, καὶ ἴσως περισσότερο. Ἀπὸ πολιτιστικὴ ἄποψη, ἡ διατήρησις μιᾶς τέτοιας κατάστασης, πού, στὸ κάτω κάτω, εἶναι πολὺ ἀπλουστευτικὴ, μοῦ φαίνεται πολὺ ἐπικίνδυνη. Σήμερα γίνονται μεγάλες προσπάθειες — μὲ μερικὴ ἐπιτυχία — νὰ διαδοθεῖ μὲ τὴ βοήθεια τῆς παιδείας, σὲ πλατιά στρώματα τοῦ πληθυσμοῦ, μιὰ ἐπιστημονικὴ γνώση καὶ μιὰ ἐπιστημονικὴ ἀτιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων. Ὁ ἐπιδιωκόμενος σκοπὸς εἶναι βέβαια, πρὶν ἀπ' ὅλα, τεχνολογικός. Ἀλλὰ δύσκολα θὰ περίμενε κανεὶς ἀπὸ τὴν πλειοψηφία τῶν σπουδαστῶν καὶ τῶν μαθητῶν νὰ κάνει αὐθόρμητα τὴ διάκριση πού γνωρίζουμε σὰν ἀναγκαία, ἀνάμεσα σὲ ἀντιλήψεις ὅπως ὁ ἰνστρουμενταλισμὸς καὶ ὁ ρεαλισμὸς, καὶ στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ τελευταίου, ἀνάμεσα στὸ μοντέλο καὶ στὴν ἀλήθεια. Ἰδιαίτερα, πῶς θὰ μπορούσαμε νὰ περιμένουμε κάτι τέτοιο, ὅταν (σχεδὸν κατὰ κανόνα) ἡ προσοχὴ τους δὲν κατευθύνεται ποτὲ σ' αὐτὸ τὸ σημεῖο ἀπὸ τοὺς δασκάλους τους; Ἔτσι ὑπάρχουν λόγοι νὰ φοβόμαστε ὅτι, στὴν πράξη, ἡ σύγχρονη μαζικὴ διδασκαλία τῶν θετικῶν ἐπιστημῶν θὰ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴ λαθεμένη σύγχυσή τους, στὸ μυαλὸ τοῦ κοινοῦ, μὲ τὴν πληθυστικὴ φιλοσοφία πού σκιαγραφήσαμε παραπάνω.

Ἡ φιλοσοφία αὐτὴ ἔχει δυὸ σοβαρὰ μειονεκτήματα. Τὸ πρῶτο: εἶναι τόσο ἀντίθετη μὲ τὴν ἀντίληψη ποὺ ὁ ἄνθρωπος τείνει νὰ διαμορφώσει ἀπὸ τὴ δική του διαίσθησι καὶ σκέψη γι' αὐτὸ ποὺ «ὑπάρχει» ὥστε ἓνα ὁλοένα καὶ μεγαλύτερο ποσοστὸ (σήμερα τεράστιο) ἀπὸ τοὺς μορφωμένους ἀνθρώπους στὸν κόσμον ἔχει ἀυθόρμητα πάψει νὰ τῆς δίνει τὴν παραμικρὴ πίστιν. Ἡ αὐξουσα ἔλλειψη γνήσιου ἐνδιαφέροντος γιὰ τὶς ἐπιστημονικὲς σπουδὲς ὀφείλεται ἀσφαλῶς ἐν μέρει σὲ μιὰ τέτοια ἀντίδραση. Μὲ ἄλλα λόγια αὐτὸς ὁ πληθυστικὸς ἀναγωγισμὸς δὲν φαίνεται νὰ μπορεῖ νὰ προσφέρει κάτι στὴν ἐνστικτώδη ἀπαίτησι γιὰ μιὰ κουλτούρα ποὺ θὰ ἦταν ἐμπλουτιστικὴ καὶ ἀληθινὴ, μὲ τὴ βαθιὰ σημασία τῶν ὄρων. Θὰ ἦταν πράγματι θλιβερὸ ἂν οἱ φυσικὲς ἐπιστῆμες ἔφταναν νὰ ὑποφέρουν ἀπὸ τὴ μείωσι τοῦ κύρους μιᾶς φιλοσοφίας, μὲ τὴν ὁποία δὲν θὰ ἔπρεπε νὰ ἔχουν πολλὰ κοινά.

Ἄλλὰ τὸ ἄλλο μειονέκτημα τῆς φιλοσοφίας αὐτῆς εἶναι ἀκόμα χειρότερο. Πρόκειται γιὰ τὸ ὅτι ὅταν τὴν πάρουμε πραγματικὰ ὡς φιλοσοφία — ὡς μιὰ ὑποτιθέμενη ἀληθινὴ περιγραφὴ τῆς πραγματικότητος, ποὺ ὑπάρχει πρὶν ἀπὸ τὸν ἄνθρωπον καὶ ἀνεξάρτητα ἀπ' αὐτὸν — ὁ πληθουκισμὸς εἶναι ἀπλῶς λαθεμένος. Βέβαια αὐτὸ δὲν ἀποτελεῖ νέα ἀνακάλυψις. Πολλοὶ ἀπὸ τοὺς θεμελιωτὲς τῆς ἀτομικῆς φυσικῆς τόνισαν τὴν ἀσυμβατότητα ὀρισμένων ὄψεων τοῦ πληθουκισμοῦ μὲ τὸν φορμαλισμὸ τῆς συμβατικῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Ἄλλὰ τότε, καθὼς εἶπαν ἄλλοι, γιατί νὰ ἀλλάξουμε αὐτὸ τὸ φορμαλισμὸ, ἢ τουλάχιστον τὴν ἐρμηνεία του, χωρὶς νὰ ἀλλάξουμε τὶς παρατηρήσιμες προβλέψεις του; Τὸ νέο εἶναι ὅτι τώρα ὁ πληθουκισμὸς, ὅπως περιγράφηκε προηγουμένα, ἀντιφάσκει μὲ τὸ πείραμα, ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὸ φορμαλισμὸ. Τὸ ὅτι εἶναι ψευδὴς ὡς φιλοσοφία, φαίνεται πλέον ἀσυζήτητο. Τώρα πιά κανένα ἐπιχείρημα, οὔτε ἐκεῖνα ποὺ στηρίζονται στὴν ἀποδοτικότητα, δὲν μπορεῖ νὰ δικαιολογήσῃ τὴ συνειδητὴ διασπορὰ ἐνὸς λάθους ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ ἀναγνωρίσθηκε σὰν τέτοιο. Καὶ δὲν ἀποτελεῖ δικαιολογία τὸ νὰ λέμε ὅτι πρόκειται ἀπλῶς γιὰ φιλοσοφικὸ λάθος. Προκαταλήψεις, ὅσον ἀφορᾷ τὴ δομὴ τῆς πραγματικότητος, μποροῦν νὰ ἐπηρεάσουν σημαντικὰ ὀλόκληρη τὴ νοοτροπία μας. Ποιὸς μπορεῖ νὰ πεῖ τί πολιτισμικὲς ἀνανεώσεις κινδυνεύουν νὰ καταπιεσθοῦν, μὲ τὴν ἐξαπάτησι σ' αὐτὸ τὸ χῶρον;

Αὐτοῦ τοῦ εἶδους ἡ διασπορὰ δυστυχῶς εὐνοεῖται ἀπὸ τὴν ἀδιαφορία γιὰ γενικὲς ιδέες ποὺ χαρακτηρίζει τοὺς εἰδικοὺς καὶ ἀπὸ τὴ συνακόλουθον ἀποσπασματικὴ γνώσι τῶν ἐπιστημονικῶν διδασκάλων. Ἔτσι ὁ περιορισμὸς τῶν ἀρνητικῶν συνεπειῶν θὰ προέλθῃ ἴσως προπάντων — κατὰ ἐντελῶς ἀρνητικὸ τρόπο — ἀπὸ τὴν αὐξουσα ἔλλειψη ἐνδιαφέροντος γιὰ τὶς ἀκριβεῖς ἐπιστῆμες ποὺ σημειώσαμε. Θὰ μποροῦσαν μήπως νὰ γίνουν θετικὰ βήματα; Τὸ πρῶτον θὰ ἦταν προφανῶς μιὰ γενικὴ ἀναγνώρισι τῆς ὑπαρξῆς τοῦ κινδύνου ἀπὸ τὴν κοινότητα τῶν ὑπεύθυνων ἐπιστημόνων (καὶ αὐτὸ ἀκόμα εἶναι ἴσως ἀπίθανο!). Τὸ δεύτερον μπορεῖ νὰ ἀφορᾷ μιὰ προσπάθεια πρὸς τὴν κατεύθυνσι τῶν ἐπιστημονικῶν συγγραφέων καὶ σχολιαστῶν, ὥστε νὰ φέρουν σὲ γνώσι τοῦ κοινοῦ τὴν ὑπαρξιν τοῦ προβλήματος παρουσιάζοντάς το ὅπως



πραγματικά είναι, δηλαδή συνδεδεμένο με την «ποιότητα της ζωής» σε ό,τι έχει πιο βαθύ: όχι στο τεχνικό περιβάλλον, αλλά στις εικόνες που καθέννας μας μπορεί να έχει για «αυτό που υπάρχει». Τότε μόνο θα ήταν χρήσιμο να εισαχθεί στις επιστημονικές σπουδές ή μοντέρνα επιστημολογία, που θα άφοροῦσε τὸ θεμελιακὸ σήμερα ἐρώτημα τῆς κατανόησης καὶ τῆς σημασίας τῶν θετικῶν ἐπιστημῶν. Τὸ συνοπτικὸ αὐτὸ πρόγραμμα ἐπιχειρεῖ νὰ ἀνταποκριθεῖ σὲ ἀνάγκες ποὺ θεωροῦνται πραγματικὲς καὶ ποὺ μποροῦμε νὰ ἐλπίζουμε ὅτι θὰ ἀναγνωριστοῦν σὰν τέτοιες.

Ἄς τονιστεῖ γιὰ μιὰ ἀκόμα φορά, ὅτι δὲν ἀμφισβητεῖται ἐδῶ ἡ σημασία τῶν προοπτικῶν ποὺ ἀνοίγει ἡ ἐπιστημονικὴ ἔρευνα ἀκόμα καὶ στὸ πεδίο τῆς καθαρῆς γνώσης. Ἀντίθετα, αὐτὸ ποὺ θέλουμε νὰ τονίσουμε εἶναι ὅτι οἱ λεωφόροι ποὺ ἀνοίχθηκαν, λ.χ., ἀπὸ τὴν παραβίαση τῆς ἀνισότητος τοῦ Bell, ἐπεκτείνουν αὐτὲς τὶς προοπτικὲς πολὺ πιὸ πέρα ἀπ' ὅ,τι νομιζόταν, ἔστω κι ἂν κάπως ἀλλάζουν τὴν κατεύθυνση! Προφανῶς ἀποτελεῖ σοβαρὴ διαστρέβλωση τῆς μαρτυρίας τοῦ πειράματος, τὸ νὰ παραμένουμε στὶς παλιὲς ἐπιστημονικὲς κατευθύνσεις καὶ νὰ ἐπιτρέπουμε νὰ διαδίδονται στὸ κοινὸ θεμελιώδεις ἰδέες ποὺ ἐμεῖς οἱ ἴδιοι δὲν μποροῦμε πιά νὰ τὶς θεωροῦμε ἀληθινὲς — παρὰ τὴν προσωρινὴ ἀποδοτικότητά τους — καὶ μάλιστα αὐτὸ νὰ γίνεται με τὴν κάλυψη τῆς ἐπιστήμης. Ποτὲ δὲν εἶχε τόση σημασία τὸ νὰ προσέξουμε ὥστε ἡ ἐκλαϊκευση τῆς γνώσης νὰ μὴν ὀδηγήσει στὴν ἀντιγνώση.

Μετάφραση: Ε. Μπισσάκης

### Βιβλιογραφικὲς Παραπομπές

1. G. Birkhoff and J. Von Neumann, *Ann. Math.* 37, 823 (1936).
2. J. M. Jauch and Piron, *Helv. Phys. Acta* 36, 827 (1963).
3. C. Piron, *Helv. Phys. Acta* 37, 439 (1964).
4. J. M. Jauch, *Foundations of Quantum Mechanics*, Addison-Wesley, Reading, Mass., U.S.A.
5. J. M. Jauch and C. Piron, *Helv. Phys. Acta* 42, 842 (1969).
6. J. M. Jauch, in Proc. of the IL session of the Fermi Summer School on *Foundations of Quantum Mechanics*, Academic Press, New York.
7. G. Mackey, *Foundations of Quantum Mechanics*, Benjamin, New York.
8. C. F. von Weizsäcker, *Naturwiss.* 42, 521 (1955).
9. B. d'Espagnat, *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, Benjamin, Addison-Wesley, Reading, Mass., U.S.A.
10. A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, *Phys. Rev.* 47, 777 (1935).
11. J. S. Bell, *Physics* 1, 195 (1964).

12. J. F. Clauser, M. A. Horne, A Shimony and R. A. Holt, *Phys. Rev. Letters* 23, 880 (1969).
13. L. R. Kasday in *Foundations of Quantum Mechanics*, Academic, Press New York.
14. S. J. Freedman and J. F. Clauser, *Phys. Rev. Letters* 28, 938 (1972).
15. E. Wigner, *Amer. J. Physics* 38, 1005 (1970).
16. A. Einstein, *Philosopher-Scientist* (ed. by P.A. Schilpp), Library of Living Philosophers, Evanston, Ill., U.S.A.
17. D. Bohm, *Phys. Rev.* 85, 166 and 180 (1952).
18. J. S. Bell, Proceedings of the 1971 Penn. State Conference (ὀπό έκδοση).
19. E. Wigner, *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, Bloomington and London.
20. B. d'Espagnat, *Conceptions de la Physique contemporaine*, Hermann, Paris.